



АНАСТАСИЯ ЗЛОБИНА, ИСХАК ФАРХУТДИНОВ

Книга создана при содействии сотрудников Государственного
геологического музея им. В. И. Вернадского РАН и членов
Российского геологического общества

МИР МИНЕРАЛОВ

ПУТЕВОДИТЕЛЬ
ПО МИНЕРАЛАМ И ГОРНЫМ
Породам, из которых состоит
Земля и построена наша цивилизация


 **БОМБОРА**
ИЗДАТЕЛЬСТВО

АНАСТАСИЯ ЗЛОБИНА, ИСХАК ФАРХУТДИНОВ

МИР МИНЕРАЛОВ

ПУТЕВОДИТЕЛЬ ПО МИНЕРАЛАМ И ГОРНЫМ ПОРОДАМ,
ИЗ КОТОРЫХ СОСТОИТ ЗЕМЛЯ
И ПОСТРОЕНА НАША ЦИВИЛИЗАЦИЯ



 **БОМБОРА**
ИЗДАТЕЛЬСТВО

Москва

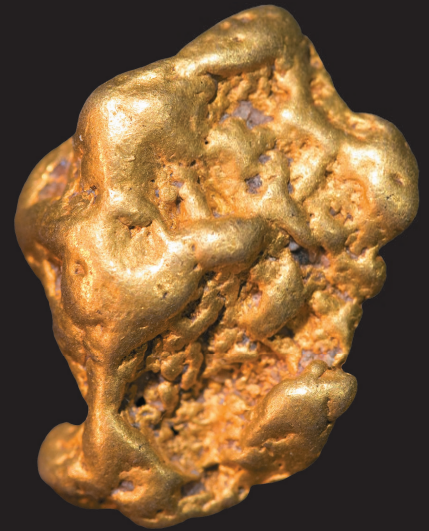
СОДЕРЖАНИЕ

Введение. Человек и камень 5

Факт или фейк? Викторина 8

Что такое минерал 11

- Классы минералов 13
- Порядок в атомном строю 13
- Иглы, столбики и чешуйки 16
- Краски каменного мира 19
- Сверкающие как блески, тусклые как старые кирпичи 23
- Мягче ногтя, тверже стали 26
- Крепкие снаружи, ломкие внутри 28
- Чемпионы в тяжелом весе 31
- Горят, растворяются и пахнут 34
- От большого взрыва до горной породы 37
- Самый древний минерал 40
- Как камни умеют летать 42
- Как камни умеют обманывать 44
- Как камни умеют двигаться 46
- Как камни умеют перерождаться 49



Минералы внутри нас 53

- Зубы, кости и камни в почках 54
- Отравленные стрелы и газ-убийца 57
- Едим каждый день и лечим отравления 63

Минералы и горные породы вокруг нас 71

Минералы — основатели земной коры 72

Как устроены силикаты и алюмосиликаты 73

Одинокий дом 74

Улица Силикатная 76

Минеральный квартал 76

Кристальный район 78

Каменный город 79

Рудные минералы — поставщики металлов 82

Как найти руду в недрах? 83

Как добыть руду? 89

Медь 91

Олово 95

Железо 98

Алюминий 102

Хром 104

Марганец 105

Золото 106

Серебро 115

Платина 117

Радиоактивные минералы 119

Редкоземельные минералы 122

Горючие минеральные вещества 127

Торф, уголь, антрацит 128

Нефть 130

Строительные и декоративные материалы 132

Гранит 133

Базальт 136

Известняк и мрамор 138

Гипс 143

Песок и песчаник 145

Глина и сланец 147

Лабрадор 151



Химическое сырье 152

Галит 153

Флюорит 155

Барит 157

Апатит 158

Сильвин, карналлит 160

Селитра 161

Сера 164

Технические минералы 166

Кварц 167

Слюды 168

Графит 172

Драгоценные и поделочные камни 175

Алмаз 176

Рубин, сапфир, корунд 179

Изумруд, аквамарин, берилл 182

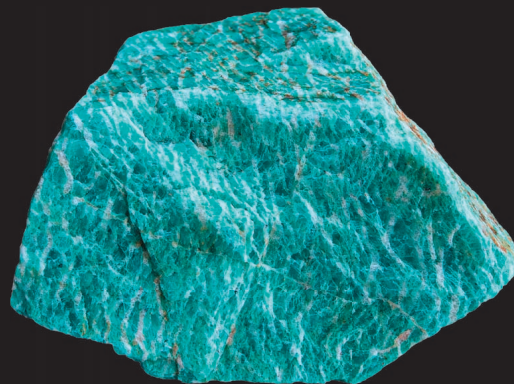
Аметист, цитрин, розовый кварц 186

Топаз 189

Гранаты 192

Лазурит 197

Яшма 199



Горнодобыча и экология 203

Что люди будут делать, когда минералы закончатся? 210



Заключение 211

Основные характеристики главных классов минералов 212

Ответы на викторину «Факт или фейк?» 216

Источники 219

Указатель минералов и горных пород 221

Посвящается учителю
Леониду Петровичу Рихванову

ВВЕДЕНИЕ. ЧЕЛОВЕК И КАМЕНЬ

Минералы и горные породы — незаменимые помощники в нашей жизни. Все, что создано человеком и можно потрогать, так или иначе связано с полезными ископаемыми, которые добывают из-под земли, а затем превращают в энергию и материалы, без которых невозможно представить современную цивилизацию.

Из глины, песка, металла и кварца создают кирпичи, бетон, металлические конструкции и стекло, из которых стоят здания: дома, школы, заводы, торговые центры. Без железа, алюминия и хрома не было бы автомобилей, самолетов и станков для любого производства. Благодаря медным проводам мы можем пользоваться электричеством. Нефть, газ и уголь дарят нам не только тепло, но и пластик — основу многих бытовых предметов, синтетической одежды и техники.

И так было всегда — человек и камень неразлучны с самого начала истории. Благодаря каменным орудиям наши предки более 2,5 миллиона лет назад научились разделывать туши, раскалывать кости и твердые орехи (Sahle, Y., 2020). Каменный век был первым и самым продолжительным

периодом в истории *Homo*. Рубила из кварцита, скребки из обсидиана, топоры из нефрита и наконечники стрел из кремня помогали охотиться, вести хозяйство и таким образом выживать.

Около 8,7 тысячи лет назад человек впервые создал не каменное изделие, а металлическое (Oudbashi и др., 2012). Первым металлом человечества стала медь. Этот металл было легко найти по ярко-зеленому налету — минералу малахиту. Более того, медь довольно просто обрабатывать. Это очень мягкий материал, поэтому ее можно было ковать без нагревания с помощью примитивных орудий. Однако мягкость меди не всегда была достоинством, ведь медные изделия быстро деформировались. Поэтому человек искал способы улучшить свойства меди, добавляя к ней разные вещества — так возникла металлургия.

Однажды, смешав медь с оловом, выплавленным из минерала касситерита, древние металлурги получили бронзу — твердый и прочный сплав. Это был гениальный шаг человечества, определивший целую эпоху — бронзовый век (примерно 5,3–3,2 тысячи лет назад).

Бронзовое оружие и доспехи изменили войны, а инструменты — сельское хозяйство.

На территории болгарского города Варна археологи нашли творения первых ювелиров — украшения из золота, которым около 6,5 тысячи лет. Первые золотые монеты появились 2,7 тысячи лет назад в Лидии (территория современной Турции). После завоевания Лидии персами чеканить монеты стали во всех городах огромного персидского государства. Древние греки тоже научились у лидийцев создавать монеты. Так начала зарождаться денежная система.



▲ Золотая лидийская монета

Эпоха железа началась 3,2 тысячи лет назад, когда в горнах (специальных печах) массово научились выплавлять железо из магнетита и гематита. Несмотря на то, что железо не было первым металлом человечества, после создания его сплавов медные и бронзовые орудия постепенно уш-

ли на второй план. У железа есть два главных преимущества перед медью: его в тысячу раз больше в земной коре, а его сплавы в разы прочнее. Стальное оружие — мечи, копья, ружья, пушки — давали решающее преимущество в войнах. А использование железных плугов и серпов позволило выращивать больше зерна. Это способствовало росту населения и усилению государств.

Для еще более мощного толчка в развитии людям требовалось не только железо, но и энергия. Каменный уголь стал движущей силой промышленной революции в XVIII–XIX веках. Его использовали в металлургии для создания чугуна и как топливо — в паровых машинах (станках, паровозах, пароходах). Энергия угля позволила ускорить промышленное развитие и способствовала бурному росту городов.

Вторым важнейшим энергетическим ресурсом стала нефть. В XX веке было открыто множество богатых месторождений, благодаря которым люди стали производить в разы больше энергии. За счет использования нефти годовое потребление энергии выросло в десятки раз. Другая удивительная способность нефти открылась с развитием органической химии. Оказалось, что сложные органические молекулы нефти можно трансформировать, создавая пластмассу, полимеры и резину, которые стали незаменимой частью современного мира.



◀ Нефть
и каменный
уголь

В это же время ученые выяснили, что уран, добываемый в основном из уранинита, — мощнейший источник энергии. В 1 грамме урана содержится в миллионы раз больше энергии, чем в 1 грамме нефти. Люди научились использовать уран не только в энергетике, но и для создания самого страшного оружия — ядерных бомб. Это навсегда изменило распределение военных сил на Земном шаре и международные отношения.

Одним из главных ресурсов наших дней стали редкоземельные металлы, извлекаемые из монацита, бастнезита и лопарита. Из них делают самые мощные магниты, быстрые катализаторы и миниатюрные чипы для электроники. В вашем телефоне содержится минимум 9 редкоземельных металлов, без которых он был бы примерно в 5 раз больше и тяжелее! Солнечная и ветровая энергетика тоже невозможны без редкоземельных металлов.



▲ Редкоземельный минерал лопарит

История человечества — это во многом и история освоения минеральных ресурсов нашей планеты. Миллионы лет человек ищет и исследует полезные ископаемые, а порой ведет за них борьбу. В этой энциклопедии вы подробно познакомитесь с основными минералами и горными породами, которые являются важной частью нашей жизни и которые люди превращают в источник своего развития и процветания.

ФАКТ ИЛИ ФЕЙК?

ВИКТОРИНА

Перед тем как начать знакомство с удивительным миром минералов, предлагаем вам сыграть в факт-фейк и проверить свои знания и интуицию. Какие из фактов – правда, а какие – ложь? Ответы вы сможете найти в конце книги на стр. 216.



▲ Золотые серьги с фианитами

1. **Железо** – это первый металл, который человек научился ковать и плавить.
2. **Фианит** – натуральный минерал, который образуется из магмы.
3. Первое месторождение алмазов в России открыла **женщина-геолог**, изучая речные россыпи на содержание красного граната – пироба.
4. По минералу **кварцу** узнали возраст Земли.
5. Минерал **гидроксилапатит** входит в состав вашего организма.
6. **Киноварь** – безопасный минерал, который используют в ювелирном деле и медицине.
7. **Платину** в составе препаратов используют для лечения рака.
8. Большая часть лекарственных препаратов сделана из **нефти**.
9. В земной коре больше всего **алюминия** и **водорода**.



▲ Платиновый самородок

10. **Руда** — это кусок металла в недрах земли.

11. Чтобы найти руду, использовали **собак** и **растения**.

12. Крупнейшее скопление **железной руды** занимает площадь, сравнимую с территорией Туниса (более 160 тысяч квадратных километров).



▲ Железная руда

13. На территории России когда-то были **тропики** с жарким влажным климатом и пышной растительностью.

14. Миф о «**золотом руне**» — реальная история. В древности россыпное золото добывали с помощью овечьих шкур.

15. На горно-обогатительных комбинатах по извлечению золота из руд работают не только люди, но и **бактерии**.



▲ Горно-обогатительный комбинат





ЧТО ТАКОЕ МИНЕРАЛ

Самоцветы в украшениях, песчинки на морском берегу, зернышки в булыжнике, часть метеорита, соль, которую вы добавили в еду, и даже ваши кости и зубы — все это минералы. Получается, минералы окружают нас повсюду, но что мы знаем о них? Твердые, разноцветные, рождаются в недрах Земли — это далеко не исчерпывающий ответ. Ведь существуют минералы, которые мягче вашего ногтя, большинство минералов тусклые, а некоторые минералы формируются из морской воды. Так что же такое минерал?

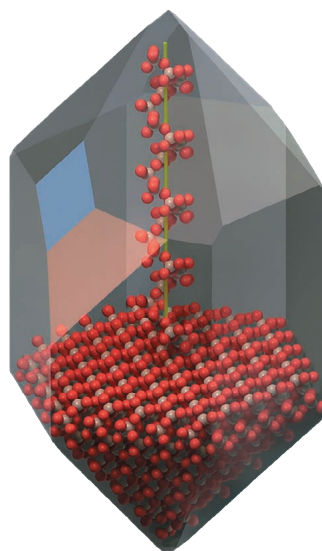
Минерал — это природное тело, которое имеет четко определенный химический состав и кристаллическую структуру, то есть атомы химических элементов внутри минерала расположены в строгом порядке.

Атом — мельчайшая частица химического элемента. Он состоит из ядра, в котором есть протоны и нейтроны, и электронов.

Химический элемент — совокупность атомов с одинаковым числом протонов (положительно заряженных элементарных частиц).

Один из самых распространенных минералов земной коры — **кварц** — состоит из атомов кремния и кислорода (его формула SiO_2). Эти атомы выстроены в четкой последовательности: каждый атом кремния связан с четырьмя атомами кислорода, а каждый атом кислорода — с двумя атомами кремния. Такая структура образует прочную кристаллическую решетку, благодаря которой кварц обладает высокой твердостью.

Если несколько минералов похожи по химическому составу, их объединяют в один класс. Так была создана современная классификация минералов. В ней есть как простые вещества, состоящие из одного химического элемента, так и сложные минералы, в составе которых может быть больше десяти химических элементов.



◀ Кристаллическая структура кварца: белые — атомы кремния, красные — атомы кислорода



Кристалл ▶
кварца

КЛАССЫ МИНЕРАЛОВ

- **Самородные элементы** — это минералы, состоящие из одного химического элемента. Ученые разделяют их на самородные металлы — золото (Au), серебро (Ag), медь (Cu), самородные полуметаллы — висмут (Bi), сурьма (Sb) и самородные неметаллы — графит (C) и сера (S).
- **Сульфиды** — соединения металлов с серой: пирит (FeS_2), халькопирит (CuFeS_2), галенит (PbS), молибденит (MoS_2), сфалерит (ZnS).
- **Оксиды и гидроксиды**, основа которых кислород: кварц (SiO_2), корунд (Al_2O_3), магнетит (Fe_3O_4), гематит (Fe_2O_3), касситерит (SnO_2).
- **Галоиды** (галогениды) — соединения металлов с галогенами (хлором, фтором, йодом): галит (NaCl), сильвин (KCl), карналлит ($\text{KCl}\cdot\text{MgCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$), флюорит (CaF_2).
- **Карбонаты** — это минералы, в составе которых есть уголекислота — соединение углерода и кислорода. Самые распространенные минералы этого класса — кальцит (CaCO_3), сидерит (FeCO_3), доломит ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) и магнезит (MgCO_3).
- **Сульфаты** состоят из серы, кислорода и других элементов. К ним относятся гипс ($\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$), ангидрит (CaSO_4), барит (BaSO_4) и целестин (SrSO_4).
- **Фосфаты** обязательно содержат фосфор и кислород, а также другие элементы. Главный представитель класса — апатит ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{Cl},\text{OH})$).
- **Силикаты и алюмосиликаты** состоят в основном из кремния и кислорода, но всегда содержат и другие элементы: алюминий, железо, магний, кальций, калий, натрий. Это самый многочисленный класс минералов на Земле. Плагиоклазы ($(\text{Na},\text{Ca})\text{AlSi}_3\text{O}_8$), калиевые полевые шпаты (KAlSi_3O_8), оливин ($(\text{Mg},\text{Fe})_2\text{SiO}_4$), гранаты, слюды, роговая обманка — важнейшие минералы из класса силикатов.

ПОРЯДОК В АТОМНОМ СТРОЮ

Минералы иногда встречаются в виде кристаллов, потому что они имеют внутреннюю структуру в виде кри-

сталлической решетки. В ней мельчайшие частички кристаллов (атомы, ионы или молекулы), как солдаты

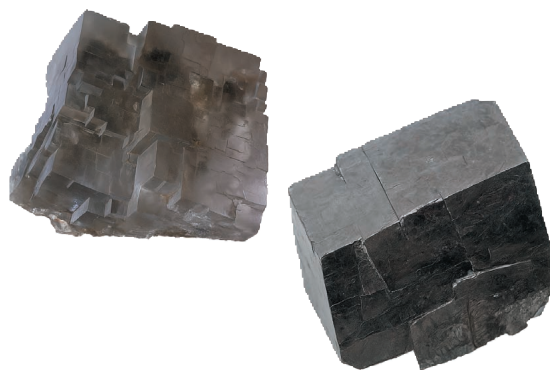
в строю, всегда расположены в строгом порядке. То, как устроен кристалл изнутри, отражается на его форме. Не случайно в призматическом кристалле кварца и в ромбическом — топаза атомы расположены по-разному.



▲ Призматический кристалл кварца (слева) и ромбическая форма топаза (справа)

У минералов есть родные братья — **минералоиды**. Они, так же как и минералы, имеют определенный химический состав, но не имеют кристаллической структуры. У янтаря, опала и обсидиана атомы химических элементов расположены беспорядочно, как в стекле, поэтому их нельзя отнести к настоящим минералам.

А вот в «кубиках» галита (NaCl) и галенита (PbS) частички размещены очень похоже, хотя химический состав этих минералов разный.



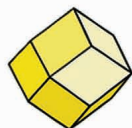
▲ «Кубики» галита (слева) и галенита (справа)

В любом случае, расположение частичек подчиняется закону симметрии, как будто в кристалле проведены невидимые оси, линии и плоскости, благодаря которым он вырос симметричным — одинаковым в отраженных направлениях. Именно по степени симметричности ученые подразделяют кристаллы на сингонии: кубическую, тетрагональную, ромбическую, гексагональную, тригональную, моноклинную и триклинную.

Сингония (от греческого «син» — **сходный**, «гония» — **угол**) — это система, с помощью которой кристаллы можно разделить на группы по их форме и симметрии.

▼ Сингонии и примеры минералов

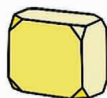
кубическая



гранат



шпинель



галит



пирит

тетрагональная



апофиллит



рутил



циркон



вильфенит

ромбическая



барит



оливин

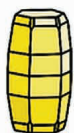


топаз



сера

гексагональная или тригональная



корунд (рубин, сапфир)



кварц



ильменит

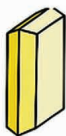


кальцит

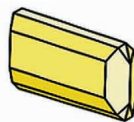
моноклинная



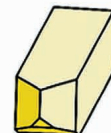
диопсид



гипс



эпидот

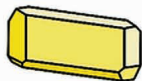


ортоклаз

триклинная



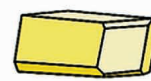
альбит



волластонит



кианит



родонит

ИГЛЫ, СТОЛБИКИ И ЧЕШУЙКИ

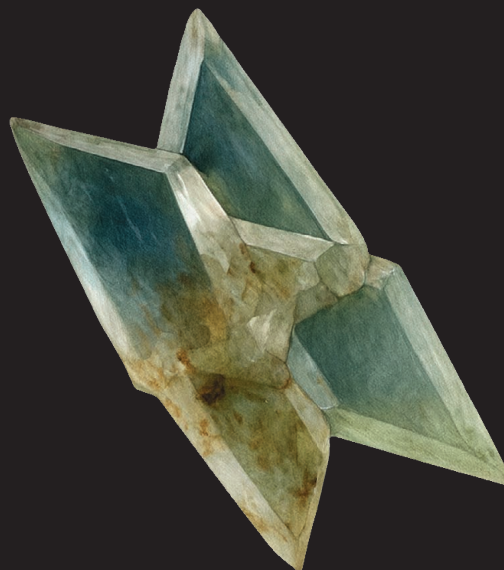
Природа создает невероятные формы кристаллов: ровные кубики, вытянутые столбики, тонкие иголки, плоские листики или чешуйки. Иногда кристаллы срастаются вместе и образуют красивые друзы или плотные массы. И все это многообразие определяется их внутренним строением и условиями роста.

Форма кристаллов — это внешний вид, который образуется во время их роста.

Если кристалл вырос равномерно по трем взаимно перпендикулярным направлениям пространства, то он будет **изометричным** (округлым, кубическим). Такой облик имеют кристаллы граната, пирита, шпинели и галита. Если кристалл рос в каком-то одном из трех направлений — получится **вытянутая** форма в виде столбиков, призм, иголок или удлинённых волокон. Кварц, кальцит, рутил, турмалин и берилл имеют такую форму. **Уплощенные** кристаллы развиваются

▼ Штриховка кварца





▲ Одиночный кристалл гипса (слева)
и двойник срастания гипса — «ласточкин хвост» (справа)

в двух направлениях, которые лежат в одной плоскости, образуя формы табличек, пластинок, листиков или чешуек, например слюда, графит и хлорит.

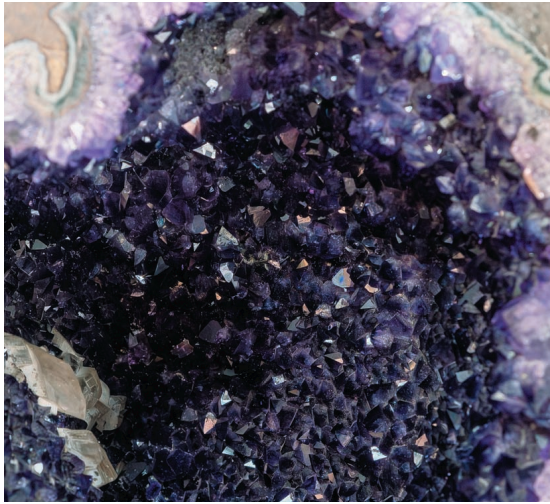
При росте на гранях минерала иногда образуются разные неровности: ямки, бугорки, штриховка — они помогают определять минералы. У кварца как раз часто видны такие мелкие штрихи.

Кристаллы могут встречаться поодиночке, но чаще они образуют **двойники срастания** или **друзы** — сросстки нескольких кристаллов.

Двойники прорастания — особая форма кристаллов, когда один кристалл может прорасти сквозь другой под определенными углами. Так образуются знаменитые «каменные кресты» ставролита.



Ставролит ►



▲ Жеода аметиста

Друзы могут выглядеть словно щетки. А иногда кристаллы заполняют округлую полость и получается **секреция**. Если же полость не заросла до конца, получается **жеода**.

А еще кристаллы могут срастаться в большие группы, образуя различные агрегаты. Они могут быть как плотными, так и довольно рыхлыми.

Зернистые, скрытокристаллические и землистые агрегаты состоят из множества мелких зерен, которые не имеют четких граней. Волокнистые, игольчатые и лучистые — похожи на длинные стрелы, собранные вместе либо расходящихся из одной точки. Столбчатые — имеют форму вытянутых столбиков или колонн. Кристаллы таблитчатых агрегатов напоминают тонкие плитки или дощечки. Слово листики или чешуйки выглядят пластинчатые агрегаты минералов. Почковидные — похожи на округлые бугры или гроздь винограда. Существуют натечные агрегаты, которые образуются, постепенно нарастая друг на друга: сталактиты, сталагмиты и сталагматы в пещерах.

Иногда встречаются конкреции и сферолиты — округлые агрегаты, напоминающие луковицу или шарик с лучиками внутри. А бывает и «каменная икра» — оолитовые образования.



▲ Конкреция (слева), сферолит (в центре) и оолит (справа)

КРАСКИ КАМЕННОГО МИРА

ОТ ЧЕГО ЗАВИСИТ ЦВЕТ МИНЕРАЛОВ?

Минералы часто ассоциируются с насыщенными и красивыми цветами. На самом деле большинство минералов в земной коре коричневые, желтые, бурые, белые и черные. Яркие разновидности некоторых минералов — это редкие находки, которые обычно стоят дорого. Так, довольно распространенный и тусклый корунд имеет две потрясающие по красоте разновидности: красный рубин и синий сапфир.

С древних времен яркие минералы использовали в качестве красящих пигментов: для синего — лазурит или ляпис-лазурь, желтого — лимонит, белого — мел или тальк и серого — графит. Для оранжевых и желтых цветов использовали реальгар и аурипигмент. Первые рисунки красной киноварью найдены в погребениях возрастом 9 тысяч лет, а в эпоху Возрождения киноварь была синонимом красного цвета.

▼ Минеральные краски



Правда, со временем выяснилось, что киноварь — довольно опасный минерал, ведь в ее состав входит ртуть — один из самых токсичных элементов, который может вызывать тяжелое отравление организма. В списке запрещенных минералов для живописи оказались также аурипигмент и реальгар, содержащие мышьяк, неорганическая форма которого очень опасна. Однако некоторые безопасные минералы мы до сих пор применяем для рисования каждый день. Например, начинка простого карандаша — это графит.

Цвет минералов, в первую очередь, зависит от их **химического состава**. Именно элементы и их соединения придают минералу оттенки, их называют хромофорами.

Хром, как следует из названия («хро-ма» по-гречески означает «краска») — один из главных представителей хромофоров. Содержание хрома в минералах часто обуславливает их зеленые и красные цвета. Если в среде, в которой формируется корунд, помимо алюминия и кислорода содержится еще и хром, то получится ярко-красный рубин. За насыщенный зеленый цвет в изумруде, уваровите и фуксите также отвечает хром и его соединения.

Еще одним важным хромофором является железо. Если заменить в рубине хром на железо и титан, то получится синий сапфир. В разновид-

ности берилла — аквамарине за небесно-голубой цвет также отвечает железо. Цвет восхитительно синего вивианита тоже связан с этим металлом. Однако синие оттенки — не главные для железа. Темные, бурые, красные и желтые цвета минералов часто обязаны этому металлу или его оксидам в составе. Бурые сидерит и гётит, черные гематит и магнетит — все это разнообразие возможно благодаря железу.

Другие элементы тоже могут являться хромофорами:

- марганец придает розовый и красный цвет, например родониту;
- медь и ее оксиды дают рыжий, зеленый или синий оттенки, например в малахите и азурите;
- сера в чистом виде имеет желтый цвет. Однако молекулы серы в лазурите и содалите отвечают за насыщенный синий цвет.

Иногда цвет минерала может измениться за счет **длительного воздействия света, тепла или радиации**. Если нагреть фиолетовый аметист до 1000 °С, он превратится в желтый цитрин. А тусклые голубоватые топазы можно облучить радиацией, и они приобретут глубокий синий цвет, как тот самый знаменитый цвет топаза London blue. Если же воздействовать на галит потоком



▲ Топаз цвета *London Blue*, облученный радиацией



▲ Рутил в кварце-волосатике

электронов, то он из белого превратится в синий. Все это становится возможным из-за того, что электроны под влиянием внешних факторов могут менять свое расположение в кристаллической решетке и иначе поглощать свет.

Не рекомендуется долго держать украшения с минералами под прямыми солнечными лучами — они потускнеют.

Еще одним фактором, влияющим на цвет минерала, являются посторонние **механические примеси**. Это могут быть другие минералы, например рутил в кварце-волосатике или тонковолокнистые минералы в непрозрачном розовом кварце, или органические вещества, часто придающие

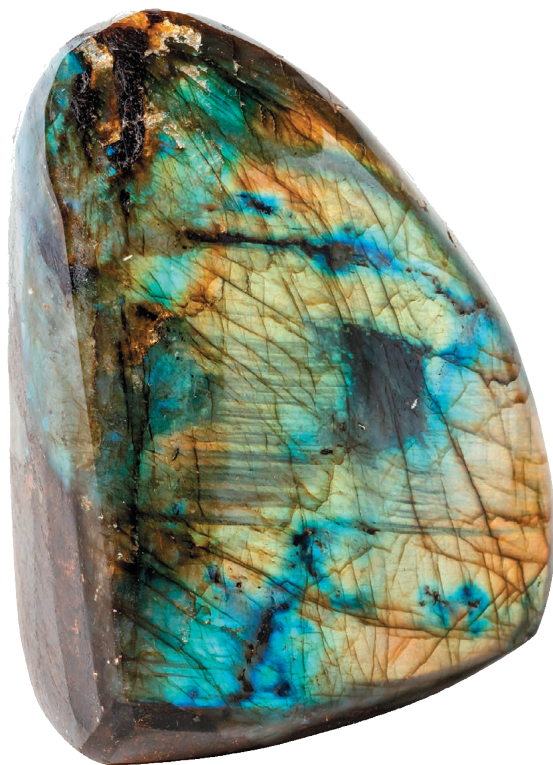
темные оттенки, или черные оксиды марганца, дендриты.

Очень часто такие красящие пигменты распределены неравномерно, как, например, в агатах или яшме.

Для некоторых минералов характерно изменение цвета не из-за химического состава, а из-за **оптических эффектов**. Иногда это происходит из-за отражения света от тонких слоев пленки сверху минерала. Такой эффект можно сравнить с игрой цвета тонкого слоя бензина в воде. Разноцветная побежалость в минералах — явление не частое, но очень эффектное. Примером может послужить минерал борнит.

Игра цвета может происходить также за счет иризации. Этот эффект можно наблюдать, когда свет отражается от разных границ внутренних слоев или микродефектов (трещинок) минерала.

Отраженные лучи перекрываются друг другом, при этом одни цвета усиливаются, другие — тускнеют, и можно наблюдать радужные переливы. Такую красоту можно увидеть, например, в лабрадоре.



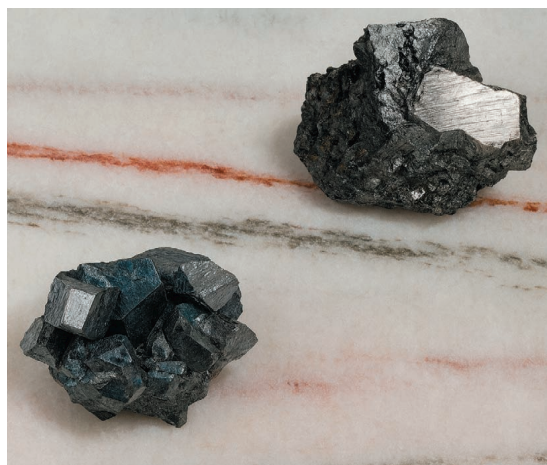
▲ Иризация в лабрадоре

Не менее красив эффект плеохроизма (от греческого «многоцветность»), который возникает из-за того, что некоторые минералы неодинаково поглощают, а затем преломляют световые лучи в разных направлениях. Именно так меняет окраску в зависимости от освещения александрит (разновидность хризоберилла): днем он зеленоватый, а вечером — розовый.



▲ Александрит при разном освещении меняет цвет

Мы видим, что цвет минерала часто обманчив, он может изменяться из-за примесей или окисления. Надежнее проверять цвет минерала в порошке, который всегда отражает его истинный состав. Для этого не обязательно стирать минерал в пыль, достаточно провести им черту по неглазурованной (шершавой) фарфоровой пластинке. Такой метод помогает отличать похожие друг на друга минералы. Гематит и магнетит иногда имеют одинаковый черный цвет кристаллов, но черта у них всегда разная: у магнетита — серо-черная, а у гематита — красная.



▲ Магнетит и его серо-черная черта (внизу) и гематит и его красная черта (вверху)

СВЕРКАЮЩИЕ КАК БЛЕСТКИ, ТУСКЛЫЕ КАК СТАРЫЕ КИРПИЧИ

БЛЕСК МИНЕРАЛОВ

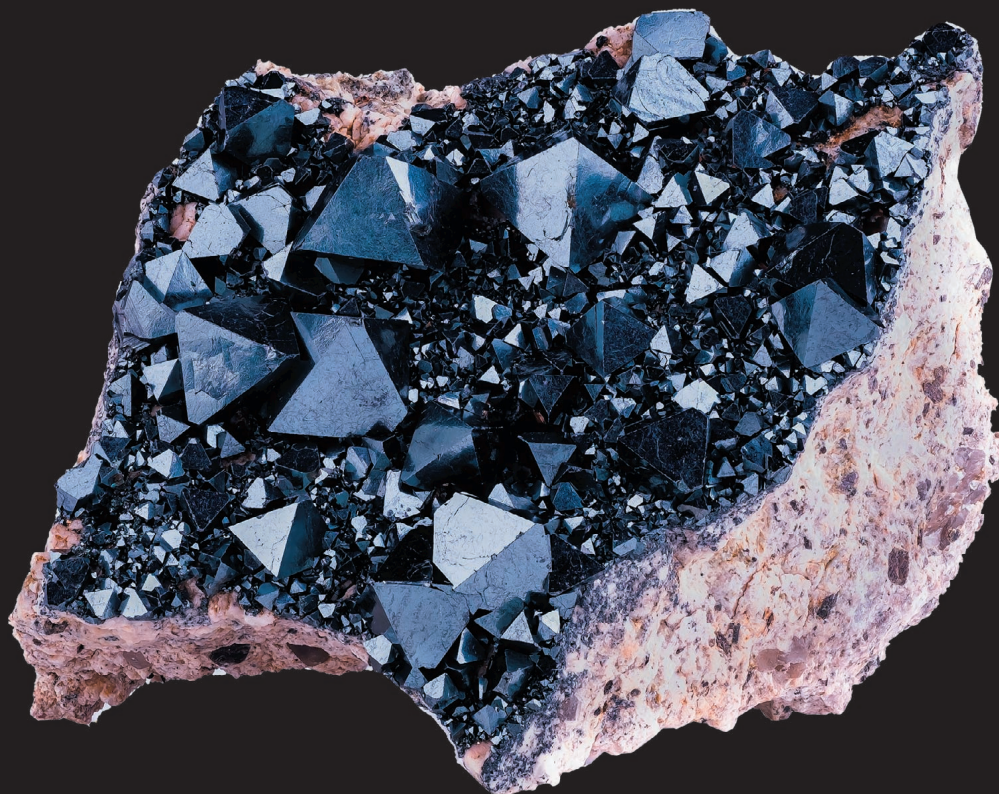
Существует еще один важный признак, по которому минералы отличают друг от друга — это блеск. На первый взгляд может показаться, что любой кристалл засияет, стоит ему попасть под луч солнца. Но мир минералов полон сюрпризов: одни минералы, действительно, сверкают, как блески, другие светятся нежным сиянием, а некоторые остаются матовыми, как кирпичи. Давайте разберемся, от чего зависит блеск минералов. Представьте, что луч света — это струя воды из шланга. Если направить ее на зеркало, то брызги разлетятся во все стороны. А если на песок, то вода впитается. Так происходит и с лучами света: от ровных и гладких граней минерала лучи отражаются хорошо, а шероховатая поверхность рассеивает (впитывает) их.

Блеск — способность минерала отражать свет от своей поверхности.

Все видели, как блестит сталь или бронза. Среди минералов тоже есть представители, обладающие **металлическим** блеском. Это все самородные металлы (золото, серебро, медь, платина), а также сульфиды (пирит, халькопирит, халькозин, галенит, антимонит).



▼ *Металлический блеск пирита*



▲ Полуметаллический блеск магнетита



▲ Стекланный блеск кварца

Полуметаллический блеск напоминает потускневшие от времени серебряные украшения. Таким блеском обладают хромшпинелид, магнетит и гематит.

Прозрачные и светлые минералы чаще всего имеют **стеклянный** блеск. Кварц, полевые шпаты, кальцит, топаз, берилл сверкают на солнце, как стекло.

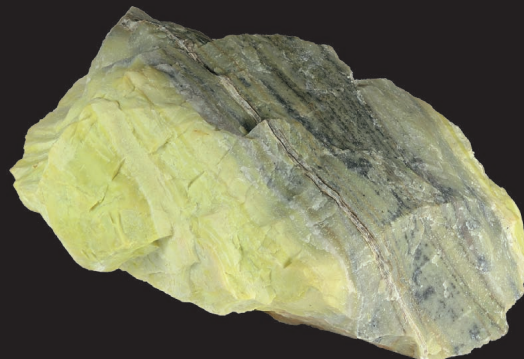
Минералы с **алмазным** блеском сияют, как яркие звезды. Конечно же, такой блеск имеет алмаз, а еще киноварь, аурипигмент, реальгар и сфалерит.



▲ Алмазный блеск сфалерита

Разнообразные включения и трещинки всегда ослабляют блеск, делая поверхность минерала более шероховатой.

Вспомните, как отражает свет сливочное масло. Таким же **жирным** блеском обладают некоторые минералы — серпентин или нефелин. Иногда так отражают свет не сами грани кристалла, а его сколы — у кварца и самородной серы излом блестит, будто его намазали маслом. Смола и воск тоже блестят по-особенному. Таким **матовым** отливом обладают халцедон и опал. Волокнистые минералы, такие как асбест или селенит, дают **шелковистый** блеск, словно они покрыты тончайшей шелковой тканью. Еще один редкий, но очень красивый отлив — **перламутровый**. Слюдя и гипс мягко переливаются на свету как внутренности морской раковины.



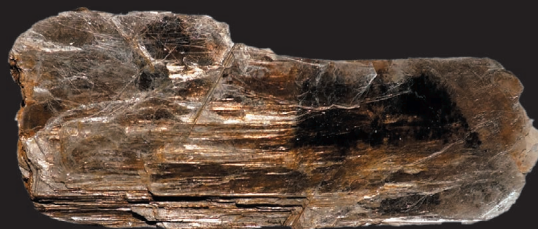
▲ Жирный блеск серпентина



▲ Матовый блеск халцедона



▲ Шелковистый блеск селенита



▲ Перламутровый блеск мусковита

МЯГЧЕ НОГТЯ, ТВЕРЖЕ СТАЛИ

ТВЕРДОСТЬ МИНЕРАЛОВ

Все ли минералы очень твердые? Нет! Существуют минералы, которые вы можете поцарапать своим ногтем — это тальк и гипс. Даже некоторые металлы довольно мягкие. Например, у чистого самородного золота твердость низкая, и на настоящем золоте легко оставить след от укуса. Именно поэтому в старину золотые монеты проверяли... зубами.

Твердость — это степень сопротивления, которое способен оказать минерал внешнему механическому воздействию.

Минералы можно сравнить между собой, поцарапав их друг другом. Более твердые оставят царапину на более мягких. Например, кварц всегда будет царапать очень похожий на него кальцит.



▲ Тальк

Чтобы минералы было легче сравнивать, в 1811 году немецкий ученый Фридрих Моос предложил свою шкалу относительной твердости, которой геологи пользуются до сих пор. В ней минералы расположены в порядке увеличения твердости от самого мягкого — талька — со значением 1 до самого твердого — алмаза — со значением 10. Шкала Мооса отражает лишь относительную твердость минералов. Для определения абсолютной твердости проводят специальные анализы, например склерометрами. Согласно данным этого прибора, твердость алмаза выше талька не в 10, а в 1600 раз! Но для полевого определения твердости использование шкалы Мооса — быстрый и надежный метод.

От чего же зависит твердость кристаллов? В первую очередь от прочности связей атомов внутри кристалла. Чем сильнее эти связи, тем атомам сложнее сдвинуться с места.

Большая часть минералов обладает твердостью от 2 до 6. Более твердые минералы принадлежат к безводным оксидам и силикатам, к которым относятся большинство драгоценных камней — рубины, сапфиры, топазы, изумруды, аквамарины и аметисты. Все они имеют высокую твердость — от 7 до 9, поэтому легко царапают стекло.

Минерал	Твердость	Чем проверить?
 Алмаз	10	
 Корунд (рубин, сапфир)	9	Сверло для каменной кладки (8,5) 
 Топаз	8	
 Кварц	7	Стальной гвоздь (6,5) 
 Ортоклаз	6	Нож (5,5) 
 Апатит	5	
 Флюорит	4	Медная монета (3,5) 
 Кальцит	3	
 Гипс	2	Ноготь (2,5) 
 Тальк	1	

▲ Шкала Мооса



▲ Кварц царапает стекло

Когда в руке лишь один минерал, с чем его можно сравнить, чтобы определить твердость? С ногтем, медной монетой, ножом или стеклом! Твердость ногтя — 2,5 (это выше гипса), медной монеты — 3,5 (это выше кальцита), ножа и стекла — около 6 (это выше флюорита и апатита).

КРЕПКИЕ СНАРУЖИ, ЛОМКИЕ ВНУТРИ

ХРУПКОСТЬ МИНЕРАЛОВ

Можно ли разбить самый твердый минерал молотком? Да! Нужно помнить, что твердость не равна прочности. Так, например, алмаз при его высочайшей твердости довольно хрупок, его можно расколоть сильным ударом молотка.

Хрупкость — это способность минерала раскалываться и крошиться при сильном ударе или надавливании на него.

Прочность — это способность минерала сопротивляться разрушению из-за удара, падения или давления на него.

Существует легенда, которая отлично иллюстрирует хрупкость алмаза. В 1477 году швейцарцы захватили сокровищницу французского герцога Карла Смелого. Чтобы проверить подлинность алмазов, они стали бить камни друг о друга, думая: «Настоящий алмаз не разрушится!». В итоге они раскрошили все найденные в сокровищнице камни. Вот так непонимание разницы между твердостью и прочностью привело к утрате целой коллекции алмазов в средневековой Европе.

Почему же минералы крошатся? Все дело в решетке — той самой, из которой состоит кристалл. Если атомы в решетке крепко держатся друг за друга, минерал будет прочным. Но если

связи между атомами слабые, то минерал хрупкий и легко раскалывается.

Самые прочные минералы — это нефрит, жадеит и корунд (рубин, сапфир). Самые же хрупкие минералы — это кальцит, флюорит, галит (каменная соль), самородная сера, апатит.

Раскалываются минералы по-разному. У одних появляются гладкие грани, как если сломать шоколадку точно по линиям между плитками. У других поверхность получается неровная, как если отколоть кусочек от льдинки. Почему

так получается? Дело в связях между атомами. В кристаллической решетке в одном направлении «сцепка» между атомами может быть сильнее, а в другом слабее — и трещина пойдет именно в этом месте, образуется гладкий и ровный скол. Представьте, что атомы — это люди в хороводе. Вот один человек узнал своего друга и крепко взял его за руку, а вторую руку пришлось дать незнакомцу и держать его неуверенно. Если кто-то попытается разорвать хоровод, легче всего это будет сделать там, где руки держатся слабо.



▲ Топор из нефрита



▲ Резной нефритовый шар

Нефрит имеет самую высокую ударостойкость среди минералов. Он состоит из тончайших переплетенных волокон. При ударе эти волокна не ломаются, а чуть пружинят, равномерно распределяя ударную силу. В Древнем Китае настолько ценили этот зеленый минерал, что археологи выделяют в истории Китая особый период — «нефритовый век» (5,5 — 4 тысячи лет назад). В то время нефрит для китайцев был не просто прочным материалом для изделий, а символом власти, благородства и внутренней чистоты. Нефритовые предметы — ритуальные диски, топоры, фигурки животных — часто находят в захоронениях правителей и знати (Demattè, 2006).



▲ Совершенная спайность галита (слева) и раковистый излом (несовершенная спайность) опала (справа)

Спайность — это способность минерала раскалываться по определенным направлениям, образуя при этом более или менее ровные поверхности.

Самые совершенные в этом отношении минералы — слюды и хлорит. Их можно ногтем расщепить на отдельные тончайшие пластинки. По гладким зеркальным поверхностям (совершенной спайности) легко опреде-



▼ Упругость слюд

ляют полевые шпаты, кальцит, галенит, молибденит, антимонит и галит. Средним уровнем спайности обладают пироксены. Неровный скол (не совершенная спайность) характерен для апатита, серы, пирита, халькопирита, кварца, золота, меди и корунда. По-другому такой скол называют раковистым изломом, так как он похож на закругленную раковину моллюска изнутри.

Некоторые слюды можно согнуть, как пластиковую линейку, и они не сло-

маются, а выпрямятся обратно. Эту способность возвращаться в свою исходную форму после давления или сгибания называют упругостью. При этом кристаллическая решетка слюд временно меняет форму и размеры, а потом снова становится такой, как была. Это помогает отличать упругие слюды (флогопит, мусковит и биотит) от похожих на них хрупких слюд, которые при сгибании ломаются, и от хлоритов — они тоже не ломаются, однако обратно не восстанавливаются.

ЧЕМПИОНЫ В ТЯЖЕЛОМ ВЕСЕ

ПЛОТНОСТЬ МИНЕРАЛОВ

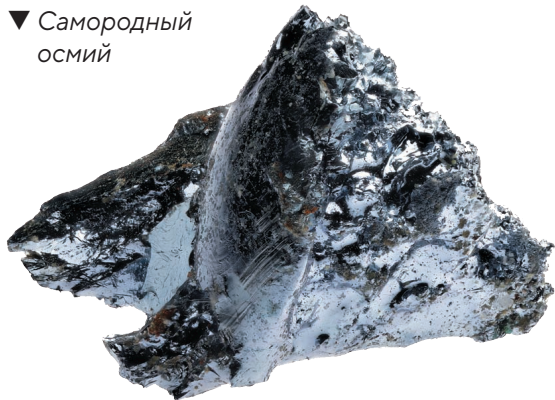
Это свойство минералов помогает искать россыпи благородных металлов в речном песке и отличать похожие друг на друга минералы. Плотность, или удельный вес, является одним из самых постоянных свойств любого вещества.

Взяв в одну руку два похожих минерала, вы тут же различите тяжелый барит, который обладает высокой плотностью $4,5 \text{ г/см}^3$, и легкий кальцит с плотностью 3 г/см^3 . Графит тоже можно отличить от похожего на него молибденита, просто взвесив оба минерала. Молибденит, состоящий из молибдена и серы, будет почти в два

с половиной раза тяжелее графита — чистого углерода.

Несложно догадаться, что плотность зависит от атомной массы химических элементов, из которых состоит кристалл. Минералы, в составе которых есть элементы со значительной атомной массой (свыше 55), часто имеют высокую плотность. К таким элементам относят ванадий, хром, марганец, железо, кобальт, никель, медь, цинк, галлий, германий, цирконий, ниобий, молибден, кадмий, олово, сурьма, теллур, лантаноиды, гафний, тантал, вольфрам, ртуть, таллий, свинец, висмут, торий и уран.

▼ Самородный осмий



▲ Самородный иридий

Чемпионами же в тяжелом весе среди минералов являются самородные металлы:

- первое место — металлы группы платины осмий и иридий ($22,5 \text{ г/см}^3$);
- второе место — платина ($21,4 \text{ г/см}^3$);
- третье место — золото ($19,3 \text{ г/см}^3$).

Именно благодаря этому свойству возможен поиск благородных металлов путем промывания речного песка. В некоторых местах на Земле образуются **россыпи** — места, где в речном песке накапливаются крупинки золота или платины. Обычный песок легче золотого или платинового, поэтому при опускании лотка в воду песчинки с легкостью смываются, а крупинки металлов остаются на дне.

◀ Самородная платина



▼ Самородное золото



Старатели — люди, которые поодиночке или в небольших группах искали и намывали золото или платину. Давайте посмотрим, как они это делали:

1. Для начала они находили россыпное месторождение (обычно там, где течение реки замедлялось).
2. Лотком зачерпывали со дна песок вместе с водой.
3. Перемешивали, сливали растворенную глину, выкидывали крупные камни.
4. Добавляли воды и медленно крутили лоток, пока песок не вымывался, а на дно не оседали крупинки благородных металлов.
5. Аккуратно сливали воду, а золото или платину перекладывали в баночку.



ГОРЯТ, РАСТВОРЯЮТСЯ И ПАХНУТ

НЕОБЫЧНЫЕ СВОЙСТВА МИНЕРАЛОВ

Минералы могут удивлять не только формой, цветом и твердостью. Некоторые могут гореть, другие светятся в полной темноте, а есть и такие, что имеют резкий запах или специфичный вкус.

Радиоактивность проявляется в минералах, в составе которых есть уран, торий или калий. Атомы этих элемен-

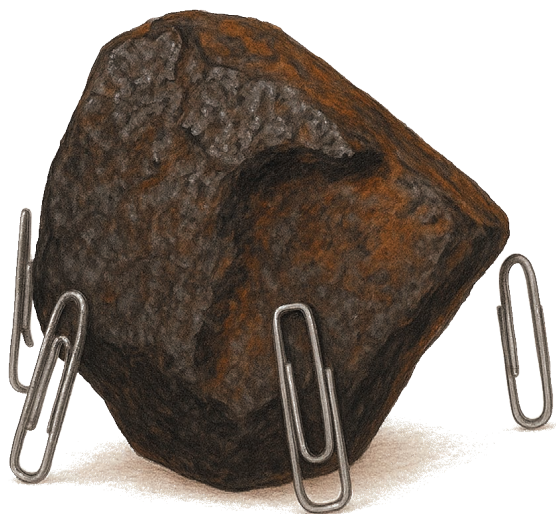
тов неустойчивы и со временем сами по себе распадаются, выделяя при этом невидимое излучение, которое может проникать сквозь объекты. Уранинит, торит, монацит — минералы, которые с легкостью определяют с помощью специальных приборов. Радиометры и гамма-спектрометры помогают находить не только залежи урана и тория, но и руды редкоземельных элементов, золота, меди, вольфрама и фосфора, поскольку в составе таких руд часто есть примеси радиоактивных элементов.

Некоторые минералы, содержащие железо, обладают сильными **магнитными свойствами**. Магнетит и пирротин способны намагничиваться — создавать собственное магнитное поле. Это делает их важными не только в геологии



▲ Гамма-спектрометр и радиоактивный монацит

для поиска руды, но и в навигации, поскольку по ориентации их кристаллов можно определять направление линий магнитного поля Земли.



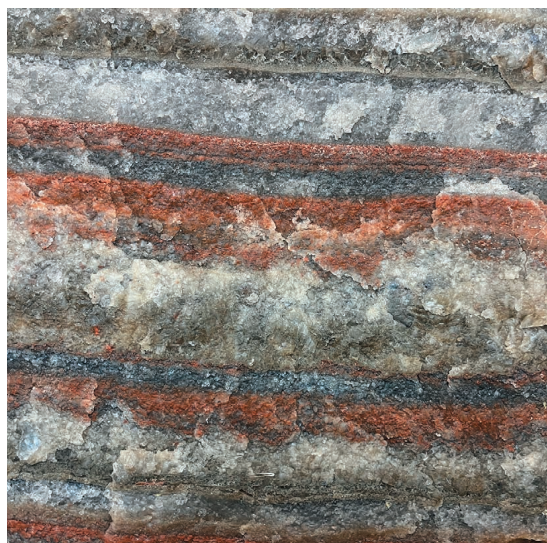
▲ *Магнетит*

Некоторые минералы хорошо **проводят электрический ток**. Самородные металлы и сульфиды как раз ищут в недрах с помощью электроразведки. Но хорошими электропроводниками являются не только металлы. Удивительно, но графит справляется с этой задачей не хуже, и именно благодаря этому свойству его активно используют в электронике.

Горение — это быстрое окисление с выделением тепла и света. Однако гореть способны только избранные минералы — те, в составе которых имеются сера или углерод. Самородная сера легко воспламеняется и горит красивым синим пламенем. Сульфиды,

особенно пирит, при нагревании тоже могут окисляться, выделяя тепло и сернистый газ.

Когда вы добавляете поваренную соль (минерал галит) в суп — она неизменно **растворяется** в воде. Такой особенностью обладает не только галит, но и все минералы галогенидов — соединений фтора, хлора, брома и йода с другими элементами. Существуют также минералы, которые хорошо растворяются в кислотах. Кальцит быстро разрушается в соляной кислоте, и при этом шипит, бурно выделяя углекислый газ. А еще у галогенидов есть **вкус!** Галит соленый, сильвин и бишофит горькие, а карналлит жгучий горько-соленый. В составе этих минералов имеются хлор, натрий, калий, магний и часто бром, поэтому долго лизать эти минералы не стоит, избыток этих элементов в организме может навредить здоровью.



▲ *Галит и сильвин*

Не поверите, но некоторые кристаллы даже **пахнут!** Рудокопы давно обратили внимание, что сульфидные руды имеют резкий запах сернистого газа, который похож на запах зажженной спички. Арсенопирит при ударе по нему молотком издает чесночный аромат. Правда, такую приправу лучше не добавлять в борщ — с мышьяком, который входит в арсенопирит, такой обед может стать последним.

ЛОХМАТЫЕ РАЗВЕДЧИКИ НЕДР

В XX в. для поиска сульфидных руд в Финляндии и у нас, в Карелии, использовали специально обученных собак! Оказалось, что рудорозыскные собаки могут даже различать минералы из группы сульфидов. Лохматыми разведчиками были обнаружены сульфидные месторождения, залегающие на глубинах до 12 м. К сожалению, большинство руд расположено ниже, и собаки уже не могут находить их на такой глубине.

Некоторые минералы могут светиться в темноте! Это чудесное свойство называют **люминесценцией**, то есть свечением под действием ультрафиолетового или рентгеновского излучения. Она возникает из-за того,

что в кристаллической решетке минералов иногда есть особые атомы или дефекты, способные накапливать ультрафиолетовую или рентгеновскую энергию и потом отдавать ее в форме видимого светового излучения.

Так, флюорит светится синим или фиолетовым, кальцит — красным, шеелит — ярко-голубым, топаз — желтым, апатит — зеленым, а вольфрамит — зеленовато-желтым. Геологи используют это свойство, чтобы быстрее находить и определять минералы в лаборатории и даже прямо в полевых условиях с помощью портативных УФ-ламп.



▲ Люминесценция

ОТ БОЛЬШОГО ВЗРЫВА ДО ГОРНОЙ ПОРОДЫ

КАК РОЖДАЮТСЯ МИНЕРАЛЫ

Большинство минералов образуются глубоко под землей. Из них состоит земная кора — тонкая верхняя оболочка нашей планеты. Но на самом деле рождение минералов начинается не в глубинах Земли. Чтобы узнать, где начало этого процесса, надо отправиться к далеким звездам. Все минералы состоят из химических элементов. Значит, и свой путь они начинают там, где появляются эти элементы, — в космосе. И у каждого элемента своя биография.

Водород и гелий, самые легкие элементы, возникли в первые минуты Большого взрыва — сразу после рождения Вселенной.

Элементы от **углерода** до **железа**, а также **титан, барий, молибден** рождаются внутри звезд. Там идут ядерные реакции: легкие атомы сливаются в более тяжелые.

Водород и гелий могут летать по космосу в виде быстрых «пуль» — космических лучей, которые врезаются в большие атомы углерода, кислорода и других элементов и раскалывают их. Из этих «обломков» получаются **литий, бериллий и бор**.

Атомы тяжелее железа (**кобальт, никель, медь, цинк, серебро, олово, пла-**

тина, золото, уран и др.) образуются при захвате нейтронов, когда к ядру атома «прилипают» свободные нейтроны. Это может происходить медленно, как в старых звездах-гигантах, или очень быстро — во время взрывов сверхновых и столкновений нейтронных звезд.

Но в любом случае, когда звезды умирают и взрываются, эти элементы разлетаются в космосе в составе звездной пыли.

Атом — это крошечная частица химического элемента. Он состоит из ядра, в котором есть положительно заряженные **протоны** и незаряженные **нейтроны**. Вокруг ядра на разных энергетических уровнях находятся отрицательно заряженные **электроны**.

Постепенно частицы этой пыли притягиваются друг к другу и образуют различные космические объекты, в том числе планеты. Около 4,5 миллиарда лет назад пылинки стали частью супергорячей Земли. С тех пор наша планета постепенно остывает.

Сейчас она похожа на недоваренное яйцо, в котором скорлупа — это тонкая земная кора, белок — теплая вязкая мантия, а желток — горячее твердое ядро.

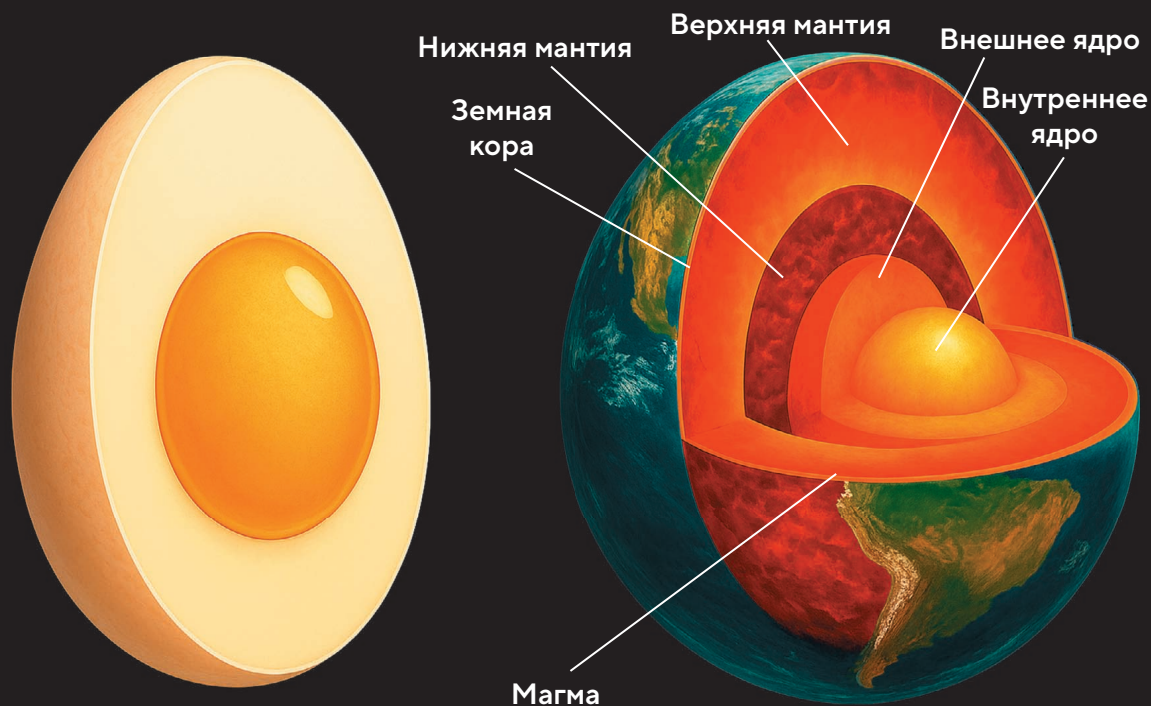
Ядро — центральная и самая глубокая часть планеты. Оно состоит из жидкого внешнего ядра, которое сформировано из железа и никеля, и твердого внутреннего, которое содержит в основном железо.

Мантия — срединный слой планеты. Мантия состоит из твердого, но подвижного вещества, разнообразного по составу. Она занимает 80 % объема всей Земли. В ее верхней части из-за

повышенных температур мантийное вещество (перидотит или эклогит) может плавиться и превращаться в магму.

Магма — это горячий «сироп» из химических элементов, которые выплавились из мантии. Когда этот «сироп» медленно остывает, химические элементы начинают соединяться между собой и затвердевать — так зарождаются **минералы**.

Минералы постепенно срастаются и образуют **горные породы**. Из них с течением времени сложилась **земная кора** — самый тонкий, но самый прочный слой Земли.



▲ Яйцо в разрезе и Земля в разрезе



Земная кора на 80 % состоит из **магматических пород** (гранит, базальт и другие), образованных при застывании магмы. Но есть породы, которые образовались в иных условиях.

Осадочные породы формируются на поверхности Земли из обломков других пород (песчаник, галька), при химическом осаждении минералов из морской или озерной воды (эвапориты: гипс, галит, кальцит), из больших скоплений остатков панцирей морских организмов (органогенный известняк — ракушечник).

Метаморфические породы («мета» по-гречески означает «изменение», «морфе» — «форма») преобразуются глубоко под землей под действием высокой температуры и сильного давления из уже сформированных магматических или осадочных пород. К метаморфическим породам относят гнейс, сланец, мрамор.

Выделяют и особый тип горных пород — **гидротермальные** («гидро» по-гречески означает «вода», «терме» — «жар»). Иногда из магмы выделяются вода и газы, которые несут в себе химические соединения, проникают

в трещины горных пород, где постепенно охлаждаются, при этом минералы выпадают в осадок. Именно так образуются богатые месторождения золота, серебра меди, цинка и свинца.

Где бы минерал ни рос — в глубинах планеты или на ее поверхности, — ему, как и человеку, необходимо сбалансированно питаться. Вы уже знаете, что пищей для минералов служат химические элементы или их соединения из магмы, подземных растворов, газов и морской воды. Растущий кристалл привередливо выбирает нужные ему элементы и встраивает их в свою кристаллическую решетку. И тут важен баланс: если будет слишком мало нужных элементов, кристалл перестанет расти. Если вокруг растущего кристалла будет слишком много ненужных ему элементов — он вырастет быстро, но будет иметь несовершенную форму и содержать много примесей.

Наиболее совершенные кристаллы, с идеальными формой, цветом или прозрачностью, образуются, когда раствор или магма содержат ограниченную, но достаточную концентрацию элементов. При этом рост кристаллов происходит медленно — иногда тысячи лет.

Еще дольше образуются горные породы, так как минералы должны не только вырасти сами по себе, но и соединиться в плотные агрегаты. Осадочные породы накапливаются достаточно медленно — чтобы образовался всего лишь метр органогенного известняка, может понадобиться десятки, а иногда сотни тысяч лет

осаждения панцирей морских организмов. Гранит в недрах земли формируется при очень медленном застывании магмы, и это может занимать миллионы лет. Процесс метаморфизма может быть еще дольше — десятки миллионов лет. Таким образом, каждый минерал и горная порода — это летопись времени.

САМЫЙ ДРЕВНИЙ МИНЕРАЛ

КАК ОПРЕДЕЛИЛИ ВОЗРАСТ ЗЕМЛИ?

Возраст у минералов бывает разный. Гуляя по побережью Мертвого моря или озера Баскунчак в Астраханской области, вы можете найти кубики галита — это будут совсем молодые минералы, которые сформировались при испарении соленой воды всего несколько месяцев назад. Но ученые находят минералы, которым миллиарды лет — цирконы. Именно они помогли определить возраст нашей планеты.

Люди давно задумывались, какой возраст нашей планеты, ученые неоднократно пытались определить его и много ошибались. Первые попытки посчитать, сколько лет Земле, предпринял английский архиепископ Ашер в XVII веке. Он взял хронологию из Библии, сложил все упомянутые там родословные и увязал их с античной историей, в результате, по его расчету, Земле было примерно 5 тысяч лет (*Osborne, 1934*).

Позже Джеймс Хаттон — отец современной геологии — первым понял, что разрушение гор, накопление песка и глины в море, которые можно наблюдать, происходят очень медленно, и с такой же скоростью эти процессы протекали и в прошлом. Это означало, что Земля должна быть невероятно древней, и ей не меньше нескольких миллионов лет. Такой же результат получился у натуралиста Эдмунда Галлея, который предложил посчитать возраст нашей планеты по скорости накопления соли в океане (*Kalthoff, 2021*).

Физики тоже предлагали свой вариант вычисления возраста планеты. Лорд Кельвин рассчитал, сколько времени потребовалось бы Земле, чтобы остыть из раскаленного шара до современного состояния. Получилось от 400 до 20 миллионов лет (*Stacey, 2000*).

В XIX веке, когда геология стала отдельной наукой, Уильям Смит и Чарльз Лайель заметили, что осадочные породы расположены в строгом порядке и отражают долгие геологические эпохи. Они подсчитали толщину осадочных пород и предположили, что возраст Земли составляет сотни миллионов лет (*Lewis & Kneil, 2001*).

Все изменилось, когда было открыто явление радиоактивности. Эрнест Резерфорд предложил использовать данные о радиоактивном распаде элементов в качестве «геологических часов» (*Dalrymple, 2001*).

Впервые этот метод был применен английским геологом Артуром Холмсом. Со временем он установил, что Земле не меньше 3 миллиардов лет.

Впоследствии ученые нашли самые древние минералы на Земле — цирконы из района Джек-Хиллс в Западной Австралии. С их помощью они рассчитали возраст нашей планеты — 4,4 миллиарда лет (*Valley et al., 2014*).

А американский геохимик Клер Паттерсон, изучая метеориты, установил, что возраст Солнечной системы и Земли еще больше — 4,5 миллиарда лет (*de Laeter, 2006*).

Существуют элементы, ядра которых нестабильны и самопроизвольно распадаются. Радиоактивный уран в ходе долгой цепочки распада может превратиться в стабильный свинец, причем скорость этого процесса известна и неизменна.

Циркон — невероятно прочный минерал, застывающий из магмы. Он устойчив к разрушению и метаморфизму. А еще при его росте уран легко встраивается в кристалл, при этом туда почти не попадает свинец. Поэтому тот свинец, который потом ученые находят в минерале, в основном представляет собой продукт распада урана. Измеряя отношение урана-238 к свинцу-206, можно надежно вычислить возраст кристалла циркона.



▲ Уран-свинцовые «часы» в цирконе

КАК КАМНИ УМЕЮТ ЛЕТАТЬ

МИНЕРАЛЫ В КОСМОСЕ

Помните, мы говорили, что во Вселенной летает космическая пыль, состоящая из мельчайших частиц и химических элементов? Нетрудно догадаться, что из этого материала была «собрана» не только наша планета, но и другие планеты, их спутники, астероиды и их обломки, упавшие на Землю, — метеориты.

УБИЙЦА ДИНОЗАВРОВ

В периодической таблице вы можете найти удивительный элемент — иридий. Но в земной коре иридий — редкий гость, потому что при формировании планеты он весь ушел в ядро. Однако в астероидах и метеоритах содержание иридия намного выше.

Этот факт помог ученым понять, что 66 миллионов лет назад на Землю упал астероид. Дело в том, что после удара пыль, содержащая иридий, разлетелась по планете и попала в осадочные породы. Этот иридиевый слой по всему миру стал одним из главных доказательств падения астероида, которое явилось причиной гибели динозавров (*Alvarez et al., 1980*).

При этом сама пыль тоже не простая — в ней уже имеются крошечные кристаллы минералов: оливина, пироксена и полевых шпатов, которые образовались в атмосферах умирающих звезд. Астрофизики, изучая состав астероидов и метеоритов, поняли, что некоторые из них сохранили первичный состав Солнечной системы, а также выяснили, что они могли доставить на Землю воду и некоторые металлы (*Sarafian et al., 2014, Alexander et al., 2018*).

Астероиды — это небольшие тела, которые вращаются вокруг Солнца. Иногда их называют малыми планетами. Астероиды состоят из минералов, похожих на земные, но часто содержат необычные компоненты, которые почти не встречаются на нашей планете:

- камасит (Fe,Ni) и тэинит (Fe,Ni) — сплавы железа и никеля;
- штрайбезит ((Fe,Ni)₃P);
- цементит (Fe₃C) — карбид железа;
- карбид кремния (SiC).

Большинство астероидов углеродистые. Они состоят в основном из глины,

карбонатов и углеродистого вещества. Астероиды, образованные из оливина и пироксенов, называются каменными, или силикатными. Металлические астероиды чаще всего содержат сплавы железа и никеля.

Космические объекты меньшего размера называют метеороидами. Они образуются при разрушении астероидов и планет. Если метеороид входит в атмосферу Земли и вспыхивает, получается метеор — «падающая звезда», на которую принято загадывать желание. Если он не сгорел и упал на Землю — это уже метеорит. Метеориты, как и астероиды, состоят из силикатов (каменные) или металлов (железные). Есть также смешанный и самый редкий тип метеоритов — железо-каменные.



▲ Фрагмент метеорита из Берлинского музея естественной истории

Хондриты — это древнейшие каменные метеориты. Они сохранили первичный состав вещества, из которого формировались планеты. Названы они так, потому что в них есть хондры — маленькие округлые зерна, состоящие из оливина или пироксена.

Людей, которые ищут метеориты по всей Земле, а потом их продают, называют охотниками за метеоритами. Стоимость метеорита варьирует от 1 до



▲ Охотник за метеоритом

50 долларов за 1 грамм. Самый дорогой метеорит в мире — «Фукан» общей стоимостью 2 млн долларов.

Но не думайте, что охотиться за метеоритами просто. Чтобы найти и продать метеорит, нужно снарядить экспедицию, желательно в Антарктиду или пустыню, потому что на снежном или песчаном фоне их лучше видно. Да и сохраняются метеориты в таких условиях лучше, чем в болоте или в лесу.

КАК КАМНИ УМЕЮТ ОБМАНЫВАТЬ

ПСЕВДОМОРФОЗЫ МИНЕРАЛОВ

Представьте, что вы кусаете аппетитный кусок шоколадки — но на самом деле это оказывается... мыло! А на вид это мыло не отличить от настоящего шоколада! Так бывает и с минералами. Один минерал как бы «съедает» другой, при этом сохраняя форму исходного кристалла. Это явление называют псевдоморфозой (в переводе с греческого языка это означает «ложная форма»).

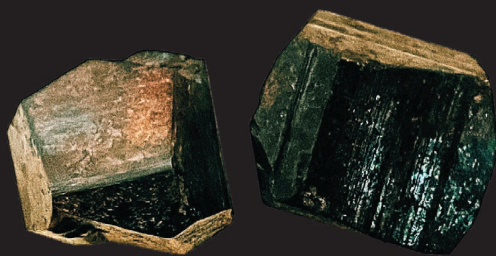
Изучение псевдоморфоз может помочь геологам выяснить причины изменения минералов и понять условия образования месторождений полезных ископаемых.

Выделяют несколько типов псевдоморфоз.

1. Псевдоморфоза превращения.

Минерал может попасть в условия, отличающиеся от условий своего формирования, и тогда он начнет меняться — превращаться в другой минерал, сохраняя при этом свою форму. Так образуется псевдоморфоза гётита по пириту: желтый пирит, состоящий из железа и серы, вступает в реакцию с кислородом и превращается в бурый гётит, в составе которого также будет железо, но в связке

с кислородом и водородом. Форма нового минерала будет, как у пирита, кубиком, а вот состав — как у гётита.

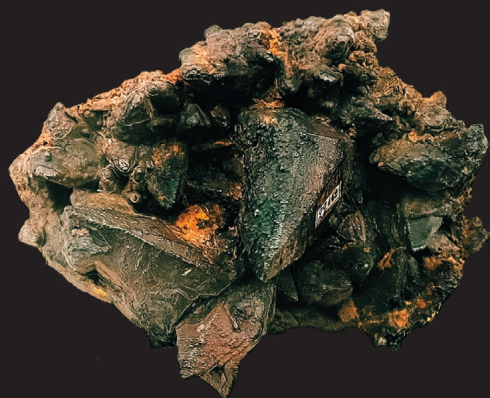


▲ Псевдоморфоза гётита по пириту.
Фото из геологического музея
им. В. И. Вернадского

2. Псевдоморфоза химического

замещения происходит, когда минерал полностью замещается другим минералом или совокупностью минералов с абсолютно иным составом. Например, псевдоморфоза лимонита по кальциту. Кальцит — это минерал, состоящий из карбоната кальция. Когда в окружающей минерал среде появляются растворы, обогащенные железом, начинается химическая реакция. Кальцит начинает растворяться, а вместо растворившегося кальцита осаждаются гидрокислы железа, то есть лимонит.

Он занимает те же пустоты, что раньше занимал кальцит, и полностью повторяет его форму.



▲ Псевдоморфоза лимонита по кальциту. Фото из геологического музея им. В.И. Вернадского

К этому типу относят самые интересные псевдоморфозы — окаменелости. Они возникают, когда органическое вещество распадается и заменяется минералами.



▲ Примером псевдоморфозы химического замещения может служить пирит по аммониту, где форму древнего моллюска полностью заместил минерал пирит

КАМЕННЫЙ ЛЕС

Один из поразительных памятников природы — Окаменевший лес в Северной Америке. Здесь можно увидеть целые поваленные деревья, которые миллионы лет назад погрузились на глубину, а затем были молекула за молекулой замещены кварцем и другими оксидами. В результате в каменных стволах видны даже годовичные кольца!



▲ Окаменевший лес в Северной Америке

ЖЕЛЕЗНЫЙ ЧЕЛОВЕК

Существует легенда о горняке, который погиб в шведской шахте в XVII веке, а спустя 50 лет его останки были найдены. Органическое вещество за годы распалось, но пирит заместил ткани, сохранив даже очертания лица шахтера. К сожалению, никаких свидетельств этому явлению уже не осталось.

3. Псевдоморфозы заполнения

возникают, если минерал полностью растворился, а остающаяся пустота в форме этого минерала заполнилась другим веществом. Например, когда галит (соль) растворился и заполнился песком.

4. Особый тип псевдоморфоза называют **параморфозой**, когда минерал сохраняет химический состав, но его внутреннее строение меняется. Снаружи все

выглядит по-старому — та же форма кристалла, тот же блеск. Но внутри него — новая «архитектура». Например, минерал, кристаллизуясь при высокой температуре, принимает одну форму. А при остывании может перейти в другую, не теряя при этом изначального облика. Так, при параморфозе арагонита по кальциту оба минерала состоят из карбоната кальция, но имеют разную кристаллическую решетку.

КАК КАМНИ УМЕЮТ ДВИГАТЬСЯ

ТЕКТОНИКА ПЛИТ

Иногда кажется, что камни — самые неподвижные объекты природы. Вот валун, который не сдвинуть, вот скала, которая стоит с начала времен. Но есть удивительное место на Земле — Долина Смерти на Западе США. Там камни умеют передвигаться, и это научный факт.

Долгое время люди замечали, что в Долине Смерти на высохшем озере Рейстрек-Плайя камни перемещаются сами по себе, оставляя за собой длинные борозды. Выдвигались разные объяснения этому явлению: от мистических — что камни двигают духи долины, до природных — что камни попросту сдувает сильный ветер.

Но вес камней оказался немаленьким — от 3 до 300 килограммов, и даже самый сильный ветер не смог бы переместить

большие валуны по сухой глине озера, так что эту версию ученые отвергли.

В 2014 году впервые удалось зафиксировать движение камней напрямую с помощью GPS и видеосъемки. Оказалось, что валуны, действительно, двигаются со скоростью 2–5 метров в минуту — примерно с такой же скоростью ползет улитка. Но это происходит лишь зимой, когда на поверхности озера образуется небольшой слой воды. Ночью вода замерзает, формируя тонкий слой льда, в который «вмораживаются» камни. Днем солнце нагревает лед, и он растрескивается на плавучие пластины. Слабый ветер толкает эти льдины по влажной глине. Когда лед полностью тает и вода высыхает, на поверхности остаются длинные борозды, будто камни двигались сами.



▲ Следы движения камней в Долине Смерти на Западе США

«Ходячие камни» в Долине Смерти — это не единственный случай перемещения горных пород. **Важнейший процесс, формирующий облик нашей планеты, — это движение литосферных плит!**

Литосферная плита — крупный жесткий блок земной коры, состоящий из слоев земной коры и верхней мантии. Вся поверхность нашей планеты разделена на несколько таких плит, которые сложены в гигантский пазл, но при этом они «плавают» по более пластичному слою — **астеносфере**.

Толщина земной коры, расположенной под материками, составляет 30–70 километров, а вместе с верхней мантией (это будет уже плита) — достигает 100–200 километров. Состоят такие плиты в основном из гранита и гнейса. Эти породы формируются преимущественно из легких элементов: алюминия и кремния, поэтому и сами материковые плиты считаются легкими. Кора под океанами тоньше — в среднем ее толщина составляет 5–10 километров. Океанические плиты (кора + верхняя мантия) порой достигают 100 километров. При этом океанические плиты тяжелее, так как состоят из базальтов, габбро и перидотитов, богатых железом и магнием — эти элементы способны образовывать плотные минералы.

Почти все горы растут, одни быстро, а другие — очень медленно. Самые быстрорастущие горы на планете — **Гималаи**, они поднимаются на 1 сантиметр в год из-за того, что Индийская плита сталкивается с Евразийской. **Кавказ** растет чуть медленнее (2 миллиметра в год, местами до 12 миллиметров в год), но все же это самые быстрорастущие горы Европы. **Алтай** наращивает 0,5–2 миллиметра в год. **Уральские горы**, хоть и считаются одними из самых древних на Земле, но тоже растут! Их скорость — меньше половины миллиметра в год.

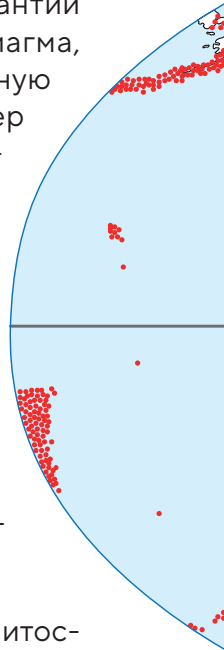
Кстати, рост гор измеряют не огромной линейкой, а с помощью той же системы GPS. Установив приборы на вершинах и склонах гор, ученые годами наблюдают, как меняются их высота и положение.

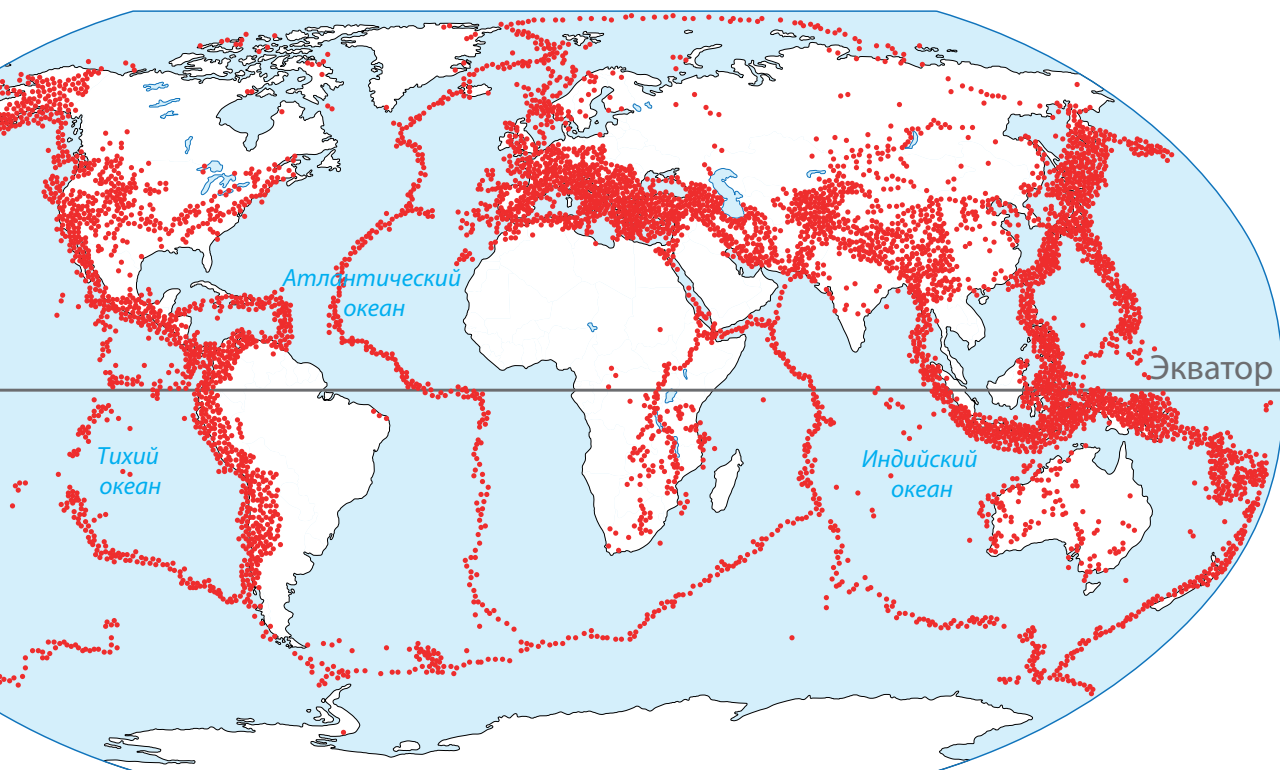
Литосферные плиты не просто «езды» по поверхности Земли — они активно взаимодействуют друг с другом. Более тяжелые подныривают под легкие — чаще всего океанические под материковые, — образуя зоны вулканизма (Камчатка, Анды), глубоководные желоба (Марианская впадина) и цепочки островов (Японские, Филиппинские). При столкновении двух материковых плит ни одна из них не может погрузиться в мантию, и тогда они сминаются. Так растут горы: Кавказ, Алтай, Урал, Гималаи, Альпы.

В некоторых местах планеты плиты, наоборот, расходятся. Там из мантии поднимается на поверхность магма, которая формирует свежую земную кору и иногда острова, например Исландию. Самые яркие примеры расхождения плит — срединно-океанические хребты. Так, именно в результате такого расхождения на дне Атлантического океана выросли самые протяженные горы Земли. Если же плиты двигаются вдоль друг друга, получаются разломы, например Сан-Андреас в Калифорнии.

Часто в местах взаимодействия литосферных плит происходят землетрясения. Они связаны с тем, что в горных породах накапливается огромная энергия напряжения из-за давления плит друг на друга. Когда породы больше не могут ее выдержать, происходит их разрыв или сдвиг, и накопленная энергия высвобождается в виде сейсмических волн. Именно эти волны заставляют землю дрожать. Самые мощные землетрясения происходили в зонах, где океаническая плита «подныривает» под материковую: на Камчатке в 1952 году, в Чили в 1960 году, на Аляске в 1964 году, в Японии в 2011 году.

За счет такого взаимодействия плит, которое называют тектоническим движением, происходят основные геологические процессы и формируется





▲ Карта землетрясений на Земле. Места землетрясений четко отражают границы литосферных плит, где происходит их взаимодействие

облик нашей планеты: растут горы, случаются землетрясения, извергаются вулканы, расширяются океаны,

формируются острова и месторождения меди, цинка, свинца, серы и других полезных ископаемых.

КАК КАМНИ УМЕЮТ ПЕРЕРОЖДАТЬСЯ

ЦИКЛ ГОРНЫХ ПОРОД

Тектоника литосферных плит отвечает не только за рост гор, вулканизм и землетрясения. В местах взаимодействия

плит происходит чудо природы — рождение новых и перерождение старых минералов.

ЦИКЛ ГОРНЫХ ПОРОД

Давайте представим **песок** на дне моря — он не так прост, как может показаться. Каждая песчинка хранит в себе удивительную историю. Ведь даже самый обычный песок проходит сложный путь в бесконечном цикле горных пород.

Кстати, **кварцит**, образованный в ходе метаморфизма, по разным причинам мог не дойти до магмы и не расплавиться, а наоборот, оказаться поднятым на поверхность Земли. Тогда он бы тоже разрушился до песка.

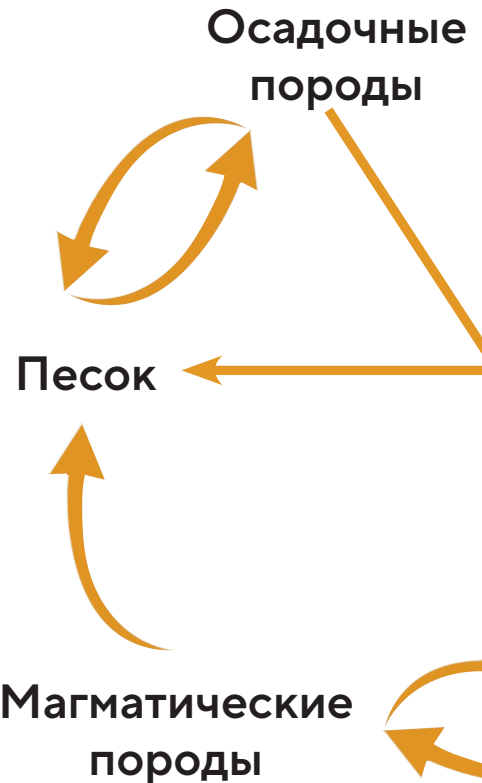
А что с гранитом? Иногда даже рожденные на самой большой глубине магматические породы могут подниматься наверх в ходе тектонических движений. Поэтому и **гранит**, попавший в условия выветривания, тоже может рассыпаться до песка. И тогда история повторится вновь: песок — песчаник — кварцит — гранит — песок!



Песок — это осадок, который может копиться миллионы лет и образовывать слои толщиной несколько сотен метров. Вдоль окраин плит осадков накапливается больше всего.



Рано или поздно базальт на поверхности начнет разрушаться из-за выветривания — действия, воды, ветра, перепадов температуры — и постепенно превратится в... **песок**.





Постепенно песчаные слои засыпаются сверху другими осадками (глиной, илом). Слои песка медленно погружаются все глубже и глубже и уплотняются. Так песок превращается в **песчаник**.



В местах погружения плит этот процесс происходит особенно активно. Песчаник опускается еще ниже, и на него начинают действовать сильное давление вышележащих слоев и высокая температура — происходит преобразование песчаника в **кварцит** — одну из самых прочных пород на земле.

Литосферная плита продолжает опускаться, и в конечном итоге кварцит под действием высоких температур превращается в магму.

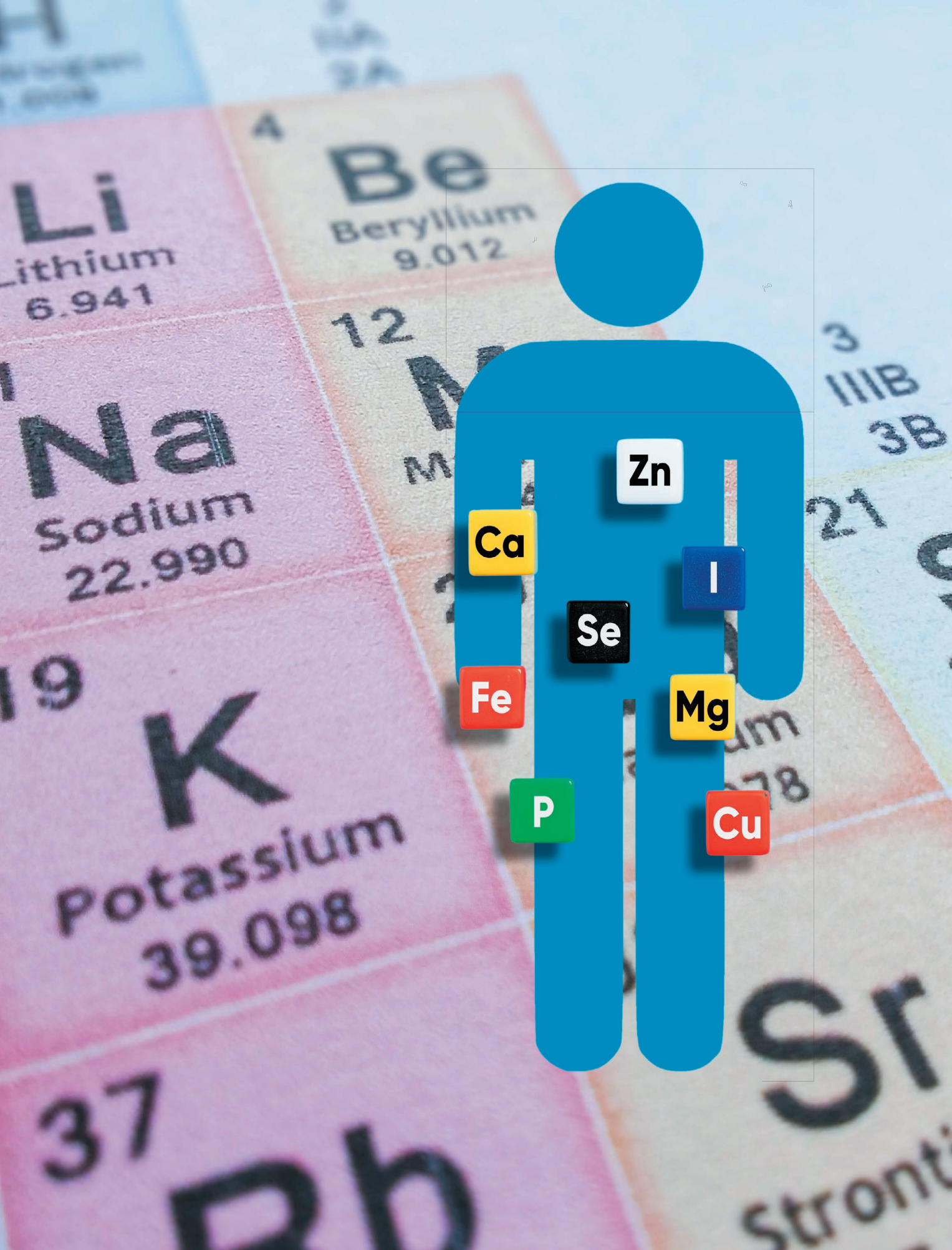


У магмы есть два пути: застыть внутри земной коры (так образуется, например, **гранит**) или подняться на поверхность через вулканы в виде лавы и затем тоже застыть (так образуется, например, **базальт**).

Все горные породы могут пройти такой цикл. Известняк, накопленный на дне моря, при погружении в недра превратится в мрамор. Затем он расплавится, оказавшись в магме, а из магмы сформируются карбонатные минералы.

Метаморфические породы

Магма



Li
Lithium
6.941

Be
Beryllium
9.012

Na
Sodium
22.990

K
Potassium
39.098

Ca
Calcium

Fe
Iron

P
Phosphorus

Zn
Zinc

Se
Selenium

Mg
Magnesium

I
Iodine

Cu
Copper

3
IIIB
3B

21

Sr
Strontium

A close-up photograph of a periodic table of elements. The focus is on the element Scandium (Sc), which has the atomic number 21 and atomic weight 44.956. Above it, the element Vanadium (V) is partially visible with atomic number 23. Below Scandium, the element Zirconium (Zr) is partially visible with atomic number 40. The background is a dark, solid color.

МИНЕРАЛЫ ВНУТРИ НАС

Люди — часть планеты, и как любой земной объект мы состоим из химических элементов. В нашем организме содержится почти вся таблица Менделеева!

Основа живых организмов — кислород, углерод, водород и азот. Без этих веществ не будет самой жизни. Но для здоровья организма важны и макроэлементы. Они содержатся в теле в гораздо меньших количествах, но каждый из них играет огромную биологическую роль. Вы могли слышать, что кальций и фосфор очень важны для костей. Калий, натрий и магний заставляют сердце биться и мышцы сокращаться, а сера делает волосы и ногти прочными.

Меньше 1% организма составляют **микроэлементы**. Они содержатся в очень маленьких количествах, но многие из них невероятно важны для определенных органов и систем. Клетки крови, которые разносят кислород по организму, нуждаются в железе. Йод и селен нужны для нормальной работы щитовидки, а цинк помогает иммунитету справляться с болезнями. Однако ученые пока не выяснили, для чего нам золото, серебро, платина, свинец, кадмий, торий, уран и другие микроэлементы, которые тоже находятся в организме.

Нужно помнить, что вещества должны содержаться в организме в строго определенных количествах. И недостаток, и избыток химических веществ могут вызывать болезни. Например, если организму не хватает йода, то щитовидная

железа вырабатывает мало гормонов, которые отвечают за скорость работы других органов. Может начаться гипотериоз, при котором человек чувствует себя вялым и сонливым. Но если йода поступает в избытке, щитовидка, наоборот, может начать вырабатывать слишком много гормонов и может возникнуть гипертиреоз. При этой болезни сердце начинает биться чаще, человек теряет вес и становится раздражительным.

Основные химические элементы в человеке существуют в виде воды и таких соединений, как белки, жиры и углеводы. Макро- и микроэлементы входят в состав разных молекул-помощников: ферментов и гормонов. А некоторые элементы, соединяясь между собой, образуют настоящие минералы, которые являются каркасом нашего организма.

ЗУБЫ, КОСТИ И КАМНИ В ПОЧКАХ

КАК МИНЕРАЛЫ РАСТУТ В ОРГАНИЗМЕ

Постучите зубами! И вы услышите звук самой твердой части вашего тела — зубной эмали, которая на 96% состоит из минерала **гидроксилапатита**. Он является основой костей и черепа. Гидроксилапатит состоит из кальция, фосфора, кислорода и водорода. Иногда в него входят фтор, хлор, магний и другие элементы. Эти элементы делают минерал более или менее

прочным. Если в минерале достаточно фтора, то эмаль становится устойчивее к разрушению.

Однако здесь снова работает правило золотой середины: в организм должно поступать не слишком много и не слишком мало фтора. Если будет его избыток, то может развиваться флюороз, при котором зубы становятся пятнистыми

и хрупкими. Если фтора не хватает, зубная эмаль становится слабой и легко повреждается кислотами и бактериями, и может появиться кариес.

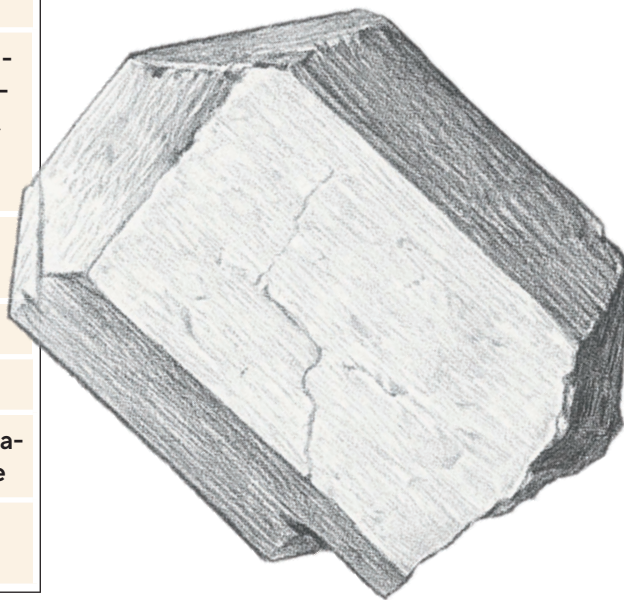
Иногда фтор добавляют в зубные пасты, это помогает укрепить зубы. Но такие пасты подходят не всем: на нашей планете существуют места, где в подземной питьевой воде содержится очень много фтора. Как он туда попадает? Подземные воды, взаимодействуя с некоторыми магматическими, вулканическими и гидротермальными породами, растворяют минерал флюорит. В результате содержание фтора в воде повышается. Люди, которые годами пьют такую воду чаще болеют флюорозом (Ozsvath, 2009).

ГИДРОКСИЛАПАТИТ	
Формула:	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$
Класс:	фосфаты
Цвет:	белый, серый, желтый, зеленый, фиолетовый, розовый, красный и коричневый
Блеск:	жирный, восковой
Твердость:	средняя – 5
Удельный вес:	3
Происхождение:	магматическое, осадочное, биогенное
Встречается	с кварцем, микроклином

Зубы и кости человека начинают расти еще в утробе матери. В первые месяцы беременности закладываются зачатки скелета и молочных зубов. После рождения развитие костей и зубов продолжается многие годы. Для их нормального роста очень важны кальций и фосфор, которые можно получить из продуктов и пищевых добавок. Гидроксилапатит даже научились получать искусственно в виде порошка и активно используют в медицине:

- добавляют в зубные пасты и гели для укрепления зубной эмали;
- делают наполнитель для наращивания поврежденных костей;
- покрывают импланты для их лучшего сращения с костной тканью.

▼ Гидроксилапатит

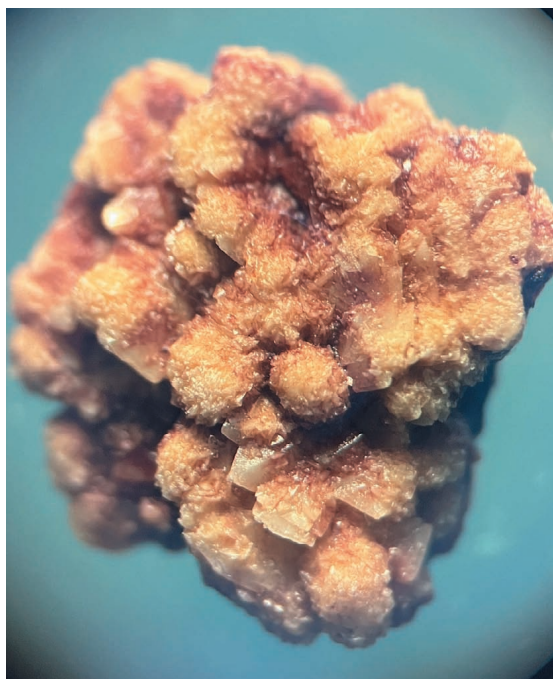


Гидроксилapatит — не только костный минерал живых организмов. Он может формироваться в геологических процессах. Иногда он образуется на поздних этапах застывания магмы, а также в морских осадках, богатых фосфором.

Помимо важного и полезного гидроксилapatита в организме иногда образуются вредные минералы. Когда работа организма нарушена и в биологических жидкостях почек и мочевого пузыря находится слишком много некоторых солей и кислот, может

развиться мочекаменная болезнь. При этом заболевании в почках и мочевом пузыре образуются биоминералы — **уролиты**:

- оксалаты (соли щавелевой кислоты) — самый распространенный вид камней в почках;
- фосфаты (соединения фосфора, кислорода, кальция и других элементов) и их разновидности — струвиты (состоят из магния, фосфата и аммония);
- ураты (соли мочевой кислоты) — встречаются реже остальных (Полиенко и др., 1997).



▲ Оксалат, извлеченный из мочевого пузыря собаки



▲ Оксалаты кальция, извлеченные хирургическим путем из мочевого пузыря человека



▲ Урат, извлеченный хирургическим путем из мочевого пузыря человека



▲ Струвиты в форме тетраэдров, извлеченные из мочевого пузыря кота

Размеры таких камней могут составлять от 1 миллиметра до нескольких сантиметров. Иногда они выводятся сами, но крупные камни приходится дробить лазером или удалять хирургически.

ОТРАВЛЕННЫЕ СТРЕЛЫ И ГАЗ-УБИЙЦА

САМЫЕ ОПАСНЫЕ МИНЕРАЛЫ

Камни могут представлять опасность для организма человека, не только накапливаясь в почках. Еще в древности люди заметили, что некоторые природные минералы влияют на здоровье. Уже в I веке нашей эры римский ученый Плиний Старший в своем труде «Естественная история» писал, что такие минералы, как **киноварь**, могут быть опасны: порошок из нее ядовит и может вызывать отравление.

Люди не сразу узнали об опасности красивой красной киновари. В античные времена ее использовали как красящий пигмент для картин, ритуальных предметов и даже в качестве косметики — женщины пользовались ею как румянами. В древнем Китае киноварь называли «драконья кровь» и окрашивали ею гробницы императоров, считая, что она дарует бессмертие.

КИНОВАРЬ	
Формула:	HgS
Класс:	сульфиды
Цвет:	красный
Блеск:	металлический, алмазный
Твердость:	низкая — 2-2,5
Удельный вес:	высокий — 8
Происхождение:	гидротермальное
Встречается	с антимонитом, пиритом, халькопиритом, кварцем, кальцитом



▲ Киноварь

Лишь через столетия выяснилось, что все наоборот!

Киноварь — минерал, состоящий из серы и ртути, а ртуть очень опасна. Она быстро повреждает почки, воздействует на нервную систему, вызывая снижение памяти, дрожь в руках, задержку развития, а также влияет на работу сердца и щитовидной железы.

Несмотря на опасность киновари, долгие столетия люди использовали ртуть в градусниках, барометрах, люминесцентных лампах. Ртуть нужна была для добычи золота и в качестве ускорителя химических реакций.

Крупнейшее в мире месторождение киновари — Альмаден в Испании — разрабатывали больше двух тысячелетий:

с античных времен до 2003 года. За это время там добыли около 250 000 тонн ртути — треть мировых запасов. Сегодня добыча киновари ограничена.

В XX веке случилась страшная трагедия, связанная с ртутью, — болезнь Минамата. В японском городе Минамата больше тридцати лет работал завод, который сбрасывал в море сточные воды с токсичными соединениями ртути. Ртуть накапливалась в рыбе, которой питались местные жители. Последствия этого были ужасны — тысячи человек пострадали в разной степени от отравления, в том числе оказались парализованы.

В 2013 году была принята Минаматская конвенция, которая ограничивает добычу и выбросы ртути во всем мире. Более 140 стран, включая Россию, подписали соглашение.

РЕАЛЬГАР	
Формула:	As_4S_4
Класс:	сульфиды
Цвет:	крово-красный, красно-оранжевый
Блеск:	металлический, алмазный
Твердость:	низкая – 1,5-2
Удельный вес:	3,5
Происхождение:	гидротермальное
Встречается	с аурипигментом, антимонитом, кварцем, кальцитом



▲ Реальгар

Красивейший кроваво-красный **реальгар** и насыщенный желтый **аурипигмент** таят в себе страшную тайну: их использовали еще в Древнем Китае, но не для украшений, а для... отравления стрел. Из порошка этих сульфидов делали пасту, которой смазывали наконечники стрел, чтобы враг погиб даже от небольшой раны. Все потому,

АУРИПИГМЕНТ	
Формула:	As_2S_3
Класс:	сульфиды
Цвет:	лимонно-желтый, оранжевый
Блеск:	металлический, алмазный
Твердость:	низкая – 1-2
Удельный вес:	3,5
Происхождение:	гидротермальное
Встречается	с реальгаром, пиритом, антимонитом, кварцем, кальцитом



▲ Аурипигмент

что в них входит мышьяк, ядовитый для человека даже при недолгом контакте. Мышьяк поражает кожу, желудочно-кишечный тракт, печень и почки, а при длительном воздействии может вызывать рак этих органов.

К сожалению, людям не всегда были известны эти тайны реальгара

и аурипигмента. В качестве красок их любили использовать в Древнем Египте, где ими расписывали украшения и стены гробниц, а в Византии — иконы и мозаики.

Реальгар и аурипигмент для Византии добывали на месторождении Алшар на Балканах, в Северной Македонии. Алшар знаменит не только этим — здесь сосредоточены самые крупные запасы таллия в мире, а еще открыты новые редчайшие минералы, например лорандит.

В некоторых регионах планеты подземные воды содержат очень много мышьяка — иногда он попадает туда из-за выбросов промышленности, но часто это природный фактор. Подземная вода, взаимодействуя с породами, растворяет минералы с мышьяком и уносит его в источники и колодцы. Такие источники известны в северных селах Республики Дагестан. Здесь содержание мышьяка в питьевой воде в десятки раз больше безопасного уровня. В таких районах необходимо использовать мощные фильтры для воды (*Abdulmutalimova, 2019*).

Если вы найдете в горах красивый красный, оранжевый или желтый кристалл, будьте осторожны: это может быть киноварь, реальгар или аурипигмент, которые вам точно не следует хранить дома!

ГАЛЕНИТ	
Формула:	PbS
Класс:	сульфиды
Цвет:	свинцово-серый
Блеск:	металлический
Твердость:	3
Удельный вес:	7,5 (тяжелый)
Происхождение:	гидротермальное
Встречается	со сфалеритом, пиритом, серебром, кварцем, кальцитом и флюоритом



▲ Галенит

Красив, но опасен **галенит** — еще один минерал из класса сульфидов, который может нанести серьезный вред здоровью. Галенит легко узнать по серебристому цвету, металлическому блеску и кубической форме кристаллов. Добываемый из него свинец нужен для создания аккумуляторов и защитных средств от радиации.

Однако свинец — тяжелый металл, который не нужен нашему организму и вреден для него даже в малых дозах.

В районах добычи свинцовых или, вернее будет сказать, свинцово-медно-цинковых (полиметаллических), руд существует огромная проблема загрязнения окружающей среды этим металлом. При разработке таких месторождений и переработке руды образуются горы отходов — отвалы и хвостохранилища.

Один из таких районов — Рудный Алтай, огромная территория от Алтайского края до Восточного Казахстана. Здесь находятся десятки месторождений полиметаллов. Некоторые из них разрабатываются, из других металлы уже извлечены полностью. Например, в городе Горняк Алтайского края шахта и горно-обогатительный комбинат давно закрыты, но хвостохранилища остались. Они продолжают отравлять местное население свинцом и другими металлами. Ветер разносит вредную пыль по городу, загрязняя воздух и почву. Дождевые и талые воды вымывают металлы и переносят их в реки, а просачиваясь через грунт, они попадают в подземные воды, загрязняя и их (Soktoev, 2025).

Попадая внутрь, он может поражать почти все органы, причем больше всего страдают почки, кровь и сердце. А накапливаясь в головном мозге, соединения свинца могут вызывать проблемы с интеллектом, памятью и вниманием. Возможно, вы слышали выражение «сурьмить глаза», которое означает подводить веки черным цветом. Эта фраза связана с сурьмой — черным порошком, который на протяжении тысячелетий получали в основном из двух минералов — галенита и антимонита, — подмешивая к ним сажу и другие компоненты.

Антимонит, или стибнит, состоящий из сурьмы и серы, считался целебным минералом. В Древнем Египте и на Ближнем Востоке верили, что сурьма улучшает зрение, уменьшает слезотечение

и способствует росту ресниц. Сурьмяной порошок добавляли в лечебные мази. Однако позже ученые выяснили, что длительный контакт антимонитового порошка с кожей мог быть причиной «сурьмяных пятен» — гнойничковых высыпаний на теле. А при высоком содержании соединений сурьмы в организме может нарушаться работа легких, поджелудочной железы, печени и сердца.

Асбест — группа волокнистых минералов, самый распространенный из которых хризотил. Волокна асбеста очень прочные и устойчивые к огню, что делает минерал популярным в строительстве и промышленности. Из него делают огнеупорные ткани, изоляцию труб, цементные изделия, кровельные материалы.

ХРИЗОТИЛ (БЕЛЫЙ АСБЕСТ)	
Формула:	$Mg_3(Si_2O_5)(OH)_4$
Класс:	силикаты
Цвет:	белый, зеленоватый
Блеск:	шелковистый
Твердость:	2,5
Удельный вес:	2,5
Происхождение:	гидротермальное-метаморфическое
Встречается	с серпентином, тальком



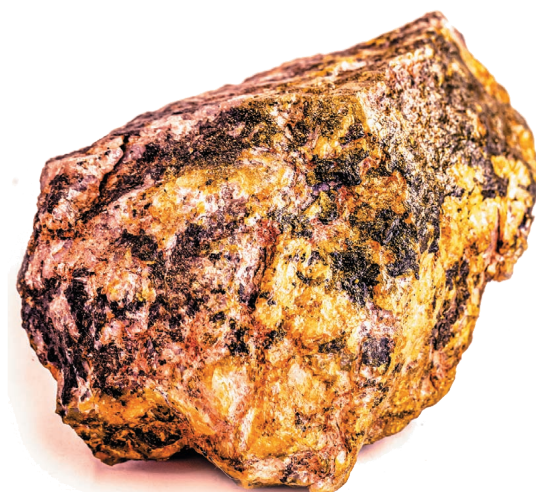
▲ Хризотил-асбест

Но несмотря на пользу для промышленности, асбест может быть опасен для человека. Тонкие волокна минерала могут попадать в легкие при вдыхании, вызывая их разрушение, а при длительном воздействии повышается риск заболевания раком легких.

Один из самых коварных минералов — уранинит. При выветривании из минерала выделяются растворимые

соединения урана, которые могут попадать в грунтовые воды и загрязнять питьевые источники. Если люди долго будут пить такую воду, это приведет к повреждению костей, печени и почек, ведь не случайно уран называют «почечным ядом» (Ashish, 2024). Но и это еще не все!

Уран не только химически токсичен, но и радиоактивен. При распаде нестабильных атомов урана выделяется невидимая энергия — радиоактивное излучение. Существуют разные типы излучения, из которых гамма-излучение — самое опасное, оно способно проникать сквозь тело человека. Ученые обнаружили, что радиоактивное излучение вызывает поломки в ДНК, и если таких поломок становится много, многократно возрастает риск онкологических заболеваний. Радиация может стать причиной рака мозга, почек, крови и других органов (Jemal et al., 2014).



▲ Урановая руда

В начале XX века, когда радиоактивность только открыли, никто не знал, насколько она опасна. Радиоактивные элементы, особенно радий, считали новым эликсиром здоровья. Его добавляли в зубные пасты, косметику и кремы для лица, а первооткрывательница радия Мария Кюри носила этот опасный металл в качестве украшения на шее.

Спустя десятилетия стало ясно, что уран и радий могут наносить огромный вред организму. Но вместе с этим открыли и другую сторону урана — это мощный источник энергии, которую с большой осторожностью можно применять с пользой для человека. На атомных электростанциях из него научились получать тепло

и электричество. Для этого его добывают из урановых руд, главный минерал которых — уранинит.

Распадаясь, уран не только выделяет энергию, но и образует продукты распада — другие элементы. Среди них есть газ-убийца — радон.

Уранинит и любой другой минерал, в составе которого есть уран, выделяет радон. Этот радиоактивный газ может накапливаться в воздухе шахт. Шахтеры, которые дышат таким воздухом, часто заболевают раком легкого (*Howe et al., 1987; Eidemuller et al., 2012*).

ЕДИМ КАЖДЫЙ ДЕНЬ И ЛЕЧИМ ОТРАВЛЕНИЯ

ЕСТЬ ЛИ У КАМНЕЙ ЦЕЛЕБНЫЕ СВОЙСТВА?

«Лечат от болезней», «приносят удачу», «дарят энергию» или «успокаивают» — такие описания минералов и металлов можно найти в статьях целителей и литотерапевтов и даже на сайтах ювелирных магазинов. Люди с древности верили в магические и целебные свойства минералов, но существуют ли они на самом деле?

В Древнем Китае эликсиром бессмертия считалась киноварь. Алхимики того времени делали из нее пилюли и настои для лечения бессонницы и судорог. Люди верили, что она продлевает жизнь и дарует духовное просветление. Больше 4,5 тысяч лет рубины почитаются индийцами как символ власти. На санскрите их название переводится

как «царь камней». Индийские правители и раджи часто украшали рубинами тюрбаны, одежду и амулеты, веря, что эти красные драгоценности усиливают их силу и могущество.

В Древнем Египте из лазурита делали амулеты для защиты души в загробной жизни. Также египтяне считали, что бирюза приносит радость и ограждает от зла. Украшения из нее носили воины и дети, чтобы уберечь себя от несчастий.

Оба минерала использовали для создания погребальных изделий, которые клали в гробницы фараонов.

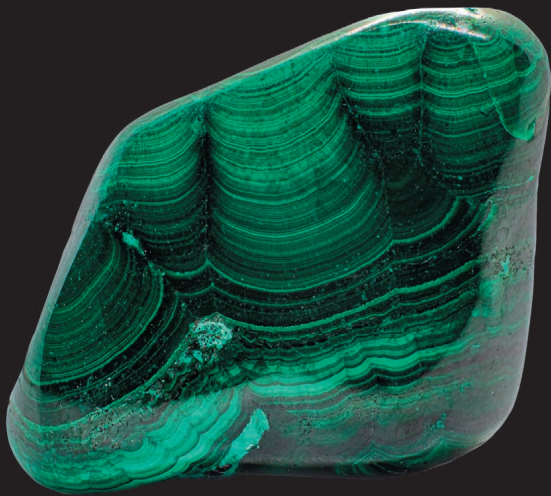
Скифы и сарматы — кочевые народы, жившие более двух тысяч лет назад в степях Евразии, — больше всего ценили золото. Для них оно олицетворяло вечную жизнь. Они добывали золото на берегах уральских рек, раскатывали его в тонкие пластины и покрывали ими деревянные заготовки. Именно так они создали свои шедевры — позолоченные



▲ Погребальная маска фараона Тутанхамона сделана из золота и инкрустирована лазуритом и бирюзой



▲ Сарматская фигурка золотого оленя



▲ На Руси малахит считался магическим оберегом

статуэтки зверей. Золотые олени считались проводниками души в загробный мир, поэтому их фигурки часто клали в саркофаги.

В средневековой Европе во время чумы лекари советовали носить изумруды и сапфиры как средство «укрепления здоровья и защиты от болезни». Рубинам приписывали способность



▲ Аметист, по мнению лекарей, излечивал головную боль

лечить болезни крови, топаз, как считалось, может отгонять демонов.

На Руси минералы тоже использовали не только в украшениях, но и в качестве оберегов и магических предметов. Малахит служил защитным камнем, яшма — «лекарем сердца», а аметист прикладывали к голове для снятия головной боли.



◀ Яшму использовали при лечении сердечных заболеваний

Однако, у современной науки нет ни одного доказательства магических и чудодейственных свойств минералов и горных пород. Их физические и химические свойства хорошо изучены геологами, минералогами, кристаллографами, петрографами, геофизиками и геохимиками, и никакой «скрытой энергии» в них не обнаружено.

Так почему же иногда минералы помогают снять боль? Тут нужно вспомнить про эффект плацебо: если человек верит в силу камня, его психика и тело могут положительно реагировать на эту веру. И лечит не сам минерал, а собственный настрой.

Но не стоит думать, что минералы не умеют исцелять. Многие минералы применяются в медицине:

- **гипс** нужен для создания повязок при переломах;
- **тальк** — основа детских присыпок;
- ванны с **бишофитом** помогают снять спазмы и расслабить организм за счет магния, который в него входит;
- **фтор**, получаемый из **апатита**, добавляют в зубные пасты для укрепления эмали;
- препаратами на основе **золота** лечат воспаление суставов.

Минералы применяются не только для лечения. Вы удивитесь, но мы едим минералы и металлы каждый день! Они помогают нашему организму лучше работать. А еще ученые научились делать из полезных ископаемых лекарства от головной боли, температуры и отравления.

Поваренная соль, которую мы добавляем в еду — это самый настоящий минерал **галит**. Он состоит из натрия и хлора. Натрий помогает клеткам обмениваться сигналами, а еще удерживает воду в организме, помогая ей распределяться правильно. Если натрия мало, то вода «выходит» из кровеносных сосудов, и давление падает. Если натрия слишком много, вода задерживается в сосудах, и давление растет. Хлор же участвует в образовании в желудке соляной кислоты, которая помогает переварить пищу.

Потребность человека в соли связана с эволюцией жизни на Земле: первые живые существа возникли и развивались в воде, содержащей растворенные соли. Современные организмы, их кровь и клетки по химическому составу схожи с водой древних океанов. Можно сказать, они сохранили «память океана». Поэтому добавление соли к пище — это не просто вкусовая привычка: нашему организму с древних времен необходимы натрий и хлор для нормальной работы (*Gunter, 1983*)

Железо, медь, цинк и литий тоже участвуют в работе многих органов, поэтому они должны содержаться в организме в необходимом количестве. Когда их недостаточно, доктор может рекомендовать препараты или пищевые добавки, которые содержат эти металлы. Откуда же их берут для лекарств? Извлекают из минералов!

Железо (неорганическое), полученное из минералов **магнетита** или **гематита** и преобразованное в доступную для организма форму, используют как средство для лечения анемии. Железо играет ключевую роль в синтезе гемоглобина — белка крови, который переносит кислород от легких к тканям организма.

На основе **меди**, извлеченной из **халькопирита**, создают препараты, которые улучшают усвоение железа в организме. А еще медь добавляют в мази, ускоряющие заживление ран.

Из **цинка**, добытого из **сфалерита**, делают добавки и мази для улучшения состояния кожи, волос и ногтей.

При серьезных психических заболеваниях применяют препараты на основе **лития**, полученного из литиевых руд. Соли лития используются в лечении психических заболеваний, связанных с расстройствами настроения.

Платину в составе цисплатина используют для лечения рака яичек и мочевого пузыря (Корасц, 2022).

Бишофит — родной брат галита. Это белый или прозрачный минерал с горько-соленым вкусом. Благодаря своему составу (бишофит — это водный хлорид магния) он обладает лечебными свойствами. Он эффективен при заболеваниях полости рта, поэтому его добавляют в ополаскиватели. А еще ванны с бишофитом очень полезны при болезнях суставов и остеохондрозе. Магний способствует расслаблению мышц, улучшает кровообращение и снимает боль.

Самым универсальным лекарством оказалась... **нефть**. Из продуктов ее переработки состоит половина аптечки. Таблетки от головной боли, жаропонижающие, различные антибиотики и многие другие препараты создают на основе продуктов нефтепереработки. Это стало возможным благодаря уникальной способности молекул нефти распадаться и складываться, как конструктор, и образовывать тем самым чистую основу для лекарств.

Из глинистого минерала **смектита** делают лекарства от отравлений. Когда смектит попадает в кишечник, он превращается в густой гель, похожий на желе. Этот гель, как губка, втягивает в себя вредные бактерии, вирусы и даже тяжелые металлы.

В итоге все это не успеваает попасть в кровь, так как довольно быстро выводится из организма вместе с гелем из смектита.

В Древней Греции была известна «лемнийская земля» (*terra sigillata*), которую считали чудодейственным лекарством от множества болезней. Современные ученые изучили древний лечебный препарат на основе смеси глин (смектита и каолинита), а также полезных грибков. Эксперименты показали, что эта смесь улучшает состав кишечных бактерий, благодаря чему кишечник лучше защищается от воспалений и инфекций (*Milling S, 2024*).


Существуют и другие **лечебные глины**, которые используются при проведении процедур в санаториях, а также для создания косметических средств:

- **каолиновая (белая)** глина обладает адсорбирующим действием, ее добавляют в некоторые маски для лица;
- **голубая глина** содержит серебро и применяется для лечения кожных заболеваний;
- **зеленая глина** богата железом и магнием, снимает воспаления кожи;
- **черная, или сапропелевая, глина** — смесь из глины, сернистого и органического веществ — используется в грязелечении.



◀ Различные виды глин





МИНЕРАЛЫ И ГОРНЫЕ ПОРОДЫ ВОКРУГ НАС

Минералы — это не только камни на дороге и причудливые кристаллы в витринах музея. Это главные «кирпичики», из которых построена неживая природа. Все горные породы состоят из минералов. Иногда возникает вопрос, находятся ли горные породы только в горах? Нет, они находятся на каждом участке Земли. Вся суша — а точнее, континентальная кора и океаническое дно — сложена из горных пород.

Сейчас прямо под вашими ногами, под полом, фундаментом здания и почвой находится «слоеный торт» из горных пород: слои могут состоять из известняка, песчаника, гранита или других пород. Всего на нашей планете их больше 2 тысяч, а минералов еще больше.

По данным Международной минералогической ассоциации существует больше 6 тысяч минералов, и каждый год открывают новые! Из них примерно 200 человечество использует себе во благо: в быту, медицине, промышленности, ювелирном деле. Про некоторые вы слышали, например про алмаз, рубин или кварц. Про некоторые же узнаете из нашей книги впервые, в частности о гематите, лопарите или апатите.

Почему минералы и горные породы так важны для нас? Буквально все, что создано человеком, напрямую или косвенно связано с геологией.

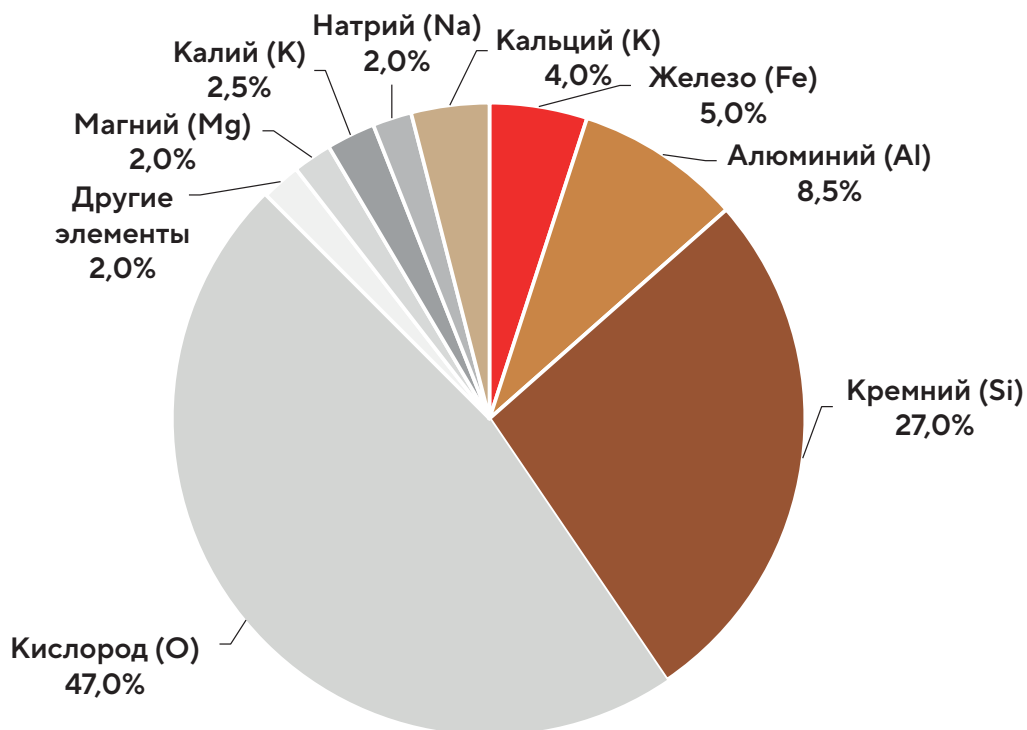
У вас включен свет? Без проводов из меди электричество не дошло бы до вашего дома. Рядом лежит смартфон? Без редкоземельных металлов он не был бы таким миниатюрным, удобным и быстрым. Найдете что-то из пластика: раму окна, игрушку, зубную щетку? Все пластиковые и резиновые вещи делают из нефти. Даже книгу, которую вы держите в руках, невозможно сделать без минеральных ресурсов. Чтобы получить бумагу, нужны металлические инструменты, например бензопилы для рубки деревьев, а также оборудование из нержавеющей стали (железа, хрома и никеля) для варки древесины и получения целлюлозы.

Минералы и горные породы — это ресурсы, без которых не было бы зданий, автомобилей, тепла и электричества. Это архив геологической истории земли. И, конечно, ключ к технологиям будущего: от нанороботов до квантовых компьютеров.

МИНЕРАЛЫ — ОСНОВАТЕЛИ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Все материальное в нашем мире состоит из химических элементов. Основа твердой оболочки нашей планеты — земной коры, или литосферы, — это восемь элементов: кислород, кремний, железо, алюминий, кальций, калий, натрий и магний. Все остальные химиче-

ские элементы естественного происхождения (водород, углерод, фосфор, титан, медь, цинк, мышьяк, селен, серебро, платина, золото, торий, уран и многие другие) тоже присутствуют в минералах и горных породах, но составляют меньше 2 % от общей массы.



▲ Химический состав земной коры

Но среди всех элементов в литосфере выделяются два самых главных: кислород и кремний! Они входят в состав большинства минералов планеты, которые относятся к классу силикатов. Эти минералы составляют

$\frac{3}{4}$ земной коры, их еще называют породообразующими. Силикаты могут образовываться в совершенно разных условиях: от магматических (в недрах) до осадочных (на поверхности).

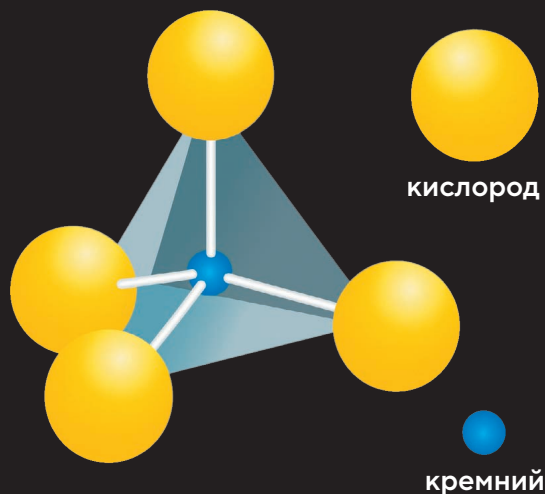
КАК УСТРОЕНЫ СИЛИКАТЫ И АЛЮМОСИЛИКАТЫ

Каждый из нас держал в руках блоки конструктора «Лего», из которых можно собрать простой кубик или сложный город. Такие «блоки» есть и в основе любого силикатного минерала. Это

маленькие, но очень прочные «строительные части», похожие на тетраэдры. Они состоят из одного атома кремния и четырех атомов кислорода, причем в центре размещен атом кремния,

а по углам — атомы кислорода. В алюмосиликатах на месте кремния находится алюминий.

Эти тетраэдры SiO_4 , словно блоки из конструктора «Лего», собираясь вместе в разных вариантах, могут создавать разные структуры, похожие на отдельные островки (одинокие дома), вытянутые цепочки или ленточки (улицы), пластины посложнее (районы) и прочные каркасы (города). Именно от того, как соединены эти тетраэдры, зависит то, как будет выглядеть силикат, какую он будет иметь твердость и устойчивость к разрушению.

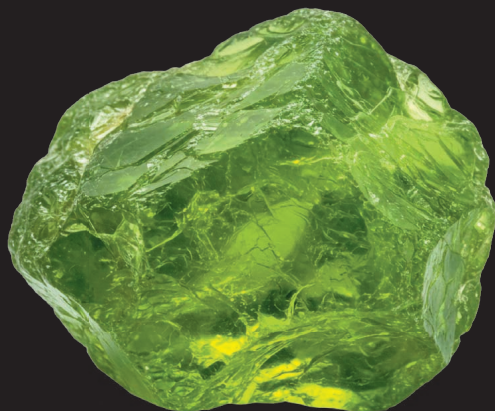


▲ «Строительный блок» силикатов — кремнекислородный тетраэдр

ОДИНОКИЙ ДОМ

ОСТРОВНЫЕ СИЛИКАТЫ

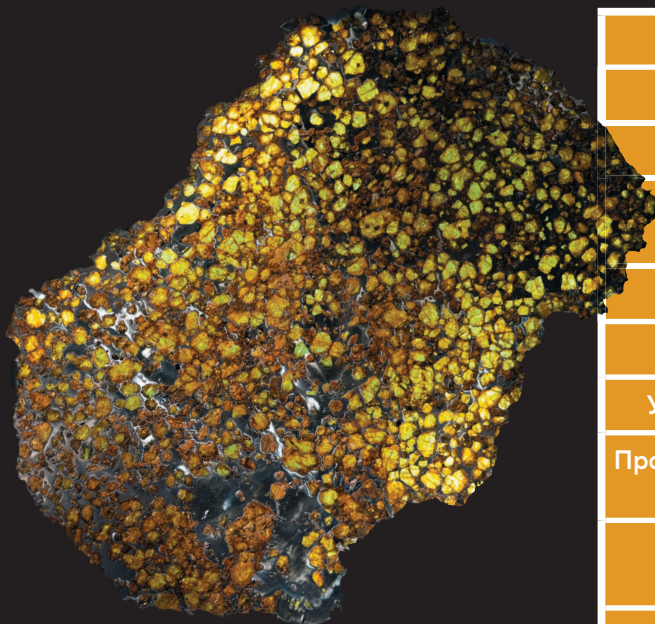
Представьте два отдельных острова, на каждом из которых стоит дом. Соседи совершенно не общаются друг с другом,



▲ Хризолит, или перидот — желто-зеленая разновидность оливина

но дома все же соединены между собой электрическими проводами. В островных силикатах тетраэдры не делятся атомами кислорода с соседними «блоками-домами», а существуют как одинокие «домики» на островах кристаллической решетки. Эти «домики» держатся вместе благодаря атомам металлов (магния, железа и других), которые соединяют их между собой. Такие минералы часто прозрачные и очень твердые.

К островным силикатам относятся многие красивые минералы: циркон, дистен, гранаты. Некоторые их разновидности высоко ценятся в ювелирном деле.



▲ Оливин в метеорите

ОЛИВИН	
Формула:	$(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$
Класс:	силикаты
Цвет:	зеленый, оливковый
Блеск:	стеклянный
Твердость:	6,5-7
Удельный вес:	3-3,6
Происхождение:	магматическое, метеориты
Встречается	с пироксеном, хро- митом, серпентином
Не встречается	с кварцем!



◀ Оливин в вулканических породах

Самый распространенный минерал островных силикатов — зеленый оливин, который входит в состав не только вулканических пород, но и мантии Земли. Также он обнаружен в древнейших метеоритах, сохранивших первичное вещество Солнечной системы.

УЛИЦА СИЛИКАТНАЯ

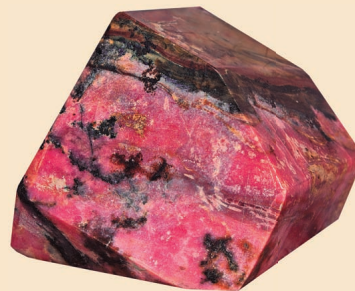
ЦЕПОЧЕЧНЫЕ СИЛИКАТЫ

Если взять несколько домов и соединить их общей дорогой и коммуникациями, то получится улица. Так и у силикатов: иногда тетраэдры соединяются друг с другом вершинами и выстраиваются в длинные линии-улицы (цепочки). Такие минералы называют цепочечными силикатами.

Главными представителями этого подкласса являются **пироксены**.

Такие минералы, как **авгит** и **бронзит**, служат основой магматических горных пород. А черно-зеленый **эгирин** часто находят в горных породах с высоким содержанием щелочных элементов — натрия и калия. Чаще всего пироксены бывают темно-зеленого, бурого и черного цвета и имеют призматические кристаллы.

Иногда среди цепочечных силикатов встречаются и красивые минералы. Розовый **родонит** с древних времен используют как поделочный камень. Это довольно редкий минерал, который в основном образуется в метаморфических условиях. Он часто бывает пронизан сеточкой черных оксидов марганца, что делает его узоры неповторимыми.



▲ Родонит

МИНЕРАЛЬНЫЙ КВАРТАЛ

ЛЕНТОЧНЫЕ СИЛИКАТЫ

Если две улицы объединить между собой, то получится уже квартал. Если же силикатные цепочки соединяются, получаются ленточки (вытянутые кварталы города). Это и есть основа ленточных силикатов. Ленточки

могут выглядеть по-разному. У амфиболов ряды тетраэдров связаны бок о бок и образуют вытянутые кристаллы. Именно поэтому амфиболы часто встречаются в виде длинных призм.



▲ Роговая обманка

Главный минерал амфиболов — черно-зеленая **роговая обманка**. Это минерал с очень сложным химическим составом, включающим кислород, кремний, железо, магний, алюминий — всего семь элементов. Но несмотря на богатый состав, роговая обманка не является металлической рудой.

Название «роговая обманка» (*Hornblende*) происходит от старонемецкого: *horn* — «рог» и *blende* — «обманка», то есть «рог, который обманывает». Немецкие рудокопы использовали этот термин для обозначения темных призматических минералов, которые внешне напоминали металлоносные руды, но не давали металла при плавке, то есть «обманывали».

РОГОВАЯ ОБМАНКА	
Формула:	$\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe,Al})_5(\text{Al,Si})_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
Класс:	силикаты
Цвет:	черный, темно-зеленый
Блеск:	стеклянный
Твердость:	5-6
Удельный вес:	3
Происхождение:	магматическое и метаморфическое
Встречается	с кварцем, полевыми шпатами, гранатами, слюдами, сфеном

Актинолит, или «лучистый камень», тоже относится к ленточным силикатам. Он назван так из-за лучистых сростков его кристаллов. Еще один представитель этого подкласса — **тремолит**, названный в честь долины Тремоль в Швейцарии. Эти минералы распространены в метаморфических породах и отличаются удлиненными игольчатыми кристаллами.

Нефрит — прочнейший минерал на планете — ничто иное, как плотная масса спутанных волокон актинолита и тремолита.

КРИСТАЛЬНЫЙ РАЙОН

ЛИСТОВЫЕ СИЛИКАТЫ

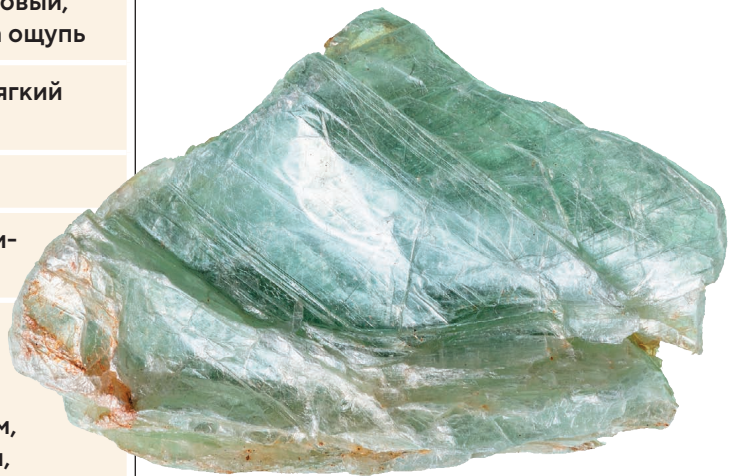
Если строительного материала достаточно, то из улиц и кварталов можно построить целый район. Минеральный конструктор из кремнекислородных «блоков» тоже позволяет создавать сложные формации. Соединяясь между собой, ленточки образуют пластины (листы). Если листы собираются в стопку, получают листовые, или слоистые, силикаты, напоминающие жилые районы многоэтажных домов.



▲ Бiotит

Главная особенность этих минералов — слабые связи между пластинами, поэтому они легко разделяются на слои, словно игральные карты в колоде. Именно благодаря этому свойству листовые силикаты часто мягкие и гибкие. Наиболее известные представители: мягкий **талък** и **слюды** (прозрачный **мусковит**, темный **биотит**). Мусковит и биотит считаются

ТАЛЪК	
Формула:	$Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$
Класс:	силикаты
Цвет:	белый, зеленоватый, сероватый
Блеск:	перламутровый, жирный на ощупь
Твердость:	1 (самый мягкий минерал)
Удельный вес:	2,7-2,8
Происхождение:	метаморфическое
Встречается	с серпентином, хлоритом, магнезитом, доломитом, актинолитом



▲ Талък

самыми распространенными минералами среди листовых силикатов. Они встречаются во множестве магматических и метаморфических пород.

Серпентин тоже относится к листовым силикатам. Этот минерал получил свое название от латинского слова *serpens* — «змея», поэтому его часто называют «змеевик».

Минерал окрашен в зеленые тона с пятнистым рисунком, напоминающим чешую змеи. Его используют в качестве поделочного камня для создания шкатулок, ваз и украшений.

СЕРПЕНТИН	
Формула:	$(\text{Mg,Fe})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
Класс:	силикаты
Цвет:	темно-зеленый, желтовато-зеленый
Блеск:	стеклянный, восковой или жирный
Твердость:	2,5–4
Удельный вес:	2,2–2,9
Происхождение:	метаморфическое
Встречается	с тальком, магнезитом, хлоритом, доломитом, опалом



▲ Серпентин

КАМЕННЫЙ ГОРОД

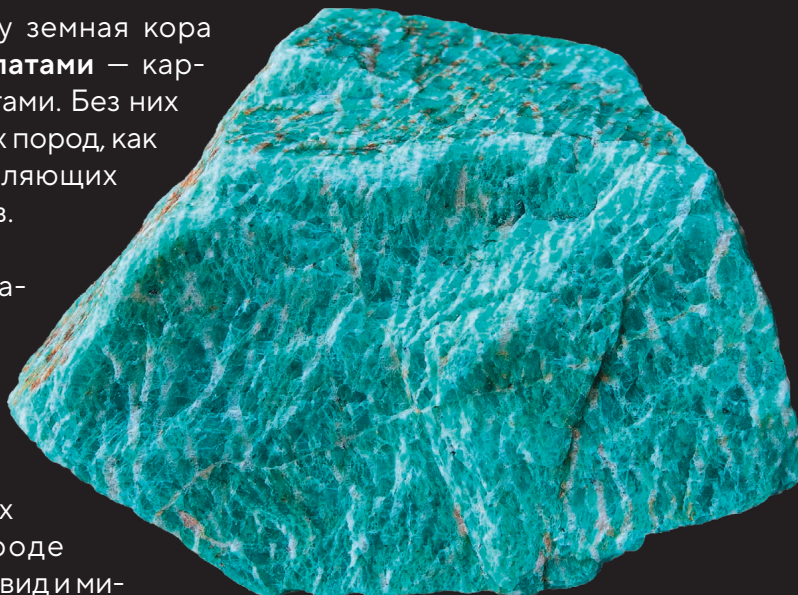
КАРКАСНЫЕ СИЛИКАТЫ И АЛЮМОСИЛИКАТЫ

Самой сложной конструкцией среди всех силикатов обладают каркасные. Это уже не плоские цепочки (улицы) или листы (районы). Это целые города с прочными трехмерными домами, каждый из которых соединен со

всеми соседями — тетраэдры делятся всеми четырьмя атомами кислорода с другими тетраэдрами. Такая структура делает эти минералы особенно прочными и стойкими к выветриванию.

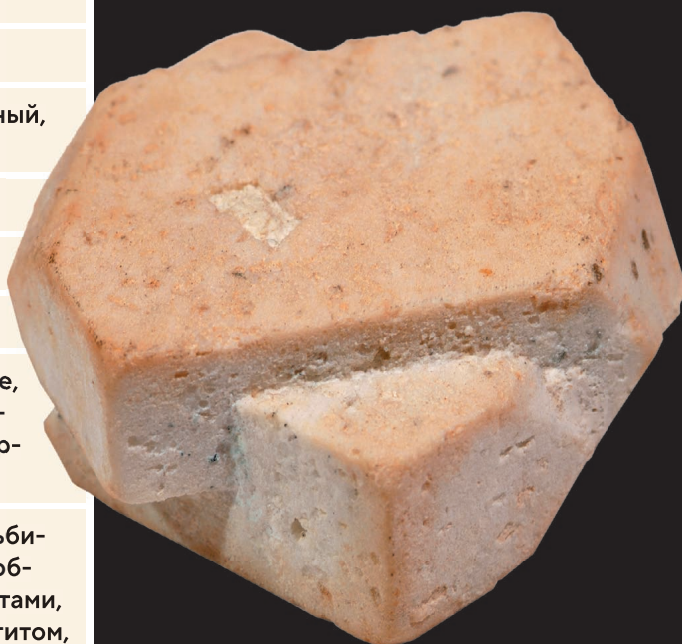
Более чем наполовину земная кора сложена **полевыми шпатами** — каркасными алюмосиликатами. Без них не было бы таких горных пород, как гранит и гнейс, составляющих фундамент континентов.

По химическому составу полевые шпаты могут быть калий-натриевые (ортоклаз, микроклин) и кальций-натриевые (плагиоклазы). Именно их соотношение в породе определяет ее внешний вид и минеральный состав.



▲ Амазонит — красивая разновидность микроклина

КПШ: МИКРОКЛИН И ОРТОКЛАЗ	
Формула:	$K[AlSi_3O_8]$
Класс:	силикаты
Цвет:	желтый, красный, розовый
Блеск:	стеклянный
Твердость:	6
Удельный вес:	2,6
Происхождение:	магматическое, метаморфическое, гидротермальное
Встречается	с кварцем, альбитом, роговой обманкой, гранатами, слюдами, апатитом, цирконом



▲ Ортоклаз



▲ Альбит

Ортоклаз и микроклин часто называют просто калиевыми полевыми шпатами (КПШ).

ПЛАГИОКЛАЗЫ: АЛЬБИТ	
Формула:	$\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$
Класс:	силикаты
Цвет:	белый, сероватый
Блеск:	стеклянный
Твердость:	6
Удельный вес:	2,6
Происхождение:	магматическое, метаморфическое, гидротермальное, пегматитовое
Встречается	с кварцем, КПШ, гранатами, слюдами

Плагиоклазы придают породам белые или сероватые оттенки. Чаще всего они встречаются в виде зерен и пластинок в магматических породах.

Кварц имеет химическую форму SiO_2 , поэтому его можно назвать и силикатом, и оксидом. С минералогической точки зрения, это каркасный силикат, потому что в его решетке атомы кремния находятся в тетраэдрах, соединенных вершинами (атомами кислорода) в прочный каркас. С химической точки зрения, это оксид, ведь так можно назвать любое соединение элементов с кислородом.



◀ Кварц

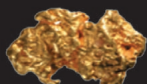
РУДНЫЕ МИНЕРАЛЫ — ПОСТАВЩИКИ МЕТАЛЛОВ

Слыша слово «руда», человек часто представляет блестящий слиток металла под землей. Однако в природе руды выглядят иначе. Чаще всего рудой называют скопления минералов, в которых содержится много полезного металла. Например, минерал халькопирит — это медная руда, магнетит — железная, касситерит — оловянная.

Не все скопления минералов в горных породах можно назвать месторождением. Содержание рудных минералов и сконцентрированных в них металлов должно быть настолько

большим, чтобы было экономически выгодно их добывать из недр. Чтобы понять, выгодно ли добывать ту или иную руду, нужно учесть спрос и стоимость металла на рынке, затраты на поиск, разведку, добычу и переработку руды и многое другое.

Месторождения металлических руд — это участки земной коры, где накоплено такое количество рудных минералов, которое выгодно для добычи.



золота **0,5-2 г на 1 тонну**



меди **5 кг на 1 тонну**



▲ *Выгодные содержания золота и меди в руде*



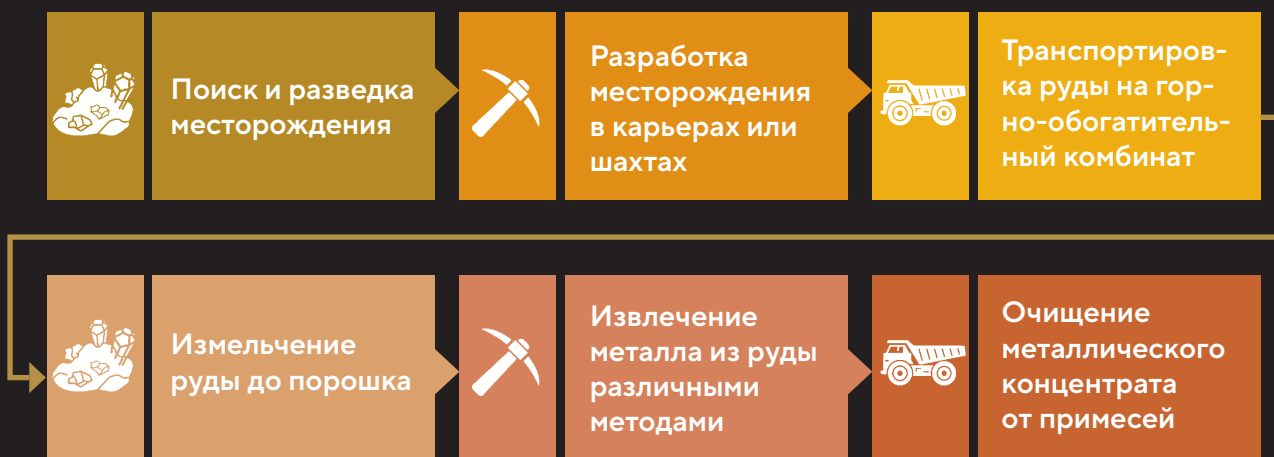
Месторождения металлов — это всегда скопления не только полезного минерала, но и множества других минералов и горных пород. Большая часть месторождения — это **пустые породы**, из них невозможно добыть металл, поэтому их складировать в **отвалы**. Порой вокруг карьеров или шахт вырастают целые горы из пустых пород.

Для каждого металла существуют свои выгодные содержания в руде, которые могут казаться незначительными. Так, золото начинают добывать, когда в 1 тонне породы содержится

всего 1-2 грамма драгоценного металла (это вес одного тонкого кольца). Содержание меди, чтобы ее добыча была выгодной, должно быть не менее 5 кг на 1 тонну пустой породы (это вес небольшого мешка сахара). Такая разница объясняется тем, что золото более ценное, редкое и дорогое, чем медь.

Чтобы получился слиток чистого металла, руда проходит длинный путь.

В этом разделе мы разберем рудные минералы, из которых получают главные для человечества металлы.



▲ Упрощенная схема получения металла из рудных минералов

КАК НАЙТИ РУДУ В НЕДРАХ?

Чтобы найти месторождения, геологи становятся настоящими детективами, ведь руда может залегать на большой

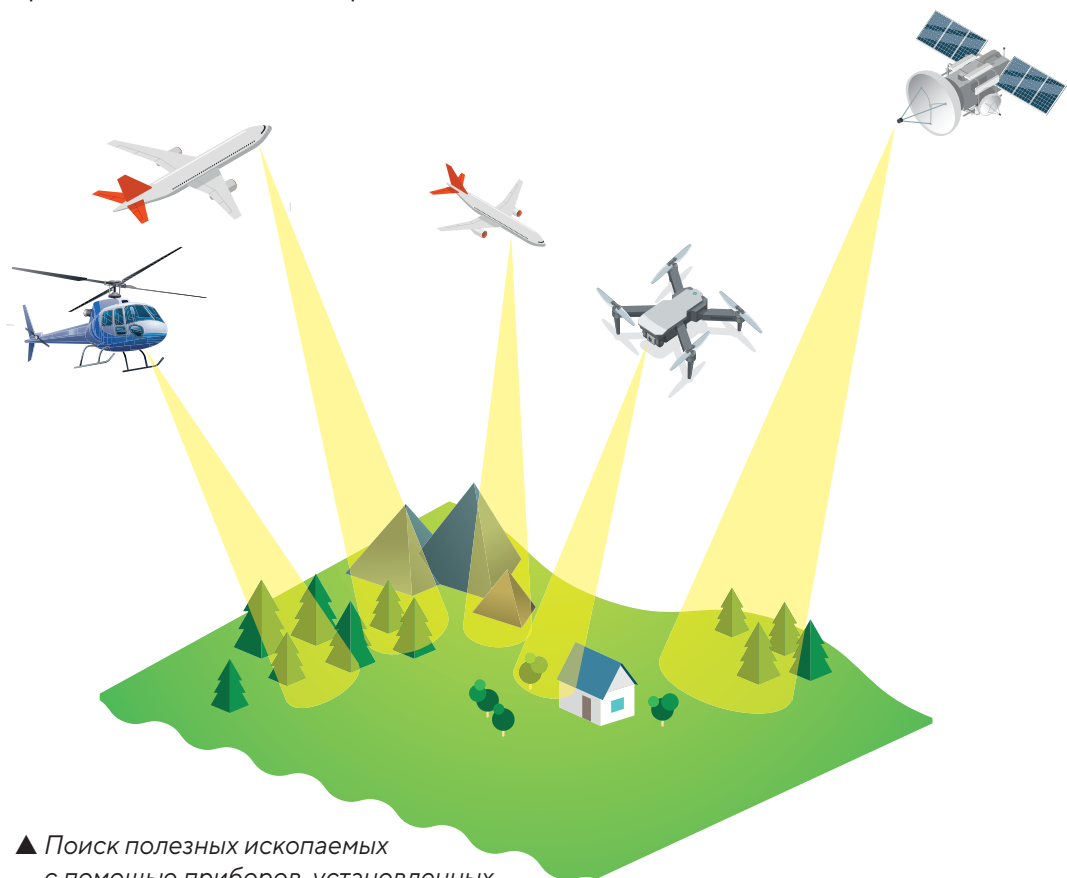
глубине и не подавать никаких видимых признаков на поверхности. Что же делать? Искать и разведывать!

ЧЕМ ПОИСК ОТЛИЧАЕТСЯ ОТ РАЗВЕДКИ?

Поиск — это первый этап работы геологов. Во время него изучаются огромные территории, чтобы найти подсказки природы о том, что на глубине могут скрываться металлические руды. Разведка — второй этап. На территории в десятки квадратных километров — там, где поиск показал возможное наличие металлов, — определяют границы месторождения.

Все начинается с **поиска**. Сначала геологи изучают сведения о бывших находках полезных ископаемых и старые геологические карты. Затем

анализируют данные приборов со спутников, самолетов и дронов. Так определяют район поиска.



▲ Поиск полезных ископаемых с помощью приборов, установленных на спутниках, самолетах, вертолетах, дронах

СУПЕРГЛАЗ

Местность можно изучать со спутников, на которых установлена гиперспектральная камера. Она, как суперглаз, видит сотни оттенков света. Все минералы и состоящие из них породы отражают солнечный свет по-своему, камера улавливает эти отражения и запоминает их как «световые отпечатки» разного цвета. По ним определяют районы, в которых много минералов, содержащих необходимые металлы.

Одновременно с этим геологи обходят местность в поисках скал или других обнажений горных пород. На глаз они определяют их состав, обращая внимание на спутники разыскиваемых металлов. Так, для золота, например, спутниками являются кварц, пирит, арсенопирит, халькопирит. Геологи берут образцы «подозрительных» минералов, чтобы проанализировать их в лаборатории.

Следующий этап поиска проводят геохимики. Они собирают по сетке, то есть через равные расстояния, почву, растения, воду из рек и подземных источников. Позже в лаборатории ученые проверяют, есть ли в них металлы.

Затем подключаются геофизики. Они, словно врачи УЗИ, делают снимок Земли и видят, что скрыто под ногами.

Некоторые растения отлично накапливают металлы. Этим пользуются геохимики при поиске и разведке металлов. Они изучают химический состав корней, стеблей и листьев. Известно, что бульбостилис бородачатый отлично накапливает свинец, цинк и кадмий (*Lottermoser et al., 2008*). А мхи скопелофила предпочитают жить в местах, богатых медью, потому что этот металл стимулирует процесс их роста. Некоторые исследователи даже называют эти растения «медные мхи» (*Nomura et al., 2011*).

Рудознатцы в Алтайском крае использовали для поиска меди растение качим (гипсофила) — они в первую очередь начинали искать там, где было много его кустов. А австралийские золотоискатели обращали внимание на районы, где густо росла дикая жимолость!



▲ Качим, или гипсофила

Геофизики прикладывают к земле специальные приборы и с их помощью находят геофизические аномалии — участки недр, отличающиеся по физическим свойствам от окружающих их горных пород.

Чаще всего встречаются следующие аномалии:

- металлы плотнее большинства минералов, поэтому в местах их скопления сила тяжести выше. Такие скопления можно определить с помощью гравиметра — прибора, который фиксирует изменения гравитационного поля Земли, вызванного различиями в плотности пород;
- иногда вместе с металлами в руде встречаются минералы,

содержащие железо, которое хорошо магнитится. Это видит магнитометр;

- во время терморазведки измеряют температуру горных пород. Если в недрах обнаруживают больше тепла, чем обычно, это может означать, что там есть горячие воды, из которых образуются, например, гидротермальные месторождения;
- минералы, содержащие металлы, проводят ток лучше других минералов — это фиксирует электроразведка;
- иногда металлические руды соседствуют с радиоактивными минералами, содержащими уран, торий или калий.

▼ Геологоразведка



▼ Геохимический метод поиска





▲ *Геофизический метод поиска*

Обнаружить радиоактивные аномалии помогает гамма-спектрометр;

- сейсморазведка помогает увидеть трещины и разломы земной коры, золотоносные скарны и жилы, скрытые в глубине. Проводят ее так: под землей производят небольшой взрыв. Сейсмоприемники улавливают взрывные волны и регистрируют, как быстро и под каким углом они дошли, то есть насколько плотные горные породы

встретились им на пути. По этим данным компьютерная программа рисует участок земной коры в разрезе.

В СССР одно время проводили сейсморазведку, используя ядерную энергию. Подземные ядерные взрывы нанесли серьезный ущерб природе, и сейчас такой метод разведки запрещен.



▲ Керны - столбики горных пород

Постепенно район поиска сужается, и начинается **разведка**. Те же исследования могут повториться, но в меньшем масштабе. После анализа всех данных геологоразведчики строят карту и 3D-модель месторождения.

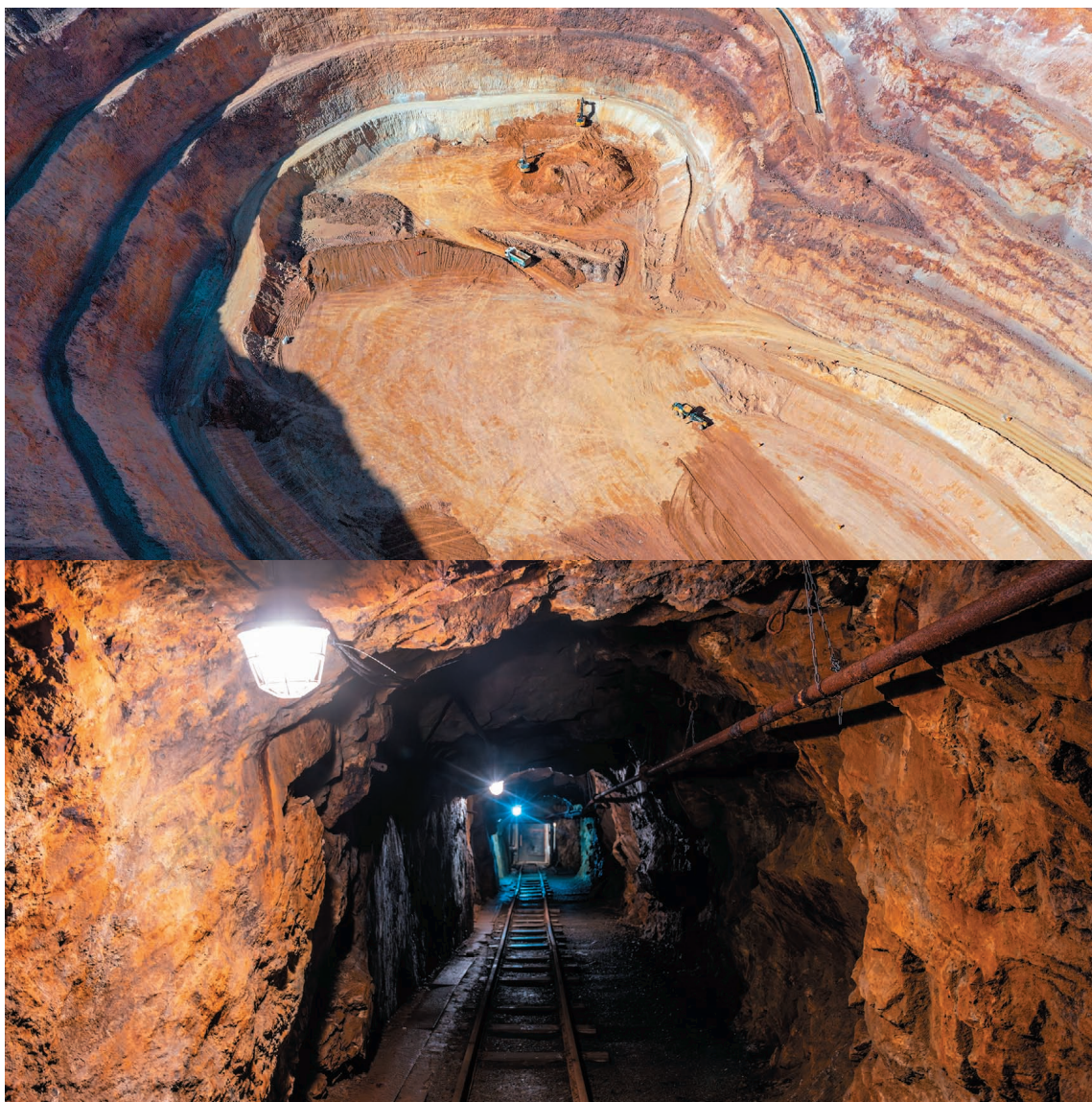
Когда определено самое перспективное место, наступает время последнего, самого точного и дорогого этапа разведки — бурения скважин. Бурят их, чтобы наконец воочию увидеть недра. Из скважин достают столбики горных пород — керны — и отправляют их на анализ в лабораторию. Там уточняют сведения о составе и свойствах горных пород и дополняют ими 3D-модель месторождения.

Все, дело о поиске руды раскрыто!

КАК ДОБЫТЬ РУДУ?

Когда точное расположение руды определено, нужно извлечь ее из глубин. Но это только сказать легко! Сверху лежат твердые горные породы высотой

с многоэтажный дом, да и сама руда иногда крепче бетона! Чтобы ее достать, люди роют или гигантскую яму (карьер), или подземный лабиринт (шахту).



▲ Карьер и шахта

Сравнение характеристик карьера и шахты

	КАРЬЕР	ШАХТА
СПОСОБ ДОБЫЧИ	Открытый	Подземный
ГДЕ НАХОДИТСЯ РУДНОЕ ТЕЛО?	Близко к поверхности: от десятков метров до 1,5 километра	Глубоко. От сотен метров до 4 километров
СТОИМОСТЬ ДОБЫЧИ	Добывать открытым способом дешевле	Шахтный способ дороже – нужны вентиляция, приборы безопасности (газоанализаторы, огнетушители и т.д.), специальное шахтное оборудование
В ЧЕМ ОПАСНОСТЬ ДЛЯ РАБОТНИКОВ?	Пыль, риск обвалов и аварий	Мало свежего воздуха, много пыли, опасность аварий, обрушения стен, затопления шахты, взрыва подземных газов
ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ ВЛИЯНИЕ НА ЭКОЛОГИЮ	Сильное. Пыль, шум, отвалы и огромные ямы лишают растения и животных привычной среды обитания. Исчезает плодородный слой почвы, меняется уровень подземных вод, что приводит к появлению болот или пересыханию рек и ручьев	Слабее, чем влияние карьеров

Иногда открытую добычу переводят в подземную. Так случается, если доставать руду в карьере становится

невыгодно, – слишком много пустой породы, и при этом рудное тело уходит вглубь на километры.

МЕДЬ

ПЕРВЫЙ МЕТАЛЛ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

Медь — это не просто рыжий металл, который используют в проводах, чтобы передавать электричество. Медь — это первый металл человечества! Именно благодаря ей люди научились искать другие металлы, ковать, плавить и смешивать их.

В доисторические времена (более 8,7 тысяч лет назад) люди из поселения Али-Кош первыми сделали украшения из меди (*Oudbashi, 2012*). В захоронении на территории современного Ирана найдено самое древнее в мире металлическое украшение — медная бусина. Она была сделана с помощью холоднойковки — когда по меди били твердым камнем и формировали изделие.

Позже люди научились плавить металл и создавать сложные орудия — топоры, иглы, ножи. Эти знания

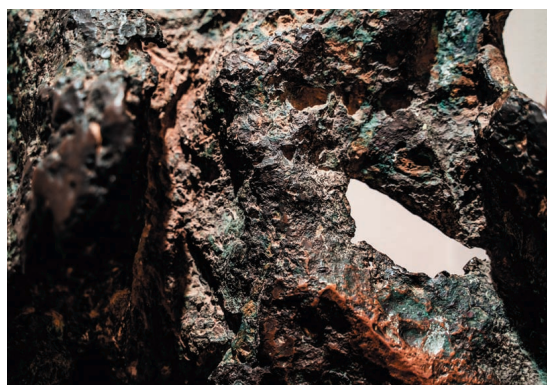
распространились на большие территории. Так завершился каменный век и началась медная эпоха.

Медь на латинском языке называется *Cuprum*. Это название связано с островом Кипр, который в древности был одним из главных центров добычи меди. Здесь разрабатывались богатые месторождения медных руд. Масштабы добычи были настолько велики, что название острова дало имя самому металлу.

Почему именно медь стала первым металлом? Во-первых, медь очень мягкий металл. Его не нужно выплавлять и можно ковать, используя даже простой камень, так как твердость меди чуть выше твердости наших ногтей.

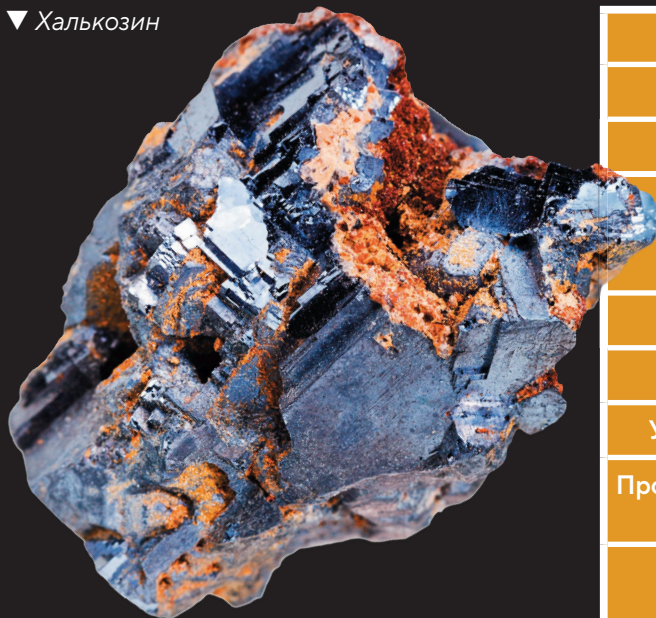


▲ Самородная медь



▲ Медь и малахит

▼ Халькозин



ХАЛЬКОЗИН	
Формула:	Cu_2S
Класс:	сульфиды
Цвет:	свинцово-серый, темно-серый, черный
Блеск:	металлический
Твердость:	2,5–3
Удельный вес:	5,5–5,8
Происхождение:	гидротермальное и осадочное
Встречается	с халькопиритом, борнитом, малахитом, азурином, купритом, пиритом

Во-вторых, медь буквально лежала под ногами. Самородки меди и залежи медных руд было легко обнаружить по ярко-зеленому налету — минералу малахиту. Он образуется, когда медные минералы из-за движений литосферных плит оказываются на поверхности Земли, где начинается их окисление, то есть взаимодействие меди с водой и кислородом.

Золото, в отличие от меди, встречается намного реже: меди в земной коре больше золота примерно в 9 тысяч раз! А железо в самородном виде — исключительная редкость для земной поверхности. Поэтому медь была идеальным кандидатом на роль первого металла человечества!

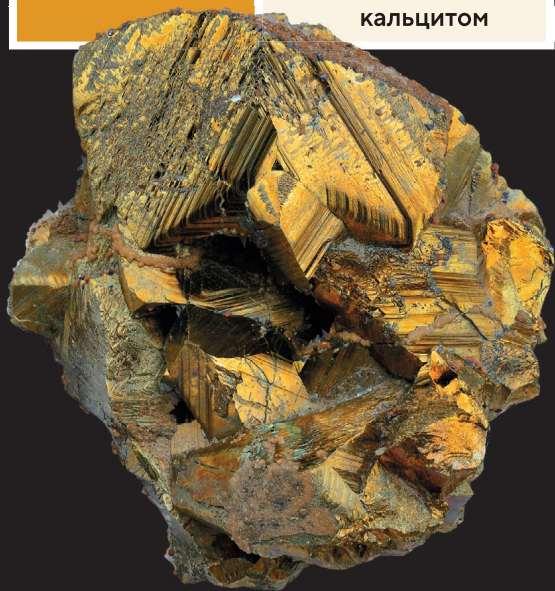
Но самородная медь — не основной источник этого металла. Главнейшие

медьсодержащие минералы — **халькопирит**, **борнит**, **халькозин** и **кубанит**. Все эти минералы относятся к группе сульфидов — соединений металлов с серой. Все они обладают металлическим блеском, но различаются цветом: халькопирит часто латунно-желтый, борнит имеет темный медно-красный оттенок, халькозин — черный, а кубанит — бронзово-желтый или золотистый.

Халькопирит — самый распространенный медный минерал, имеет «золотистый» цвет. Из-за этого его часто путают с золотом и наравне с другим сульфидом — пиритом — называют «золото дураков».

Борнит — второй по распространенности минерал меди — называют

ХАЛЬКОПИРИТ	
Формула:	CuFeS_2
Класс:	сульфиды
Цвет:	латунно-желтый
Блеск:	металлический
Твердость:	3–4
Удельный вес:	4,2
Происхождение:	во всех геологических процессах
Встречается	с пиритом, кварцем, золотом, галенитом, кальцитом



▲ Халькопирит

«павлиньим камнем» за радужные оттенки на поверхности. Они образуются, когда из-за окисления на поверхности возникают оксиды меди и железа. Толщина пленки настолько мала, что свет отражается не только

БОРНИТ	
Формула:	Cu_5FeS_4
Класс:	сульфиды
Цвет:	темный с пестрой побежалостью
Блеск:	металлический
Твердость:	3
Удельный вес:	5
Происхождение:	гидротермальное, поверхностное
Встречается	с малахитом, купритом, кварцем, кальцитом



▲ Борнит

от нее, но и от самого минерала, при этом получается игра цветов.

На нашей планете существует большое количество месторождений меди. Они могут быть образованы в совершенно разных условиях.

Типы месторождений меди

ТИПЫ	ОБРАЗОВАНИЕ	ПРИМЕРЫ
МЕДНОКОЛЧЕ- ДАННЫЕ (СУЛЬФИДНЫЕ)	Образовались в районах активности древних подводных вулканов. Позже в трещинах вулканических пород из горячих подземных растворов осели медные минералы.	Учалинское, Гайское месторождения (Россия), Оутокумпу (Финляндия)
МЕДИСТЫЕ ПЕСЧАНИКИ	В древних морях медь откладывалась в осадочных породах, чаще всего в песчаниках и сланцах. В их пористых слоях медь, принесенная подземными водами, сталкивалась с восстановительной средой и выпадала в осадок в виде сульфидов.	Удоканское (Россия), Джекказганское (Казахстан) месторождения
МЕДНО- НИКЕЛЕВЫЕ	Возникли из магмы, когда тяжелые сульфиды, богатые медью и никелем, отделялись от расплава и скапливались отдельно в недрах.	Норильское месторождение (Россия), район Садбери (Канада), Бушвельд, Карру (ЮАР), Камбалда (Австралия)
МЕДНОПОРФИ- РОВЫЕ	Формировались вокруг крупных магматических внедрений — интрузий, когда горячие растворы пронизывают породы и оставляют в них прожилки и вкрапления меди.	Михеевское (Россия), Кальмакырское (Узбекистан), Конырадское (Казахстан) месторождения



◀ *Читайте и смотрите! Документальный фильм «Медь — главный металл человечества»*



▲ *Медные провода*

Существует стереотип, что медь — металл прошлого. Но без нее у нас не было бы ни света в доме, ни смартфона

в кармане. Со времен промышленной революции в XIX веке и до сегодняшнего дня медь остается главным «проводником» прогресса: ее используют в каждом проводе. Так происходит, потому что медь обладает высокой электропроводностью. За последние 100 лет мир стал потреблять в 120 раз больше меди! И спрос растет, ведь она нужна для электромобилей, солнечных панелей, интернета и роботов.

У меди есть еще одно важное свойство — высокая теплопроводность. Именно благодаря ему этот металл используют для создания экспериментальных технологий для борьбы с раком: наномедь доставляют к раковым клеткам, нагревают инфракрасным (тепловым) излучением, и наночастицы меди точно разрушают раковые клетки (*Arias, L. S., 2018*).

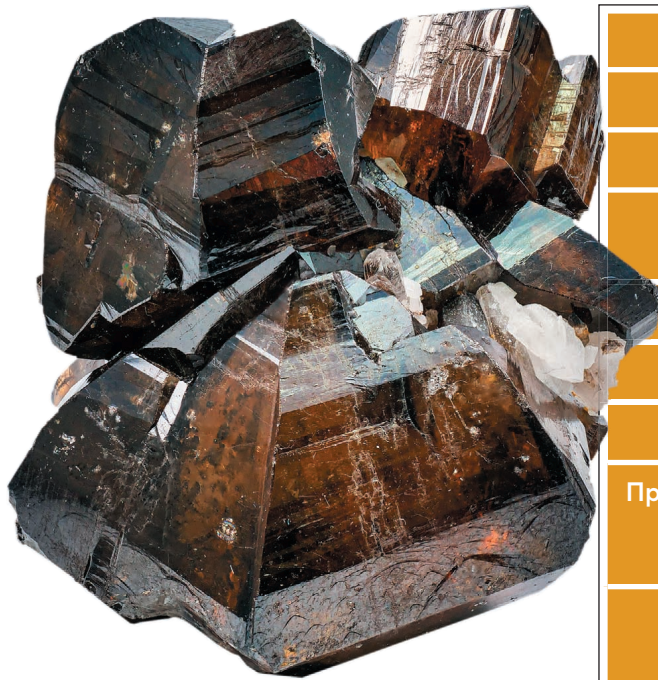
ОЛОВО

МЕТАЛЛ, ПОДАРИВШИЙ БРОНЗУ

Что общего между бронзовым веком и телевидением? Ответ — касситерит!

Касситерит состоит из олова и кислорода. Если добавить олово, полученное при обжиге этого минерала, в медь, по-

лучится **бронза — более прочный сплав, чем медь**. Бронзовые орудия — важнейшая часть истории, они дали толчок развитию сельского хозяйства, торговли и ремесел (кузнечного и ювелирного дела, обработки дерева и кожи).



▲ Касситерит

КАССИТЕРИТ	
Формула:	SnO ₂
Класс:	оксиды
Цвет:	темно-желтый, бурый, черный
Блеск:	алмазный
Твердость:	7
Удельный вес:	7
Происхождение:	гранитные пегматиты, гидротермальное
Встречается	с альбитом, бериллом, кварцем, КПШ, пиритом

Касситерит является единственным источником олова уже более 5 тысяч лет.

Древние морские народы, открывшие месторождения меди на Кипре, отчаянно нуждались в олове. Но в Ев-

ропе олово, точнее касситеритовые месторождения, встречались довольно редко, а спрос был велик. Главным источником олова в то время были Оловянные острова, или загадочные Касситериды, расположение которых финикийские мореплаватели

В Средние века оловянный промысел был настолько важен, что в 1305 году английский король Эдуард I учредил специальные станнарные (от латинского слова *Stannum* — «олово») суды и парламенты для управления оловянными рудниками. Таким образом, труженики этой отрасли в королевстве выводились из-под судов любой другой юрисдикции. Добыча олова тогда была поистине тяжелейшим трудом, ведь чтобы получить 1 тонну чистого олова, приходилось достать сто тонн пустой породы в сложнейших условиях шахты.

тщательно скрывали. Позже выяснилось, что место, богатое оловом, расположено в графствах Корнуолл и Девон на юго-западе Британии. Добычу олова и торговлю им кельтские племена начали здесь еще 4 тысячи лет назад.

Даже когда на смену бронзе пришли железные сплавы, олово оставалось важным ресурсом для производства консервных банок и фольги в XVIII–XIX веках. Герметичное хранение продуктов в такой таре позволяло обеспечить питание армии и флота во время дальних плаваний и походов, что значительно облегчало жизнь солдат.

Благодаря устойчивости к коррозии олово часто применяли и для других целей, например, делали игрушки. Помните сказку Г.Х. Андерсена «Стойкий оловянный солдатик»?

До сих пор олово используют в качестве антикоррозионного покрытия для стальных предметов. В электронике тоже не обойтись без олова: его используют в припоях — сплавах на основе олова, которые применяются при создании микросхем. Так, в каждом телевизоре содержится примерно 20 граммов олова.

Где же находят олово? Месторождения олова связаны со скоплениями минерала касситерита — оксида олова, который может образовывать сдвоенные или бипирамидальные формы (наподобие двух соединенных между собой пирамидок). Часто имеет бурый, черный или темно-желтый цвет.

Рождается касситерит в различных условиях.

Месторождения Корнуолл в Британии, а также крупнейшие запасы олова в мире — в Китае связаны с магматическими гранитными интрузиями, то есть с внедрениями магмы в твердые породы, которые обогащены некоторыми элементами, в том числе оловом. Похожие месторождения находятся в Забайкалье и на Дальнем Востоке России в горах Сихотэ-Алинь.

Бывают также россыпные месторождения, когда тяжелые минералы касситерита накапливаются в руслах рек вследствие разрушения первичных руд. Такие месторождения находятся в Индонезии, Малайзии и России.

Вот такой он, касситерит — оловянный камень, который положил начало бронзовому веку, помог промышленной революции, дал возможность с помощью жестяных банок прокормить большие армии и флоты и остается важнейшим металлом в электронике в эпоху высоких технологий.

ЖЕЛЕЗО

ОСНОВА НАШИХ ГОРОДОВ И НАШЕЙ КРОВИ

Железо вот уже больше трех тысячелетий является важнейшим металлом для человечества. Несмотря на то, что оно не было первым металлом, который использовал человек, после создания сплавов из железа медные и бронзовые орудия ушли на второй план. Железо давно и прочно занимает первое место по уровню производства и потребления среди других металлов.

Эпоха железа началась около 1200 года до нашей эры, когда массово научились его выплавлять в горнах, а затем и в доменных печах. Затем создали сплав из железа и углерода — сталь, которая изменила военное дело, сельское хозяйство и даже облик городов.

Железное оружие — мечи, копья, позднее ружья, пушки — давало решающее преимущество в войнах. Так, например, владение стальным огнестрельным оружием позволило всего 168 конкистадорам победить почти восьмисотное войско инков в битве при Кахамарке и покорить целую цивилизацию в Южной Америке, обладающую только каменными и деревянными орудиями.

Железные предметы позволили сделать серьезный шаг в развитии сельского хозяйства — использование плугов и серпов повысило эффективность растениеводства, урожаи зерна стали больше.

Это, в свою очередь, повлияло на рост населения и развитие государств.

На протяжении двадцати веков особенно ценилась дамасская сталь — легендарный сплав, известный своей прочностью и гибкостью. Современные исследования показали, что дамасская сталь стала первым, скажем так, наноматериалом — в ее составе помимо железа, оксидов алюминия и кремния, обнаружили углеродные нанотрубки, которые и придавали уникальные свойства сплаву.

Чем же железо лучше меди и алюминия? Во-первых, железо и его сплавы тверже и прочнее меди и алюминия. Во-вторых, в земной коре железа в тысячу раз больше, чем меди.

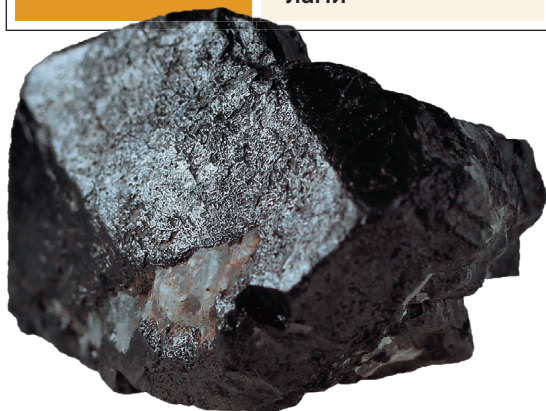
В природе существует чистое железо, или минерал феррит, но, в отличие от меди, его почти невозможно обнаружить в виде самородков. Самородное железо в основном сосредоточено в магматических породах (вулканических базальтах) в виде мелких вкраплений.

Распространенными минералами железа являются **магнетит, гематит, сидерит**

и **гётит** — эти минералы относятся к разным группам: оксидам, карбонатам и гидроксидам.

Магнетит и гематит — оксиды железа, то есть соединения железа с кислородом. Эти минералы содержат около 70 % железа. Их скопления являются главной железной рудой.

МАГНЕТИТ	
Формула:	Fe_3O_4
Класс:	оксиды
Цвет:	черный
Блеск:	полуметаллический
Твердость:	5-6
Удельный вес:	5
Происхождение:	все глубинные процессы
Встречается	с гранатами, кальцитом, кварцем и другими минералами



▲ *Магнетит*

ГЕМАТИТ	
Формула:	Fe_2O_3
Класс:	оксиды
Цвет:	черный, вишнево-красный
Блеск:	полуметаллический
Твердость:	6
Удельный вес:	5
Происхождение:	во всех эндогенных процессах
Встречается	со многими минералами



▲ *Гематит*

Эти минералы внешне похожи друг на друга, но между ними имеются и отличия. Гематит имеет красный оттенок, а его вишнево-красная черта свидетельствует о цвете минерала в порошке. По мнению многих ученых, Марс

имеет красный цвет за счет большого содержания в грунте оксидов железа, особенно красного гематита. Магнетит же имеет более высокую магнитность, чем гематит. Возле залежей этого минерала стрелка компаса будет сильно отклоняться.

Крупнейшее скопление магнетита на нашей планете названо Курской магнитной аномалией, как раз из-за повышенной магнитности в этом районе. Эта железорудная провинция находится на территории трех областей России: Курской, Орловской и Белгородской и имеет огромную площадь — более 160 тысяч квадратных километров, сравнимую с площадью Туниса.

СИДЕРИТ	
Формула:	FeCO_3
Класс:	карбонаты
Цвет:	бурый
Блеск:	матовый
Твердость:	4
Удельный вес:	4
Происхождение:	гидротермальное и осадочное
Встречается	с пиритом и халькопиритом

С магнетитом связаны многие легенды древности. Например, древнеримский ученый Плиний Старший оставил рассказ об удивительном месте в Красном море, где находилась загадочная гора, возле которой любой корабль рассыпался, так как железные гвозди вылетали из обшивки, притянутые силой магнитной горы. Магнитную гору можно найти и в России — она расположена на Урале в черте города Магнитогорска. Хотя, точнее будет сказать, что можно увидеть остатки этой горы, ведь ее почти полностью срыли, добывая железную руду.

Другой минерал железа — **сидерит** относится к группе карбонатов. В нем содержится примерно в полтора раза меньше железа, чем в магнетите. Поэтому его месторождения разрабатывают лишь в нескольких местах в мире. Одно из них — Бакальское месторождение в Челябинской области.



▲ Сидерит

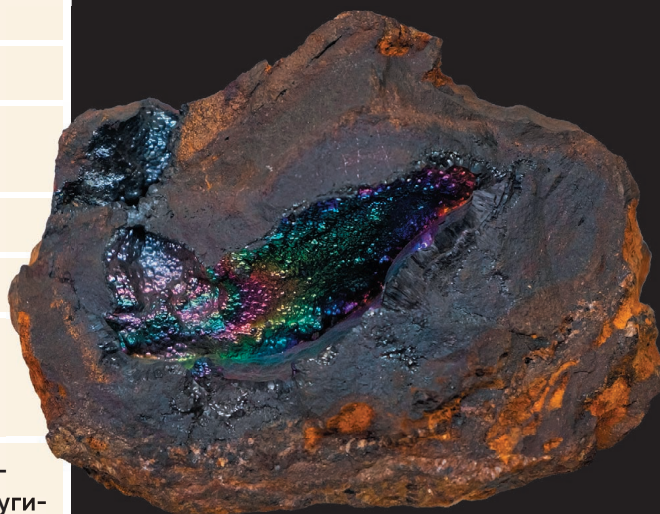
Удивительным образом сидерит могут образовывать живые организмы. Так, грибы лишеноотелия, окисляют железо, поступающее к ним из железосодержащих пород, на которых они растут. В результате их жизнедеятельности и образуются кристаллы сидерита.

Кристаллы сидерита обычно встречаются в виде скоплений ромбоэдров коричневого и желтого цвета. Чаще всего сидерит образуется в гидротермальных (из горячих подземных растворов) и осадочных (вблизи земной поверхности) условиях.

Гётит — продукт выветривания многочисленных железосодержащих минералов: сидерита, магнетита, гематита. Это наиболее распространенный минерал, содержащий оксид железа. Часто он образует натечные агрегаты, которые называют бурой стеклянкой, а также конкреции и оолиты бурого и желто-бурого цвета.

Гётит назван в 1806 году в честь немецкого поэта, философа и ученого-геолога Иоганна Вольфганга фон Гёте. Да, это не ошибка, знаменитый поэт увлекался геологией. Он собрал коллекцию из 18 тысяч минералов, писал научные статьи о вулканах и стратиграфии. При его содействии была составлена первая геологическая карта Германии.

ГЁТИТ	
Формула:	HFeO_2
Класс:	гидроксиды
Цвет:	темно-бурый
Блеск:	полуметаллический
Твердость:	5
Удельный вес:	4
Происхождение:	поверхностный, гидротермальный
Встречается	с пиритом, халькопиритом и другими сульфидами



▲ Гётит

Железо — не только важнейший металл промышленности. Это основа нашей крови, и при его недостатке может возникнуть железодефицитная анемия — болезнь, когда понижается уровень гемоглобина — белка крови, который переносит кислород. Для ее лечения применяют лекарственные препараты на основе как органического, так и неорганического железа. Про первое нетрудно догадаться, что его получают из крови и печени животных. Но откуда берут сульфат железа неорганического происхождения?

Железную руду (магнетит, гематит, сидерит или гётит) добывают в карьерах или шахтах, везут на горно-обогачительные комбинаты, где с помощью разных методов получают концентрат. После этого большая часть железного концентрата идет в металлургию, а вот другая — направляется в химическую промышленность. Именно на химических предприятиях концентрат превращают в соли железа (сульфаты), из которых затем делают лекарства на основе неорганического железа.

АЛЮМИНИЙ

МЕТАЛЛ, ПОДАРИВШИЙ ЛЮДЯМ ВОЗМОЖНОСТЬ ЛЕТАТЬ

Алюминий и его сплавы — это легкие и прочные материалы. Именно из них создают самолеты, корабли и автомобили. В быту мы тоже часто сталкиваемся с алюминием — это, прежде всего, разнообразная упаковка: банки для напитков и фольга. Алюминий также востребован в строительстве и электронике.

Боксит — горная порода, в основном состоящая из алюминийсодержащих минералов, и главный источник алюминия. Ежегодно в мире добывают до 400 миллионов тонн бокситов! Его главные запасы находятся в Африке, Австралии, Гвинее, Бразилии и на юге Китая.



▲ Боксит

И это не случайно! Дело в том, что для образования боксита нужны тропики с жарким и влажным климатом. Для начала должны образоваться горные породы, богатые алюминием: граниты, базальты или гнейсы, которые позже тектоническими процессами будут



▲ Месторождение боксита на Ямайке

подняты ближе к поверхности. Со временем вода, солнце и ветер разрушают эти породы, а самая высокая скорость разрушения как раз в жарком и влажном климате. В процессах выветривания минералы распадаются. Часть выпавших из них химических элементов мигрирует, а часть остается и образует новые минералы: например, оксиды и гидроксиды алюминия. Это **гиббсит, бемит и диаспор**. Кроме того образуются минералы железа (гётит, гематит). Смесь этих минералов и есть горная порода боксит.

Примерно наполовину боксит состоит из минерала гиббсита.

Догадайтесь, какие соединения придают бокситу его основной цвет — красно-бурый? Верно, это окисленное железо, а проще говоря, ржавчина.

Но боксит также может быть белого, серого и желтого цветов. Мощности

таких бокситовых залежей могут достигать десятков метров. Добывать их довольно просто — не нужно рыть шахты и убирать вскрышную породу, ведь бокситы лежат почти на поверхности.

В следующий раз, садясь в самолет, вспомните, как скромный боксит подарил нам алюминий и возможность летать!

Но иногда добывают бокситы, которые образовались в другие геологические эпохи. Представьте, на территории России тоже когда-то были тропики! Образовавшиеся тогда бокситы со временем погрузились в недра земли. А через сотни миллионов лет геологи их нашли. Добыча таких бокситов на Урале ведется в глубокой шахте.

ХРОМ

НЕРЖАВЕЮЩЕЕ ЧУДО

Знаете ли вы, что каждый раз, когда вы пользуетесь нержавеющей вилкой, вы держите в руках хром? Хром часто добавляют в сталь, чтобы она не ржавела. Почему же хром не дает ей ржаветь? Когда железо соприкасается с кислородом, на нем появляется рыхлая бурая корка — ржавчина. Хром ведет себя иначе. Он тоже реагирует с кислородом, но вместо ржавчины на его поверхности появляется невидимая защитная пленка из оксидов хрома.

Именно благодаря хрому наша посуда и медицинские инструменты не ржавеют годами!

Кроме того, хром широко используют при выделке кож, в производстве огнеупорных кирпичей, в стекольной промышленности и даже при выращивании искусственных рубинов.

За всю историю человечество добыло приблизительно 500 миллионов тонн чистого хрома. Это больше, чем вес всех живущих сейчас на планете восьми миллиардов человек вместе взятых! Где же взяли столько хрома? Из хромитовой руды. **Хромит** — черный минерал, главный источник хрома на Земле, состоит из хрома, железа и кислорода. Часто хромит содержит примеси магния и алюминия, что влияет на качество руды.

Хромит часто находится в породе в виде круглых зерен — такую руду называют рябчиковой. Он образуется в ходе

ХРОМИТ	
Формула:	FeCr_2O_4
Класс:	оксиды
Цвет:	черный
Блеск:	полуметаллический
Твердость:	5,5-7,5
Удельный вес:	4,5
Происхождение:	магматическое
Встречается	с серпентином, оливином
Не встречается	с кварцем и сульфидами!



▼ Хромит

магматических процессов в ультраосновных породах — такие породы почти не содержат кремния, но богаты

магнием. Хромит даже можно встретить в виде включений в алмазах из кимберлитов — тоже ультраосновных пород.

МАРГАНЕЦ

ВАЖНЫЙ ИГРОК В МЕТАЛЛУРГИИ И ХИМИИ

ПСИЛОМЕЛАН	
Формула:	$m\text{MnO}\cdot\text{MnO}_2\cdot n\text{H}_2\text{O}$
Класс:	гидрооксиды
Цвет:	черный
Блеск:	матовый
Твердость:	1-6
Удельный вес:	4,8
Происхождение:	поверхностное (экзогенное)
Встречается	с другими марганцевыми минералами, родонитом



▲ Псиломелан

В мире минералов есть один удивительный герой. Он, словно художник, рисует на камне, и как инженер строит прочные конструкции. Этот герой — марганец, и сейчас вы узнаете, как ему удастся рисовать и строить.

Марганец очень нужен для металлургии. Он улучшает прочность стали и сплавов. В химической промышленности из марганца делают всем известную марганцовку, точнее перманганат калия, которая широко применяется не только в медицине, но и в химической промышленности. Кроме того, марганец необходим для создания аккумуляторов и батарей.

Основной источник марганца — **псиломелан**.

Главные месторождения марганца образуются на океаническом дне, при осаждении псиломелана, пиролюзита или манганита из морской воды. Такие руды сформировались десятки и сотни миллионов лет назад в древних океанах, а потом погрузились глубоко под землю. Казахстан, Украина, Грузия и Индия — страны с крупнейшими запасами марганцевых руд. Псиломелан

может образовывать корки и конкреции и в современных океанах: Тихом, Индийском.

Если быть точным, то псиломелан — это не один минерал, а целая армия оксидов и гидроксидов марганца, то есть соединений металла с кислородом и водородом. Чаще всего это пиролюзит, криптомелан и манганит. Они как близнецы, очень похожи по составу и свойствам, и отделять их друг от друга довольно сложно, поэтому им дали объединяющее их название — псиломелан.

Но у псиломелана есть еще один секрет! Этот загадочный черный минерал умеет «расти» как дерево! Дендриты часто образуются в поверхностных условиях, когда породы подвергаются выветриванию и в них образуются трещины. Эти трещины могут заполняться растворами марганца и железа, из которых и образуются дендриты. Иногда это происходит в глубоких гидротермальных условиях.



▲ Дендриты — это не останки древнего растения, а минеральные разрастания псиломелана

Особенно красивы «псиломелановые растения» в моховых агатах и халцедонах — полудрагоценных камнях.

ЗОЛОТО

САМЫЙ КРАСИВЫЙ, РЕДКИЙ И ДОРОГОЙ МЕТАЛЛ

За что мы ценим золото? Золото отличается от других металлов тем, что:

- оно не окисляется, не ржавеет, не тускнеет и хорошо хранится, в отличие от меди или серебра, которые на воздухе со временем меняют свой внешний вид;
- это красивый и очень редкий, а значит невероятно ценный металл. Содержание меди в земной коре больше, чем содержание золота, почти в 900 раз, а железа больше золота в 909 тысяч раз. Стоимость золота всегда растет.

За последние полвека цена на золото выросла более чем в 15 раз;

- оно тяжелое, ковкое, отлично плавится и проводит электричество, что делает его идеальным кандидатом для использования в ювелирном деле, а также в высокотехнологичных производствах.

Сегодня один килограмм золота стоит больше 8,5 миллиона рублей. Это примерно в 100 раз дороже серебра и в 10 000 раз дороже меди.

Золото, как и другие тяжелые металлы, зародилось не в недрах Земли, а в космосе в ходе термоядерных реакций, например при столкновении нейтронных звезд. В условиях экстремальной плотности и температуры высвобождаются огромные потоки нейтронов, которые «налипают» на атомные ядра и превращают их в тяжелые металлы.

САМОРОДНОЕ ЗОЛОТО

Формула:	Au
Класс:	самородные элементы
Цвет:	золотой
Блеск:	металлический
Твердость:	2,5
Удельный вес:	19 (очень тяжелое)
Происхождение:	гидротермальное
Встречается	с кварцем, пиритом и другими сульфидами, серебром и медью



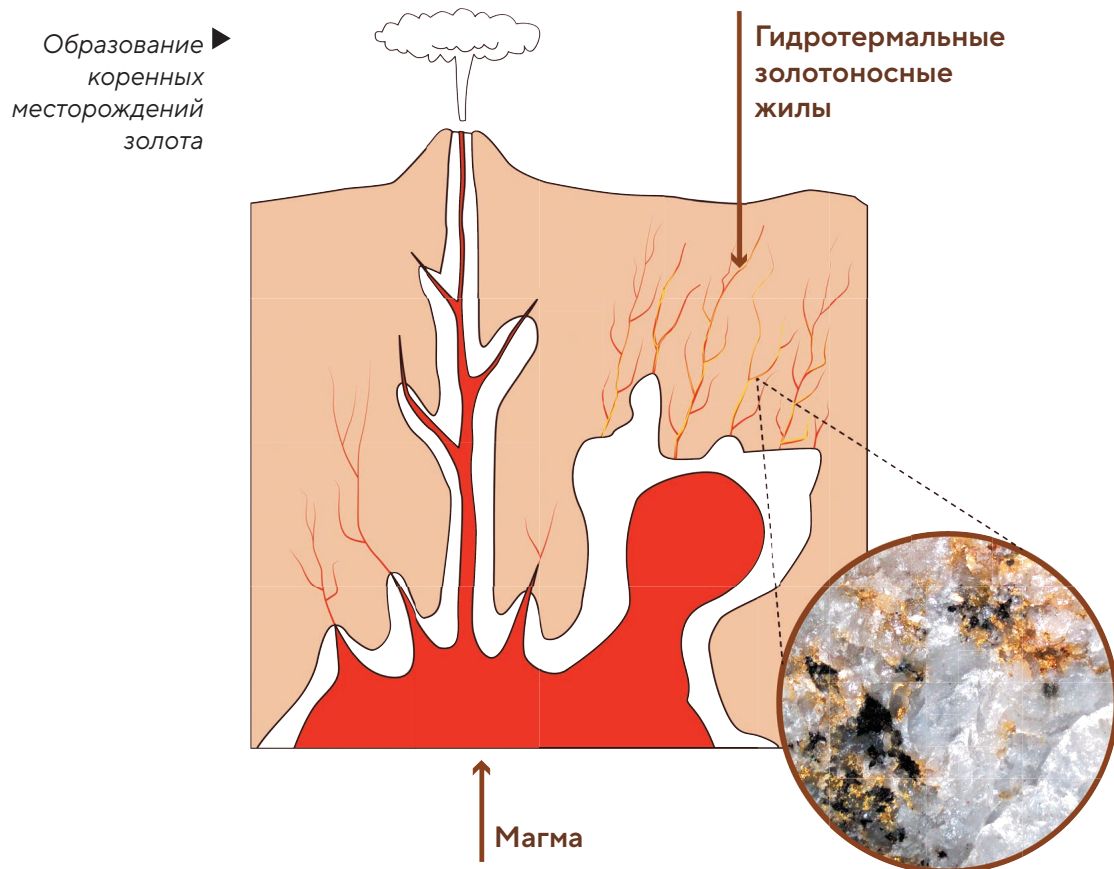
◀ Самородное золото

Образовавшийся газ и звездная пыль, состоящая из тяжелых металлов (золота, платины, тория, урана и др.), странствуют в космическом пространстве, пока не притянутся друг к другу и не станут частью планет. Так, около 4,6 миллиарда лет назад золото оказалось внутри нашей Земли.

Внутри Земли золото находится в магме — горячем «супе» из различных химических элементов. Ближе к поверхности планеты этот «суп» постепенно остывает, и золото вместе с другими элементами затвердевает в земной коре

в виде горных пород. Там, где золото накапливается в высоких содержаниях, образуются **коренные месторождения**.

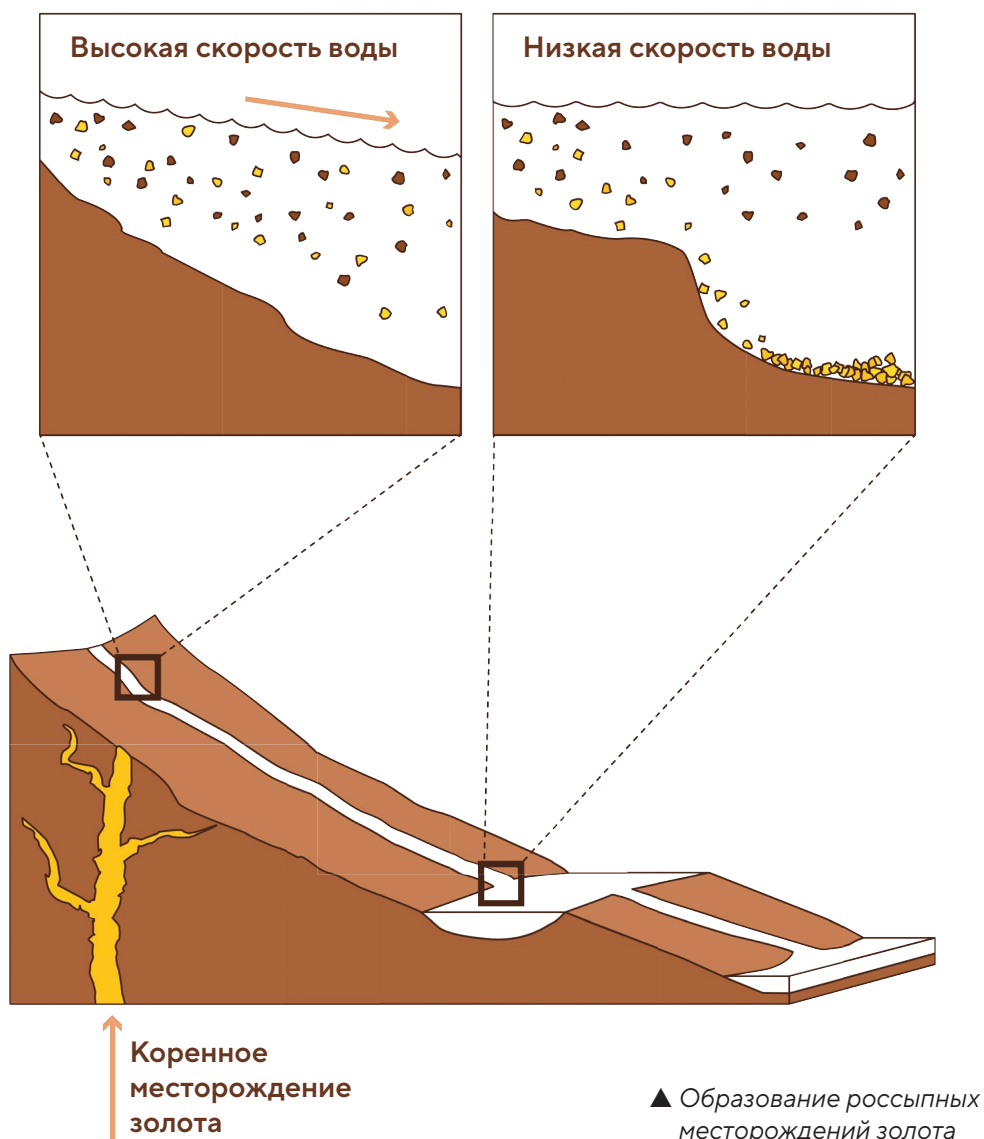
Чаще всего коренные месторождения золота формируются в гидротермальных процессах, при которых магма снизу выделяет газ, обогащенный золотом и другими металлами. Постепенно газ переходит в раствор, который стремится по трещинам и порам в земной коре наверх, взаимодействует с породами, постепенно остывает и затвердевает. Так образуются гидротермальные золотоносные жилы.



Они могут проникать на глубину от нескольких десятков до сотен метров.

Иногда под действием тектонических процессов в земной коре такие месторождения поднимаются наверх. За миллионы лет поднятые породы разрушаются под действием темпера-

туры, ветра, воды или бактерий. Например, горная река размывает коренное месторождение золота и переносит гальку и песок вниз по течению. Когда течение реки замедляется, частички золота начинают осаждаться и накапливаться — именно так образуются **россыпные месторождения**.





▲ *Коренное золото*



▲ *Россыпное золото*

Древнегреческий миф о походе аргонавтов за золотым руном рассказывает о золотой шкуре барана, которую главному герою Ясону предстояло добыть в стране Колхиде. Его путь был полон приключений и чудес. Вот только золотое руно — вовсе не чудо.

Колхида находилась на территории современной Грузии. Считается, что в те далекие времена россыпное золото на Кавказе добывали с помощью овечьих шкур: крепили их на дно горной реки и ждали, пока мелкие частички золота зацепятся за шерсть. Спустя некоторое время шкура начинала блестеть, словно была полностью золотой!

Как же ищут и добывают золото? Поиск и добыча коренного и россыпного золота происходит по-разному.

Россыпное золото уже несколько тысяч лет добывают традиционным шлиховым методом, когда золотосный песок промывают с помощью лотков или дражных ковриков.

Если россыпное золото погребено под землей, то сначала снимают верхние слои с помощью взрывных работ, бульдозеров или экскаваторов. Затем золотосный песок пропускают через гидромониторы или драги.

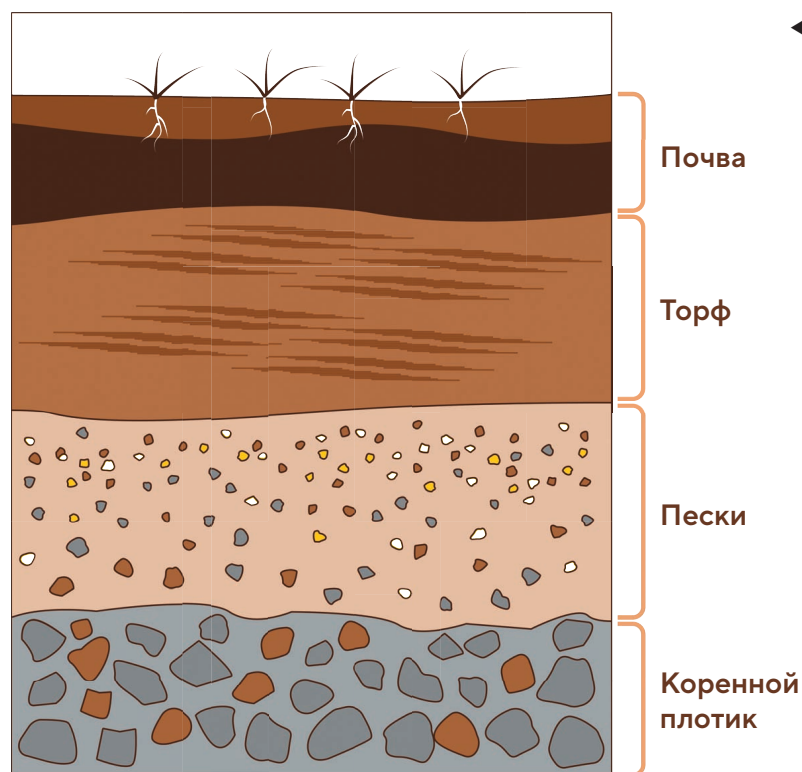
Чтобы найти коренное золото, золотоискатели становятся настоящими

детективами, ведь месторождение может залегать на километровой глубине, а на поверхности может не быть никаких видимых признаков. Для поиска и разведки применяют различные геологические, геохимические, геофизические методы.

После определения точного расположения рудного тела приступают к добыче золота. Для начала убирают вскрышные породы — огромные массы камней, которые залегают сверху руды. Породы очень твердые и ковшами экскаваторов их не захватить, поэтому сначала их нужно взорвать. В пробуренные скважины закладывают взрывчатку, которая дробит

породу на фрагменты размером до 1 метра. Один заряд разрушает примерно 50 тысяч тонн пород. После взрыва экскаваторы ковшами грузят руду в самосвалы, которые везут породу на дробилку.

В дробилках мощные плиты и вращающиеся механизмы разбивают крупные куски руды на части поменьше, примерно размером с грейпфрут. Дальше руду отправляют в шаровые мельницы — гигантские барабаны со стальными шарами. Когда мельница вращается, шары перемалывают камни в пыль. Только так золото, скрытое в руде, становится готово к следующему шагу.



◀ Схема залегания погребенного россыпного месторождения золота

Методы извлечения золота из руды

КУЧНОЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ	<p>Из измельченной золотоносной руды формируют кучу, которую поливают цианистым раствором. Со временем золото растворяется, золотосодержащий раствор собирают и отправляют на дальнейшую очистку. Это недорогой, но не самый эффективный метод. Зимой, например, растворы могут замерзнуть. Кроме того, этот метод не считается экологичным, ведь цианиды — очень ядовитые и токсичные вещества</p>
ФЛОТАЦИЯ	<p>При этом методе на поверхность воды всплывает целый флот золотых крупинок! Все происходит во флотомашине, которую наполняют водой, реагентами и измельченной рудой. Затем подают туда воздух и перемешивают. Частицы золота из-за реагентов становятся гидрофобными — отталкивающими воду. Они прилипают к пузырькам воздуха и всплывают на поверхность, образуя золотоносную пену. Пену снимают, фильтруют и сушат, получая таким образом сухой золотой концентрат</p>
СВЕРХТОНКИЙ ПОМОЛ И ОБЖИГ СУЛЬФИДОВ	<p>Руду обжигают при высоких температурах. Сульфиды сгорают, а золото, которое не подвергается окислению, остается в неизменном виде. Такой метод является опасным для окружающей среды, так как при сгорании сульфиды выделяют оксиды серы и мышьяка — невероятно летучие и токсичные вещества</p>
БАКТЕРИАЛЬНОЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ	<p>В этом случае работают бактерии, которые питаются серой из минералов-сульфидов. В огромных чанах создают благоприятные условия для роста бактерий, которые в ходе жизнедеятельности разрушают кристаллическую решетку сульфидов, где заключено золото. Этот метод является одним из самых эффективных и экологичных. Но нужно помнить, что бактерии — живые существа и, если им не понравятся какие-либо примеси в руде, они могут просто отказаться от такого «обеда» и погибнуть</p>

АВТОКЛАВНОЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ

Автоклав можно сравнить со сковородкой, где при высоких температуре и давлении сульфиды «развариваются» и золото высвобождается. Этот метод является более экологичным, чем обжиг сульфидов, так как используются закрытые емкости. По сравнению с бактериальным выщелачиванием считается менее «капризным» к примесям в руде

Специалисты выбирают методы извлечения золота в зависимости от того, в каком виде золото содержится в руде. Часто золото находится вместе с кварцем и сульфидами (металл плюс сера: халькопирит, пирит, арсенопирит и др.), и отделить золото от этих минералов — непростая задача.

Наиболее сложно извлекаемое золото называют упорным, так как такое золото мастерски прячется среди минералов-сульфидов и достать его оттуда возможно, только разрушив кристаллическую решетку этих минералов.

Золото очень редкое, но спрос на него растет с каждым годом. Сегодня золото добывают из руд, которые десятилетия назад даже не рассматривали для добычи. Содержание золота в таких рудах иногда меньше 1 грамма на 1 тонну пород. Представьте, чтобы получить золотое кольцо весом 2 грамма нужно переработать около 2 тонн пород!



▲ Золото в кварце



▲ Золото с кварцем и сульфидами

Люди уже несколько тысячелетий создают из золота предметы роскоши и ювелирные украшения. Золото настолько мягкое, что первые ювелиры могли создавать изделия, просто ударяя по куску металла каменным молотком. А еще золото плавится при низких температурах, поэтому из него можно было создавать монеты и украшения, расплавляя металл в примитивных печах.

Золото хорошо проводит электрический ток. Благодаря этому, а также из-за устойчивости металла к коррозии, его наносят на контакты — места соединения и разъединения электрической цепи внутри устройств (телефонов, компьютеров).

Золото — не просто пластичный, это самый пластичный металл! Разогрев один грамм золота до состояния пластичности, его можно вытянуть в нить толщиной в человеческий волос и длиной с футбольный стадион!

Золото хорошо проводит тепло, поэтому его используют в высокоточных термодатчиках. В них измерительная система регистрирует энергию, поступающую от объекта, через золотую прослойку. А еще ученые разработали на основе золота мини-сенсоры, которые можно вживить в организм человека и получать точные данные о температуре его органов и даже отдельных клеток.



Древнейшие золотые украшения были найдены в некрополе Варны, которому больше 6,5 тысячи лет! Люди культуры Варны жили на территории современной Болгарии. Их быт был довольно скромным: они занимались скотоводством, дома и посуда были глиняными, но вот их украшения — настоящие произведения искусства.

◀ Древнейшие золотые украшения культуры Варны



Тончайшими листами золота — сусалью — покрывают купола церквей, чтобы они дольше оставались красивыми и невредимыми.

◀ Купола Благовещенского собора в Кремле покрыты золотом

Золото ярко блестит на солнце. А значит, хорошо отражает видимый свет. Но и невидимое, то есть, инфракрасное излучение, золото тоже отлично

отражает! Тончайший слой золота наносят на шлемы космонавтов и детали космических аппаратов, чтобы защитить их от перегрева в космосе.

СЕРЕБРО

ЛУЧШИЙ ПРОВОДНИК ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Серебро, как и золото, издавна вдохновляло людей на создание украшений и монет. Археологи подтверждают, что серебро добывали уже 5 тысяч лет назад в Анатолии (современной Турции), где серебряные изделия использовали для торговли.

Но используют серебро не только для ювелирных изделий. Это лучший проводник электричества среди всех

металлов, поэтому его используют в контактах, батарейках, микросхемах. Серебро — важное сырье в химической промышленности и медицине, ведь оно обладает антисептическим действием. Возможно, вы пользовались лейкопластырем с серебряным напылением, которое ускоряет заживление ран. В зеркала и телескопы тоже добавляют этот металл, используя его способность отражать свет.

▼ Самородное серебро



САМОРОДНОЕ СЕРЕБРО	
Формула:	Ag
Класс:	самородные элементы
Цвет:	серебристый, часто с темной пленкой
Блеск:	металлический
Твердость:	2,5
Удельный вес:	11 (тяжелое)
Происхождение:	гидротермальное
Встречается	с кварцем, сульфидами, золотом и медью

В средние века испанцы, прибывшие в Южную Америку, услышали от индейцев легенды о «стране серебра» далеко на западе. Так возникло и название территории, а позже государства Аргентина — от латинского *argentum*, то есть «серебро».

Среди благородных металлов серебро наиболее распространено в природе. Его содержание в земной коре примерно в 20 раз больше, чем содержание золота или платины.

Часто на серебряных украшениях образуется темный налет, который называют патиной. Его формирование зависит не столько от кислорода, сколько от сероводорода (H_2S), который тоже имеется в воздухе. При контакте с ним серебро образует сульфид (Ag_2S) черного цвета.

Убрать его достаточно легко, для этого надо:

- растворить соду и соль в горячей воде;
- положить туда кусочек алюминиевой фольги и украшение из серебра;
- оставить на 5–15 минут — произойдет электрохимическая реакция, при которой сера «уйдет» на алюминий, а украшение станет чистым!

Однако серебро довольно редко встречается в виде самородков. Чаще всего его добывают из сульфидов — аргентита и акантита, которые образуются преимущественно в гидротермальных жилах. Реже серебро добывают из прустита, пирраргирита и других минералов.

Все крупные месторождения серебра связаны с добычей других металлов: золота, меди, свинца и цинка, которые вместе образуют сульфидные руды. Крупнейшие в мире залежи серебра находятся в Мексике (Кордеро), Перу (Корани) и России (месторождение Прогноз в Республике Саха).

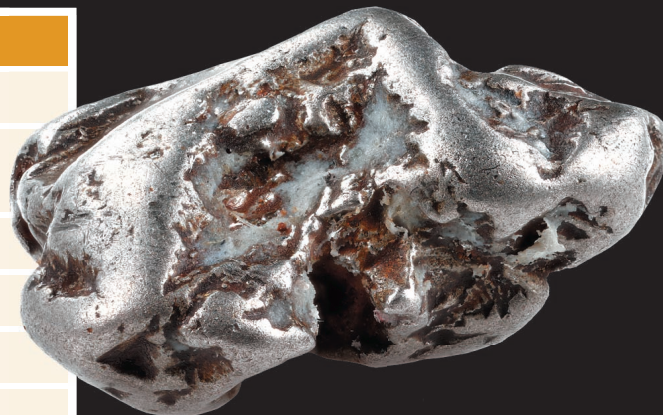
ПЛАТИНА

КЛЮЧ К ЗЕЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ И ЛЕКАРСТВО ОТ РАКА

Сейчас каждый, наверное, хотел бы обладать парой слитков платины — ведь это драгоценный благородный металл, который дороже серебра примерно в 30 раз! Но так было не всегда. Платина начала восприниматься как ценный и стратегический металл лишь в XX веке.

Впервые платину завезли в Европу в XVIII веке испанские конкистадоры, которые извлекли ее из россыпей золота, найденных в Колумбии. В то время к платине относились, как к «плохому» серебру и однажды даже выковали из нее обручи для деревянной бочки!

САМОРОДНАЯ ПЛАТИНА	
Формула:	Pt
Класс:	самородные элементы
Цвет:	серебристый
Блеск:	металлический
Твердость:	4,5
Удельный вес:	14-19 (очень тяжелая)
Происхождение:	магматическое
Встречается	с хромитом, магнетитом



▲ Самородная платина

Лишь с ходом научно-технического прогресса ученые выяснили, что платина — это прекрасный огнеупорный, электропроводящий и устойчивый к коррозии металл. Кроме того, платина — отличный катализатор, она ускоряет химические реакции, а ее объем при этом остается прежним. Поэтому платина используется в автомобилях, где нейтрализует вредные выхлопы, а еще в химической и нефтяной промышленности.

Будущая зеленая энергетика во многом опирается на платину: она используется в качестве катализатора в топливных элементах, где ускоряет реакцию водорода с кислородом и стимулирует выработку электричества.

Платина нужна и в электронике для производства жестких дисков и жид-

кокристаллических дисплеев. А еще платина незаменима в медицине! Препараты на основе платины (например, цисплатин) применяются для лечения некоторых видов рака. И, конечно, платину используют в ювелирном деле, ведь она может быть элегантной спутницей драгоценных камней.

Все крупные месторождения платины и ее постоянных спутников палладия, осмия, иридия и рутения, связаны с магматическими породами, в которых содержится мало кремния. Такие породы называются ультраосновными, и они служат главной платиновой рудой. Такая руда может состоять из самородков платины и ее спутников-металлов. Иногда она содержит много сульфидов — соединений серы с металлами (это пентландит или халькопирит), которые тоже могут образовываться из магмы. Такие месторождения называют магматическими сульфидными.

Такое месторождение есть в России рядом с Норильском в Красноярском крае. Это крупнейший в мире комплекс по запасам палладия и второй в мире — по запасам платины.

Вот так когда-то недооцененная и незаметная платина сегодня считается драгоценным металлом и помогает делать наш мир чище и эффективнее.

Встречаются и россыпи платины — когда горные породы, поднявшиеся из-за тектонических процессов на поверхность, разрушаются и платина накапливается в понижениях рельефа — руслах рек, например. Такие россыпи разрабатывают на Урале.

РАДИОАКТИВНЫЕ МИНЕРАЛЫ

ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ

Уран и торий — главные радиоактивные элементы естественного происхождения. Их тяжелые и нестабильные ядра самопроизвольно распадаются, при этом получают новые элементы (от радия и радона до стабильного свинца), а также выделяется энергия.

Но эта энергия выходит наружу не только в виде тепла, при распаде атомные ядра испускают разные виды частиц и волн. Именно они и образуют ионизирующее излучение, способное изменять вещество, через которое оно проходит.

ВИДЫ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Альфа-частицы (α) — тяжелые, но слабо проникают сквозь предметы. Их остановит даже лист бумаги или кожа. Но если они попадут в легкие при вдыхании, то могут «бомбардировать» клетки и вызывать повреждения.

Бета-частицы (β) — легкие электроны, они пролетают дальше альфа-частиц, задерживаются стеклом или алюминием.

Гамма-лучи (γ) — это электромагнитное излучение, оно хорошо проникает сквозь предметы. Такое излучение очень опасно: при длительном воздействии оно вызывает лучевую болезнь или онкологические заболевания! Останавливают гамма-лучи только толстые стены или свинцовая защита.

Уран и торий могут образовывать собственные минералы (уранинит, коффинит, торит), а могут входить в другие минералы в качестве примесей (лопарит, монацит, бастнезит) и придавать им радиоактивные свойства.

Уранинит — тяжелый черный урановый минерал, главный источник уранового сырья для атомной промышленности.

Из-за радиации уранинит может становиться **метамиктным**, то есть его кристаллическая решетка разрушается из-за энергии, исходящей при разделении атомов урана. При этом внутренности минерала превращаются в аморфное стекло.

УРАНИНИТ	
Формула:	UO ₂
Класс:	оксиды
Цвет:	черный, бурый, серый
Блеск:	жирный, тусклый
Твердость:	5
Удельный вес:	11 (очень тяжелый)
Происхождение:	гидротермальное, пегматитовое
Встречается	с сульфидами

Урановые руды могут быть образованы из магмы, в гидротермальных и осадочных условиях. Крупнейшие запасы урана находятся в Австралии, Казахстане, Канаде и России.

Помимо традиционных методов (карьер и шахта) уран можно добывать подземным выщелачиванием. Если урановые минералы под землей находятся не в твердых породах, а в довольно рыхлых песчаниках, то их можно растворить прямо там. Для этого в горизонты закачивают реагенты, растворяющие урановые минералы, затем раствор откачивают обратно, и на комбинатах выделяют из него «желтый кек» — урановый порошок.

Но использовать такой метод можно только там, где нет опасности загрязнения подземных питьевых вод.

Атомные электростанции (АЭС) считаются более экологичными, чем тепловыделяющие реакторы, работающие на угле. При работе АЭС нет дыма, копоти и почти не выделяется углекислый газ.

▼ Уранинит



Для выработки большого количества энергии нужно совсем немного урана, поэтому добыча и перевозка топлива минимальны. Но в истории атомной энергетики случались крупные аварии, например на Чернобыльской АЭС в 1986 году, последствия которой ощущаются до сих пор. Поэтому работу АЭС строго контролируют, а отходы производства помещают в специальные хранилища.

Ядерные реакторы используют не только на АЭС. Работа атомных ледоколов в Арктике была бы невозможна без урана! Но каким бы крутым и мощным не был атомный ледокол, он НЕ СМОЖЕТ пересечь вдоль Индийский океан. А все потому что реактору для охлаждения активной зоны, где происходит деление урана, нужна ледяная вода. В теплых водах эффективность охлаждения гораздо ниже, что может привести к перегреву реактора и чрезвычайной ситуации.

▼ Торит



ТОРИЙ — ЭНЕРГИЯ БУДУЩЕГО?

Основа атомной энергетики сегодня — уран. Но торий тоже может служить топливом для ядерных реакторов. Ториевая энергетика даже дешевле и доступнее, так как торий распределен в земной коре равномернее и его в 4 раза больше, чем урана.

Минерал **торит** — главный ториевый минерал. Он бывает очень красивым: иногда образует прозрачные кристаллы оранжево-красного цвета. Именно из торита шведский химик Йенс Якоб Берцелиус в 1828 году выделил новый химический элемент — торий.

ТОРИТ	
Формула:	ThSiO ₄
Класс:	силикаты
Цвет:	желтый, бурый, зеленый, оранжево-красный
Блеск:	смолистый, жирный
Твердость:	4,5
Удельный вес:	6,7
Происхождение:	магматическое
Встречается	с монацитом, цирконом, уранинитом

РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ МИНЕРАЛЫ

РЕСУРСЫ БУДУЩЕГО

Редкоземельные металлы – невероятно важные полезные ископаемые в современном мире! Это группа из 17 элементов: скандий, иттрий, лантан и лантаноиды.

Каждый из этих элементов нашел свое применение в промышленности и высоких технологиях. Так, неодим критически важен для оборонной промышленности, из него делают самые мощные магниты. Лантан и церий востребованы в нефтехимии, потому что

они ускоряют процессы разделения нефти. Европий, тербий, гадолиний и другие редкоземельные металлы необходимы для производства техники и электроники.

В вашем смартфоне содержится минимум 9 редкоземельных металлов! Если бы не редкоземельные металлы, смартфон был бы больше и тяжелее примерно в 5 раз.

▼ Редкоземельные элементы в периодической таблице химических элементов



ЛОПАРИТ	
Формула:	(Na,Ce,Ca,Sr,Th) (Ti,Nb,Fe)O ₃
Класс:	оксиды
Цвет:	черный
Блеск:	металлический
Твердость:	6
Удельный вес:	5
Происхождение:	магматическое
Встречается	с нефелином, эгирином, магнетитом, апатитом



▲ Лопарит

Что же делает редкоземельные металлы незаменимыми? Дело в том, что свойства редкоземельных металлов проявлены гораздо сильнее, чем у обычных. Например, чтобы достичь одинакового эффекта, нужно использовать мало редкоземельного металла или много обычного. Это позволяет делать технику и приборы миниатюрнее.

Редкоземельные руды — это не куски металла под землей. Это скопления минералов, содержащих в себе редкоземельные элементы в высоких концентрациях. Главными редкоземельными минералами являются: **лопарит, монацит, ксенотим, бастнезист, гадолинит и гагаринит.**

В России разрабатывается единственное месторождение редкоземельных руд — Ловозерское месторождение на Кольском полуострове. Главный минерал месторождения — **лопарит**. Название этого минерала произошло от слова «лопари» — так русские называли саамов, живущих на Кольском полуострове.

Лопарит имеет черный цвет и металлический блеск. Из этой руды добывают не только редкоземельные элементы — церий, лантан, неодим, празеодим, но и другие редкие металлы — ниобий, титан. Добытые из лопарита церий, лантан, неодим и празеодим чаще всего используют в качестве ускорителей реакций в нефтехимии для разделения нефти на легкую и тяжелую фракции и в металлургии для повышения качества сплавов.

МОНАЦИТ	
Формула:	CePO_4
Класс:	фосфаты
Цвет:	желтый, коричневый, бурый
Блеск:	смоляной
Твердость:	5
Удельный вес:	5
Происхождение:	магматическое, пегматитовое, метаморфическое
Встречается	с кварцем, КПШ, апатитом, слюдами

Монацит — еще один редкий, но особенный минерал. Он состоит из фосфора, кислорода, церия и других редких земель. Выглядит он невзрачно — коричневые, чаще всего мелкие кристаллы. Однако он является важнейшей редкоземельной рудой. Из монацита получают, например, неодим, который является основой самых мощных магнитов. Такие магниты критически важны для оборонной промышленности, а также для зеленой энергетики, ведь они используются в ветрогенераторах и электромобилях.

Но помимо пользы монацит таит в себе опасность. Он может быть радиоактивным — иногда в нем содержится много урана и тория. Особенно тория!



▲ Монацит

Россыпи монацитовых песков являются местами повышенной естественной радиоактивности. Пляжи с таким песком есть в Индии в штате Керала, Бразилии в штате Эспириту-Санту, на побережье Азовского моря. Погуляв 1 час по самому радиоактивному пляжу в мире — Гуарапари в Бразилии, — можно получить дозу облучения в 5 раз большую, чем доза от часового полета на самолете.

Образуется монацит не на поверхности земли, а в ее глубинах при застывании магмы, например в гранитах. Затем миллионы лет происходят тектонические движения, которые могут поднять эти граниты ближе к поверхности земли. Под действием выветривания и береговой эрозии граниты разрушаются, и высвободившиеся монацит и другие прочные минералы начинают «путешествовать» вместе с морской водой, постепенно образуя такие радиоактивные пляжи.



▲ Монацитовые россыпи на пляже Гуарапари в Бразилии — место повышенного естественного радиационного фона

Основные промышленные месторождения монацита образуются из карбонатов — магматических пород, состоящих в основном из кальцита и доломита. На самом крупном месторождении монацита в мире — Баян-Обо, расположенном на севере Китая, — сконцентрировано более трети мировых запасов церия, лантана, неодима, празеодима. Более того, почти в каждом компьютере и телефоне (вероятно, и в ваших тоже) содержатся редкоземельные элементы, добытые на Баян-Обо.

В России тоже есть огромное по запасам месторождение редкоземельных металлов, связанное в том числе с монацитом — это Томтор в Якутии.

Однако, пока его не разрабатывают из-за удаленности и сурового арктического климата.

Самый удаленный монацит найден даже не на Земле, а в лунном грунте, полученном космическими миссиями «Луна-20» и «Луна-24». В целом исследования показывают, что на Луне есть достаточные запасы редкоземельных элементов и тория. Кто знает, возможно, в будущем мы будем добывать эти элементы из лунных пород?

Бастнезит — самый лакомый кусок при добыче редкоземельных металлов.

Из него легче извлекать полезные элементы, чем из лопарита, и он менее радиоактивный, чем монацит. Это фторкарбонат редкоземельных элементов, он состоит из углерода, кислорода, фтора и редкоземельных элементов.

Практически все месторождения бастнезита образуются из карбонатных магм, но не при застывании самой магмы, а позже, когда начинают действовать горячие растворы — гидротермы, содержащие редкие земли, фтор и другие элементы. В этом случае формируются кристаллы желтого, бурого или красного цвета.

Второй способ образования — в процессах выветривания на поверхности, когда твердые первичные минералы (монацит и лопарит) разрушаются под действием температуры, ветра и воды. При их разрушении высвобождаются редкоземельные элементы, образуя уже другие минералы — например, бастнезит.

Бастнезит тоже обнаружен на Луне в образцах реголита — лунного грунта, полученного российской миссией «Луна-24» в 1976 году.

Гагаринит — довольно редкий минерал. Однако он важен для геологов, так как служит индикатором геологических обстановок, где происходит

редкоземельная минерализация. Это маркер в оценке редкоземельных руд.

Состоит он из натрия, кальция, фтора и редкоземельных элементов, в основном иттрия. Чаще всего гагаринит образуется в щелочных гранитах, содержащих много калия и натрия и мало алюминия. Там он формирует светлые призматические кристаллы.

Впервые гагаринит был описан в 1961 году, поэтому получил свое название в честь первого человека в космосе — Юрия Гагарина.

Гадолинит — еще один редкоземельный минерал. Чаще всего он встречается в виде плотной массы черного цвета.

Гадолинит, так же как и химический элемент гадолиний, получил свое название в честь Юхана Гадолина — химика, который впервые открыл редкоземельные элементы в конце XVIII века.

Стоит отметить, что в самом минерале гадолините содержание элемента гадолия незначительное. В основном он содержит другие редкоземельные металлы: церий, лантан, неодим и иттрий. Гадолинит является редкоземельной рудой, основное его месторождение расположено в Канаде.

ГОРЮЧИЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЕЩЕСТВА

ХРАНИТЕЛИ ЭНЕРГИИ

Природные горючие ископаемые (уголь, торф, антрацит, нефть) нельзя назвать минералами. Это скорее горные породы, которые образовались из остатков древних живых организмов. Их еще называют каустобиолитами от греческого «каустос» — горючий, «биос» — жизнь, «литос» — камень.

Люди многие тысячелетия используют их в качестве топлива. Уголь сжигают на топливных электростанциях и получают тепло, которым отапливают города. А нефть перерабатывают в бензин, ке-

росин, дизель, которые нужны для легковых и грузовых автомобилей. Также из нефти делают всевозможные пластмассы, синтетические волокна и резину. Природный газ (метан, пропан, бутан, этан) — тоже является каустобиолитом. Он служит не только топливом, но и ценным химическим сырьем. Россия занимает первое место в мире по запасам природного газа! В нашей стране содержится около четверти мировых запасов этого ценного ресурса, большую часть которого добывают в Ямало-Ненецком автономном округе.

«ВРАТА АДА»

В 1971 году геологи в Туркменистане вели поиски природного газа. Начали бурение. Но оказалось, что буровую вышку установили прямо над подземной



▲ «Врата ада» в Туркменистане

полостью, куда в скором времени провалилась вся техника. К счастью, без людей. Работы приостановили, а интенсивно выходящий на поверхность газ подожгли — иначе он мог взорваться. Все думали, что огонь погаснет через год, но он горит уже больше 50 лет. И, возможно, будет гореть еще долгие столетия. В Ираке на месторождении нефти Баба-Гургур такой пожар длится уже 4000 лет! Это явление описывал даже Геродот.

Добывают каустобиолиты по-разному. Если уголь достают из недр так же, как руды, с помощью карьеров или шахт, то нефть и газ поднимают на поверхность через скважины, пробуренные до горизонтов, содержащих нефть, газ или их смесь. А потом их транспортируют по трубопроводам или танкерами до перерабатывающих заводов.

Иногда нефть и газ добывают в сложнейших условиях севера, где температура даже летом не поднимается выше +10 °С. Некоторые месторождения нефти открыты прямо на дне моря. Чтобы извлечь такие ресурсы, строят нефтяные платформы — целые города, стоящие на сваях. Прямо с них бурят скважины в толщу морских пород и поднимают нефть с помощью насосов или специальных установок.

ТОРФ, УГОЛЬ, АНТРАЦИТ

Уголь, как и другие каустобиолиты, — продукт разложения органики. Но если нефть — это результат преобразования морского планктона, то уголь — наземной растительности.

Энергия, заключенная в угле, — это энергия солнца. Фотон от солнца, в котором заключена электромагнитная энергия, попадает на поверхность листа. Внутри листа фотон активирует реакцию фотосинтеза, при которой происходит настоящее чудо: электромагнитная энергия преобразуется в химическую. При этом образуется главная энергетическая молекула — глюкоза, которая работает как природный аккумулятор — сохраняет энергию солнца в химических связях растения. В клетке глюкоза усложняется и преобразуется в целлюлозу и лигнин — твердые «строительные» материалы растений.

Со временем растения погибают. Для образования угля нужна болотистая местность, где растения не разлагаются полностью из-за низкого содержания кислорода, а накапливаются слой за слоем. Так образуется **торф** — рыхлая, влажная масса, состоящая из частично разрушенных целлюлозы и лигнина.

Постепенно торф сверху покрывается другими слоями — песком, глиной — и уплотняется. В ходе геологических процессов торф опускается ниже, подвергается воздействию высокого давления и высокой температуры, теряет летучие компоненты (воду и газы). Целлюлоза и лигнин при этом преобразуются в более плотные углеводородные кольца — арены и обогащаются углеродом. Так происходит углефикация от торфа к **бурому углю**, а затем — к **каменному**. Высшим звеном в этой цепи по содержанию углерода и энергетической значимости является **антрацит**.



▲ Каменный уголь

Добыча угля ведется в карьерах или шахтах. Кстати, работа шахтеров считается одной из самых опасных, так как в стволах шахты иногда случаются обвалы или взрывы из-за накопившихся газов. Помимо этого, пыль и радиоактивный газ радон могут вызывать у шахтеров заболевания легких.

Именно из-за сложности добычи до 1700 года в Европе каменный уголь использовали как второстепенное топливо, предпочитая ему древесину. Однако позже уголь стал первым

великим топливом промышленной революции. Его энергия позволила человеку вступить в индустриальную эпоху — время использования машин и роста городов. К 1800 году британцы добывали около 80 % мирового угля. Сейчас больше половины всего угля добывает Китай. Россия также обладает значительными запасами «солнечного камня». Здесь сосредоточено более 20 угольных бассейнов, самые крупные из которых находятся в Сибири — это Кузнецкий, Печорский, Канско-Ачинский, Ленский и Иркутский бассейны.

Уголь используют не только в качестве топлива на теплоэлектростанциях. Из высококачественного угля делают кокс — твердое бездымное топливо, критически важное для производства чугуна. В химической промышленности уголь также играет важную роль — из него, точнее из коксового газа, получают водород, аммиак и бензол.

На Земле случались периоды, невероятно благоприятные для углеобразования. Одним из них был карбон, или каменноугольный период (от 359 до 299 млн лет назад). Это было время теплого и влажного климата, когда большая часть Земли была тропиками, на планете широко распространялись древовидные растения — папоротники, плауны и хвощи. В каменноугольном периоде еще не было динозавров, а насекомые были больше, чем человек сегодня, однако насекомые, способные переваривать древесину, тогда еще не появились. Все это способствовало интенсивному углеобразованию. Отпечатки растений иногда можно найти в угольных пластах, которые обычно залегают на глубине сотен метров.

Есть у угля еще одна необычная «профессия». Уголь может хорошо сорбировать на себе элементы, поэтому в природных процессах он может накапливать редкие металлы и служить

рудой скандия, иттрия, германия и рения. Это свойство угля взял на вооружение и человек — уголь используют в качестве адсорбента в фильтрах воды и газов.

НЕФТЬ

Люди используют нефть более 6 тысяч лет. Продукты ее перегонки — асфальт и битум применяли еще при строительстве Вавилона. В то же самое время люди открыли нефть и как топливо. В древней Греции и в средневековой Европе ее использовали для обогрева домов.

Однако только к концу XIX века люди научились перегонять нефть в промышленных масштабах и получать из нее разные виды топлива — керосин и мазут. С того времени, в основном за счет использования нефти, годовое потребление энергии выросло примерно в 20 раз.

Слово «нефть» появилось в русском языке в XVII веке. Считается, что оно происходит от арабского «нафата» — «просачиваться».

Другая важная особенность нефти открылась в XX веке с развитием органической химии. Оказалось, что сложные органические молекулы нефти имеют почти неисчерпаемые

структурные возможности — их можно преобразовывать, разрушать и складывать, как конструктор, создавая новые материалы. Этот процесс называется синтезом, а его продукты — это во многом основа материального мира, в котором мы живем. Пластиковые окна, двери, мебель, ковры, шторы, одеяла, игрушки, одежда и резиновая обувь — все это сделано из нефти! Кремы, шампуни, губная помада — тоже продукты переработки нефти. Но и это еще не все! Половина аптечки — аспирин, парацетамол, ибупрофен — сделаны из нефти же. На кухне тоже не обошлось без нефти. Вкусовые добавки, например, синтетический ванилин производят из гваякола — продукта нефтехимии. Неожиданно, не правда ли?

Но перед тем, как применять полимеры и резину, нужно сначала добыть нефть. А она часто залегает довольно глубоко.

Как же образовались нефтяные месторождения? Более 30 % биомассы моря составляют планктон и водоросли — мельчайшие организмы, в которых содержится много липидов, проще говоря, жиров, которые и являются основным

ингредиентом, из которого потом «варится» нефтяной суп в недрах Земли.

Рано или поздно планктон умирает и слоями накапливается на дне. Постепенно эта мертвая органика уплотняется и опускается все ниже в ходе геологических процессов. Так образуются органические осадочные породы.

На глубине 2–4 километра при высоком давлении и температуре от 60 до 150 °С за десятки и сотни миллионов лет происходит превращение липидов в другие соединения — ароматические углеводороды и алканы — основные компоненты нефти. Они накапливаются в нефтематеринских породах.

Нефть из глинистых нефтематеринских пород по микротрещинам поднимается и концентрируется в коллекторах — пористых породах, подобных губке. Чаще всего это известняки или песчаники, которые укрыты более плотными глинистыми или соляными пластами — покрышками, не дающими нефти подниматься выше. Эти пласты должны залегать в виде ловушек — определенных структур в виде выпуклых складок, иначе углеводороды могут «обогнуть» покрышку.

Глубина залегания коллекторов — не главная проблема. Можно пробурить скважину глубиной и более 3 км. Сложности возникают, если нефтяники сталкиваются с «трудной» нефтью. Такая нефть имеет густую консистенцию и может быть почти твердой при обычной температуре.

СОСТАВ НЕФТИ

Нефть — это смесь, состоящая на 79–88 % из углерода, 11–14 % водорода, примерно 8 % серы и 1–2 % кислорода и азота. В незначительных концентрациях в нефти содержатся различные металлы: ванадий, никель, алюминий.



▲ В зависимости от состава нефть может быть черного, желтого, коричневого, зеленого и других цветов

А иногда она находится в низкопроницаемых плотных коллекторах, например сланцах, как в баженовской свите Сибири. Добыть такую нефть совсем не просто. Сегодня это процесс, требующий множества знаний и технологий.

Одна из крупнейших нефтегазоносных провинций в мире — Западная Сибирь, а именно Тюменская область, Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа. Здесь добывают около 70 % всей российской нефти.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДЕКОРАТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Возведение любого здания и сооружения, которые люди когда-либо построили за свою историю, было бы невозможно без минеральных ресурсов. Даже, казалось бы, полностью деревянный дом невозможно построить без железа — топоров, пил, гвоздей. Что уж говорить о замках, небоскребах и современных жилых кварталах!

Главный строительный материал в мире — это бетон. Его делают из смеси цемента и песка или гравия, добавляя воду и оставляя застыть. В итоге получается прочный искусственный камень. Чтобы получить цемент, берут глину и известняк и тщательно перемешивают. Затем эту смесь обжигают в печи,

а потом измельчают в порошок. Также во всем мире в строительстве применяют песок, глину и кирпичи из нее, сталь и алюминиевые сплавы.

В путешествиях можно заметить, что для строительства домов люди чаще всего используют местные материалы — это придает архитектуре уникальный вид.

Так, характерная особенность домов в итальянской Тоскане — черепичная крыша из местной глины. Обожженная в печах, она приобретает теплый красно-оранжевый цвет, благодаря этому тосканские городки выглядят так гармонично на фоне зеленых холмов.

▼ Черепичные крыши из местной глины в Тоскане (Италия)



▼ Черепица из натурального сланца в Глазго (Шотландия)



В Шотландии и Ирландии, наоборот, всегда предпочитали темную черепицу из натурального сланца, которым славился остров Валентия.

Но построить — это полдела, важно сделать здание красивым. Для этого используют отделочные и декоративные

материалы: гранит, базальт, мрамор, лабрадорит, серпентинит и другие горные породы.

Они не только служат украшением, но часто защищают здания от влаги, холода и самого страшного врага построек — времени.

ГРАНИТ

«Грызть гранит науки», «сердце из гранита» — такие выражения можно услышать, когда человек столкнулся с чем-то или кем-то сложным, твердым и неприступным. Действительно, гранит — одна из самых прочных горных пород, которую использовали в строительстве тысячи лет назад и делают это до сих пор!

Гранит — дитя магмы, он медленно рождается в глубинах Земли и образует кристаллы, которые можно увидеть невооруженным глазом. Но зародиться этот минерал может только в определенной магме — в которой много кремнезема (SiO_2). Такую магму называют кислой.

У гранита богатый минеральный состав, более чем наполовину он состоит из силикатов: калиевых шпатов и плагиоклазов. Причем, если преобладают первые, то гранит будет розовым, а если вторые — светло-серым. На 20–40 % он состоит из кварца — это придает граниту прочность и устойчивость к выветриванию.



▲ Еще в Древнем Египте из гранита вырезали саркофаги и делали элементы храмов. Гранитные колонны с рельефами в Карнакском храме (Луксор, Египет)



▲ Розовый гранит



▲ Светло-серый гранит

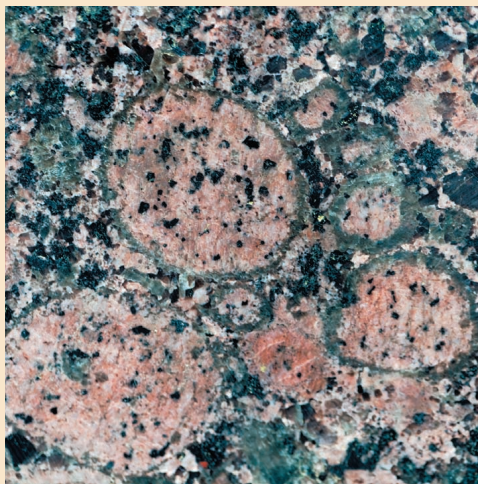
Блеск породе придают слюды (черный биотит и светлый мусковит). В небольших количествах в граните можно найти роговую обманку, турмалин, циркон, монацит и ксенотим.

Из гранита часто делают памятники и строят набережные. Визитная карточка Санкт-Петербурга — гранитные

набережные рек и каналов. Интересно, что, гуляя по любой гранитной набережной или возле памятника из гранита, тоже можно получить малые дозы радиации. Это происходит из-за того, что в состав гранита входит радиоактивный калий, а также такие минералы, как циркон, монацит и ксенотим, которые почти всегда содержат уран и торий.



◀ Гранитная набережная Санкт-Петербурга



▲ Гранит рапакиви

Гранит рапакиви — разновидность гранита, в котором крупные розовые кристаллы калиево-натриевого полевого шпата обрастают светло-серым плагиоклазом и приобретают округлый вид.

«Рапакиви» в переводе с финского означает «гнилой камень». И действительно, этот гранит легче других подвергается выветриванию за счет неоднородной структуры и разницы в плотности крупных кристаллов и основной массы. Камень разрушается под воздействием ветра, воды и перепадов температур.

Но не стоит переживать — такие дозы довольно безопасны, если они кратковременны.

резаны из гранита. А постамент для Медного всадника представляет собой гигантскую глыбу гранита рапакиви.

Огромные колонны Исаакиевского собора в Санкт-Петербурге тоже вы-



◀ Церковь Святого Георгия в Лалибеле (Эфиопия) высечена прямо в гранитной скале

БАЗАЛЬТ

Рим назван «вечным городом» не только потому, что у него давняя и богатая история, но и потому что даже сегодня среди модных магазинов и ресторанов можно найти постройки, которым больше двух тысяч лет!

Эти древние здания сохранились благодаря тому, что римляне строили их из качественных материалов: вулканического туфа, травертина (прочного известняка), мрамора, гранита и ... **базальта**.

▼ *Древнеримская Аппиева дорога, выложенная из базальтовых блоков*



Большинство римских дорог были вымощены крупными базальтовыми блоками. Римские инженеры подходили к строительству дорог очень основательно: сначала рыли глубокую траншею, затем на дно ее укладывали камни и щебень, добавляя цементный раствор, а поверх щебня плотно подгоняли друг к другу большие многогранные базальтовые блоки.

Базальт, как и гранит, тоже образуется из магмы. Но между этими породами огромная разница. Базальтовая магма, в отличие от кислой (гранитной), бедна кремнеземом, но при этом в ней много магния и железа. Гранит медленно кристаллизуется в недрах, а базальт быстро застывает при изливании лавы на поверхность. Это может происходить как на суше, так и на морском дне.

В Исландии, на Камчатке и Гавайях можно воочию увидеть, как лава изливается на поверхность земли при извержениях вулканов, и из нее образуется базальт.

Аппиева дорога — самая значимая из античных общественных римских дорог — была выложена из базальта. Частично она сохранилась и по ней можно гулять даже сегодня.

При более медленном и равномерном застывании толщи лавы могут образовывать ровные многогранные (шестиугольные) базальтовые столбы, похожие на трубы органа. Такое чудо природы можно увидеть на Дороге гигантов в Ирландии, на Башне дьявола в США и на мысе Столбчатый на российском острове Кунашир.



▲ Базальтовые столбы на мысе Столбчатый на острове Кунашир



▲ Подушечная лава из базальта

Океаническая кора состоит в основном из базальта. Иногда в подводных условиях лавовые потоки принимают особую форму подушек – «подушечной лавы».

Базальт обычно состоит из плагиоклаза, пироксена, магнетита, а также вулканического стекла. Иногда в нем встречаются вкрапления оливина, роговой обманки, редко – апатита. Из-за быстрого застывания лавы

кристаллы в базальте настолько мелкие, что невооруженным глазом их почти невозможно различить, поэтому базальт выглядит темным и однородным. Иногда лава не успевает кристаллизоваться вообще, и в результате ее изливания и застывания получается вулканическое стекло (обсидиан).

Именно мелкозернистая структура делает базальт прочным и устойчивым к выветриванию, поэтому он широко используется как строительный материал.

Из базальта научились делать тонкое волокно, которое используют для утепления стен, потолков и крыш. Также базальтовое волокно подходит для шумоизоляции. Получают его так: сначала базальт сильно на-

гревают, затем расплав превращают в тонкие волокна с помощью центрифуг или воздушной струи, а затем из этих волокон формируют рулоны, маты и плиты, которые идут в строительство.

Почвы почти всегда наследуют состав горных пород, на которых они формируются. Почвы, образованные на базальтах, обладают уникальными свойствами: в них много никеля, цинка и меди, они отлично удерживают влагу и обычно очень плодородны. На вулканических почвах часто выращивают виноград, как, например, в регионе Овернь (Франция) и на острове Лансароте (Испания).

ИЗВЕСТНЯК И МРАМОР

«Москва белокаменная» — наверняка многие слышали это выражение. Откуда же взялось это название? Ведь в современном облике столицы не так много белых зданий. Все дело в известняке, который добывали в Подмосковье и долгое время использовали в строительстве города. Даже стены Кремля в XIV веке были выложены из белого камня, именно поэтому Москву называли белокаменной.

Ни один камень не связан с культурой и историей России сильнее, чем известняк. Его применяли в строительстве церквей, храмов и домов во Владимире, Суздале, Ростове, Коломне и многих других городах. Такое широкое применение связано с геологией региона: здесь выходит на поверхность узкий пласт белого известняка мощностью 10–40 метров, образовавшийся в древнем море десятки миллионов лет назад.



◀ Успенский собор в Московском Кремле — сохранившийся памятник белокаменного зодчества

Чтобы понять, как образуется **известняк**, нужно разобраться, что такое кальцит. **Кальцит** — один из самых распространенных в природе минералов.

Он составляет примерно 4 % массы земной коры и встречается во всех типах горных пород.

Кальцит — важный минерал в химической промышленности и сельском хозяйстве. Коллекционеры очень ценят кальцит за разнообразие его форм, которых насчитывается более 600.

КАЛЬЦИТ	
Формула:	CaCO_3
Класс:	карбонаты
Цвет:	белый, розовый, желтый и другие
Блеск:	стеклянный
Твердость:	3
Удельный вес:	2,7
Происхождение:	гидротермальное, осадочное — в морях
Встречается	с сульфидами, серой, гранатами, галитом, гипсом



▲ Кальцит

Это кристаллы в виде ромбоэдров, призм, пирамидок, чешуек и лепестков.

Определить кальцит можно, зная его твердость, — он тверже ногтя и гипса, однако мягче стекла, стального ножа или кварца.

Главным «заводом» по производству кальцита является море. Когда кальцит накапливается на дне моря, получают **известняки** — многокилометровые толщи осадочных пород. Известняк может образовываться в море двумя путями. **Органогенный путь** — это когда в течение многих миллионов лет морские животные (кораллы, морские лилии или моллюски) с раковинами и скелетами, содержащими кальций, а точнее, карбонат кальция, погибали и накапливались на морском дне. Затем эти останки покрывались другими осадками — песком или глиной, опускались все ниже в недра земли и уплотнялись, образуя органогенный известняк.



▲ Органогенный известняк



▲ Египетские пирамиды в Гизе сделаны из органогенного известняка. Он сформировался из скопления мельчайших одноклеточных организмов — нуммулитов

Хемогенным путем кальцит образуется в лагунах, где морская вода активно испаряется, и раствор становится насыщенным кальцием и углекислотой. В результате из него постепенно выпадает в осадок кальцит. Скопления такого кальцита уже будут называться хемогенным известняком.



▲ Хемогенный известняк

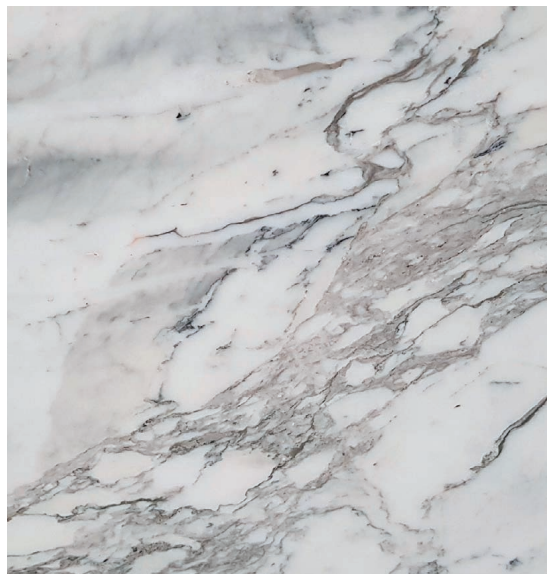


▲ *Сталактиты и сталагмиты*

Если вы когда-либо гуляли по пещерам, то, скорее всего, по таким, которые были сформированы в толщах известняка. Из них за тысячелетия вода вымыла кальцит, образовала полости и переотложила минерал в гигантские сосульки — сталактиты и растущие вверх колонны — сталагмиты.

Накипь в чайнике, по большей части, — это тот же хемогенный известняк, состоящий из карбоната кальция. Когда воду с солями кальция нагревают, они выпадают в осадок и образуют твердый налет.

Со временем известняк засыпается сверху слоями песка и глины и постепенно погружается в земную кору. Там, на глубине, жарко, словно в бане, и высокое давление. Долго такие условия известняк не выдерживает, поэтому начинает преобразоваться. Так из неоднородного и довольно рыхлого минерала он превращается в плотный блестящий **мрамор**.



▲ *Мрамор*



▲ Древнегреческий храм Парфенон возведен из мрамора (колонны и стены) и известняка (фундамент и ступени)

Известняк и мрамор, состоящие из кальцита, — это одни из самых используемых каменных материалов в строительстве.

Во все века больше всего ценился мрамор Каррарских карьеров в Италии. Из него высечено огромное количество статуй и памятников от античности до современности. Изделия из этого мрамора можно встретить по всей Европе, в США и в России (скульптуры в Зимнем

дворце Санкт-Петербурга и в усадьбе Архангельское в Подмосковье).

Известняк и мрамор определить очень просто. Они дают бурную реакцию на кислоту (соляную или уксусную) — даже от одной капли они будут вскипать, выделяя углекислый газ.

ГИПС

Гипс помогает нам делать ремонт и лечить переломы. Все мы видели штукатурку и лепнину на стенах, медицинские повязки, слепки зубов и шедевры искусства из гипса. Это возможно сделать благодаря одному потрясающему свойству гипса — способности легко терять и быстро впитывать воду.

Гипс — это буквально вода, заключенная в камень. На одну молекулу сульфата кальция (CaSO_4) приходится две молекулы воды (H_2O). Чтобы получить медицинский гипс, минерал нагревают выше 150 градусов. Он теряет воду и получается полугидрат сульфата кальция, или гипсовый алебастр.

Если в этот алебастр снова добавить воду, он восстановит структуру гипса, приняв при этом заданную форму, например повязки на сломанную руку.

Подобно кальциту, большая часть гипса рождается в море. Все промышленные месторождения гипса образованы осадочным путем, чаще всего в лагунах. Когда морская вода испаряется, гипс начинает выпадать в осадок. Но иногда гипс растет в гидротермальных условиях из горячих подземных вод.

Красивая разновидность гипса называется **селенитом**. Гигантские кристаллы селенита найдены в Пещере кристаллов в Мексике. Они достигают 10 метров в высоту — как трехэтажный дом! Такие кристаллы росли долго, десятки тысяч лет.

ГИПС	
Формула:	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Класс:	сульфаты
Цвет:	белый, серый, прозрачный, желтый, бурый
Блеск:	стеклянный
Твердость:	2
Удельный вес:	2,3
Происхождение:	осадочное
Встречается	с ангидритом



▲ Гипс



▲ Селенит

Однако гипс — минерал, способный на очень быстрый рост. При идеальных условиях он может вырастать на несколько миллиметров за сутки, но и растворяется он быстро. Поэтому места, богатые гипсом, весьма опасны, ведь там образуется **карст** — подземные пустоты, приводящие к обвалам.

Вы с легкостью сможете определить гипс, поцарапав его ногтем, ведь это один из самых мягких камней.

«Роза пустыни» звучит поэтично, и выглядит это творение природы не менее потрясающе! Это необычная форма гипса, которая похожа на цветок, сложенный из лепестков.

Растет такая «роза» в пустыне после дождя. Вода быстро впитывается в песок, в котором помимо кварца есть гипс, он растворяется и вместе с водой уходит вглубь. Затем вода испаряется, а гипс выпадает в осадок и формирует кристаллы в форме цветка, на котором часто остаются и кварцевые песчинки. Собрать такие «розы» можно в засушливых районах и пустынях Алжира, Туниса, Марокко, Мексики, США, а также в странах Персидского залива. В Катаре архитекторы, вдохновившись «розой пустыни», построили Национальный музей.



▲ Гипсовая «роза пустыни»



▲ Национальный музей Катара

ПЕСОК И ПЕСЧАНИК

В непрекращающемся цикле горных пород **песок** является одним из главных игроков. Он в ходе выветривания может формироваться из любой горной породы, а потом многие миллионы лет накапливаться на морском или речном дне. Рано или поздно под толщей новых осадков песок уплотняется и превращается в более прочную горную породу — **песчаник**.



▲ Песчаник

Большая часть песка образуется из кварцсодержащих пород, таких как гранит, потому что кварц устойчив к разрушению водой, ветром и перепадам температур на поверхности.

Песчаник может на 90 % состоять из одного минерала. Если в его составе только кварц, то получится одна из самых прочных пород — кварцит.

Иногда в песчанике соседствуют обломки разных пород и минералов.



◀ Знаменитая гора Тяньцзы в Китае образовались, когда древние слои кварцевого песчаника были подняты на поверхность. Более мягкие и рыхлые породы выветрились, а песчаники в виде отдельно стоящих столбов остались



▲ Красный форт Лал-Кила в Индии полностью сделан из красного песчаника

Аркозами называют песчаники с большим количеством полевых шпатов, кварца, слюд. Обычно они розоватые или красноватые. Песчаники граувакки образуются из обломков разных горных пород и глины. Они часто темные и плохо отсортированные. Если песчаник образовался из вулканического материала, его называют туфогенным.

Песчинки внутри породы могут быть сцементированы глиной, оксидами железа, кремнистым или карбонатным материалом. Песчаники очень разнообразны по цвету: они бывают белые, желтые, красные, фиолетовые, темные и даже зеленые. Цвет их зависит от примесей: оксиды железа придают песчанику цвет ржавчины, глауконит делает его зеленым.

Песчаник широко используется в строительстве благодаря своей доступ-

ности и легкости обработки. Его часто применяют для возведения стен и облицовки зданий.

Иногда наряду с кварцем и полевыми шпатами в песчанике встречаются ценные минералы, и они могут служить рудой различных металлов. В медистых песчаниках часто содержится много меди, серебра, цинка и свинца. На крупном Удоканском месторождении в Забайкальском крае медь добывают как раз из таких песчаников.

А еще в песчаниках много пор, поэтому они как губка хорошо впитывают в себя нефть и газ и являются отличными коллекторами (ловушками), из которых и добывают эти ценные энергоносители.

ГЛИНА И СЛАНЕЦ

Глина — это не просто порошкообразный материал, из которого издавна делают посуду и кирпичи. Она — незаменимая часть цемента, важнейшего строительного материала. Большая часть зданий, в которых вы когда-либо бывали, содержит цемент в фундаменте, стенах или облицовке.

Бывают здания, почти полностью сделанные из глины. Великая мечеть Дженне в Мали (Африка) построена из высушенных на солнце глиняных кирпичей, укрепленных деревянными балками, которые одновременно служат и строительными лесами при ремонте. Каждый год жители всего горо-

да обмазывают мечеть свежей глиной, благодаря чему она сохраняет свою прочность и величие больше ста лет.

Первые глиняные сосуды были сделаны охотниками-собира-телями в Восточной Азии еще 15–20 тысяч лет назад! Они были нужны для приготовления пищи, главным образом рыбы. Изготовление глиняных сосудов стало важным шагом в культурной и технологической эволюции человека (Craig et al., 2013).



◀ Великая мечеть Дженне в Мали (Африка) — самое большое здание в мире, почти полностью сделанное из глины



▲ Кремль из красного кирпича в Великом Новгороде

В России широко использовали местную глину, из которой обжигали кирпичи. Так появились кремли и монастыри с краснокирпичными стенами.

В каждой стране можно увидеть элементы зданий, сделанные из глины или цемента. Она так распространена в строительстве, потому что ее очень просто найти, ведь глинистые отложения составляют больше половины всех осадочных пород Земли!

Глины образуются там, где много алюмосиликатных пород, богатых калиевыми полевыми шпатами. Разрушаясь, они превращаются в более мягкие глинистые минералы: каолинит, монтмориллонит, смектит и иллит. Слои глин могут накопиться на месте выветривания первичных алюмосиликатов — тогда получится кора выветривания. Или они могут быть перенесены на значительные расстояния и накопиться на дне рек и морей.

КАОЛИНИТ	
Формула:	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
Класс:	силикат
Цвет:	белый, серый, желтоватый
Блеск:	матовый
Твердость:	2
Удельный вес:	2,6
Происхождение:	при выветривании КПШ и мусковита
Встречается	с кварцем, мусковитом, КПШ, гиббситом, гётитом



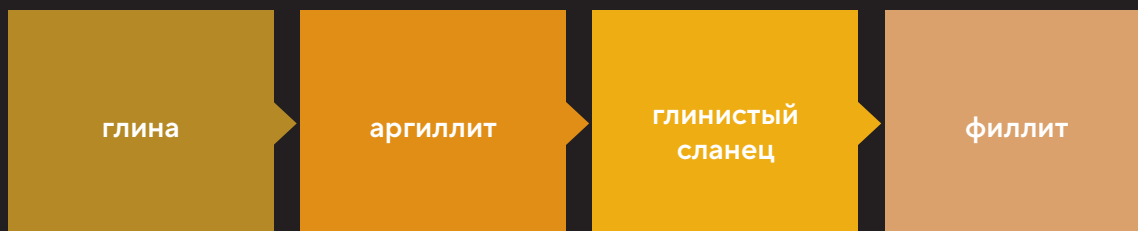
▲ Каолинит

Мощные слои **глин** постепенно могут погружаться все ниже в недра и уплотняться до **аргиллита** — осадочной породы, где хорошо видны слои глин.

Если давление вышележащих пород увеличивается, аргиллит переходит в **глинистые сланцы**. Они могут раскалываться на ровные пластины, поэтому сланцы используют для создания столешниц, отделки домов и черепицы для крыш.

Уплотняясь дальше, глинистый сланец превращается в **филлит** — довольно прочную породу с красивым шелковистым отливом. Эта порода очень похожа на сланец, но при увлажнении уже не дает запаха глины.

Из глинистого минерала **каолинита** создают керамику, фарфор и косметику. **Смектитом** в составе лекарственных средств лечат отравления.



А еще глинистые минералы отлично сорбируют на себя металлы, поэтому мощные глинистые горизонты (коры выветривания) иногда служат рудой редкоземельных элементов, никеля и урана. Такой тип руд называют **ионно-сорбционный**, чаще всего они расположены в жарком тропическом климате и их довольно легко разрабатывать.

У глины есть еще одно важное свойство – она отлично задерживает жидкости! Поэтому она может служить «покрышкой» природных нефтяных коллекторов из песчаника или известняка. Без глинистых горизонтов в виде выпуклых складок углеводороды с легкостью бы «сбегали» из своих ловушек!



▲ Кора выветривания

ЛАБРАДОР

Лабрадор обязан своим названием полуострову Лабрадор в Канаде. Именно там впервые описали камень с радужным эффектом. В 1770-х годах его первые образцы доставили для изучения из Канады в Европу. Минералоги были поражены: камень казался серым, но под определенным углом вспыхивал синим, зеленым и золотым светом. Это явление не могли объяснить долгое время, было лишь понятно, что это не связано с пигментами, дающими цвет.

Эти переливы цветов объяснили позже, когда появились мощные оптические микроскопы. Стало ясно, что это явление связано со специфичным строением минерала. Когда кристаллы лабрадора медленно остывают из магмы глубоко под землей, внутри них начинает про-

исходить «разделение». В минерале, где сначала было много кальция, постепенно появляются тонкие слои с меньшим количеством кальция, но с большим количеством натрия и калия. Когда свет отражается от их границ, отраженные лучи накладываются друг на друга. Из-за этого возникают яркие переливы цвета, как в мыльном пузыре. Такой радужный эффект назвали иризацией.

▼ Иризация лабрадора



ЛАБРАДОР	
Формула:	$(\text{Na}, \text{Ca})[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$
Класс:	силикат
Цвет:	черный, серый с иризацией
Блеск:	стеклянный
Твердость:	6
Удельный вес:	2,6
Происхождение:	магматическое
Встречается	Обычно мономинеральный

Если вы увидите красивые переливы на сером камне в отделке стен Мавзолея на Красной площади или станции метро «Автозаводская», помните, — это гость из самых глубоких недр Земли, лабрадорит.

Секрет иризации лабрадора помогает ученым создавать покрытия, которые умеют управлять светом — от солнечных панелей до космических линз.

Минерал **лабрадор**, а точнее состоящую в основном из него горную породу лабрадорит, любят использовать в облицовке фасадов, стен и полов. А еще из него делают вазы, шкатулки, украшения.

ХИМИЧЕСКОЕ СЫРЬЕ

Полезные сокровища в недрах Земли — это не только блестящие металлы, но и вещества, которые люди используют каждый день: соль на кухне, сода в порошке, удобрения для растений и даже зубная паста. Все это — продукты химической промышленности, которые возможно сделать только с использованием минералов. Некоторые из них люди используют с древности: так, соль помогала хранить продукты, а сера и селитра были основой первой взрывчатки. Другие минералы стали важны недавно, например флюорит и барит нужны для создания линз в телескопах и микроскопах.

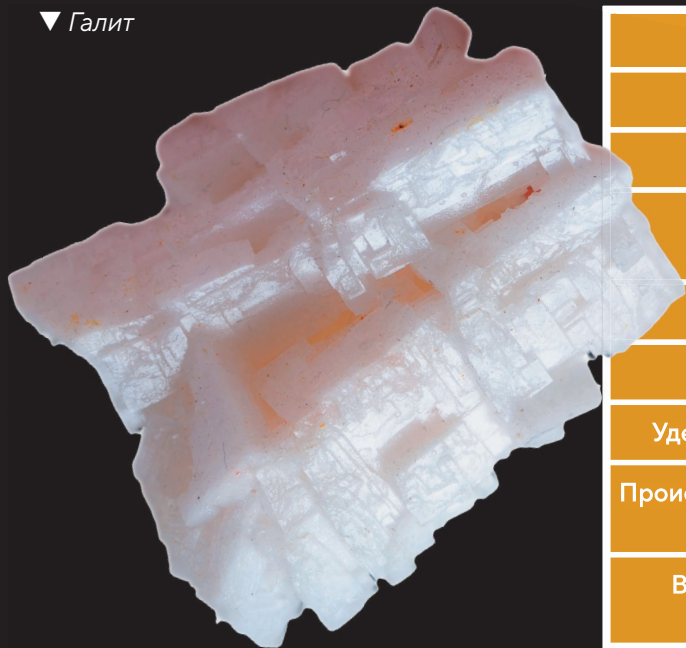
Среди химического сырья есть главные герои — селитра, апатит и калийные соли. Многие десятилетия они спасают человечество от угрозы голода. До эпохи минеральных удобрений люди зависели только от природного

плодородия почвы, а оно довольно быстро истощается, поэтому урожаи были непостоянными или недостаточными.

В XIX–XX веках, когда человечество научилось производить азотные, фосфорные и калийные удобрения из минерального сырья, началась настоящая «зеленая революция»: резко выросли урожайность сельскохозяйственных культур и количество продуктов питания, а значит, и численность населения Земли!

Азот, фосфор и калий — настоящая триада жизни! Они входят в белки, аминокислоты, регулируют энергетический обмен и водный баланс, отвечают за фотосинтез. Без них невозможно представить себе жизнь растений, а значит, и жизнь всех живых существ на нашей планете.

▼ Галит



ГАЛИТ	
Формула:	NaCl
Класс:	галоидов
Цвет:	бесцветный, белый и другие
Блеск:	стеклянный
Твердость:	2
Удельный вес:	2
Происхождение:	осадочное — в морях
Встречается	с сильвинитом, карналлитом

ГАЛИТ

Галит — больше, чем соль на кухне. Он состоит из натрия и хлора, поэтому из него можно получить эти элементы. Хлор нужен для очистки воды, производства лекарств и отбеливания бумаги и ткани. Из галита получают соляную кислоту и соду. Он используется в буровых растворах при добыче нефти и даже как реагент против гололеда.

Обычно галит прозрачный и бесцветный, но иногда примеси окрашивают его в серый или коричневый цвет. А если галит облучить радиацией, он приобретает потрясающий синий оттенок!

Галит может образовывать огромные залежи толщиной в сотни метров.



▲ Синий галит



▲ Баскунчак

Иногда эти слои «всплывают» из-под земли, потому что галит легче многих горных пород, и тогда образуются удивительные горы — соляные купола.

Но это не просто красивые горы, такие купола под землей могут служить ловушками для нефти!

Где же образуется галит? Чаще всего в пересыхающих морских лагунах и реже в соленых озерах. Когда соленая вода испаряется под солнцем, объем воды уменьшается, а содержание солей увеличивается. Начинают осажаться минералы — кальцит, доломит, затем гипс, ангидрит и наконец **галит**. Со временем из этих минералов формируются мощные слои. Такие толщи называют эвапоритовыми. Это классический пример хемогенного осадконакопления.



▲ Галит в геологическом музее им. В.И. Вернадского

Этот процесс вы можете воспроизвести дома. Вам нужно лишь растворить 150 граммов соли в стакане теплой воды и хорошо перемешать. Постепенно вода будет испаряться и на стенках будет откладываться галит. А если опустить в раствор нитку или проволоку, то через неделю на ней вырастут красивые кубики галита.

ФЛЮОРИТ

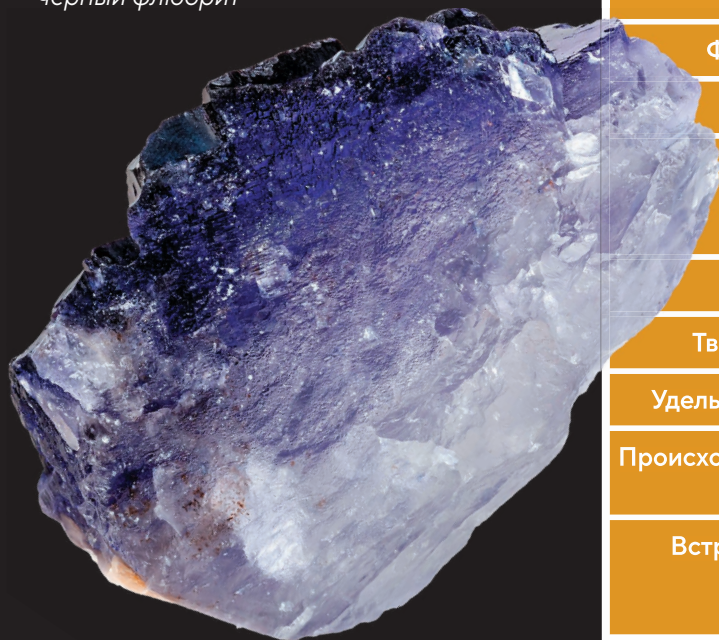
Флюорит — минерал, который вас удивит. Он отец флюоресценции — явления, при котором объект начинает светиться от ультрафиолетовых лучей, невидимых для человеческого глаза. Когда английский физик Джордж Стокс в 1852 году проводил эксперименты, направляя «невидимый» свет на разные объекты, он первым увидел синее свечение от него на минерале. Этим минералом был уже известный тогда флюорит, поэтому явление было названо флюоресценцией.

За счет чего же флюорит может так светиться? Это связано с примесями редкоземельных элементов — церия, европия, тербия. Минерал «улавливает» ультрафиолет, атомы редкоземельных элементов внутри него возбуждаются, их электроны «прыгают» на более высокий уровень, а затем возвращаются назад с потерей части энергии в виде сине-фиолетового света.

Однако редкоземельные металлы — это только примеси во флюорите. Его основа — один атом кальция и два

атома фтора. Флюорит называют плавленым шпатом, потому что именно этот минерал является основным источником **фтора**, который широко применяют в металлургии для выплавки стали и алюминия. В химической промышленности он необходим для создания тефлона — антипригарного покрытия и других пластмасс, которые применяют там, где обычные полимеры разрушаются: в аэрокосмической, медицинской и пищевой промышленности. А прозрачная разновидность флюорита — основа для линз мощных телескопов, которые позволяют людям изучать космос, а также микроскопов, способных показать микромир!

▼ Флюорит может быть не только бесцветным — он поистине радужный камень. Можно встретить фиолетовый, зеленый, желтый, розовый и даже черный флюорит



Чаще всего флюорит образует кристаллы в виде кубиков, октаэдров или сплошные массы. Иногда он входит в состав гранитов и пегматитов.

Но часто флюорит находят в грейзенах и гидротермальных жилах вместе с кварцем и сульфидами, сформированными из горячих подземных растворов.

Грейзен — горная порода, образованная при воздействии горячих растворов на граниты.

Когда вечером будете чистить зубы, вспомните, как маленький кристалл флюорита из глубин земли стоит на страже вашей улыбки, ведь именно он дал фтор для зубной пасты!

ФЛЮОРИТ	
Формула:	CaF ₂
Класс:	галогиды
Цвет:	разноцветный, желтый, фиолетовый, белый, зеленый
Блеск:	стеклянный
Твердость:	4
Удельный вес:	3,2
Происхождение:	гидротермальное, грейзеновое
Встречается	с кварцем, антимонитом, киноварью, топазом, бериллом

БАРИТ

Барит получил свое название от греческого слова «барис», что значит «тяжелый». И не зря! У него довольно высокая плотность для прозрачного и белого, то есть нерудного, минерала — 4,5 г/см³. Для сравнения, барит тяжелее кварца почти в 2 раза, и это его свойство используют в диагностике минерала.

Барит может быть бесцветным, белым, желтым, голубым или даже розовым в зависимости от примесей. Несмотря на высокий удельный вес, барит довольно мягкий минерал. Он часто образует хорошо ограненные кристаллы в виде столбиков и табличек. Формируется барит главным образом

в гидротермальных жилах, где есть сульфидные свинцовые и цинковые руды. В некоторых случаях он образует промышленные залежи вместе с флюоритом и галенитом.

Зачем нам нужен барит? Из барита привлекают соединения бария, которые важны для химической промышленности! Долгое время из него делали белила для бумаги и тканей. Стекла, содержащие барий, нужны для линз объективов и микроскопов. Они сильно преломляют свет, но при этом не «раскладывают» его на радугу, как обычное стекло. С помощью таких линз изображение получается четким и без цветовых искажений. Баритовый порошок применяется в красках и пластмассах, придавая им белизну и прочность. Измельченный барит добавляют в буровые растворы при добыче нефти и газа. Его высокая плотность помогает уравнивать давление в скважине.

БАРИТ	
Формула:	BaSO ₄
Класс:	сульфаты
Цвет:	белый, разных цветов
Блеск:	стеклянный
Твердость:	3
Удельный вес:	4,5
Происхождение:	гидротермальное, осадочное
Встречается	с флюоритом, галенитом, халькопиритом, гётитом



▲ Барит

АПАТИТ

Сложно представить нашу жизнь без стирального порошка и моющих средств. Ключевую роль в их создании играет фосфор: он смягчает воду и повышает эффективность стирки. Но главное применение фосфора — в сельском хозяйстве: без него мы бы не получали сейчас таких урожаев, потому что для этого необходимы фосфорные удобрения.

Мировое потребление фосфорных удобрений ежегодно достигает порядка 47 миллионов тонн. Где же взять столько фосфора? Из апатита! Апатит, как супергерой, может образовываться во всех геологических обстановках, поэтому существует много типов апатитовых месторождений: от глубинных до поверхностных.

Самое крупное месторождение апатита в России находится в Хибинах на Кольском полуострове. Это уникальный геологический объект мирового значения. Огромные запасы апатитовой руды — более 5 миллиардов тонн — образовались здесь при застывании магмы. Апатит на Кольском полуострове добывают уже почти 100 лет.

Апатит может быть разным: желтый, зеленый, голубой, синий, белый, фиолетовый! Чаще всего он образует вкрапления кристаллов в виде призм. А магматический апатит нередко находят в виде застывшего «сахара».

Апатит — удивительный минерал, ведь он образуется не только из магмы, но и в живых организмах! Состоит апатит

Когда солнечный свет в виде фотона долетает до листьев растений, он запускает реакцию фотосинтеза — одного из самых важных процессов в природе.

Мы привыкли к этому, но это почти чудо — под действием энергии света из неорганических веществ образуются органические! Пока растения и водоросли находятся на свету, в них электромагнитная энергия превращается в химическую за счет образования глюкозы и АТФ (аденозинтрифосфата) — главных энергетических молекул.

Фосфор же является ключевым компонентом АТФ. Он участвует в процессах передачи и хранения энергии, которые необходимы для роста и развития растений.

▼ Апатит



АПАТИТ	
Формула:	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})$
Класс:	фосфаты
Цвет:	бледно-зеленый, голубой, желтый
Блеск:	стеклянный
Твердость:	5
Удельный вес:	3,2
Происхождение:	во всех геологических процессах
Встречается	с нефелином, КПШ, цирконом, кальцитом

из кальция, фосфора и кислорода. Если в его состав входит фтор — получается фторапатит, самая распространенная из всех разновидностей апатита. Если включен гидроксид — соединение кислорода и водорода, то получится редкий в земной коре, но самый «родной» для живых организмов — гидроксиапатит. Именно из него состоят наши кости.

Знаете, где у нас находится самая твердая часть тела? Это зубная эмаль — и она тоже состоит из гидроксиапатита! Вот почему так важно есть достаточно кальция и фосфора, ведь они формируют главный минерал нашего тела.

Раз апатит — часть живых организмов, значит, он может образовывать скопления в местах максимального буйства жизни — зонах апвеллинга в морях и океанах. Здесь глубинные холодные воды, богатые питательными веществами, поднимаются к поверхности океана и вызывают бурное развитие планктона, водорослей и рыб. Когда эти организмы умирают, их останки опускаются на дно и разлагаются, выделяя фосфор. В донных осадках он постепенно накапливается и превращается в горную породу фосфорит.

Фосфорит содержит не только много апатита, но и доломит, кальцит, кварц, глауконит, глинистые и железистые минералы. Около 70 % всех мировых запасов фосфорита находится в Марокко, потому что там, у побережья Северной Африки, в течение миллионов

лет действовали зоны апвеллинга. В сочетании со стабильной глубиной, температурой и соленостью в морях

это создало идеальные условия для накопления фосфора и образования мощных залежей фосфоритов.

Наряду с фосфором в апатите могут содержаться редкоземельные металлы: церий, лантан, неодим, празеодим и даже уран и торий! Поэтому хвосты фосфогипса (например, белые горы в Балакове Саратовской области) — отходы производства удобрений — рассматривают как важный и легкодоступный источник редкоземельных металлов.

СИЛЬВИН, КАРНАЛЛИТ

Еще один элемент, входящий в триаду жизни — калий. Он регулирует водный баланс растений, фотосинтез и повышает их устойчивость к засухе, холоду и болезням.

Хоть калия довольно много в земной коре, чаще всего он входит в состав прочных минералов, извлекать из которых его довольно сложно и невыгодно. Поэтому главным источником калия являются **калийные соли**.

СИЛЬВИН	
Формула:	KCl
Класс:	галоиды
Цвет:	белый, розовый, красный
Блеск:	стеклянный
Твердость:	2
Удельный вес:	2
Происхождение:	осадочное — в морях
Встречается	с карналлитом, галитом



▲ Сильвин



▲ Карналлит

Сильвин и карналлит образуются так же, как и галит, при высыхании морей. Осаждаются соли не одновременно, а в строгой последовательности. Сначала при легком испарении выпадают малорастворимые кальцит и доломит. Затем, при большей концентрации, кристаллизуются гипс и ангидрит. Когда соленость воды увеличивается, начинают выпадать кубические кристаллы галита, образующие мощные пласты. И только на самой последней стадии, когда вода

становится почти насыщенным рассолом, осаждаются редкие, но ценные сильвин и карналлит. Именно так формируются эвапориты, из которых человечество добывает соль и удобрения.

Сильвин и карналлит легко отличить от обычной соли — галита. Они часто имеют более насыщенный цвет: желтоватый, красный, иногда синий и даже фиолетовый! А еще они горькие на вкус! Но порой распознать калийные соли в эвапоритовых толщах непросто — они хорошо «прячутся» между мощными слоями галита.

В нашей стране находится крупнейшее в мире месторождение сильвина и карналлита площадью 3,5 тысячи км² — это больше площади Москвы!

Это месторождение называется Верхнекамским и расположено оно в Пермском крае. Около 290 миллионов лет назад эта местность была дном Палеоуральского моря, которое, пересыхая, образовывало залежи солей.

Крупные месторождения калия есть еще в Канаде, Беларуси, Китае и Германии.

СЕЛИТРА

Азот тоже входит в триаду главных элементов питания растений. Он участвует в построении белков, аминокислот и хлорофилла, а значит, отвечает за

рост, дыхание и фотосинтез растений. Более того, азот — важная часть ДНК и РНК (нуклеиновых кислот) — самого «кода жизни».



▲ Селитра в полупустынной местности, Патагония, Аргентина

Атмосфера Земли на 78 % состоит из азота, но растения не могут использовать его напрямую, хотя некоторые из них на 12 % состоят из азота. Растения поглощают его в основном из почвы, где он находится в доступных для них формах. Азот в почвах образует два типа соединений — нитратные и аммонийные. Нитраты легко растворимы и быстро выносятся водой, а аммиак просто испаряется в атмосферу. Поэтому азота в почве почти всегда не хватает и азотные удобрения являются неотъемлемой частью сельского хозяйства.

Азотные удобрения получают на химических предприятиях синтетическим путем (аммиак, сульфат аммония) или добывают из **торфа**, богатого органическим азотом, **гуано** — отложений птичьего помета, в которых много азота и фосфора, **селитры** — натуральных солей азотной кислоты (нитратов).

Селитра — одно из самых массовых удобрений в мире. Бывают разные виды селитр, но самые важные — калиевая (KNO_3), аммиачная (NH_4NO_3) и натриевая (NaNO_3).

СЕЛИТРА	
Формула:	KNO_3
Класс:	нитраты
Цвет:	белый
Блеск:	стеклянный, матовый
Твердость:	2
Удельный вес:	2
Происхождение:	осадочное
Встречается	с гипсом, галитом

Аммиачная селитра используется для приготовления взрывчатых веществ — аммонала и аммотола.

Натриевую селитру еще называют чилийской, потому что до Первой мировой войны почти всю селитру добывали в Чили. Соединения азота настолько подвижны в природной среде, что для их накопления нужны особые природные условия: сухой и жаркий климат, а также отсутствие растительности, которая может поглотить азот. Поэтому самое засушливое место в мире — пустыня Атакама в Чили — идеальное место для образования селитровых залежей!

В пустыне Атакама есть районы, где дождей не было сотни лет! А среднегодовое количество осадков в центральной части пустыни — менее 2 мм. В Атакаме встречаются участки настолько сухие, что они считаются аналогами поверхности Марса, поэтому NASA использует эти места для испытаний марсоходов.

Причина такой засушливости — сочетание горных барьеров (Анды и Береговой хребет) и холодного Перуанского течения, которое не дает океанической влаге подниматься в атмосферу.



▲ Самое сухое место в мире — пустыня Атакама — идеальное место для накопления селитры!

Селитровые залежи образуются благодаря редкому сочетанию факторов. Главным источником азота является атмосфера: при сильном ультрафиолетовом излучении Солнца или электрических разрядах (молнии, вулканические выбросы) азот может соединиться с кислородом, образуя оксиды азота, а позже — азотную кислоту. Азотная кислота осаждается на поверхность почвы вместе с пылью, туманами и редкими дождями. В обычных условиях оксиды азота быстро вымываются, но в невероятно сухой пустыне они накапливались в виде корок, налетов толщиной не больше нескольких сантиметров (*Böhlke et al., 1997; Oyarzún, 2007*).

Помимо Чили, небольшие месторождения селитры встречаются в Долине смерти в районе пустыни Мохаве (США) и на Северном Кавказе (Армения, Россия).

ВАЖНО ПОМНИТЬ

Азотные удобрения нужно применять с умом. Хотя нитраты есть в каждом растении (азот входит в состав белков и аминокислот), при избытке удобрений овощи и фрукты могут накапливать слишком много нитратов и становиться небезопасными для здоровья.

К концу XIX века из-за активной добычи природной селитры стало ясно, что ее запасы могут скоро закончиться. Это вызвало серьезное беспокойство ученых за будущее сельского хозяйства: предсказывали даже угрозу массового голода из-за нехватки удобрений. Проблему удалось решить в начале XX века, когда Фриц Габер разработал промышленный способ синтеза аммиака.

СЕРА

Сера известна человечеству с глубокой древности, ее использовали для производства лекарств и красителей, а еще для обеззараживания воды.

Серу широко применяли еще и потому, что ее было просто найти в природе. Лимонно-желтые кристаллы и натеки самородной серы яркими пятнами выделялись на склонах гор и в жерлах вулканов.

Сера вместе с селитрой и древесным углем входила в состав черного пороха — первой метательной взрывчатки. Черный порох изобрели в Древнем Китае и до середины XIX века он был единственным известным людям взрывчатым веществом.

САМОРОДНАЯ СЕРА	
Формула:	S
Класс:	самородные элементы
Цвет:	желтый
Блеск:	жирный, алмазный
Твердость:	1-2
Удельный вес:	2
Происхождение:	при вулканических извержениях
Встречается	с гипсом, кварцем, кальцитом



▲ Самородная сера

Когда при извержении вулканов газы (сернистый газ SO_2 и сероводород H_2S) выходят из жерла, их температура

достигает сотни градусов. При контакте с воздухом они остывают и из них начинает выпадать сера, образуя ярко-желтые корки и иногда кристаллы вокруг трещин.



▲ Работы по добыче серы на вулкане Иджен

АДСКАЯ РАБОТА

На сегодняшний день одно из самых страшных мест, где работают люди — вулкан Иджен на острове Ява. Здесь находятся залежи серы и порой температура возле них достигает 70 градусов. Индонезийские горняки добывают эту серу вручную, отбивая ее молотками и кирками! А потом они пешком идут около трех километров до завода, неся на себе корзины по несколько десятков килограммов желтого минерала.

Сера важна для почв и растений, но когда ее слишком много в окружающей среде, может случиться катастрофа. Долгие годы уральский город Карабаш был зоной экологического бедствия из-за выбросов сернистых соединений и металлов при плавке меди на крупном заводе. Кислотные дожди, желтые деревья в середине лета, лысые горы, рыжие ручьи и загрязненная почва — последствия работы завода были ужасными. Только в начале 2000-х годов на заводские трубы поставили фильтры, улавливающие серу, из которой стали получать серную кислоту. Экологическая ситуация в городе сразу улучшилась, но загрязнение, накопленное за 70 лет выплавки меди, быстро не убрать. Ученые говорят, что на полную рекультивацию тех мест могут уйти сотни лет.

Самородная сера долгое время была главным источником серы, пока люди не научились попутно добывать ее из сульфидных руд. Сульфиды — соединения серы и различных металлов: с железом она образует пирит (FeS_2), если добавить туда медь, получится халькопирит (CuFeS_2), сера со свинцом образует галенит (PbS), с молибденом — молибденит (MoS), а с цинком — сфалерит (ZnS). Все эти минералы — источники важных для человечества металлов, при извлечении которых оставалось много сернистых отходов. Позже эти отходы научились перерабатывать в **серную кислоту** — важнейший

продукт для химической промышленности. Серная кислота нужна для производства удобрений, пластмасс, моющих средств, лекарств, красителей.

Нефть всегда содержит серу, иногда ее содержание доходит до 8 %. При переработке этой «кислой» нефти выделяются сероводород и диоксид серы. На нефтеперерабатывающих заводах применяют специальные процессы очистки, при которых серу извлекают и превращают в серную кислоту. Таким образом, то, что когда-то было опасным отходом, стало ценным сырьем для химической промышленности.

ТЕХНИЧЕСКИЕ МИНЕРАЛЫ

Цифровая эпоха, в которой мы живем, стала возможна только благодаря созданию множества различных устройств: от компьютеров до мобильных телефонов. А производство всех

современных цифровых приборов полностью зависит от нескольких минералов. Без них у нас не работали бы телефоны, компьютеры, машины и даже наручные часы.

Кварц — один из самых «живучих» и распространенных минералов планеты. Из него делают стекло, без которого наши дома были бы темными, а транспорт — небезопасным. Также он является важнейшим источником кремния, из которого делают «мозги» электроники — микросхемы.

Лепидолит — главный источник лития или, как его еще называют, «белого золота». Этот элемент очень важен для создания батарей и аккумуляторов.

Мусковит, флогопит и биотит — одни из лучших электроизоляторов — материалов, которые не проводят электрический ток.

Графит же, наоборот, редкий неметаллический проводник электричества. Также он замедлитель нейтронов, и благодаря этому сверхважен для атомной энергетики.

Эти разные по происхождению и виду минералы объединяет одно — они представляют собой фундамент высоких технологий!

КВАРЦ

ОТЕЦ «КРЕМНИЕВОЙ ДОЛИНЫ»

Кварц — самый узнаваемый и «близкий» человеку минерал. У кварца огромное количество разновидностей, которые люди давно используют: первые орудия труда были сделаны из **кремня** (плотный мелкокристаллический кварц), а красивейшие **аметист** и **цитрин** давно использовались в украшениях.

Но главное применение кварца — техническое. Кварц состоит из кремния и кислорода. Чтобы получить чистый кремний, кварц пропускают через несколько стадий очистки и восстановления. Из полученного чистого кремния делают пластины и платы, которые служат основой всех микросхем — «моз-

га» телефонов, компьютеров и другой электроники. Не зря главную «фабрику технологий» в мире называют **«Кремниевой долиной»**: именно кремний стал главным материалом цифровой революции.

Не любой кварц подходит для создания микросхем, а только минералы высочайшей чистоты. Такие есть на месторождении Каэле в Камеруне.

Чистый кварцевый песок переплавляют в **стекло** — важнейший элемент зданий и транспорта. Из кварца также

делают **часы**, потому что он обладает пьезоэффектом: кристаллу кварца задают определенную форму, а когда через него проходит электрический ток, кварц начинает вибрировать с точной частотой — электронная схема считывает эти колебания и переводит их в движение стрелки или на цифровой дисплей. Из кварца также создают специальные **лампы**, которые используют в медицине для обеззараживания, лечения артритов, стоматитов и гнойных ран.



▲ Кварц

КОВАРНАЯ ПЫЛЬ

Кварц не всегда приносит пользу — иногда он может быть опасен. Кварцевая пыль, которую вдыхают шахтеры и строители при дроблении, резке и шлифовке, может вызвать **силикоз** — заболевание легких.

В земной коре очень много кремния и кислорода, поэтому кварц является одним из самых распространенных минералов на Земле.

Кварц может рождаться во всех геологических процессах, но больше всего его образуется в магматических и гидротермальных.

У него есть супер-свойства, благодаря которым он считается одним из самых «живучих» минералов на планете: он не растворяется в воде, не окисляется на воздухе и не разрушается при перепадах температур. Когда образованные в недрах породы поднимаются на поверхность, подавляющее большинство их минералов разрушается, а кварц — нет. Поэтому большая часть песка на Земле состоит именно из кварца.

СЛЮДЫ

СТОЙКИЕ К ЖАРУ И БОГАТЫЕ ЛИТИЕМ

Слюды можно назвать «гибкими камнями». Это одни из самых необычных минералов: с одной стороны, они упругие

и жаропрочные, с другой — легко раслаиваются на тончайшие пластины, их можно расщепить даже ногтем.

Благодаря этому сочетанию свойств слюды используют как технический минерал в электронике и строительстве. А некоторые из них являются ценным литиевым сырьем.

ЛЕПИДОЛИТ	
Формула:	$\text{KLi}_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH},\text{F})_2$
Класс:	силикаты
Цвет:	розовый, фиолетовый
Блеск:	стеклянный
Твердость:	2-3
Удельный вес:	2,7
Происхождение:	только в гранитных пегматитах
Встречается	с сподуменом, КПШ



▲ Лепидолит

У каждой слюды свои уникальные свойства и применение. **Лепидолит** — красивая сиреневая или розоватая слюда, которая в основном образуется в гранитных пегматитах (магматических породах с очень крупными зернам). Обычно пегматиты богаты редкими элементами, и лепидолит является одним из главных источников лития.

Литий добывают из трех основных типов залежей:

- пегматитов, в которых содержатся такие литийсодержащие минералы, как лепидолит, сподумен и петалит;
- солончаков — мест скопления солей на поверхности земли или в подземных рассолах в условиях сухого и жаркого климата. В некоторых солончаках, например в Салар-де-Атакама в Южной Америке, содержатся большие запасы солей лития;
- коры выветривания (глины) с высоким содержанием лития.

Литий называют «белым золотом», потому что он невероятно важен для создания литий-ионных батарей и аккумуляторов для телефонов, ноутбуков и электромобилей. Также литиевые соединения добавляют в стекла, чтобы сделать их прочными и термостойкими. Литий важен для металлургии, поскольку он улучшает качество сплавов алюминия и магния.

▼ Флогопит



ФЛОГОПИТ	
Формула:	$K(Mg,Fe)_3[AlSi_3O_{10}](OH,F)_2$
Класс:	силикаты
Цвет:	черный
Блеск:	стеклянный
Твердость:	2-3
Удельный вес:	2,7
Происхождение:	контактово-метасоматическое
Встречается	с кальцитом, апатитом, оливином

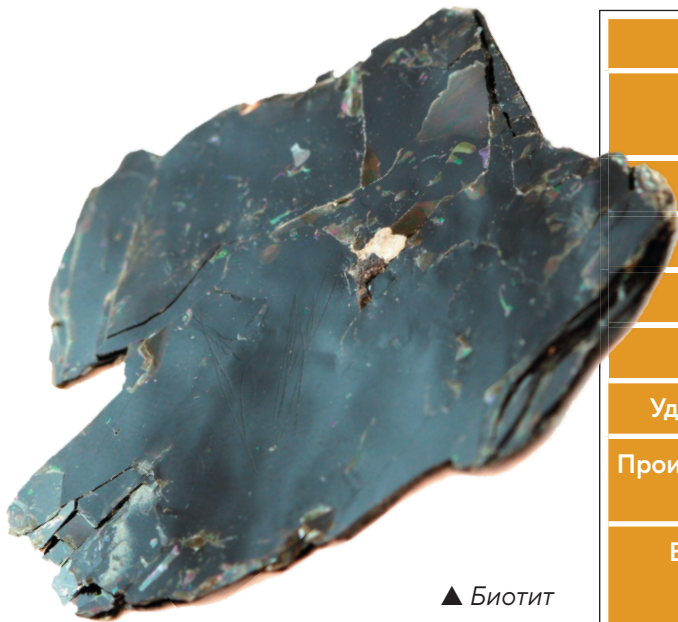
Препараты на основе солей лития применяют для лечения психических заболеваний. Литий, попадая в мозг, снижает слишком активную работу нервных клеток и защищает их от стресса. Он влияет на выработку серотонина и дофамина, которые отвечают за настроение человека.

Флогопит — черная слюда, которая не проводит ток. Она отличается от других слюд еще более высокой термостойкостью — флогопит выдерживает температуру до 1000 °С. Поэтому его используют в печах, сварочных экранах, а также как изоляцию в электрических машинах, работающих при экстремальных температурах.

На южном берегу Байкала есть небольшой город Слюдянка. Эти живописные места богаты горными породами, в которых можно найти драгоценные и поделочные камни и, конечно, слюду. Долгие годы здесь активно добывали флогопит.

Биотит — темная и очень распространенная в горных породах слюда. В промышленности она используется как наполнитель в строительных материалах и в некоторых смесях для теплоизоляции.

Мусковит — не просто слюда, это минерал с богатой историей. Мусковит служил признаком богатства в средневековой Руси. Почему же? Ведь он довольно невзрачный, и из него никогда не делали украшений. Дело в том, что мусковит — природный аналог стекла, и его вставляли в окна самых богатых домов и дворцов в средние века. Благодаря своей особенности легко расщепляться на тончайшие (в доли миллиметра) упругие, но прочные пластины, мусковит служил надежным и качественным оконным материалом.



▲ Биотит

БИОТИТ	
Формула:	$K(Mg,Fe)_3[AlSi_3O_{10}](OH,F)_2$
Класс:	силикаты
Цвет:	черный
Блеск:	стеклянный
Твердость:	2,5
Удельный вес:	3
Происхождение:	магматическое, метаморфическое
Встречается	с кварцем, полевыми шпатами, гранатами, мусковитом, топазом, бериллом

МУСКОВИТ	
Формула:	$KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$
Класс:	силикаты
Цвет:	бесцветный, серый, желтоватый
Блеск:	стеклянный
Твердость:	2,5
Удельный вес:	3
Происхождение:	магматическое, метаморфическое
Встречается	с кварцем, полевыми шпатами, гранатами, биотитом, топазом, бериллом



▲ Мусковит

Главным источником мусковита в средневековье были слюдяные промыслы Карелии. Купцы из Новгорода и Москвы активно торговали этой листовой слюдой в Европе, где Русь называли Московией. По-итальянски Москва звучит как «Моска», поэтому **«московское стекло»** получило имя «мусковит».

Помимо Карелии крупные запасы мусковита находятся в Забайкалье, Индии и Бразилии. Все промышленные месторождения этой слюды связаны с древними породами — **пегматитами**. Кристаллы мусковита могут отличаться крупными размерами — в Индии был найден образец около 5 метров в длину и 3 метра в ширину.

Но даже самый большой кристалл мусковита с легкостью можно расщепить на тонкие листики. Почему? Это происходит благодаря особенностям строения мусковита — он состоит из слоев, как торт «Наполеон». Сами по себе слои — назовем их тестом — довольно прочные за счет соединений кремния, алюминия и кислорода,

но между собой слои связаны слабо из-за ионов калия. Они, подобно крему в торте, довольно слабо скрепляют между собой слои минерала.

Если вы внимательно посмотрите на гранит, то увидите блестящие чешуйки — это как раз будет мусковит. Он входит в состав многих магматических и метаморфических пород, а иногда слагает собственные горные породы — слюдяные сланцы.

У мусковита есть красивейшая разновидность — фуксит, имеющая такие ярко-зеленые оттенки за счет того, что часть алюминия в его составе замещена хромом.

Мусковит активно используют в электротехнике. Он считается одним из лучших изоляционных материалов: мусковит выдерживает высокие температуры, не проводит ток, устойчив к влаге и химикатам. Также его рассматривают как основу для создания умных стекол, которые, например, будут затемняться при ярком свете или самоочищаться по сигналу от датчика дождя.

ГРАФИТ

ОТ ПРОСТОГО КАРАНДАША ДО ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

Как получить из графита алмаз? Это не шутка, а самая настоящая реальность! Дело в том, что графит и алмаз состоят из чистого углерода, разница лишь в расположении его

атомов в кристаллической решетке. У графита атомы углерода расположены в виде слоев, которые слабо скреплены между собой. Именно поэтому мы легко рисуем простым

карандашом — при рисовании слои графита отделяются один за другим.

У алмаза атомы углерода расположены по-другому: они крепко связаны в трехмерной решетке близко друг к другу.

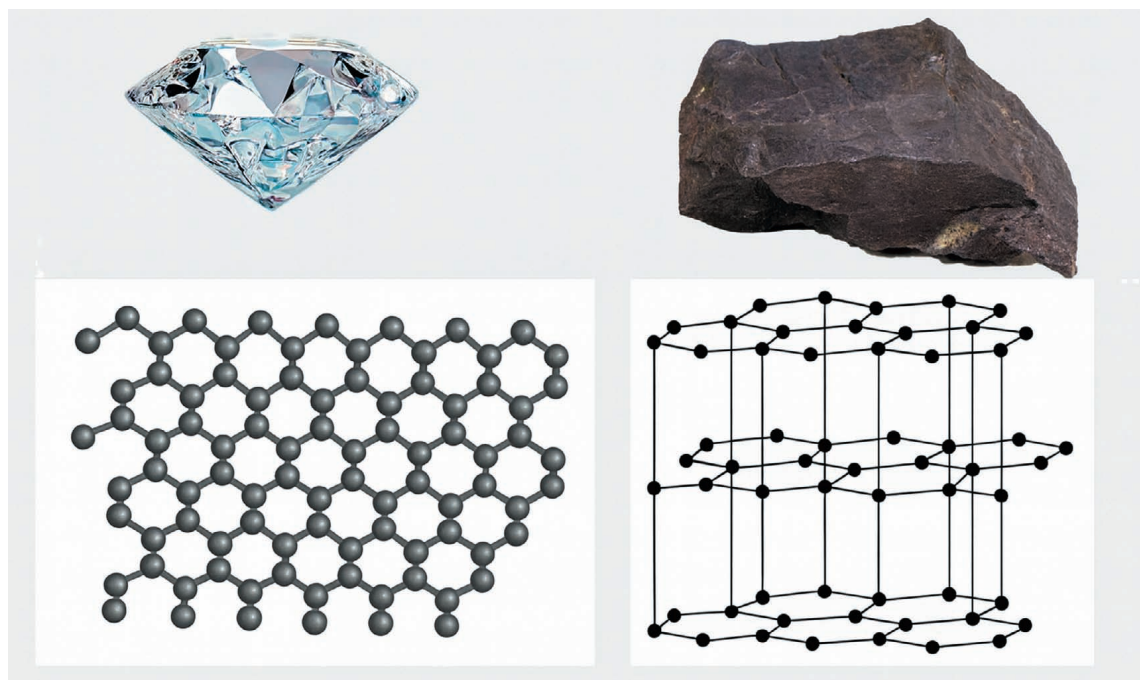
Для того, чтобы получить из графита алмаз, нужно создать специальные условия, аналогичные тем, что существуют очень глубоко в недрах Земли: высокое давление и температура выше 1500 градусов.

При таком воздействии атомы углерода перераспределяются и начинают образовывать прочные связи, превращаясь в алмаз. При этом алмаз становится прозрачным и электроизоляционным.

Графит же, наоборот, является редким неметаллическим проводником электричества, поэтому его широко используют в аккумуляторах и электронике.

Кроме того, графит важен для производства огнеупорных тиглей, используемых в металлургии. В ядерных реакторах применяют графитовые замедлители, которые помогают уменьшить скорость нейтронов, чтобы эффективно контролировать ядерную цепную реакцию.

В природе графит в мельчайших примесях встречается почти во всех типах пород, однако крупные скопления чаще всего находят в метаморфических породах.



▲ Структура кристаллической решетки алмаза и графита



▲ Графит, алмаз и бриллиант (ограненный алмаз)

Например, графит может образовываться из угля при высоких температурах и давлении. Но не думайте, что графит — это плотные темные массы, как у угля. Иногда графит образует правильные кристаллы в виде пластинок и табличек.

Теперь, взяв в руку простой карандаш, вы будете знать, что внутри — не просто серый графит, а потенциальный алмаз!



▲ Графит

ГРАФИТ	
Формула:	C
Класс:	самородные элементы
Цвет:	черный, серый
Блеск:	полуметаллический
Твердость:	1
Удельный вес:	2
Происхождение:	метаморфическое и магматическое
Встречается	с кварцем, кальцитом

ДРАГОЦЕННЫЕ И ПОДЕЛОЧНЫЕ КАМНИ

Драгоценные и поделочные камни всегда занимали особое место в истории человечества. Их считали не только сокровищами, но и символами власти, любви, мудрости и вечной молодости. Тысячелетиями они сопровождают людей в обрядах и повседневной жизни.

Древние египтяне одними из первых начали добывать изумруды. Изумрудные копи часто связывают с царицей Клеопатрой, которая любила носить украшения с этими зелеными самоцветами. «Императорские топазы» названы так в честь российской династии Романовых, потому что впервые найденные на Урале топазы оранжевого и розового цветов принадлежали исключительно семье императора. Алмаз «Шах» вошел в историю трех великих правителей Востока, а сейчас хранится в Алмазном фонде Кремля. Синий сапфир Стюартов украшает корону Британской империи.

У каждого красивого и крупного драгоценного камня есть свое имя и история, но объединяет их одно — все самоцветы высочайшего качества рождаются в глубинах Земли, и люди прикладывают много усилий, чтобы их найти.

Чтобы не зависеть от природы, специалисты научились выращивать синте-

тические минералы. Так, алмазы выращивают из графита при высочайших температурах и давлении в специальной камере. Изумруды формируют в автоклавах, похожих на скороварку, в которую добавляют растворы алюминия, бериллия и хрома, и где создают гидротермальные условия для роста минерала. Искусственные рубины создают из порошка окиси алюминия с добавками хрома, который плавят в пламени. Капли раствора оседают на маленький кусочек кристалла и тот постепенно «вырастает», превращаясь в крупный рубин. Именно из искусственного рубина был сделан первый лазер.



▲ Синтетический изумруд

Фианиты, которые часто можно увидеть в кольцах и сережках, — исключительно синтетические минералы. Их создали в Физическом институте Академии наук СССР (ФИАН), отсюда и название этих камней.

Обычному человеку сложно различить натуральные и синтетические минералы, но специалист знает: натуральные

самоцветы не могут быть идеальными! В них всегда есть трещинки и включения других минералов. Эти несовершенства, как «отпечатки пальцев» природы, по которым можно узнать, где и когда родился самоцвет.

В этой главе вы познакомитесь с самыми известными и любимыми самоцветами и поделочными камнями, узнаете их «биографии» и свойства, а еще невероятные тайны, которые они скрывают.

АЛМАЗ

Не секрет, что алмаз — невероятно твердый минерал. Это отражено в самом названии минерала. С греческого «адамас» переводится как «несокрушимый». Однако его с легкостью можно разбить молотком, ведь твердость и прочность — это разные свойства. Алмаз при своей высокой твердости довольно хрупок и разлетится на осколки при сильном ударе.

За счет выдающейся твердости этот минерал находит широкое применение в промышленности. Например, технические — не самые красивые — алмазы, применяют в абразивных материалах, сверлах, пилах и стоматологических борах. В нефтяной и горнодобывающей сферах буровые коронки с алмазным напылением тоже незаменимы.

Самое же известное применение алмаза — ювелирное дело. Каждому из-

вестна поговорка, что лучшие друзья девушек — это бриллианты, то есть ограненные алмазы. Больше всего ювелиры ценят прозрачные крупные камни. Такие алмазы состоят почти исключительно из углерода.

В природе встречаются алмазы разных оттенков: желтые, зеленые, розовые и даже черные. Примеси графита или пирита придают алмазу темные цвета. Зеленые оттенки возникают за счет естественного облучения алмаза ураном, входящим в состав соседних минералов. Из-за «поломок» кристаллической решетки получают коричневые, красные и розовые минералы. Желтый цвет связан с присутствием азота, а голубой — бора.

АЛМАЗ	
Формула:	C
Класс:	самородные элементы
Цвет:	бесцветный, красный, черный, желтый, зеленый
Блеск:	алмазный
Твердость:	10 (самый твердый)
Удельный вес:	3,5
Происхождение:	в мантии, выносятся кимберлитами
Встречается	с пиропом, оливином, магнетитом, графитом



▲ Алмаз

Первые алмазы в истории человечества были обнаружены в индийских коях в области Голконда в Индии. Алмазы были известны здесь с IV века до н. э.,

добыча велась вплоть до XIX века. Поэтому самые знаменитые алмазы имеют индийское происхождение: «Кохинур», «Орлов», «Хоуп» и другие.

Известный алмаз «Шах» — не просто свидетель исторических событий, он их участник: найденный в XVI веке в Голконде, он был доставлен владыке северного княжества Бурхану II. Затем княжество покорили Великие Моголы, и алмаз столетиями был талисманом их династии. В XVIII веке «Шах» оказался в Персии. В XIX веке в Тегеране разгорелся политический скандал и погромы, в ходе которых в российском посольстве были убиты дипломаты, в том числе поэт и писатель Александр Грибоедов. Чтобы наладить отношения с императором Николаем I, персидский шах отправил богатые дары, среди которых находился и знаменитый алмаз «Шах». До сих пор этот драгоценный камень хранится в России, полюбоваться им можно на выставке Алмазного Фонда в Кремле.

Индийские алмазные копи связаны с погребенными под слоями песка и глины россыпями алмазов у берегов рек. Но образуются алмазы не на поверхности Земли, а на очень больших глубинах, в мантии, и прорываются на поверхность

в основном через кимберлитовые трубки — вертикальные геологические тела, образовавшееся при прорыве магмы сквозь земную кору. Именно с ними связаны самые крупные коренные месторождения алмазов в мире и России.

Республика Саха (Якутия) является основным алмазным регионом России, поставляя более 30 миллионов карат алмазов ежегодно. Это примерно 37 % от мировой добычи.

Совсем недавно в Якутии добыли самый крупный в истории страны алмаз ювелирного качества. Кристалл янтарного цвета весом почти 470 карат был назван «80 лет Победы в Великой Отечественной войне».



▲ Алмаз «80 лет Победы в Великой Отечественной войне»



▲ Корунд (слева) и его разновидности: рубин (в центре) и сапфир (справа)

РУБИН, САПФИР, КОРУНД

КОРУНД (РУБИН, САПФИР)	
Формула:	Al_2O_3
Класс:	оксиды
Цвет:	серо-голубой, синий, красный, желтоватый
Блеск:	стеклянный
Твердость:	9 (один из самых твердых)
Удельный вес:	4
Происхождение:	пегматитовое, метаморфический
Встречается	с КПШ, роговой обманкой, слюдами

Представьте, что на земле есть минерал, который одновременно может быть и простым «рабочим», и «коро-

лем» драгоценностей! Это корунд: его мелкие кристаллы — наждак, который используют для заточки ножей и топоров, а благородные разновидности — рубин и сапфир — украшают короны и диадемы.

Чтобы понять, в чем различие этих минералов, изучим их химический состав:

- сам корунд рождается из **алюминия** и **кислорода** в магматических, метаморфических или гидротермальных процессах;
- если раскаленная магма или гидротермальный раствор будут богаты еще и **хромом**, вырастет кроваво-красный корунд — **рубин**;
- если в оксид алюминия добавить **железо, титан и ванадий**, то получится **синий сапфир**.

Сапфиры могут быть не только синими. Встречаются также желтые, зеленые и даже фиолетовые сапфиры. Иногда находят двухцветные минералы. Их называют полихромными.



▲ Сапфир

Так как корунды образуются в среде, где много глинозема (Al_2O_3) и мало кремнезема (SiO_2), то вместе с кварцем он почти никогда не встречается.

Возраст рубинов сильно различается. Самые древние были обнаружены

в Гренландии, им больше 2,5 миллиарда лет. А одни из самых молодых рубинов — непальские, им всего 5 миллионов лет. Но возраст на цену камня почти не влияет, ценность рубина определяется цветом, прозрачностью, размером и отсутствием трещин.

Самый дорогой рубин за всю историю был найден в Мозамбике. Камень «Эштрела де Фура» («Звезда Фуры») был продан за 34,8 миллиона долларов!

Корунд — довольно распространенный минерал на Земле, но рубин и сапфир встречаются довольно редко. Основными источниками этих сокровищ являются речные россыпи. Выше всего ценятся рубины цвета «голубиная кровь». Такие рубины добывают в Мьянме на месторождении Могок.

Сапфир найти легче, чем рубин. Самые ценные сапфиры добывают на Шри-Ланке, в Мьянме и Кашмире (Индия). Один из кашмирских сапфиров — сапфир Стюартов — украшает корону Британской империи. В России тоже можно найти сапфиры и корунды: на Урале, Кольском полуострове и в Сибири. Однако находки высококачественных рубинов у нас крайне редки.



До того, как геммологи (специалисты, которые изучают драгоценные камни), научились определять состав минералов, люди ориентировались только на цвет. И все прозрачные красные камни называли рубинами. Такие знаменитые драгоценности, как «большой рубин» в короне Российской империи и «Рубин Тимура», на самом деле не рубины, а шпинель.

За неимением своих месторождений рубинов в XX веке в СССР поставили на поток производство качественных

синтетических камней. Поэтому все рубины в украшениях вашей бабушки или прабабушки — искусственные!



▲ Карта находок драгоценных корундов на территории России

ИЗУМРУД, АКВАМАРИН, БЕРИЛЛ

Берилл — отец первых очков для зрения и источник бериллия, важного для промышленности. Но это не главное его достоинство: разновидность берилла **изумруд** — самый красивый и ценный из всех зеленых минералов! Силикат бериллия и алюминия — берилл — сам по себе бесцветный, но в природе он редко встречается без примесей. Именно

они и придают ему яркую окраску, превращая его в драгоценные камни:

- изумруд **зеленый** за счет примесей **хрома** и **ванадия** (чем больше примесей хрома, тем насыщеннее цвет);
- **аквамарин** имеет небесно-голубой цвет за счет **железа**;
- розовый цвет **morganitu** придает марганец.



▲ Изумруд



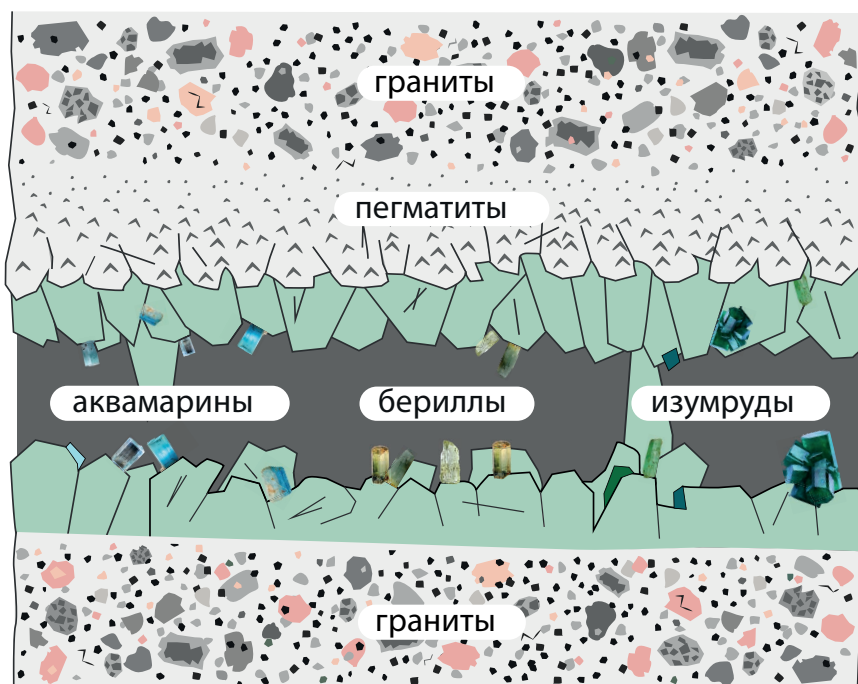
▲ Аквамарин



▲ Берилл

Как же рождаются эти минералы? Существует три главных типа берилловых месторождений: пегматитовые, образованные из легкой остаточной магмы, гидротермальные — из горячих растворов и метаморфические, которые образуются при высоких давлении и температуре.

БЕРИЛЛ (ИЗУМРУД, АКВАМАРИН И ПР.)	
Формула:	$\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$
Класс:	силикаты
Цвет:	зеленый, изумрудный, голубой, желтый, розовый
Блеск:	стеклянный
Твердость:	8 (высокая)
Удельный вес:	2,6
Происхождение:	пегматитовый, грейзеновый, гидротермальный
Встречается	с кварцем, турмалином, слюдами, КПШ, флюоритом



◀ Самые крупные кристаллы на Земле найдены как раз в пегматитах. Причем, чем медленнее остывает магма, тем крупнее образующиеся кристаллы



▲ Карта месторождений драгоценных бериллов на территории России

А где найти драгоценный берилл? Самые дорогие изумруды добывают в Колумбии, Замбии, Бразилии и Афганистане. России тоже повезло: на Урале есть Малышевское месторождение, а в Сибири – Супруновское.

Люди с древних времен ценят бериллы, но не только как ювелирный материал. Еще в XIII веке монахи из Италии использовали прозрачные бериллы как линзы для самых первых очков для зрения. Возможно, именно поэтому на четырех разных языках (немецкий, датский, финский и норвежский) очки называются «брилл» или «брилле».

Изумруд «Ага-Хана» родом из Колумбии в 2024 году был продан за 8,7 миллиона долларов!

Сегодня берилл по-прежнему связан с оптикой, но используют уже не сам минерал, а получаемый из него элемент бериллий. Из бериллия делают зеркала и оправы для космических телескопов. Сплавы бериллия упругие и хорошо переносят перепады температур, поэтому такие телескопы работают точно даже в суровых условиях космоса.



▲ Изумруд

АМЕТИСТ, ЦИТРИН, РОЗОВЫЙ КВАРЦ



▲ Цитрин

В этой энциклопедии уже не раз упоминался кварц — строитель земной коры и старейший помощник человека. Но в кварце скрыто еще много чудесного!

Из-за того, что кварц рождается в любых геологических условиях, он может быть многоликим. По разнообразию цветов и форм никакой другой минерал не может с ним сравниться.

КВАРЦ (АМЕТИСТ, ЦИТРИН И ПР.)	
Формула:	SiO ₂
Класс:	оксиды
Цвет:	белый, прозрачный, фиолетовый, желтый, зеленый, коричневый, черный
Блеск:	стеклянный
Твердость:	7
Удельный вес:	2,6
Происхождение:	во всех геологических процессах
Встречается	со многими минералами



▲ Дымчатый кварц



▲ Аметист



▲ Розовый кварц

Мы уже не раз упоминали о том, что цвет минералов чаще всего зависит от химического состава. Кварц не исключение:

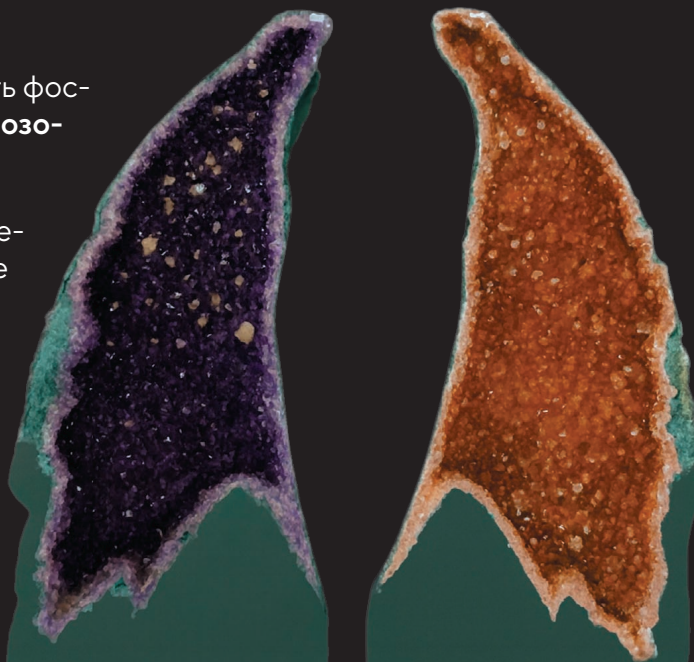
- если в раствор, из которого растет кристалл, будет добавлено железо, то получится **аметист**;
- если добавится алюминий, сформируется **дымчатый кварц**, или **раухтопаз**,
- если к алюминию добавить фосфор или титан, вырастет **розовый кварц**.

Иногда включения других минералов тоже дают определенные оттенки. Тот же розовый кварц может иметь характерную окраску не только из-за входящих в его состав химических элементов, но и за счет включений тонковолокнистых минералов. В этом случае, он не будет прозрачным.

Еще кварц меняет свой цвет под воздействием радиации, температуры и света,

например, если жеоду аметиста нагреть выше 200 градусов, она превратится в **цитрин**!

В целом, натуральный цитрин встречается очень редко. Часто, чтобы получить цитрин, используют аметисты низкого качества, которые нагревают, чтобы придать им желтый цвет. Что теперь делать литотерапевтам, которые на самом деле лечат аметистом вместо цитрина? Непонятно, ведь согласно литотерапии, у этих минералов противоположные свойства!



▲ Жеода аметиста и цитрина



▲ Карта месторождений аметистов на территории России



▲ Горный хрусталь

Бесцветные кристаллы кварца называют **горным хрусталем**. Это одна из самых частых разновидностей минерала.

Скрытокристаллическая, то есть плотная разновидность кварца — **халцедон** — тоже образует армию красивых минералов: зеленый **хризопраз**, оранжевый **сердолик**, полосатые **агаты**.

Где найти драгоценный кварц? Если вы внимательно посмотрите под ноги, то обязательно

найдете кварц, из которого и состоит песок. Но драгоценные разновидности кварца встречаются не везде. Красивый аметист и другие разновидности кварца в России можно найти на Урале или на месторождении Кедон в Магаданской области.

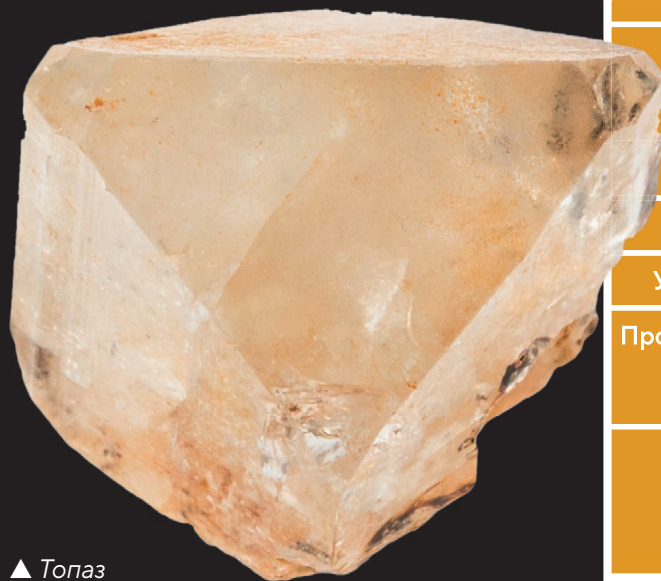
Но самые ценные аметисты, равно, как и другие драгоценные разновидности кварца, добывают в Бразилии и Уругвае! Там же найдена самая крупная жеода аметиста «Императрица Уругвая», высотой больше 3 метров и весом около 2,5 тонн.

ТОПАЗ

Топаз — островной силикат со сложным составом. Это один из самых твердых минералов на планете — третий после алмаза и корунда, но, как и алмаз, он довольно хрупок. Топаз может похвастаться широкой цветовой палитрой: он бывает бесцветным, голубым, желтым, зеленым.

Самые редкие и ценные виды топазов — розовые и оранжевые — назы-

ваются **императорские**, или имперал. Это название появилось в России в XIX веке, когда основным источником топазов были Уральские горы и всеми драгоценными топазами владела императорская семья. Топаз не такой редкий минерал, как может показаться.



▲ Топаз

ТОПАЗ	
Формула:	$Al_2[SiO_4](F,OH)_2$
Класс:	силикаты
Цвет:	бесцветный, голубой, желтоватый, розовый
Блеск:	стеклянный
Твердость:	8 (высокая)
Удельный вес:	3,5
Происхождение:	гранитные пегматиты, гидротермальное
Встречается	с кварцем, бериллом, амазонитом, мусковитом, флюоритом

Его можно найти даже на территории Москвы, когда роют глубокие котлованы для строительства зданий или

метро. Топазы невероятной красоты до сих пор добывают на Урале, а еще в Хабаровском крае.



◀ Карта находок топаза на территории Москвы

Крупнейшие месторождения этого минерала находятся в Бразилии, Уругвае и Аргентине.

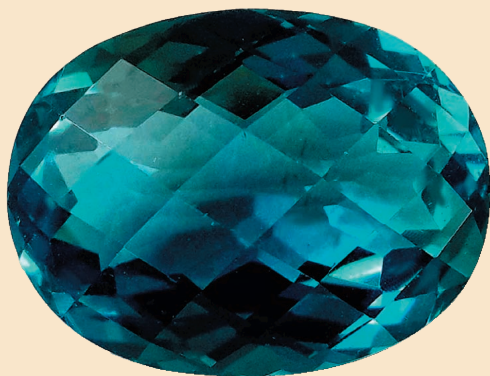
Чаще всего драгоценные разновидности топаза образуются в пегматитах или грейзенах — породах, образованных в результате воздействия горячих растворов на граниты.

При всем разнообразии цветов, чаще всего добывают бесцветные или светло-голубые топазы. И чтобы получить насыщенный синий цвет, топазы нагревают или облучают радиацией.



▲ *Топаз*

А разновидность «топаз мистик» — это всегда творение рук человека: для получения разноцветных переливов на поверхность топаза наносят тончайшее покрытие из металлических оксидов.



Знаменитый топаз цвета London Blue — это всегда облученный радиацией минерал. Радиоактивен ли он в украшениях? После облучения топазы хранят в свинцовых камерах для снижения радиоактивности до минимума.



▲ *Топаз мистик*

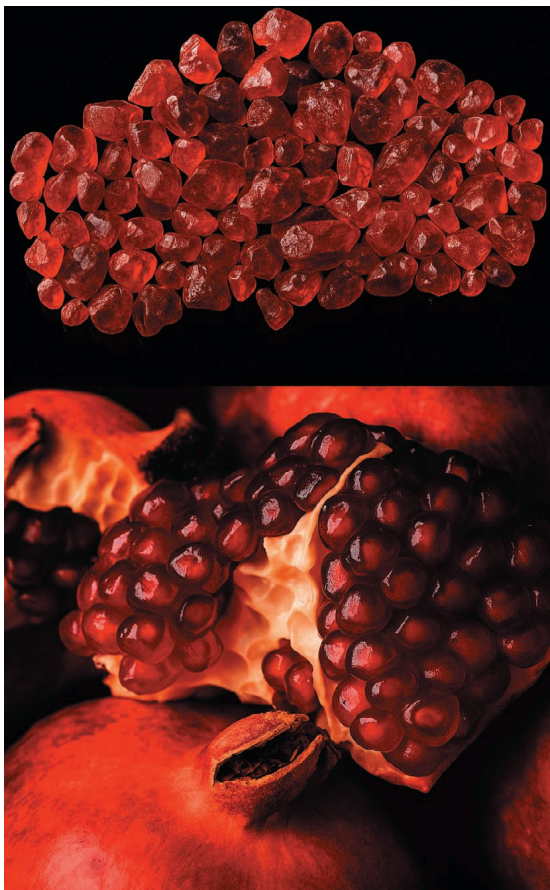
Если часто носить топазы в дневное время, они могут потускнеть под воздействием солнечного света!

ГРАНАТЫ

Гранаты — это островные силикаты, их основа состоит из кремния и кислорода. Свое название получили от латинского *granatus*, что значит «зернистый». Красные гранаты — альмандин и пироп — действительно, очень напоминают фрукт гранат.

За счет включения различных химических элементов в кристаллическую решетку, гранаты могут быть зеленого,

оранжевого или красного цвета. Если в кристаллической решетке есть марганец и алюминий, получается оранжевый **спессартин**. Хром придает **уваровиту** ярко-зеленый цвет. При включении железа, алюминия или марганца — вырастают красные или бурые **альмандин**, **пироп** или **андрадит**. Но если в андрадите присутствует еще и хром, то он становится редким и особенно дорогим зеленым **демантоидом**.



▲ Пироп и плод гранат в разрезе

Демантоид открыли у нас на Урале в XIX веке. Его характерный признак — включение минерала хризотила в форме «лошадиных хвостов». Это повышает стоимость демантоида порой до нескольких миллионов рублей.



▲ Демантоид



▲ Спессартин



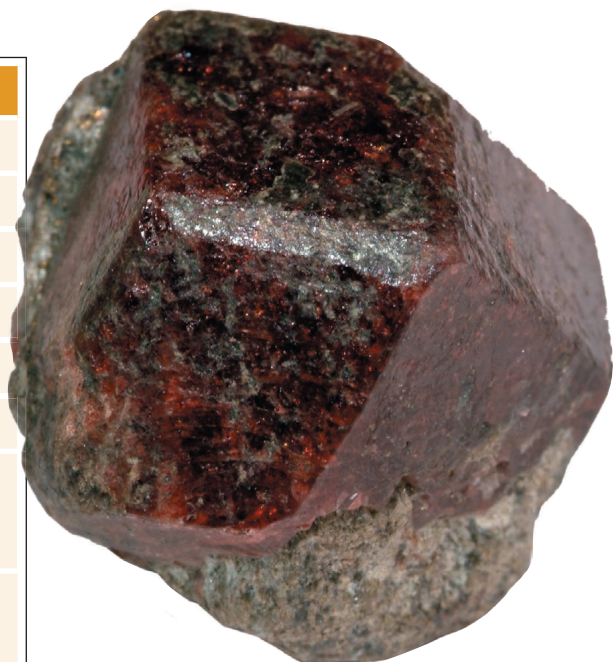
▲ Спессартин

СПЕССАРТИН	
Формула:	$Mn_3Al_2[SiO_4]_3$
Класс:	силикаты
Цвет:	оранжевый
Блеск:	стеклянный
Твердость:	7
Удельный вес:	4
Происхождение:	гранитные пегматиты
Встречается	с КПШ, кварцем, мусковитом



▲ Альмандин

АЛЬМАНДИН	
Формула:	$\text{Fe}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$
Класс:	силикаты
Цвет:	красный
Блеск:	стеклянный
Твердость:	7
Удельный вес:	4
Происхождение:	метаморфический — в кристаллических сланцах
Встречается	с мусковитом, кварцем, биотитом, КПШ



▲ Альмандин

ПИРОП	
Формула:	$Mg_3Al_2[SiO_4]_3$
Класс:	силикаты
Цвет:	темно-красный
Блеск:	стеклянный
Твердость:	7
Удельный вес:	4
Происхождение:	магматическое
Встречается	с алмазами, оливином

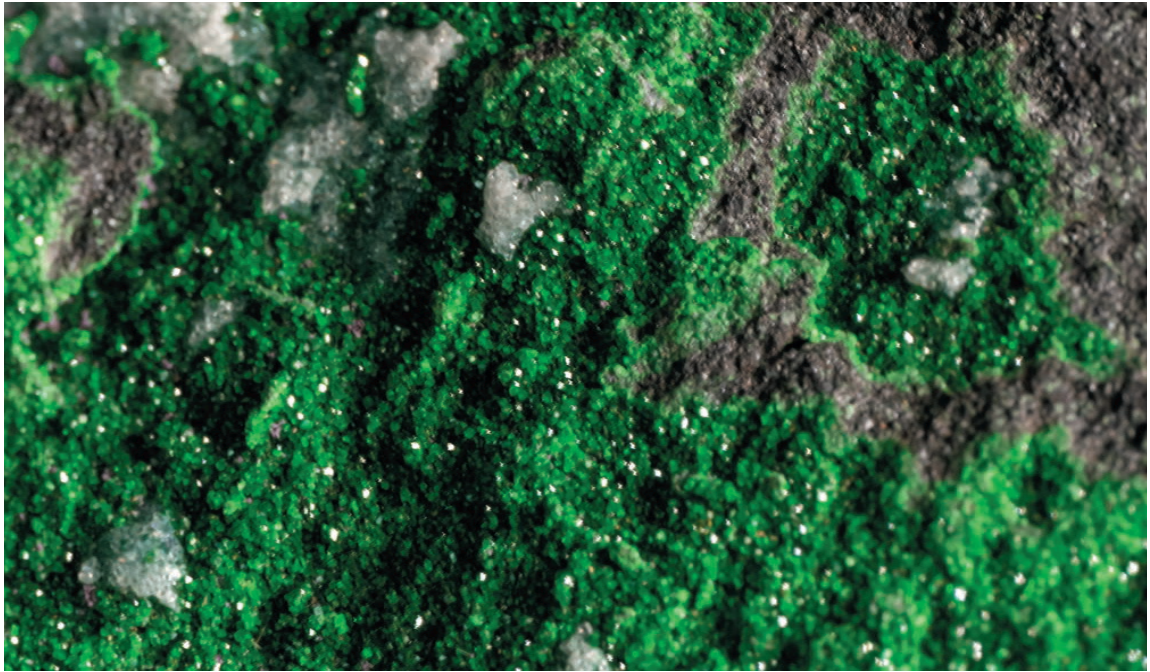


▲ Пироп

АНДРАДИТ	
Формула:	$Ca_3Fe_2[SiO_4]_3$
Класс:	силикаты
Цвет:	красно-бурый, темный
Блеск:	стеклянный
Твердость:	7
Удельный вес:	4
Происхождение:	скарны
Встречается	с диопсидом, кварцем, сульфидами

▼ Андрадит





▲ Уваровит

УВАРОВИТ	
Формула:	$\text{Ca}_3\text{Cr}_2[\text{SiO}_4]_3$
Класс:	силикаты
Цвет:	изумрудно-зеленый
Блеск:	стеклянный
Твердость:	7
Удельный вес:	4
Происхождение:	гидротермальное
Встречается	с серпентином, хромшпинелидом

конкурировать по цене с изумрудами, а добывают их только в Восточной Африке.

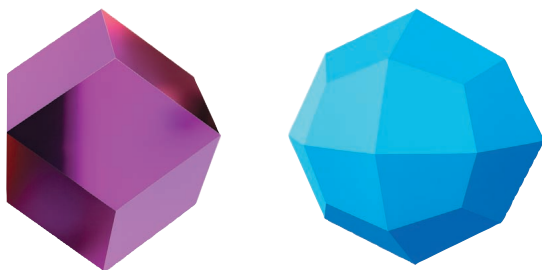


▲ Цаворит

Ювелиры и коллекционеры также ценят **цавориты**, или ванадиевые грюссулары. Эти самоцветы способны

Преимуществом всех гранатов является тот факт, что их никогда не облагораживают, а продают в первозданном виде, в отличие от изумрудов и рубинов, которые для улучшения качества часто пропитывают смолами или нагревают.

Как видим, гранаты очень разнообразны, но есть то, что все их объединяет — это симметричная форма кристаллов, напоминающая идеально ограненные шарик.



▲ Форма кристаллов гранатов — ромбододекаэдр или тетрагонтриоктаэдр

Может ли гранат вырасти выше человека? Нет. Самые крупные кристаллы гранатов (альмандины) были около 1 м в диаметре. Они были найдены в горах Адирондак в штате Нью-Йорк, США

Гранаты образуются во всех глубинных процессах: уваровит — в гидротермальных условиях, альмандин — в метаморфических (кристаллические сланцы), андрадит — в скарнах, а спессартин — в пегматитах. А пироп можно найти в кимберлитах, там же, где находятся алмазы.

Именно по находкам пиропов в речных россыпях геолог Лариса Попугаева обнаружила в 1954 году в Якутии первое коренное месторождение алмазов в России.

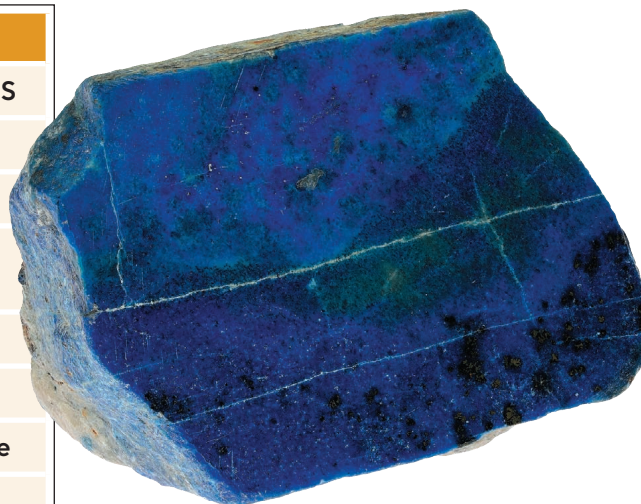
ЛАЗУРИТ

Слово «лазурь» прочно связано с синим цветом. Так и лазурит — минерал, обладающий самым красивым и насыщенным синим цветом, который с древности считают символом вечности.

Лазурит — представитель силикатов, самой обширной группы минералов. В его основе — «решетка из кирпи-

чиков» кремния и алюминия, соединенных кислородом. Внутри этих решеток есть «ячейки», как в пчелиных сотах, где спрятаны натрий, кальций, а еще сера в особой форме. Именно сера и придает лазуриту глубокий синий цвет! Удивительно, не правда ли? Ведь сера обычно ассоциируется с желтым цветом.

ЛАЗУРИТ	
Формула:	$\text{Na}_3\text{Ca}[(\text{Si}_3\text{Al}_3)\text{O}_{12}]\text{S}$
Класс:	силикаты
Цвет:	синий
Блеск:	стеклянный, матовый
Твердость:	5
Удельный вес:	2,6
Происхождение:	метаморфическое
Встречается	с кальцитом, пиритом



▲ Лазурит

Лазурит очень высоко ценят в ювелирном деле за его цвет и прочность.

Многие столетия лазурит был основой синего пигмента «ультрамарин» для живописи, пока не была получена синтетическая краска. Но настоящий натуральный ультрамарин по-прежнему производится вручную из лазурита для реставрации старинных произведений искусства!

Если у вас есть украшения из лазурита, никогда их не нагревайте! При нагревании соединения серы разрушатся, и лазурит потеряет синий цвет и станет белесым.

Ультрамарин мы видим на великих полотнах Рафаэля, Микеланджело и Яна Вермеера. Синие детали в них — краска из лазуритового порошка.



▲ Ян Вермеер — «Девушка с жемчужной сержкой» (~1665). В синем тюрбане героини художник использовал ультрамарин

Процесс получения ультрамарина был очень трудоемким, поэтому порой краска была дороже золота и применялась только для самых важных деталей картин. Художники Возрождения заказывали дорогой ультрамарин в Афганистане, где лазурит добывали из контактово-метасоматических месторождений. Такие месторождения — это

области, где горячие растворы из магматических тел «пропитали» известняки из кальция, обогатив их кремнием, алюминием и серой, необходимыми для образования лазурита.

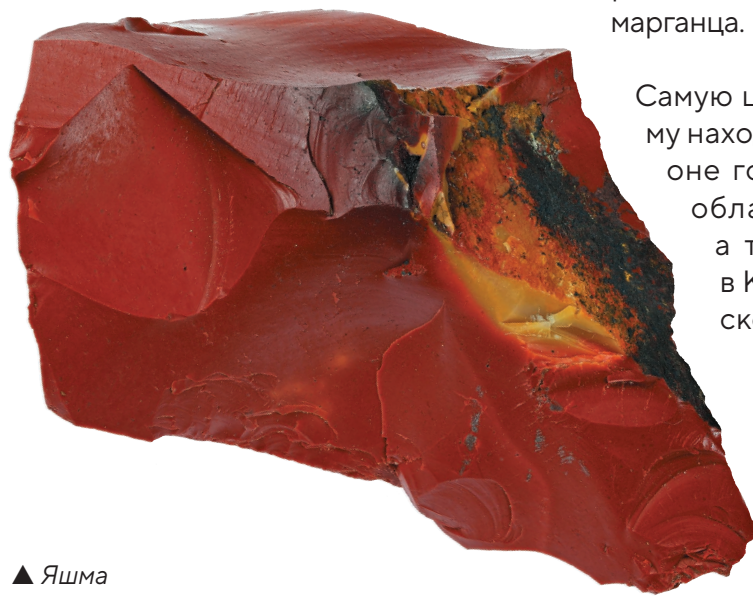
В России тоже можно найти такое месторождение красивого лазурита в районе Слюдянки на юге Байкала.

ЯШМА

По итогам Тотального диктанта, в котором в 2025 году приняло участие более миллиона человек, одним из самых незнакомых слов оказалось слово «яшма». А ведь это слово известно человечеству тысячи лет!

Слово «яшма» пришло к нам из греческого «яспис», что значит «пестрый».

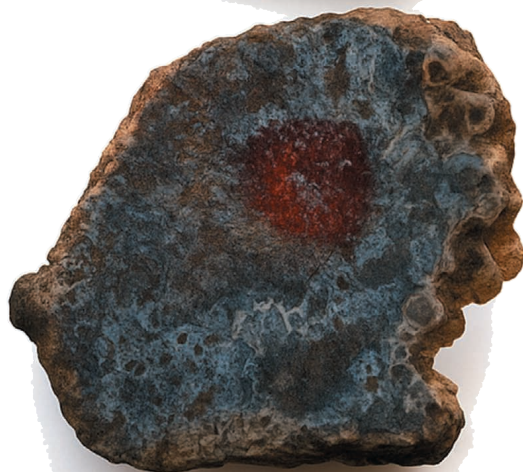
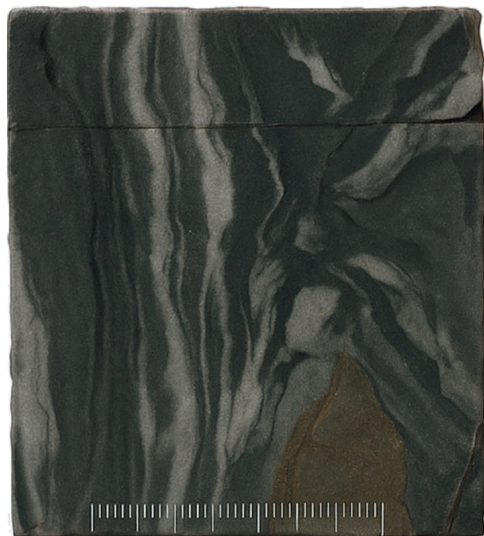
Яшма — пестрая и плотная горная порода, которая состоит из кремнезема — кремния и кислорода. Но почему она так разнообразна по оттенками и узорам? Из-за огромного количества примесей — иногда их количество доходит почти до 15 %. Красный и бурый цвета обусловлены примесями железа, зеленые оттенки образуются за счет соединений хрома, фиолетовые и черные узоры — за счет марганца.



▲ Яшма

Самую ценную и качественную яшму находят на Южном Урале, в районе города Орск Оренбургской области на горе Полковник, а также на Алтае, например в Колыванском районе Алтайского края.

Как же образуется это чудо природы? Возле подводных вулканов! Сотни миллионов лет назад территория Урала и Алтая была покрыта морем.



▲ Узоры на яшме: образ девушки (вверху слева), очки (вверху справа), крылья бабочки (внизу справа), танцующие люди (внизу слева).
А может быть вы увидите что-то другое в этих рисунках природы?

Вокруг подводных вулканов формировались кремнистые вулканические отложения или органогенные осадки из мини-скелетов кремнистого планктона — радиолярий или диатомовых водорослей. Со временем эти отложения погружались под землю, уплотнялись и претерпевали измене-

ния — перекристаллизацию, то есть образование микрокристаллического кварца и халцедона. Там же яшма обогащалась примесями железа, хрома, марганца из горячих подземных растворов, благодаря чему она отличается таким разнообразием узоров и оттенков.

Именно из цельного куска алтайской яшмы сделана знаменитая царица ваз — Большая колыванская ваза, которая хранится в Эрмитаже. Ее диаметр — больше 5 метров, а вес — больше 19 тонн. Делали ее на Колыванском камнерезном заводе целых 15 лет, а везли из Алтайского края в Петербург полгода.

Ваза оказалась настолько огромной, что в 1843 году в Эрмитаже не нашлось подходящего для нее места. Поэтому было принято решение построить особый зал с укрепленным фундаментом. С тех пор ваза не покидала своего места в Эрмитаже!



▲ Большая колыванская ваза в Эрмитаже





ГОРНОДОБЫЧА И ЭКОЛОГИЯ

Добыча и переработка полезных ископаемых наносит нашей планете серьезный вред. Раньше люди об этом не задумывались. Когда запасы металла заканчивались, карьер, отвалы и хранилища отходов оставляли без присмотра, и это наносило ущерб окружающей среде.

«ТИХАЯ» КАТАСТРОФА НА РЕКЕ КИНГ РИВЕР

В Канаде на острове Ванкувер в 1964 году начали добычу меди. Шахта проработала всего 3 года, после чего рудники были заброшены. Отвалы пустых пород остались без изоляции и «зажили своей жизнью». Многие десятилетия дождевая и талая вода попадала на отвалы и насыщалась сернистыми, железистыми и медными соединениями, а потом выносила их в реку Кинг Ривер. Этот кислотный дренаж погубил в реке всю форель, экосистема ее до сих пор не восстановлена. Это типичный пример того, как даже короткая эксплуатация может оставить ужасные последствия.

Сегодня ситуация в мире улучшается: во время добычи и переработки руды на каждом предприятии работает экологическая служба, которая следит за состоянием окружающей среды.

После закрытия шахты консервируют — закрывают входы в них, а карьеры и отвалы рекультивируют — делают их пригодным для обитания животных и растений.



▲ Горный парк Рускеала

Иногда карьеры не просто рекультивируют, а превращают в туристические объекты! В Карелии есть интересное место для отдыха и изучения геологии — горный парк Рускеала. Раньше там добывали мрамор, а после остановки предприятия карьер превратили в бирюзовый пруд с подсветкой, штольни — в музей, а территорию вокруг — в парк.

Вред от горной добычи и способы его уменьшения

ЧТО НАНОСИТ ВРЕД ПРИРОДЕ?	КАК ЕГО УМЕНЬШИТЬ?
ДОБЫЧА	
ПЫЛЬ	Установить на месторождении разбрызгиватели воды. Пыль прилипает к каплям и оседает на землю
ВЫХЛОПНЫЕ ГАЗЫ	Использовать технику с электрическим двигателем вместо дизельного
ОТВАЛЫ	<ol style="list-style-type: none">1. Из пустой породы сделать щебень и пустить его на строительство дорог.2. Рекультивировать отвалы методом «слоеного пирога»: засыпать их щебнем, глиной, песком, а сверху — почвой, на которой высадить растения
ПЕРЕРАБОТКА	
ХВОСТЫ – отходы обогащения, состоящие из пустой породы и тяжелых металлов (меди, цинка), а также остатков реагентов. Места хранения хвостов называются хвостохранилищами	<ol style="list-style-type: none">1. При обогащении руды использовать фильтры и более безопасные для природы химикаты.2. Очищать производственную воду и повторно ее использовать.3. Улавливать сернистый газ и превращать его в сернистую кислоту, которую можно использовать или продавать, снижая выбросы и создавая дополнительный продукт.4. Хранить хвосты в полусухом виде.5. Максимально извлекать из руды все ценные металлы

ЧТО НАНОСИТ
ВРЕД ПРИРОДЕ?

КАК ЕГО УМЕНЬШИТЬ?

ЗАКРЫТИЕ КАРЬЕРА

КАРЬЕР — не просто большая яма, это шрам на лице планеты, который сам не затянется. Из-за него меняется ландшафт, исчезает почва, нарушаются потоки подземных вод, мелеют реки, растения и животные теряют свои места обитания

После закрытия предприятия по добыче карьер обязательно нужно рекультивировать. Если карьер огромный, его можно превратить в пруд, если неглубокий — засыпать пустой породой, глиной, песком и почвой

В **хвостохранилища** складывают жидкие и твердые отходы. Жидкие — самые опасные. Несмотря на то, что дно хвостохранилищ тщательно выстилают материалом, не пропускающим ядовитые отходы, все равно могут случиться разливы, которые загрязняют почву и водоемы.

Крупнейшая авария случилась на хвостохранилище в бразильском Брумадинью в 2019 году. Тогда прорвало дамбу и огромное количество ядовитых хвостов (12 миллионов кубометров) поглотило рабочих железорудной шахты и близлежащие поселки. Погибли 259 человек, все деревни ниже по течению реки Каза-Бранка были разрушены, ядовитые хвосты загрязнили почву и крупную реку.

Менее опасны полусухие хвостохранилища. Они занимают меньше места,

не разливаются, как мокрые, и не пылят, как сухие. Кроме того, за ними проще следить.

Часто хвостохранилища, образованные в прошлых веках имеют большие запасы ценных металлов (золота, серебра, меди, цинка), потому что технологии добычи до XXI века не позволяли максимально извлекать металлы из руд. Поэтому некоторые хвостохранилища разрабатывают как техногенные месторождения. Это уменьшает вред природе: такие хвостохранилища перестают пылить и загрязнять окружающую среду соединениями металлов, которые мигрируют из хвостов и попадают в реки, подземные воды.



▲ Мокрые хвосты



▲ Полусухие хвосты

Не менее остро стоит вопрос о **разливах нефти**, которые регулярно происходят при ее добыче, переработке и транспортировке. При авариях на месторождениях, танкерах, морских платформах, нефтепроводах в воду и на сушу попадают миллионы тонн нефти и нефтепродуктов.

Два крупнейших разлива в истории случились в США: на Аляске в 1989 году и в Мексиканском заливе в 2010 году. Эти катастрофы привели к гибели китов, тюленей, тысяч рыб и морских птиц.

Нефть образует на поверхности воды тонкую пленку, которая снижает содержание в ней кислорода и препятствует прохождению солнечного света в глубину. Это приводит к массовой гибели растений, рыб, птиц и млекопитающих. Очистка таких загрязнений требует огромных затрат и может занимать десятилетия.

Для борьбы с разливами нефти ученые разрабатывают эффективные методы.

На основе очень мелких частиц ученые создают наносорбенты, которые, как губка, быстро впитывают нефть с поверхности воды или почвы.



▲ Разлив нефти в Мексиканском заливе

Например, железосодержащие наночастицы распыляются на нефтяное пятно, а затем собираются магнитом вместе с нефтью. Далее их промывают растворителями или нагревают, чтобы очистить от нефтепродуктов, после чего их снова используют для сбора новых загрязнений. Также сегодня используют бактерии, грибы и растения, которые разлагают или накапливают в себе углеводороды. Такой способ сбора нефтепродуктов называется биоремедиацией.

Добыча нефти всегда сопровождается выбросами попутного природного газа. Метан, входящий в его состав, очень опасен для атмосферы. Это один из ключевых парниковых газов, его парниковая активность примерно в 25 раз выше, чем у углекислого газа. Большие выбросы метана ускоряют глобальное потепление.

До недавнего времени попутный газ просто сжигали в факелах, поскольку его использование было сопряжено с большими трудностями и, соответственно, экономически невыгодно. Сжигание попутного газа усугубило проблему глобального потепления — за двести пятьдесят лет содержание углекислого газа в атмосфере увеличилось почти в 2 раза, а в последние годы достигло критического уровня.

Но наука не стоит на месте. Люди сегодня научились собирать попутный газ и делать из него топливо, выделять водород, метанол и аммиак для



▲ Горение попутного газа в факелах

удобрений. А еще через сложную цепочку превращений из метана, пропана и бутана получают различные полимеры.

Мы живем в самом безопасном месте во всем космосе, ведь только на нашей планете есть все условия для жизни: вода, кислород в атмосфере, комфортная температура, умеренная гравитация. Возможно, в будущем мы освоим другие планеты, но вряд ли на них будет так же идеально, как на Земле. Поэтому так важно беречь наш единственный дом.



◀ Читайте и смотрите! Документальный фильм о горной добыче и экологии

ЧТО ЛЮДИ БУДУТ ДЕЛАТЬ, КОГДА МИНЕРАЛЫ ЗАКОНЧАТСЯ?

Сложно представить, что будет, если минеральные ресурсы закончатся: пострадает промышленность, экономика, ювелирное искусство, а научные исследования замедлятся. Как же этого избежать?

Помните, что химические элементы образуются не внутри Земли, а в космосе? Это значит, что звездная пыль с металлами разносится по всей Вселенной и становится частью разных объектов: других планет, астероидов, метеоритов. **Добыча металлов в космосе** требует невероятных затрат.

Ученые считают, что астероид Психея хранит в себе запасы металлов на триллионы долларов



▲ Астероид Психея

Современные космические полеты очень дороги, а технологий транспортировки пока еще не придумали. Такая добыча пока остается делом будущего.

На **океаническом дне** нашей планеты тоже скрыты колоссальные запасы редкоземельных металлов, золота, меди, железа и марганца. Существуют там и крупные месторождения нефти и газа. Но добыча полезных ископаемых в океанах всегда очень рискованное мероприятие — хрупкие морские биоценозы очень чувствительны к любым нарушениям жизненного баланса, поэтому для начала нужно придумать очень бережные методы добычи.

Главный вызов современности — это даже не бесконечный поиск ресурсов, а необходимость разумно и бережно относиться к природе. Но и без природных ископаемых, которые всегда были основой нашего материального мира, нам не обойтись. Поэтому важно искать баланс и придумывать экологичные технологии добычи и переработки ресурсов.

Вторичное использование ресурсов — одно из решений этой проблемы. Многие минералы и металлы можно извлекать из старых изделий и повторно использовать в промышленности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наше путешествие в мир минералов подошло к концу. Теперь, когда вам в руки попадет камень, вы уже не будете смотреть на него как прежде. Вы увидите в нем долгий путь из космоса длиной в миллиарды лет и сложные процессы его формирования в недрах Земли. Вы вспомните удивительные истории древних людей, знатных особ, исследователей, горняков и ученых, которых объединяет одно — стремление понять и использовать лучшие свойства минералов.

Миллионы лет назад твердые камни стали первыми орудиями для наших предков. Больше 8 тысяч лет назад люди научились использовать металлы, первым из которых была мягкая и податливая медь. За красоту и редкость золото начали использовать в качестве денег и украшений. Позже прочное железо изменило ход истории, позволив людям делать долговечное оружие, орудия для сельского хозяйства и станки для производства. В XVIII–XIX веках

энергия каменного угля ускорила промышленную революцию, дав мощный толчок развитию железных дорог, паровых машин и промышленности. В XX веке радиоактивный уран открыл путь к ядерной энергетике и оружию, навсегда изменив международные отношения. В XXI веке редкоземельные металлы сделали возможным создание смартфона и компьютера, стали основой для зеленой энергетики.

И, возможно, именно вы придумаете новые экологичные способы добывать полезные ископаемые или создадите полезные технологии из минеральных ресурсов, которые позволят нашему миру стать безопаснее и удобнее!

За помощь и научное сопровождение при создании книги искренне благодарим Ананьеву Людмилу Геннадьевну, кандидата геолого-минералогических наук, доцента Томского Политехнического университета.

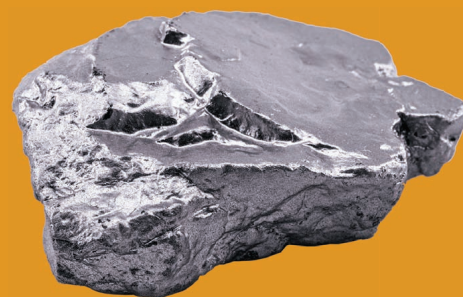


ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

КЛАСС МИНЕРАЛОВ	МИНЕРАЛ	ФОРМУЛА
САМОРОДНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ – минералы, состоящие из одного химического элемента	Самородные металлы:	
	Золото	Au
	Серебро	Ag
	Платина	Pt
	Медь	Cu
	Самородные неметаллы:	
	Графит	C
	Сера	S
СУЛЬФИДЫ – соединения металлов с серой	Пирит Халькопирит Галенит Молибденит Сфалерит	FeS_2 $CuFeS_2$ PbS MoS_2 ZnS
ОКСИДЫ состоят из кислорода и металлов	Кварц Гематит Магнетит Корунд	SiO_2 Fe_2O_3 Fe_3O_4 Al_2O_3
СУЛЬФАТЫ – соединения серы и кислорода	Гипс Ангидрит	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$ $CaSO_4$



▲ Самородная сера



▲ Молибденит

ГЛАВНЫХ КЛАССОВ МИНЕРАЛОВ

ОСОБЕННОСТИ	ПРИМЕНЕНИЕ
Высокая электропроводность и пластичность	Золото серебро, платина: ювелирное дело, электроника, инвестиции, медицина. Медь: энергетика, строительство, автомобилестроение, медицина
	Графит: электроника, металлургия, ядерные реакторы
Металлический блеск	Источники металлов (меди, свинца, цинка, молибдена, серебра, кадмия, индия, рения), производство серной кислоты
Высокая твердость, химическая устойчивость	Кварц: стекло, керамика, высокие технологии (кремниевые платы). Гематит и магнетит: железная руда. Корунд: абразивы
Растворимы, мягкие, образуются при испарении морской воды	Строительство, удобрения, медицина



▲ Корунд



▲ Гипс

КЛАСС МИНЕРАЛОВ	МИНЕРАЛ	ФОРМУЛА
ГАЛОИДЫ – соединения металлов с галогенами	Галит Сильвин Карналлит Флюорит	NaCl KCl KCl·MgCl ₂ ·6H ₂ O CaF ₂
КАРБОНАТЫ – минералы, в составе которых есть углекислота	Кальцит Доломит	CaCO ₃ CaMg(CO ₃) ₂
СИЛИКАТЫ состоят из кремния и кислорода, но всегда содержат другие элементы	Оливин Плагиоклазы Калиевые полевые шпаты Гранаты Слюды	(Mg,Fe) ₂ SiO ₄ (Na,Ca)(AlSi ₃ O ₈) KAlSi ₃ O ₈
ФОСФАТЫ обязательно содержат фосфор и кислород	Апатит	Ca ₅ (PO ₄) ₃ (F,Cl,OH)



▲ Доломит



▲ Гранат гроссуляр

ОСОБЕННОСТИ

ПРИМЕНЕНИЕ

Растворимы в воде, довольно мягкие. Соли образуются при испарении морей, флюорит – в гидротермальных жилах и грейзенах

Галит: пищевая промышленность, медицина, производство хлора.
Калийные соли: удобрения.
Флюорит: источник фтора, металлургия, оптика

Реагируют с кислотами – шипят и выделяют углекислый газ. В основном рождаются в осадочных условиях (в морях и океанах)

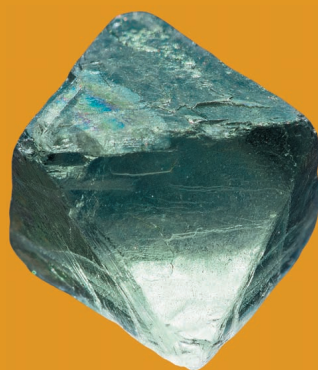
Строительные материалы, цемент, известь

Самые распространенные минералы в земной коре, высокая твердость. Кварц и полевой шпат образуются во всех геологических процессах

Строительство.
Гранаты: ювелирная промышленность.
Слюды: электроника, косметика.
Лепидолит: литиевая руда

Образуется во всех геологических процессах

Удобрения, фосфорная кислота



▲ Флюорит



▲ Апатит

ОТВЕТЫ НА ВИКТОРИНУ «ФАКТ ИЛИ ФЕЙК?»

1. Ложь. Первым металлом, который человек научился ковать и плавить, была медь. Произошло это около 8,5 тысяч лет назад. У меди было важное преимущество перед другими металлами — ее можно было ковать без нагревания, и она буквально лежала под ногами. Самородки меди и залежи медных руд было легко обнаружить по ярко-зеленому налету — минералу малахиту, который образуется при окислении меди, то есть ее взаимодействии с водой и кислородом.
2. Ложь. Фианиты, часто используемые в украшениях, — исключительно синтетические минералы. Их создали в Физическом институте Академии наук СССР (ФИАН), отсюда и название. В природе фианиты не встречаются.
3. Правда. В 1954 году геолог Лариса Попугаева участвовала в экспедиции в Якутии. Вместе со своими коллегами она искала спутники алмаза — гранаты пиропы. Это минералы ярко-красного цвета, поэтому они хорошо видны в речном песке. Именно такие пиропы Попугаева обнаружила в россыпях реки Далдын, рядом с которой позже открыли первое коренное месторождение алмазов в России.
4. Ложь. Циркон — невероятно прочный минерал, застывающий из магмы. Он устойчив к разрушению и метаморфизму. А еще при росте кристалла циркона уран легко в него встраивается, при этом туда почти не попадает свинец. Поэтому тот свинец, который потом ученые находят в минерале, — это в основном продукт распада урана. Измеряя отношение урана-238 к свинцу-206, можно надежно вычислить возраст кристалла. Кварц же не содержит ни урана, ни свинца.
5. Правда. Зубная эмаль на 96 % состоит из минерала гидроксилатапата. Он же является основой наших костей и черепа!
6. Ложь. Киноварь — минерал, состоящий из серы и ртути, а ртуть очень опасна! Она быстро повреждает почки, влияет на сердце и щитовидную железу, воздействует на нервную систему, вызывая снижение памяти, дрожь в руках, задержку развития. В 2013 году была принята Минаматская конвенция, которая ограничивает добычу и выбросы ртути во всем мире, поэтому киноварь перестали добывать и применять.

7. Правда. Платину в составе препарата цисплатина используют для лечения рака яичек и мочевого пузыря.
8. Правда. Из продуктов переработки нефти состоит половина аптечки. Таблетки от головной боли, жаропонижающие, различные антибиотики и многие другие препараты создают на основе продуктов переработки нефти благодаря уникальной способности молекул нефти распадаться и снова складываться, как конструктор, образуя таким образом чистую основу для лекарств.
9. Ложь. Земная кора примерно на 74 % состоит из кислорода и кремния. Алюминия в ней содержится 8,5 %, а водорода — меньше 2 %.
10. Ложь. Руда — это не кусок металла под землей. Это скопления минералов, содержащих в себе металлы в высоких концентрациях.
11. Правда. В XX веке для поиска сульфидных руд в Финляндии и в Карелии, использовали специально обученных собак! Лохматыми разведчиками были обнаружены сульфидные месторождения, залегающие на глубинах до 12 метров. А некоторые растения отлично накапливают металлы. Этим пользуются геохимики при поиске и разведке металлов. Они изучают химический состав корней, стеблей и листьев. Известно, что бульбостилис бородатый отлично накапливает свинец, цинк и кадмий (*Lottermoser et al., 2008*). А мхи скопелофила предпочитают жить в местах, богатых медью, потому что этот металл стимулирует процесс их роста. Некоторые исследователи даже называют эти растения «медные мхи» (*Nomura et al., 2011*). Рудознатцы использовали в Алтайском крае для поиска меди растение качим (гипсофила) — они в первую очередь начинали искать там, где было много его кустов. А австралийские золотоискатели обращали внимание на районы, где густо росла дикая жимолость!
12. Правда. Крупнейшее скопление железных руд на нашей планете названо Курской магнитной аномалией как раз из-за повышенной магнитности в том районе. Эта железорудная провинция имеет огромную площадь — более 160 тысяч км², и находится на территории трех областей России: Курской, Орловской и Белгородской.
13. Правда. На территории России тоже когда-то были тропики! Образованные тогда бокситы со временем погрузились в недра земли, а через сотни миллионов лет геологи их нашли. Добыча таких бокситов на Урале ведется в глубокой шахте. А еще в тех древних тропиках было огромное количество остатков деревьев и растений, которые потом погрузились в недра земли

и превратились в уголь. Теперь этот уголь добывают в Кемеровской области и других регионах страны.

14. Правда. Древнегреческий миф о походе аргонавтов за золотым руном рассказывает о золотой шкуре барана, которую главному герою Ясону предстояло добыть в стране Колхиде (находилась на территории современной Грузии). Путь Ясона был полон приключений и чудес, однако золотое руно — вовсе не чудо. Считается, что в те далекие времена россыпное золото на Кавказе добывали с помощью овечьих шкур: крепили их на дно горной реки и ждали, пока мелкие частички золота зацепятся за шерсть. Спустя некоторое время шкура начинала блестеть, словно была золотой!

15. Правда. Существует золото, которое невероятно сложно извлечь из руд, потому что оно мастерски прячется среди других минералов (сульфидов) и достать его оттуда возможно, только разрушив кристаллическую решетку этих минералов. Такое золото называют упорным. Один из самых эффективных методов извлечения золота из таких руд — биологическое выщелачивание. В этом случае работают не только люди, но и бактерии, питающиеся серой из минералов-сульфидов. В огромных чанах создают благоприятные условия для роста бактерий, которые в ходе жизнедеятельности разрушают кристаллическую решетку сульфидов, где заключено золото. В природе такие процессы длятся сотни тысяч лет, на комбинате — недели.

ИСТОЧНИКИ

1. Ананьева Л. Г. Определитель минералов и горных пород: справочное пособие / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2019. – 64 с.
2. Булах, А. Г., Кривовичев, В. Г., Золотарев, А. А. Общая минералогия: учебник. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 416 с.
3. Полиенко А. К., Шубин Г. В., Ермолаев В. А. Онтогенез уролитов. – Томск, 1997. – 127 с.
4. Энциклопедия для детей. Т. 4. Геология. – 2-е изд., перераб. и доп. / Глав. ред. М. Д. Аксенова. – М.: Аванта+, 2002. – 688с.
5. Abdulmutalimova, T. O., Revich, B. A., & Ramazanov, O. M. (2019). Arsenic contamination in drinking water from groundwater sources and health risk assessment in the Republic of Dagestan, Russia. *Environmental Arsenic in a Changing World* (pp. 375–376). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781351046633-148>
6. Alexander, C. M. O'D., McKeegan, K., & Altwegg, K. (2018). Water Reservoirs in Small Planetary Bodies: Meteorites, Asteroids, and Comets. *Space Science Reviews*, 214, 1–47.
7. Arias, L. S. (2018). Iron oxide nanoparticles for biomedical applications: A perspective on synthesis, drugs, antimicrobial activity, and toxicity. *Antibiotics*, 7(2), 46. <https://doi.org/10.3390/antibiotics7020046>
8. Ashish, A., Bangotra, P., Dillu, V., Najar, I. A., Raina, A., & Raina, S. (2024). Human exposure to uranium through drinking water and its detrimental impact on the human body organs. *Environmental Geochemistry and Health*. <https://doi.org/10.1007/s10653-024-02099-0>
9. Böhlke, J. K., Ericksen, G. E., & Revesz, K. (1997). Stable isotope evidence for an atmospheric origin of desert nitrate deposits in northern Chile and southern California, U.S.A. *Chemical Geology*, 136(1–2), 135–152. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(96\)00129-6](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(96)00129-6)
10. Bouvier, A., & Wadhwa, M. (2010). The age of the Solar System redefined by the oldest Pb–Pb age of a meteoritic inclusion. *Nature Geoscience*, 3, 637–641. <https://www.nature.com/articles/ngeo941>
11. Craig, O., Saul, H., Lucquin, A., Nishida, Y., Taché, K., Clarke, L., Thompson, A., Alftoft, D. T., Uchiyama, J., Ajimoto, M., Gibbs, K., Isaksson, S., Heron, C., & Jordan, P. (2013). Earliest evidence for the use of pottery. *Nature*, 496(7445), 351–354. <https://doi.org/10.1038/nature12109>
12. Dalrymple, G. B. (2001). The age of the Earth in the twentieth century: a problem (mostly) solved. *Geological Society, London, Special Publications*, 190(1), 205–221.
13. Demattè, P. (2006). The Chinese Jade Age: Between antiquarianism and archaeology. *Journal of Social Archaeology*, 6(2), 202–226. <https://doi.org/10.1177/1469605306064241>
14. Gunter, G. (1983). A Historical Note Concerning Salt in Vertebrate Blood and in the Sea. *Gulf and Caribbean Research*, 7(3), 279–280.
15. Kalthoff, R. (2021). Edmond Halley's salt clock: the age of the ocean and the Earth. *Annals of Science*, 78(2), 103–127.

16. Kopacz, A., Bednarska, K., & Król, M. (2022). Cisplatin – properties and clinical application. *Oncology in Clinical Practice*. <https://doi.org/10.5603/OCP.2022.0020>
17. Lewis, C. L. E., & Knell, S. J. (2001). The Age of the Earth: From 4004 BC to AD 2002. *Geological Society, London, Special Publications*, 190(1), 1–6.
18. Lottermoser, B. G., Ashley, P. M., & Munks-gaard, N. C. (2008). Biogeochemistry of Pb–Zn gossans, northwest Queensland, Australia: Implications for mineral exploration and mine site rehabilitation. *Applied Geochemistry*, 23(4), 723–742. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2007.12.001>
19. Milling, S., Ijaz, U. Z., Venieri, D., Christidis, G. E., Rattray, N. J. W., Gounaki, I., ... & Photos-Jones, E. (2024). Beneficial modulation of the gut microbiome by leachates of *Penicillium purpurogenum* in the presence of clays: A model for the preparation and efficacy of historical Lemnian Earth. *PLoS ONE*, 19(12): e0313090. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0313090>
20. Nomura, T., & Hasezawa, S. (2011). Regulation of gemma formation in the copper moss *Scopelophila cataractae* by environmental copper concentrations. *J Plant Res*, 124, 631–638. <https://doi.org/10.1007/s10265-010-0389-3>
21. Osborne, H. F. (1934). *The Origin and Evolution of Life on the Earth*. New York: Scribner's.
22. Ozsvath, D.L. Fluoride and environmental health: a review. *Rev Environ Sci Biotechnol* 8, 59–79 (2009). <https://doi.org/10.1007/s11157-008-9136-9>
23. Oudbashi, O., Emami, S. M., & Davami, P. (2012). Bronze in Archaeology: A Review of the Archaeometallurgy of Bronze in Ancient Iran. In L. Collini (Ed.), *Copper Alloys – Early Applications and Current Performance – Enhancing Processes* (Chapter 7, pp. 153). DOI: 10.5772/3268
24. Oyarzún, R., & Oyarzun, J. (2007). Massive volcanism in the Altiplano–Puna Volcanic Plateau and formation of the giant Atacama nitrate deposit (Chile): A critical reappraisal and re-interpretation. *Ore Geology Reviews*, 30(1–2), 155–162. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2005.07.034>
25. Pigott, V. C. (2004). On the Importance of Iran in the Study of Prehistoric Copper-Base Metallurgy. In T. Stöllner & R. Slotta (Eds.), *Persia's Ancient Splendour: Mining, Metallurgy and Civilisation*.
26. Sahle, Y. (2020). Eastern African Stone Age. *Oxford Research Encyclopedia of Anthropology*. Retrieved 7 Aug. 2025, from <https://oxfordre.com/anthropology/view/10.1093/acrefore/9780190854584.001.0001/acrefore-9780190854584-e-53>
27. Sarafian, A. et al. (2014). Early accretion of water in the inner solar system from a carbonaceous chondrite-like source. *Science*, 346, 623–626.
28. Soktoev et al. (2025). Integrated environmental impact assessment of mining industry: A case of former Altai Mining and Processing Plant, Russia. *Integrated Environmental Impact*, Chapter 20, pp. 1–48.
29. Stacey, F. D. (2000). Kelvin's age of the Earth paradox revisited. *Survey Geophysics*, 21, 1–6.
30. Valley, J. W., Cavosie, A. J., Ushikubo, T., Reinhard, D. A., Lawrence, D. F., Larson, D. J., ... & Kita, N. T. (2014). Hadean age for a post-magma-ocean zircon confirmed by atom-probe tomography. *Nature Geoscience*, 7(3), 219–223.

УКАЗАТЕЛЬ МИНЕРАЛОВ И ГОРНЫХ ПОРОД

А

Авгит 76
Агат 21, 188
Азурит 20
Акантит 117
Аквамарин 20, 26, 182-185
Актинолит 77
Александрит 22
Алмаз 24, 26, 27, 28, 72, 173-174, 175, 176-178, 189, 197
Альбит 15, 81
Альмандин 192, 194
Амазонит 80
Аметист 18, 20, 26, 65, 186-189
Андрадит 13, 192, 195
Антимонит 23, 31, 61
Апатит 13, 27, 28, 29, 31, 66, 72, 158-160
Аполфиллит 15
Арагонит 46
Аргентит 117
Арсенопирит 36, 85
Асбест 25
Аурипигмент 19, 20, 24, 59, 60

Б

Базальт 39, 47, 50, 51, 136-138
Барит 13, 15, 157
Бастнезит 120, 123, 126
Бемит 103
Берилл 16, 20, 24, 75, 182-185
Биотит 31, 78, 79, 167, 170-171
Бирюза 63, 64
Бишофит 35, 66, 67

Борнит 21, 92, 93

Бронзит 76

В

Вивианит 20
Волластонит 15
Вольфрамит 36
Вульфенит 15

Г

Габбро 47
Гагаринит 123, 126
Гадолинит 123, 126
Галенит 13, 14, 23, 31, 60
Галит 13, 14, 15, 16, 20, 29, 30, 31, 35, 39, 40, 46, 66, 153-155
Гематит 13, 20, 22, 24, 67, 72, 98, 99, 103
Гётит 20, 44, 100, 101, 103
Гиббсит 103
Гидроксилапатит 8, 54, 55, 56
Гипс 13, 15, 17, 25, 26, 27, 28, 39, 66, 143-144
Глина 68, 147-150
Гнейс 39, 47
Горный хрусталь 188
Гранаты 13, 15, 16, 75, 192-197
Гранит 39, 40, 47, 50, 72, 133-135
Графит 13, 17, 19, 20, 31, 35, 167, 172-174, 175

Д

Демантоид 192
Диаспор 103
Диопсид 15
Дистен 75
Доломит 13

Ж

Жадеит 29

З

Золото 13, 23, 31, 32, 33, 39, 64, 66, 82, 83, 85, 106–115

И

Известняк 39, 40, 72, 138–142
Изумруд 20, 26, 65, 175, 182–185
Ильменит 15
Иридий 32

К

Калиевые полевые шпаты 13, 133
Кальцит 13, 16, 24, 26, 27, 28, 29, 31, 35, 36, 39, 44, 46, 139
Камасит 42
Каолинит 149
Карналлит 13, 160–161
Касситерит 13, 82, 95–97
Кварц 12, 13, 14, 15, 16, 21, 24, 25, 26, 27, 31, 45, 72, 81, 85, 113, 133, 145–146, 167–168, 186–189
Кварц дымчатый 186
Кварц розовый 187
Кварцит 15, 50, 51
Кианит 15
Киноварь 8, 19, 20, 24, 57, 58, 60, 63
Корунд 13, 15, 19, 20, 29, 31, 179–181, 189
Коффинит 120
Ксенотим 123
Кубанит 92

Л

Лабрадор 22, 151
Лазурит 19, 20, 63, 64, 197–199
Лепидолит 167, 169
Лимонит 19, 44
Лопарит 72, 120, 123
Лорандит 60

М

Магнетит 13, 20, 22, 24, 34, 67, 82, 98, 99, 137
Малахит 20, 65
Медь 13, 23, 31, 39, 49, 82, 83, 91–95, 106, 107, 204
Мел 19
Микроклин 80, 81
Молибденит 13, 31
Монацит 34, 120, 123–125, 134
Морганит 182
Мрамор 39, 138–142, 204
Мусковит 25, 31, 78, 167, 170–171

Н

Нефелин 25
Нефрит 29, 77

О

Обсидиан 138
Оливин 13, 15, 42, 43, 74, 75
Опал 22, 25, 30
Ортоклаз 15, 27, 80, 81
Осмий 32

П

Пегматиты 172
Перидот 75
Перидотит 47
Песок 145
Песчаник 46, 50, 51, 72, 145–146
Пирит 13, 15, 16, 23, 31, 35, 44, 45, 85
Пироксен 42, 43, 137
Пироп 8, 192, 195, 197
Пирраргирит 117
Пирротин 34
Плагиоклаз 13, 133, 137
Платина 8, 23, 32, 67, 117–119
Полевые шпаты 24, 31, 42, 79, 146
Прустит 117
Псилометан 105–106

Р

Реальгар 19, 20, 24, 59
Роговая обманка 13, 31, 77
Родонит 15, 20, 76
Рубин 19, 20, 63, 65, 72, 26, 27, 29, 175,
179–181
Рутил 15, 16, 21

С

Сапфир 19, 20, 26, 27, 29, 65, 175, 179–181
Свинец 39, 41, 49
Селенит 25, 143, 144
Селитра 161–164
Сера 13, 15, 20, 25, 29, 31, 49, 164–166
Сердолик 188
Серебро 13, 23, 39, 107, 115–117
Серпентин 25, 79
Сидерит 13, 20, 99, 100
Сильвин 13, 35, 160–161
Сланец 39
Слюды 13, 17, 25, 30, 31, 78, 134, 168–172
Смектит 67
Спессартин 192–193
Сфалерит 13, 24, 25, 67

Т

Тальк 19, 26, 27, 66, 78
Топаз 14, 15, 20, 21, 24, 26, 27, 36, 175,
189–191
Торит 34, 120
Тремолит 77
Турмалин 16, 75
Тэинит 42

У

Уваровит 20, 192, 196
Уранинит 34, 62, 63, 120
Уролиты 56

Ф

Фианит 8, 176
Флогопит 31, 167, 170
Флюорит 13, 27, 28, 29, 36, 155–156
Фуксит 20

Х

Халцедон 25, 188
Халькозин 23, 92
Халькопирит 13, 23, 31, 67, 82, 85, 92, 93
Хлорит 17, 30, 31
Хризоберилл 22
Хризолит 75
Хризопраз 188
Хризотил-асбест 62
Хромит 104
Хромшпинелид 24

Ц

Цаворит 196
Целестин 13
Цементит 42
Цинк 39, 49
Циркон 15, 40, 41, 75, 134
Цитрин 20, 186–187

Ш

Шеелит 36
Шпинель 15, 16
Штрайбезит 42

Э

Эгирин 76
Эпидот 15

Я

Яшма 21, 65, 199–201

Во внутреннем оформлении использованы фотографии:

20Ginger, Abdou Faiz, Achim Wagner, AhsanJayacorp, Albert Russ, Alejandro Lafuente Lopez, Aleksandr Pobedimskiy, AleksaStanko003, Alexandr_Polupanov, Alina Kholopova, Anastasia Bulanova, Ann in the uk, Anna List, Anne Webber, Antoine2K, Arnika Ganten, Bjoern Wylezich, Branko Jovanovic, Cagkan Sayin, Cagla Acikgoz, Capitolio Arts, ChWeiss, cIkraus, Colinnthompson, David G Hayes, deLoon, Denis Kabelev, Dima Moroz, DinaEv, Dmitrii Kazakov, Dmitry Posledov, Don Bendickson, dotshock, DRIMOROND, eleonimages, Evgeny Haritonov, Ezalo, Finesell, Fokin Oleg, Foto 4440, FOTOGRIIN, Framalicious, FrentaN, GC Quarterland, hina, imageBROKER.com, Imfoto, Jaroslav Moravcik, Jekatarinka, Jens Mayer, Jirik V, jose amaral, JosefePhotography, Juan Carlos Munoz, Julia Mountain Photo, Karakol, KrimKate, lego 19861111, Lev Levin, losmandarinas, Lucian Coman, lusia83, LuYago, m.e.s.t.o.c.k, MarcelClemens, Marco Frino Fotografo, Marco Mariani, Marieke Peche, Mario Hagen, MartiBstock, MaxkateUSA, Merve.karaks, Michael LaMonica, Michele Alfieri, MikhailchukStudio, Minakryn Ruslan, mineral vision, Mironov56, Mistervlad, Narcissa kiu, nevodka, New Africa, NickKnight, Nordroden, OlegSam, olpo, Omagana, osonmez2, Parilov, Pastika jaya, Pix One, Porawat Suepchaktip, PositiveTravelArt, Preto Perola, Pyty, R_DRONE, Raka Firdaus, remjud, RHJPhOTOS, Richard Peterson, Ritvars, rocharibeiro, Roy Palmer, S_E, serato, Shchipkova Elena, SpotLuda, Stephen A. Rohan, TR_Studio, smpoly, TuktaBaby, Twocasa, Tyler Boyes, Vastram, Viacheslav Lopatin, woe, WILLIAM LUQUE, Wirestock Creators, Yes058 Montree Nanta, yvonnestewardhenderson, Zelenskaya / Shutterstock / FOTODOM
Используется по лицензии от Shutterstock / FOTODOM

Злобина, Анастасия Николаевна.

3-68 Мир минералов : путеводитель по минералам и горным породам, из которых состоит Земля и построена наша цивилизация / Анастасия Злобина, Исхак Фархутдинов. — Москва : Эксмо, 2026. — 224 с. : цв. ил. — (Земля. Энциклопедии о чудесах природы).

Книга приглашает вас в захватывающее путешествие по миру минералов и горных пород — от глубин Земли до вершин самых высоких гор. Авторы книги — Анастасия Злобина и Исхак Фархутдинов, эксперты в минералогии, — рассказывают о сложных вещах увлекательно и доступно. Вы узнаете, как рождаются минералы, чем они отличаются друг от друга, какие эти невидимые кристаллы играют роли в формировании нашей планеты и почему без них невозможно существование современной техники, медицины и ювелирного искусства. Внутри — более 60 подробных описаний минералов и пород, наглядные иллюстрации и фотографии, простые объяснения основ минералогии и множество удивительных фактов о том, как камни влияют на жизнь человека.

УДК 548/549
ББК 26.31

ISBN 978-5-04-216723-2

© Злобина А.Н., Фархутдинов И.М., текст, фото, 2026
© Оформление. ООО «Издательство «Эксмо», 2026

Все права защищены. Книга или любая ее часть не может быть скопирована, воспроизведена в электронной или механической форме, в виде фотокопии, записи в память ЭВМ, репродукции или каким-либо иным способом, а также использована в любой информационной системе без получения разрешения от издателя. Копирование, воспроизведение и иное использование книги или ее части без согласия издателя является незаконным и влечет уголовную, административную и гражданскую ответственность.

Издание для досуга

ЗЕМЛЯ. ЭНЦИКЛОПЕДИИ О ЧУДЕСАХ ПРИРОДЫ

**Злобина Анастасия Николаевна
Фархутдинов Исхак Мансурович**

МИР МИНЕРАЛОВ

**ПУТЕВОДИТЕЛЬ ПО МИНЕРАЛАМ И ГОРНЫМ ПОРОДАМ,
ИЗ КОТОРЫХ СОСТОИТ ЗЕМЛЯ И ПОСТРОЕНА НАША ЦИВИЛИЗАЦИЯ**

Главный редактор *Р. Фасхутдинов*
Руководитель направления *Т. Сова*
Зам. руководителя направления *А. Братушева*
Ответственный редактор *Д. Рыкова*
Координатор проекта *В. Жутина*
Художественный редактор *Г. Булгакова*

Страна происхождения: Российская Федерация
Шығарушы ел: Ресей Федерациясы

БОМБОРА
ИЗДАТЕЛЬСТВО

БОМБОРА – лидер на рынке полезных и вдохновляющих книг. Мы любим книги и создаем их, чтобы вы могли творить, открывать мир, пробовать новое, расти. Быть счастливыми. Быть на волне.

📧 bombora.ru 📖 bomborabooks 📱 bombora



eksmo.ru
Официальный интернет-магазин издательства «Эксмо»



Хочешь стать автором «Эксмо»?



ISBN 978-5-04-216723-2



9 785042 167232 >

Интернет-магазин: www.book24.ru
Интернет-магазин: www.book24.kz
Интернет-дүкен: www.book24.kz

Импортер в Республику Казахстан ТОО «РДЦ-Алматы»,
Казахстан Республикасына импорттаушы «РДЦ-Алматы» ЖШС.
Дистрибутор и представитель по приему претензий на продукцию в Республике Казахстан: ТОО «РДЦ-Алматы»
ТОО РДЦ Алматы, Алматы, ул. Домбаровского, 3-а, литер Б, офис 1.
Дистрибутор және Қазақстан Республикасында өнімге шағымдар қабылдау жөніндегі өкіл: «РДЦ-Алматы» ЖШС.
Алматы қ., Домбаровский көш., 3-а, литер Б, офис 1.
Тел.: 8 (777) 231-59-90/91/92. E-mail: RDC-Almaty@eksmo.kz

Сведения о подтверждении соответствия издания согласно законодательству РФ о техническом регулировании можно получить на сайте Издательства «Эксмо»: www.eksmo.ru/certification

Техникалық реттеу туралы РФ заңнамасына сай басшылығың сайкестігін растау туралы мәліметтерді мына адрес бойынша алуға болады: <http://eksmo.ru/certification/>

Применовано в Российской Федерации
Ресей Федерациясында енгізілген
Сертификақтауға жатпайды

Дата изготовления / Подписано в печать 24.12.2025.
Формат 84x108¹/₁₆. Печать офсетная. Усл. печ. л. 23,52.
Тираж экз. Заказ

■ ПЧИТАЙТЕ ГОРОД



ЧИТАЙТЕ
И СЛУШАЙТЕ
В ЛИТРЕС



АНАСТАСИЯ ЗЛОБИНА — кандидат геолого-минералогических наук, Ph.D, старший преподаватель кафедры геологии УУНиТ, автор сценария и научный редактор документального фильма «Дороже золота», автор научно-популярного видеопроекта «Больше, чем минералы».

ИСХАК ФАРХУТДИНОВ — кандидат геолого-минералогических наук, вице-президент Российского геологического общества, ученый секретарь ГГМ РАН, популяризатор геологии с аудиторией 70 тысяч подписчиков.



СКОЛЬКО ТАЙН ХРАНИТ ОБЫЧНЫЙ КАМЕНЬ У ВАС ПОД НОГАМИ?



КАК МИНЕРАЛЫ ФОРМИРУЮТ НЕ ТОЛЬКО ОБЛИК ПЛАНЕТЫ, НО И СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ?

Эта энциклопедия откроет вам удивительный мир минералов и горных пород. Вы узнаете, как они зарождаются в глубинах планеты и на морском дне, чем отличаются по составу и форме, как их определяют ученые и где можно встретить самые необычные экземпляры.

ВНУТРИ ВЫ НАЙДЕТЕ:

- более 60 подробных описаний самых интересных минералов и горных пород: от привычного кварца до редких экземпляров;
- простые объяснения основ минералогии: чем минерал отличается от горной породы и как они образуются;
- иллюстрации и фотографии, помогающие легко опознавать минералы;
- занимательные факты о применении минералов в культуре, медицине, ювелирном деле и современных технологиях.

«Прекрасно иллюстрированное и качественно выполненное издание, насыщенное самой разнообразной информацией о минералах и горных породах, их использовании в различных областях науки и техники, а также значении в повседневной жизни людей».

Иосиф Файтелевич Вольфсон,

член-корреспондент РАЕН,
ученый секретарь, вице-президент РОСГЕО,
главный научный сотрудник ФГБУ «ИМГРЭ»,
доцент РГГРУ (МГРИ)

ISBN 978-5-04-216723-2



9 785042 167232 >

 **БОМБОРА**
издательство

БОМБОРА — лидер на рынке полезных и вдохновляющих книг. Мы любим книги и создаем их, чтобы вы могли творить, открывать мир, пробовать новое, расти. Быть счастливыми. Быть на волне.