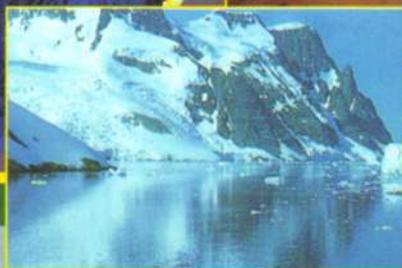
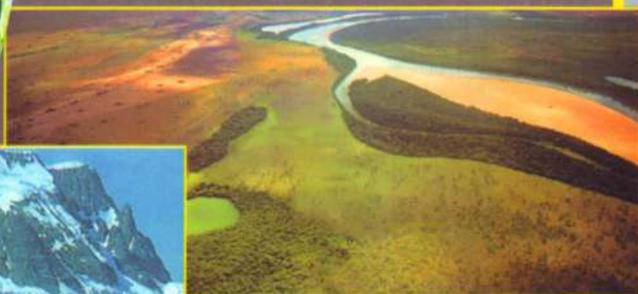
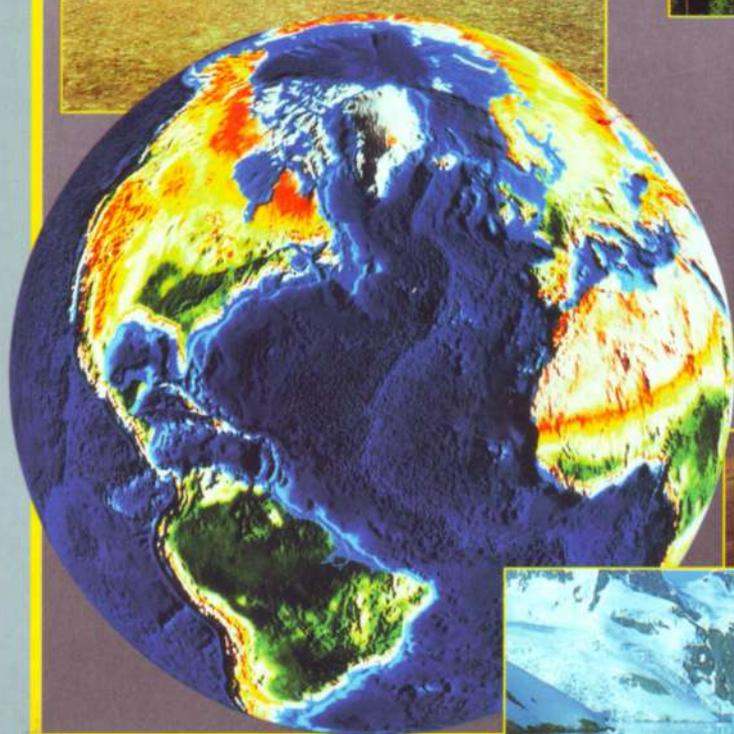
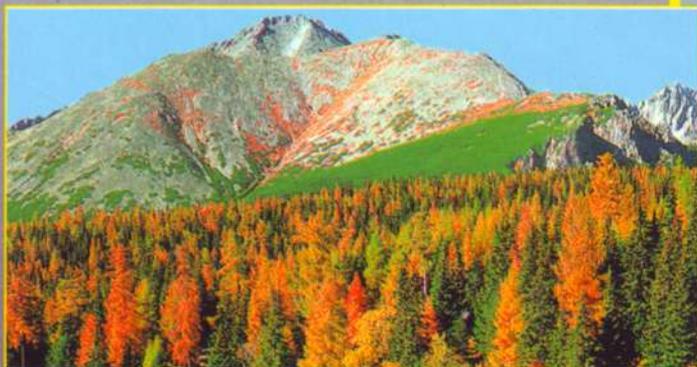
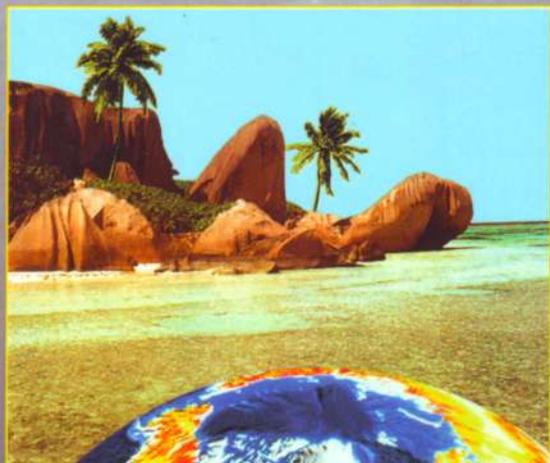


Большая Серия Знаний

ПЛАНЕТА ЗЕМЛЯ





ПЛАНЕТА ЗЕМЛЯ



Большая Серия Знаний

ПЛАНЕТА



ЗЕМЛЯ

Большая Серия Знаний

В энциклопедии содержатся разнообразные сведения о рельефе Земли, процессах, происходящих в ее недрах, о полезных ископаемых и драгоценных камнях. Так как человек все активнее участвует в рельефообразовании, эта сторона его деятельности также нашла отражение в книге.
Отдельный раздел посвящен графическим моделям Земли – картам и условным знакам на них.



Охраняется законом РФ об авторском праве.
Воспроизведение текста, части текста или иллюстраций без разрешения правообладателя запрещено и преследуется по закону.

ISBN 5-486-00580-6

© Коллектив авторов, 2002
© «Современная педагогика», 2002
© ООО «ТД «Издательство Мир книги», 2006

СОДЕРЖАНИЕ



Внутреннее строение и рельеф Земли

ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ И РЕЛЬЕФ ЗЕМЛИ

Буланов С. А. **6**

ИЗ ИСТОРИИ ИЗУЧЕНИЯ НЕДР ЗЕМЛИ

Ананьев Г. С. **8**

МИР МИНЕРАЛОВ

Ананьев Г. С. **12**

ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

Ананьев Г. С. **14**

МИНЕРАЛЫ- САМОЦВЕТЫ

Ананьев Г. С. **18**

ГЛУБОКО ПОД НАМИ

Ананьев Г. С. **24**

ЗЕМНАЯ КОРА — КАМЕННАЯ ОБОЛОЧКА ПЛАНЕТЫ

Ананьев Г. С. **26**

СТРУКТУРА ЗЕМНОЙ КОРЫ

Ананьев Г. С. **28**

ПУЛЬС И ДЫХАНИЕ НЕДР

Ананьев Г. С. **30**

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕКТОНИЧЕСКИЕ



**ДВИЖЕНИЯ ЗЕМЛИ
И ВЫБРОСЫ ГАЗОВ**

Ананьев Г. С. **32**

**ВУЛКАНИЗМ —
САМЫЙ МОЛОДОЙ
И САМЫЙ ДРЕВНИЙ
ИЗ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ НА ЗЕМЛЕ**

Ананьев Г. С. **34**

**ЛИТОСФЕРНЫЕ ПЛИТЫ
ЗЕМЛИ**

Ананьев Г. С. **38**

**ОЖИДАЕМЫЕ
И «НЕОЖИДАННЫЕ»
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ**

Ананьев Г. С. **40**

**ДРЕМЛЮЩИЕ
ВУЛКАНЫ**

Ананьев Г. С. **42**

**ПОЛЕЗНЫЕ
ИСКОПАЕМЫЕ**

Ананьев Г. С. **44**

РЕЛЬЕФ ЗЕМЛИ

Ананьев Г. С. **48**

**ВНУТРЕННИЕ И
ВНЕШНИЕ ИСТОЧНИКИ
ЭНЕРГИИ ЗЕМЛИ**

Ананьев Г. С. **50**

**ЭНДОГЕННЫЕ И ЭНДО-
ЭКЗОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ
РЕЛЬЕФООБРАЗОВАНИЯ**

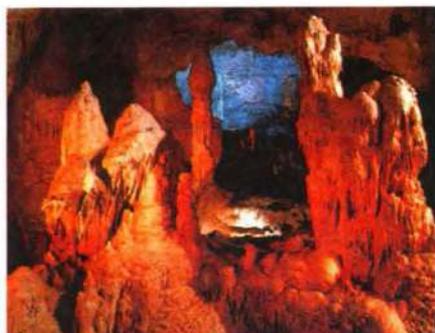
Ананьев Г. С. **52**

**ВНЕШНИЕ СИЛЫ
И ЭКЗОГЕННЫЙ РЕЛЬЕФ
ЗЕМЛИ**

Ананьев Г. С. **56**

**СВЕРХУ ВНИЗ
ПО СКЛОНАМ**

Ананьев Г. С. **58**



КАМЕННЫЕ «РЕКИ» И «МОРЯ».

ГОРНЫЕ РЕКИ

Ананьев Г. С. **60**

РАВНИННЫЕ РЕКИ

Ананьев Г. С. **62**

КАРСТОВЫЙ РЕЛЬЕФ

Ананьев Г. С. **64**

**ВЕТЕР — СОЗИДАТЕЛЬ
И РАЗРУШИТЕЛЬ**

Ананьев Г. С. **68**

**ЛЕДЯНОЙ И ПОДЛЕДНЫЙ
РЕЛЬЕФ**

Ананьев Г. С. **70**

**В СПОКОЙНЫХ
ГЛУБИНАХ ОКЕАНОВ**

Ананьев Г. С. **72**

**РАВНИНЫ
И ПЛОСКОГОРЬЯ**

Ананьев Г. С. **74**

ГОРНЫЕ ПОЯСА

Ананьев Г. С. **76**



**ЧТО ТАКОЕ
ВЕЧНАЯ МЕРЗЛОТА**

Конищев В. Н. **84**

**ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ
ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ**

Конищев В. Н. **86**

**ВЕЧНАЯ МЕРЗЛОТА КАК
ГЛОБАЛЬНОЕ ЯВЛЕНИЕ**

Конищев В. Н. **88**

**ТЕМПЕРАТУРА И МОЩНОСТЬ
ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ**

Конищев В. Н. **92**

**СЛОЙ СЕЗОННОГО
ОТТАИВАНИЯ**

Конищев В. Н. **94**



ПОДЗЕМНЫЙ ЛЕД

Конищев В. Н. **96**

**МЕРЗЛОТНЫЕ ФОРМЫ
РЕЛЬЕФА**

Конищев В. Н. **100**

**ВЕЧНАЯ МЕРЗЛОТА
И ВРЕМЯ**

Конищев В. Н. **102**

**ВЕЧНАЯ МЕРЗЛОТА —
ВРАГ ИЛИ СОЮЗНИК?**

Конищев В. Н. **104**

Графические модели Земли

**ГРАФИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ
ЗЕМЛИ**

Буланов С. А. **108**

**КАРТОГРАФИЯ —
НАУКА, ТЕХНОЛОГИЯ,
ПРОИЗВОДСТВО**

Берлянт А. М. **110**

**ОСНОВНЫЕ ВЕХИ
РАЗВИТИЯ**

Берлянт А. М. **112**

**КАРТЫ —
МОДЕЛИ ЗЕМЛИ**

Берлянт А. М. **114**

**ОБЩЕГЕОГРАФИЧЕСКИЕ
И ТЕМАТИЧЕСКИЕ
КАРТЫ**

Берлянт А. М. **118**

**МАСШТАБЫ,
ПРОЕКЦИИ,
КООРДИНАТЫ**

Берлянт А. М. **120**

**ЯЗЫК УСЛОВНЫХ
ЗНАКОВ**

Берлянт А. М. **126**

ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ И РЕЛЬЕФ ЗЕМЛИ

Какая она, планета Земля, твердая или жидкая? Вопрос отнюдь не праздный и не может быть решен однозначно. С глубокой древности величайшие умы человечества стремились узнать, что находится у нас глубоко под ногами, что служит основанием окружающего нас мира. Тем не менее до сих пор о глубинных слоях Земли мы знаем меньше, чем о космосе, и шансов когда-либо проникнуть в подземный мир не так уж и много.

Достоверно известно лишь то, что планету покрывает каменная оболочка — земная кора, которую М.В. Ломоносов образно называл «черепом Земли», и скорее всего это единственная по-настоящему твердая ее часть. Но толщина коры всего 5 — 75 км, т. е. по отношению ко всей планете, средний радиус которой 6371 км, она еще тоньше, чем кожа у персика.

Под земной корой располагается мантия, вещество которой находится большей частью в вязкопластичном, а кое-где и в расплавленном состоянии. Причиной тому не только высокие температуры, достигающие 700 — 2000°C, но и громадное давление, оказываемое вышележащими толщами.

Под мантией, на глубине около 2900 км от поверхности, скрыто ядро Земли в форме шара радиусом почти 3500 км. Это самая горячая и плотная ее часть, которая состоит в основном из железа и никеля. Ученые предполагают, что внешнее ядро находится в жидком состоянии, во внутреннем же ядре давление столь велико, что оно, несмотря на температуру порядка 6000 — 10000°C, представляет собой твердое тело.

Как космический объект Земля обладает различными физическими полями. Нам прежде всего заметно ее гравитационное поле, объединяющее вещество, придающее ей шарообразную форму и удерживающее предметы на поверхности.

Земля и ряд планет Солнечной системы имеют магнитное поле. Обычно мы замечаем его по движению стрелки компаса, стремящейся указать на один из магнитных полюсов.

Есть у Земли и электрическое поле, положительный заряд которого сосредоточен в ниж-

них слоях атмосферы, а отрицательный — в верхней части земной коры.

Разогретые распадом радиоактивных элементов недра испускают энергию вовне в виде так называемого теплового потока. Это главное проявление еще одного поля Земли — теплового. Земную кору и атмосферу оно подогревает повсеместно, но наиболее заметно это в вулканических областях и в местах выхода горячих источников.

Вещество Земли испытывает колебательные движения различной силы. Ее постоянно пронизывают звуковые, или акустические, волны, которые распространяются во внутренних оболочках в несколько раз быстрее, чем в воздухе. Они образуют так называемое сейсмическое поле.

Земля обладает также радиационным полем, которое обязано своим существованием нестабильным изотопам и радиоактивным элементам, рассеянным во внутренних оболочках.

Вещество Земли постоянно находится в движении. Мантийные потоки медленно поднимаются вверх от ядра, затем растекаются в стороны вдоль поверхности и, сходясь в других областях, вновь погружаются вглубь. В результате хрупкая земная кора раскалывается на блоки и плиты, которые перемещаются в горизонтальном направлении. Скорость перемещения так называемых литосферных плит чрезвычайно мала — миллиметры, максимум сантиметры в год. Но именно их движение определяет внешний облик планеты и многие процессы, происходящие на ней.

За миллиарды лет существования Земля сильно изменилась. Она подвергалась бомбардировке метеоритами и астероидами, заливалась раскаленной магмой и покрывалась вулканическим пеплом. Материки и океаны многократно меняли свое положение, климат становился то теплее, то холоднее. Жизнь, зародившаяся в воде, вышла на сушу и освоила нижние слои атмосферы. Газовая оболочка насытилась живительным кислородом и приобрела состав, позволяющий называть эту смесь воз-

духом. Все это нашло отражение в каменной летописи, которая и поведала об истории нашей планеты.

Человеку потребовалось не одно столетие, чтобы прочесть «каменные страницы». Остатки и отпечатки ископаемых животных и растений рассказали о географических условиях далеких эпох, о том, как развивалась жизнь на Земле. Довольно красноречив и сам «каменный» материал. Каждая песчинка или кристаллик способны поведать пытливному ученому-геологу о своем образовании и о пути, который они прошли, прежде чем объединиться с себе подобными в виде прочного монолита.

Особое место в земной коре занимает вода. В областях с холодным климатом она находится в замерзшем состоянии и сковывает горные породы, образуя так называемую вечную мерзлоту. Недра Земли интересовали человека прежде всего с практической точки зрения. Издревле его привлекали красивые блестящие камни, выброшенные водой на берег или обнажившиеся на горном склоне после обвала. Затем он научился добывать их в шахтах и карьерах. Потребности все время возрастали, и в сферу интересов постоянно вовлекались новые материалы, извлекаемые из недр.

Так человек познакомился с миром минералов и горных пород. Минералы оказались элементарными частицами, своеобразными «клетками», из которых состоит твердая оболочка Земли. Эти частицы, скрепленные друг с другом, образуют собственно каменное вещество планеты — горные породы. Те в свою очередь формируют крупные объемы в земной коре — геологические тела и тектонические структуры.

Нам привычна неподвижность каменной оболочки, ее кажущаяся неизменность, незыблемость, а потому мы обычно забываем о ее существовании. Однако время от времени планета напоминает о себе своими движениями, и эти импульсы часто приводят к стихийным бедствиям. Извержение вулкана — одно из самых грандиозных, впечатляющих и опасных природных явлений. Магма, эта «раскаленная кровь» Земли, в отдаленном геологическом прошлом нередко изливалась через широкие протяженные трещины и покрывала обширные пространства. К нашему времени вулканическая деятельность заметно сократилась. Теперь магма поднимается по сравнительно нешироким цилиндрическим каналам —

жерлам. Они сосредоточены в основном в подвижных поясах, находящихся на стыке литосферных плит.

В подвижных поясах, как правило, наиболее значительны напряжения в земной коре, где энергия высвобождается в виде резких смещений жестких блоков, которые вызывают сейсмические толчки. Тем не менее гораздо мощнее и значительнее по последствиям медленные, или вековые, движения земной коры, такие незаметные на первый взгляд. Скорость их может показаться ничтожной, но действуют они однонаправленно в течение сотен тысяч и миллионов лет. Именно эти медленные перемещения формируют лик Земли, создают главные его черты в виде гор, равнин, океанских впадин. Внутренние, или эндогенные, процессы выступают как бы в качестве архитекторов планеты, которые оперируют громадными по размерам тектоническими структурами. Образуемые ими крупнейшие формы рельефа Земли учеными предложено называть морфоструктурами.

Силы, действующие во внешних оболочках планеты, вызывают к жизни разнообразные экзогенные процессы. Внешние силы, как правило, перемещают мелкие частицы горных пород или минеральное вещество в растворенном состоянии. Их воздействие на рельеф можно сравнить с работой скульптора, который украшает деталями здание, возведенное архитектором. Так, текучие воды образуют густую сеть речных долин, ледники заостряют вершины и выпахивают глубокие котловины, ветры формируют в пустынях скалы и создают из песка холмы и гряды — барханы и дюны. Области, где распространена многолетняя мерзлота, буквально усеяны трещинами, буграми, округлыми провалами и каменными развалами.

В последнее время на арену рельефообразования все активнее выходит человек. Он занимается перепланировкой местности, подготавливая строительные площадки, вырывает карьеры, добывая полезные ископаемые, делает насыпи и выемки, прокладывая дороги. Более того, хозяйственная деятельность изменяет естественный ход процессов формирования рельефа; бывает, что человек пробуждает их, сам того не желая. На распаханых полях начинается эрозия, после вырубки леса появляются лавины и оползни, на берегах водохранилищ волны разрушают вновь созданные берега. ■

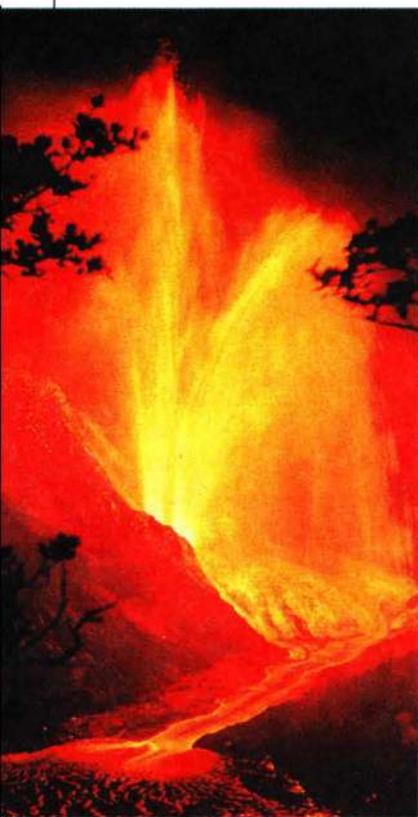
Ибо не могут никак животные с неба свалиться, Или из заводей выйти соленых земные создания. Вот почему остается признать, что заслуженно носит Матери имя Земля, ибо все из Земли породилось.

Лукреций. О природе вещей. ■



Окаменелости — это остатки животных и растений, сохранившиеся в горных породах. Самый древний известный в мире организм — бактерия, жившая в море 3 млрд. лет назад.

Извержения вулканов часто сопровождаются взрывами раскаленного вещества.



ИЗ ИСТОРИИ ИЗУЧЕНИЯ НЕДР ЗЕМЛИ

В подземном «космосе» рождаются минералы и горные породы, движутся литосферные плиты. Земля вздрагивает от внутренних сотрясений и извержений вулканов.



Еще в глубокой древности, задолго до нашей эры, ученых интересовали недра Земли. Извержения вулканов, гигантские пропасти и провалы, землетрясения свидетельствовали о том, что в глубине Земли происходят какие-то непонятные процессы. Возникали мифы о подземных жителях и зверях, никогда не показывающихся на поверхности, о боге подземного царства Плуtone. Люди наделяли их человеческими качествами и полагали, что неведомые существа тоже могут злиться и бороться между собой, вследствие чего Земля трясется, вулканы извергаются, а море заливают сушу.

Древнегреческий философ и ученый **Аристотель** (384 — 322 гг. до н. э.), например, объяснял возникновение землетрясений тем, что земная кора имеет отверстия, через которые сильные ветры воздействуют на подземные воды. Эти воды растворяют породы, образуя в них пустоты и провалы. Древнегреческий географ и историк **Страбон** (64/63 г. до н. э. — 23/24 г. н. э.) объяснял находки морских раковин вдали от моря тем, что поверхность Земли то поднимается, то опускается. Так, по его мнению, возникли острова и даже материки, а вулканы — это клапаны, предохраняющие Землю от накопления газов и взрывов.

Среднеазиатский ученый-энциклопедист **Бируни** (973 — около 1050) писал, что суша и море всегда перемещаются. Если мы видим гору из слоев окатанных камней, считал Бируни, значит, галька и гравий — это те камни, которые когда-то откололись от гор и затем долго подвергались воздействию водных потоков и ветров, а затем превратились в единую массу — «тесто». Современник Бируни, живший и в Средней Азии, и в Иране, ученый, философ, врач **Ибн Сина** — **Авиценна** (около 980 — 1037) полагал, что образование камней происходит или очень быстро под действием сильного жара, или медленно, если жар небольшой. Тогда горы образуются из вязкой глины, которая долго сохнет и постепенно превращается в камень.

Логика этих рассуждений безупречна: сначала накапливается рыхлый осадок, а уж потом этот осадок окаменеет. Теперь мы знаем, что от поверхности Земли до ее центра 6371 км, но только верхние 10 — 12 км подземных недр стали известны нам по результатам бурения геологических скважин. За 2 тыс. лет человек так и не смог проникнуть в глубокие недра Земли. ■

Изучением строения каменной оболочки нашей планеты занимается наука **геология**. По словам российского геолога и географа В. А. Обручева, «геология изучает каменную оболочку Земли», но это всего лишь оболочка, как бы скорлупа на поверхности планеты. М. В. Ло-

моносов называл ее «черепом Земли».

Геология — книга для чтения по истории планеты. Знания о строении горных пород, их составе и различиях помогают как при разведывании полезных ископаемых, так и при строительстве городов и сел, заводов и железных дорог. Для этого проводится геологическая съемка местности. Геологи на специальные карты наносят все особенности горных пород, их распространение и возраст.

На Русской равнине хорошо видно, как толщи ледниковых

и речных наносов, образовавшиеся в последний миллион лет, залегают над слоями пород, сложившихся сотни миллионов лет назад.

Перед геологами издавна стояла трудная задача — определить возраст горных пород. Для этого необходимо было вести исследования по разным направлениям. Так, появились **палеонтологические, радиологические и стратиграфические методы.** ■



Отпечаток пера птицы, обитавшей в меловой период.



Ископаемый остаток пальмы.

Палеонтологические методы основаны на изучении древних окаменелых остатков животных, отпечатков листьев растений и раковин моллюсков. Сравнивая их с ныне живущими животными и растениями, можно установить, что изменилось и что совершенно исчезло с поверхности Земли. Изучая историю зарождения жизни на нашей планете, ученые выявили основные этапы развития органического мира. ■

Радиологические методы дают возможность определить абсолютный возраст породы и минералов по степени распада радиоактивных материалов — урана, тория, калия и др. Наиболее известны калий-аргоновый и радиоуглеродный методы. С их помощью геологи смогли установить возраст пород в интервале от 4,5 млрд. до 1 тыс. лет. ■

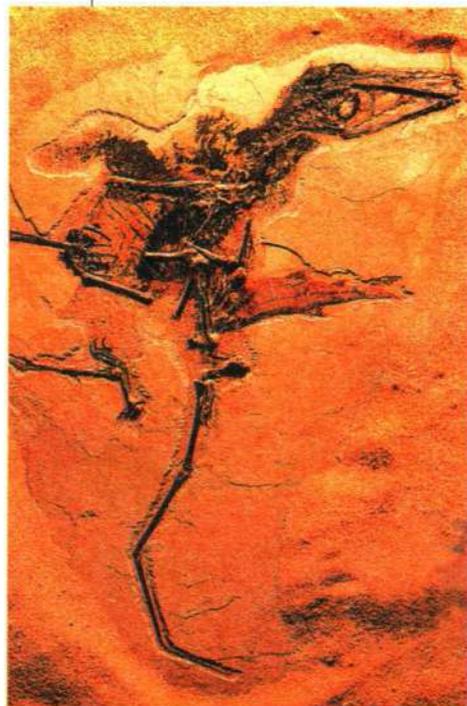
Стратиграфические методы исследований помогают определить последовательное накопление отложений и пород с учетом их происхождения, или, как чаще говорят ученые, их генезиса. Изучение строения глин, песков, галечников и т. д. прежде всего позволило отделить мор-



Ископаемый остаток летающей рептилии.

Выдающийся российский геолог и географ, академик, почетный президент Русского географического общества, исследователь Сибири и Центральной Азии **В. А. Обручев** (1863 — 1956) в своей автобиографии писал, что его всю жизнь интересовали вопросы происхождения «древнего темени» Азии, месторождений золота, тектонического строения Сибири, оледенений и вечной мерзлоты, природа лёссов. В. А. Обручев был прекрасным популяризатором знаний по геологии и географии. Он написал увлекательные научно-фантастические романы «Плутония», «Земля Санникова», «В джунглях Центральной Азии». Его именем названы хребты и вершины гор, вулканы, ледники, минерал (обручевит) и даже разлом на западном берегу озера Байкал. ■

Многие окаменелости представлены морскими организмами, так как именно в море особенно интенсивно и непрерывно образуются осадочные породы, чему способствуют намыв материала и осаждение вещества из морской воды. Остатки птерозавра (летающего ящера), найденные в горах Каратау на юге Казахстана.



ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ

Эры (млн. лет)	Периоды (млн. лет)	Основные этапы развития органического мира
Кайнозойская 0 — 70	Четвертичный 0 — 1,8 Неогеновый 1,8 — 25 Палеогеновый 25 — 70	Появление и развитие человека. Современная флора и фауна Флора и фауна, близкая к современной. Появление человекообразных обезьян. Развитие копытных, хоботных и хищных млекопитающих Распространение в морской фауне моллюсков и фораминифер. Вымирание архаических копытных и хищников. Появление новых млекопитающих — копытных, хоботных, хищников, насекомоядных и грызунов. Широкое распространение покрытосеменных растений — древесных и трав
Мезозойская 70 — 240	Меловой 70 — 137 Юрский 137 — 195 Триасовый 195 — 240	Вымирание аммонитов, белемнитов, ихтиозавров, плезиозавров, летающих ящеров, динозавров. Появление новых групп динозавров — растительноядных, панцирных. Развитие моллюсков Широкое распространение динозавров, летающих ящеров, ихтиозавров, плезиозавров. Появление первых птиц, млекопитающих, крокодилов, ящериц. Развитие голосеменных растений Вымирание древних пресмыкающихся и появление новых групп — черепах, клювоголовых, динозавров
Палеозойская 240 — 600	Пермский 240 — 285 Каменноугольный 285 — 350 Девонский 350 — 405 Силурийский 405 — 455 Ордовикский 455 — 500 Кембрийский 500 — 600	Вымирание трилобитов. Развитие котилозавров и зверообразных. Развитие голосемянных растений. Резкое сокращение общего числа видов флоры и фауны Развитие фораминифер, кораллов, иглокожих. Появление первых пресмыкающихся. Расцвет гигантских хвощей, плаунов, папоротников Развитие папоротников, плаунов, хвощей. Появление рыб и первых наземных позвоночных — стегоцефалов Развитие псилофитов и папоротникообразных растений. Появление кораллов, червей, мшанок, морских ежей Широкое распространение губок, иглокожих, моллюсков Распространение трилобитов, моллюсков. Появление мхов, хвощей, папоротников
Протерозойская 600 — 2000		Появление радиолярий, губок, моллюсков. Распространение водорослей и бактерий
Архейская 2000 — 4000		Появление бактерий, одноклеточных растений



ские осадки от континентальных, т. е. образовавшихся на суше. Кроме того, удалось более подробно разделить геологические периоды на ряд эпох. Так появилась **геохронологическая шкала**, в которой выделены геологические эры, периоды и эпохи. Каждому периоду был присвоен собственный индекс, а на геологических картах — свой цвет. ■

Названия **МНОГИХ** геологических периодов связаны с определенными событиями или местностями, где были найдены породы того или иного возраста. Так, **кембрийский** период получил свое название по одной из областей в Англии; **силурийский** — по имени древнего племени силуров; **каменноугольный** — по накоплению в эту эпоху огромных масс угля; **пермский** — по названию Пермской губернии в России; **юрский** — по горам Юра во Франции и Швейцарии (Альпы), а белый мел в обрывах берегов Англии дал название **меловому** периоду. ■

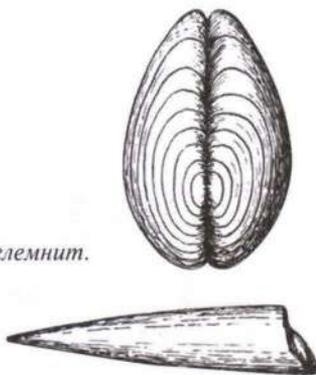
Самыми глубокими недрами Земли занимается наука **геофизика**. Применение в геологии физических методов позволило установить, что каждая порода обладает своими характерными чертами, т. е. плотностью, электрической проводимостью, магнитной напряженностью, температурой и другими свойствами. Изучение пород в верхней каменной оболочке Земли показывает, что с глубиной они могут изменяться. Так возникла необходимость найти способ, позволяющий «просвечивать» недра Земли вплоть до ее центра. На помощь ученым пришла **сейсмология** — наука о земных колебаниях, возникающих при извержениях вулканов, землетрясениях и пр. Появились специальные приборы — сейсмографы, автоматически записывающие различные колебания вещества Земли. ■

Свойства и происхождение минералов изучает наука **минералогия** (от лат. *minera* — руда). Важную ее часть составляет **кристаллография** — наука о геометрических, физических и химических свойствах минералов. ■

Слой горных пород, образовавшийся в мезозойскую эру, богат окаменелостями. Особенно много встречается аммонитов, белемнитов и двусторчатых моллюсков.

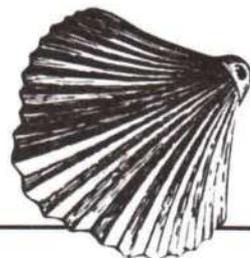


Белемнит.



Двусторчатый моллюск.

Брахиопода.



Окаменелая морская лилия (родственник морских ежей и морских звезд). Обитала на дне моря примерно 220 млн. лет назад.



В названиях минералов нашли отражение история их обнаружения, свойства минералов, места находок, имена ученых и первооткрывателей. Латинские и греческие корни легли в основу многих названий минералов и горных пород. По ним иногда можно судить даже о химическом составе. Высокое содержание железа отражено в названиях ферроплатина (от лат. ferrum — железо) и сидерита (от греч. sideros — железо); меди — в названиях халькопирита (от греч. chalkos — медь) и куприта (от лат. cuprum — медь); свинца — в названии молибденита (от греч. molybdos — свинец); соли — в названии галита (от греч. hals — соль). Даже неодинаковое раскалывание кристаллов отразилось в названиях: ортоклаз — прямо раскалывающийся; плагиоклаз — косо раскалывающийся.

МИР МИНЕРАЛОВ

Путешественники и ученые-естествоиспытатели с давних пор удивлялись многоцветию горных склонов и обрывов в долинах рек. Розовые и серые граниты, ослепительно белые мергели, желто-серые известняки и мраморы заставляли ученых и строителей внимательнее вглядываться в мельчайшие частицы, из которых состояли породы. Эти частицы как бы скрепляли разноцветные камни. Такие мельчайшие частицы стали называть минералами.

Минерал (от лат. *minera* — руда) — это природное химическое соединение, обладающее определенной внутренней структурой. В зависимости от нее **минерал** может иметь вид как бы ограненного куба, призмы или многогранника. **Кристаллом** называют твердое тело, в котором атомы или молекулы располагаются геометрически закономерно — в зависимости от типа кристаллической решетки.

В кристаллографии под термином «кристаллическая решетка» понимают систему точек (узлов), где находятся одинаковые молекулы.

От расположения узлов зависит форма кристаллов, которая может быть самой разнообразной — от простой до весьма сложной. К простым, например, относят кристаллы в виде куба, пирамиды или двойной пирамиды, призмы и т. п.

Кристаллов со сложной формой поверхности гораздо больше, и они имеют вид четырех-, шести-, восьмигранников.

Бывает и значительно больше граней, а также их комбинации. По числу граней кристаллы стали называть **тригональными, тетрагональными, гексагональными**.

Вещество в недрах Земли почти полностью состоит из минералов. В зависимости от давления и температуры они имеют различный состав и находятся в разных состояниях. Одни ученые полагают, что минералы могут быть твердыми (алмаз, кварц, гранат и пр.) и жидкими (вода, ртуть и др.); другие утверждают, что жидких минералов не может быть, и предпочитают называть их веществами. Тем не менее известно, например, что при замерзании вода, имеющая химическую форму-

Доломит с выросшими кристаллами кальцита.



Самородок платины с Урала и аргентит (серебряный блеск) из месторождения в Чехии.

Есть минералы, названные по местам их находки. Это аляскиит, т. е. найденный на Аляске; андалузит, обнаруженный в испанской провинции Андалузия; везувиан — около Везувия; байкалит — вблизи озера Байкал; мусковит, поставившийся в Западную Европу из Московии. Использовались также фамилии и имена: например, обручевит назван в честь В. А. Обручева, гагаринит — Ю. А. Гагарина и т. д. ■

Самородок золота, найденный на Аляске.

лу H_2O , превращается в лед, который состоит из множества мелких кристаллов, прочно скрепленных между собой и имеющих тот же химический состав, что и вода. ■

Самым распространенным на планете минералом является кварц. Он имеет множество разновидностей: горный хрусталь, аметист, раухтопаз, морион, цитрин, халцедон, который, в свою очередь, представляет собой целое семейство — хризопраз, сердолик, сардер, агат. Весьма многочисленна группа корунда: сапфир, рубин, ориент-топаз, ориент-изумруд. ■

Каждый минерал обладает такими физическими свойствами, как **плотность, твердость, спайность, излом, цвет, блеск, прозрачность**. Плотность минерала (в $г/см^3$) во многом зависит от типа кристаллической решетки, т. е. от химического состава минерала. Если величина его плотности равна $2,7 г/см^3$ или меньше, он относится к категории легких; если плотность превышает $2,75 г/см^3$ — к тяжелым. Особенно тяжелыми являются самородное золото и платина, плотность которых превышает $19 г/см^3$. ■

Твердость минерала измеряется в условных (относительных) или абсолютных величинах. В минералогии пользуются шкалой Мооса, в которой приводится относительная твердость минералов, расположенных в порядке возрастающей твердости: 1 — тальк; 2 — гипс; 3 — кальцит; 4 — флюорит; 5 — апатит; 6 — ортоклаз; 7 — кварц; 8 — топаз; 9 — корунд; 10 — алмаз. Как видим, самым твердым из минералов является алмаз, его твердость по шкале Мооса составляет 10. Однако измерения его твердости в точном физическом выражении показали, что она превышает твердость талька (1) примерно в 5000 раз. ■

Способность минерала раскалываться по плоскостям называют его спайностью. Минералы могут обладать весьма совершенной спайностью (мусковит, биотит и др.), совершенной, средней и весьма несовершенной. В последнем случае минерал при ударе распадается не на пластинки, а на остроугольные обломки. Излом характеризует поверхность минерала, которая образуется при его раскалывании. Излом бывает зернистым, раковистым, занозистым и др. ■

Свойство минерала отражать лучи света определяет его блеск, который бывает металлическим, стеклянным, алмазным, жирным, шелковистым, перламутровым. ■

Цвет — очень важное свойство минерала и зависит главным образом от химического состава. Например, такой минерал, как гранат, может иметь самый разный цвет. Разновидности граната: пироп — темно-вишневый; альмандин — розовый, карбункул — красный, гроссуляр — серый. ■



Горный хрусталь.

Все свойства минералов формируются в период их образования и тесно связаны с условиями происхождения. Следовательно, появление каждого нового минерала характеризует состояние глубоких недр Земли. Например, алмаз — продукт кристаллизации при очень высоких давлениях и температуре на глубине не меньше 20 км; при этом рост кристаллов алмаза продолжается не одну тысячу лет. Внутри некоторых минералов встречаются необычные включения других минералов. Это, как правило, «законсервированные» фрагменты той среды, в которой образовался минерал. Например, в кристаллах кварца встречаются кристаллы пирита и хлорита. Самородные металлы, такие, как золото, платина, медь, и другие, часто кристаллизуются, образуя своеобразные сростки кристаллов в виде цепочек, веточек. ■



Красная серебряная руда.

Сростки однородных минералов называются друзами. Чаще всего их можно увидеть при осмотре месторождений горного хрусталя или пегматитовых тел в толще гранитов. Друзы могут достигать значительных размеров и весить многие тонны, иные можно поместить на ладони, любясь игрой света на блестящих кристаллах. ■



Друза кристаллов горного хрусталя из Бразилии.

ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

*Минералы, как правило, редко встречаются поодиночке. Их совокупности образуют горные породы, которые представляют собой естественные природные агрегаты из множества минералов. Те минералы, которых в породе больше всего (20 — 50%), геологи называют породообразующими, остальные, которых обычно не более 2 — 3%, — акцессорными минералами (от лат. *accessorius* — добавочный).*

Каждая горная порода характеризуется степенью кристалличности, величиной и формой минералов, расположением мельчайших частиц относительно друг друга. По происхождению различают горные породы **магматические, осадочные и метаморфические.** ■

Магматические горные породы образуются обычно на большой глубине, где преобладают высокие температуры и давление. Они кристаллизуются из очень горячих природных расплавов (из магмы) с характерным силикатным составом. На долю полевых шпатов в них в среднем приходится около 60%, кварца — около 12%, пироксена — около 12%. Глубинным магматическим породам присуще равномерное распределение зерен минералов. Магматические породы делят на две большие подгруппы: **интрузивные** (граниты, диориты, габбро) и **эффузивные**, т. е. вулканические (базальты, андезиты, липариты, дациты). Кроме того, по химическому составу условно выделяют кислые, основные и ультраосновные магматические породы. К кислым относятся породы, содержащие в среднем 64 — 78% кремнезема (SiO_2): граниты, дациты, гранодиориты. Основные породы в среднем содержат 44 — 53% кремнезема: габбро, базальты, пироксениты и др. Ультраосновные породы содержат 30 — 44% кремнезема: дуниты, перититы и др. ■



Обломок базальта с минералами кварца, хлорита и агата.

Базальт — самая распространенная эффузивная (от лат. *extrusio* — выталкивание) вулканическая порода. Потоки базальтовой лавы часто застывают в виде обширных покровов, которые занимают площадь в несколько тысяч квадратных километров. Гавайские острова появились в результате извержений базальтовой магмы. ■

Покров столбчатых базальтов.



Граниты (от лат. *granulum* — зернышко) возникают при кристаллизации магмы на глубине более 2 км. Внешне граниты — среднезернистые или крупнозернистые породы, имеющие светлую (розовую, красную, серую) окраску. Цвет гранитов во многом зависит от содержания калиевого полевого шпата.

В этих породах преобладающими являются кварц (30 — 35%), полевой шпат (50 — 60%), плагиоклаз (10 — 15%). Акцессорных минералов бывает очень много: апатит, циркон, сфен, монацит, турмалин, биотит, магнетит и др. Насчитывается более двух десятков разновидностей гранитных пород. Среди них есть гигантозернистые пегматиты и мелкозернистые аляскиты. В зависимости от химического состава граниты могут быть плагиоклазовыми или щелочными. Плотность гранитов колеблется от 2,58 до 2,81 г/см³. Граниты различаются по своей форме, происхождению и глубине образования. Удалось выяснить, что часть магматических расплавов, образовавших граниты, залегала на глубине 15 — 20 км, при этом были отмечены следы поднятия гранитной магмы со скоростью примерно 100 — 150 см в год. Мощности гранитных тел достигают 6 — 8 км.

Гранит — прочная горная порода с красивым рисунком расположения кристаллов. Когда хотят сказать о чем-то очень прочном, говорят «крепкий, как гранит». Действительно, из гранита делают фундаменты, опоры мостов. Гранитной брусчаткой выложены улицы. Нижние этажи городских зданий часто облицовывают этим камнем. Гранит может противостоять ветру, дождю и снегу. Это объясняется особенностями его кристаллического строения, а внешний облик зависит от размеров породообразующих минералов и их цвета. Как правило, цвет гранита — это цвет его основного компонента — калиевого полевого шпата. Особой разновидностью гранитов являются пегматиты — крупно- и гигантозернистые магматические породы. Из-за роста кристаллов кварца, проникающих сквозь полевые шпаты, пегматиты имеют вид «клинописи» на камне. Отсюда и такие названия, как «письменный гранит», «еврейский камень» и др. Из пегматитов добывают слюду, полевой шпат, драгоценные камни.

Гранит, как и всякая другая порода, может разрушаться на открытом воздухе, но происходит это медленно и едва заметно. Исторический опыт использования полированных плит гранита, которые подвергались воздействию резких колебаний температуры и атмосферных осадков, показал, что поверхность плит может начать изменяться только через 200 — 250 лет. Однако в современном мире выхлопные газы автомобилей, кислотные дожди и заводской дым существенно ускоряют процесс разрушения гранитов. ■

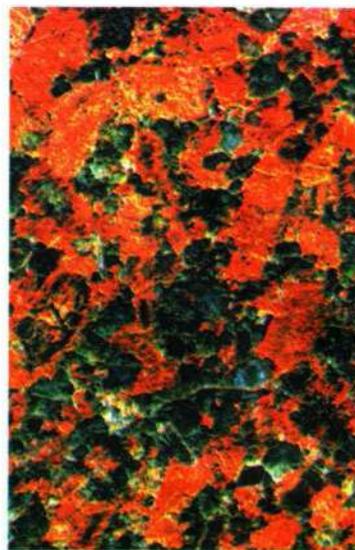
Магматические расплавы иногда прорываются по трещинам на поверхность, изливаясь в виде вулканических потоков. Излившиеся (**эффузивные**) потоки отличаются неравномерной кристалличностью, а отдельные минералы заключены в пористую или стекловидную массу. Кристаллы в ней практически не видны. К таким горным породам относят базальты, которые по своему химическому составу являются основными породами (их плотность составляет 2,85 г/см³), и липариты — кислые породы с плотностью 2,59 г/см³. Базальтовый расплав бывает



«Письменный гранит»
из Норвегии.

Рапакиви — еще один вид гранитов, которые состоят из неравномерно расположенных крупных и мелких зерен минералов. Из рапакиви «вырезаны» Александрийская колонна, стоящая перед Эрмитажем в Санкт-Петербурге, и пятиметровые фигуры атлантов у входа в Эрмитаж.

Нижние этажи и порталы главного здания Московского университета на Воробьевых горах облицованы оранжево-красным темным гранитом. ■



Красный гранит из Швеции.

Габбро — интрузивная вулканическая порода, которая образуется из магмы в начале ее остывания. Крупнозернистость свидетельствует о том, что процесс остывания проходил долго, как и у гранита, но габбро имеет более темный цвет, так как в него не входит кварц, но присутствуют оливин и пироксен. ■



Габбро — глубинная порода.

Пемза, обсидиан — разновидности риолита. Риолитовая магма имеет тот же химический состав, что и гранит, и обладает большей вязкостью, чем базальтовые лавы. Вследствие этого риолитовая лава часто остывает и образует пробку внутри кратера, которая преграждает путь магме, пока давление не возрастет настолько, что происходит взрыв. Иногда образуются веретенообразные вулканические бомбы — куски лавы длиной до 1 м, которые вылетают из жерла вулкана с огромной скоростью, а при падении на землю образуют небольшие кратеры. ■



Песчано-глинистая порода.

Вулканическая бомба вулкана Везувий.



сильно насыщен газами. Попадая на поверхность Земли, газы улетучиваются, оставляя поры, в результате чего порода становится ноздреватой. Иногда газов настолько много, что образующаяся горная порода (пемза) становится легче воды. ■

Осадочные горные породы — это разрушенные при выветривании и перемещенные водой или ветром обломки пород разного размера и формы. Осадочные породы покрывают 75% поверхности Земли. Их объединяют в четыре группы: обломочные, вулканогенно-обломочные (чаще их называют вулканогенно-осадочными или пирокластическими), глинистые и биохимические.

Обломочные породы состоят из обломков минералов, горных пород, остатков органических тел (например, из известковых скелетов животных, стволов и веток деревьев и др.). Обломки бывают крупными (более 10 мм) и мелкими (от 1 до 0,01 мм), имеют различную форму, иногда слабоокругленную, а иногда шарообразную. В группу обломочных пород входят пески, алевриты, галечники и продукты их разрушения. Иногда обломки прочно скреплены глинистым веществом — природным цементом, который различается по своему составу и может быть кремнистым, карбонатным, железистым, глинистым. Плотность обломочных пород низкая — от 1,2 до 2,0 г/см³. ■

Осадочное происхождение имеют многие минералы — кальцит, доломит, гипс, галит, сильвин, ангидрит, лимонит и др. Их относят к минералам — индикаторам осадочных пород. Они могут возникать в самых разных физико-географических условиях. Например, железистые породы образуются на дне морей и озер, а также в болотах.

Особенно разнообразны известняки. Они накапливаются на дне морей или озер, встречаются в долинах рек и вблизи источников, где в воде много извести. Это широко распространенные известковые туфы — травертины.

Пирокластические породы находят вблизи действующих или давно потухших вулканов. Эти породы тесно связаны с вулканическими процессами, и поэтому их можно встретить как на суше, так и под водой, вблизи подводных вулканов. Они представляют собой смесь вулканических пеплов, песков, шлаков, пемзы и даже вулканических бомб.

Глинистые породы разнообразны. Встречается более 50 разновидностей глин, которые отличаются по своим минеральному, химическому и органическому составам. Их объединяет преобладание частиц, размеры которых колеблются от 0,01 до 0,001 мм. Существуют две разновидности таких пород — глины и аргиллиты.

Биохимические породы образуются на дне озер, морей и океанов. К ним, например, относятся известняки-ракушечники, коралловые рифовые известняки, планктонные и фораминиферовые илы, озерный мел, диатомиты (диатомовые илы), сапропели (водорослевые илы) и другие, на суше — торф. ■

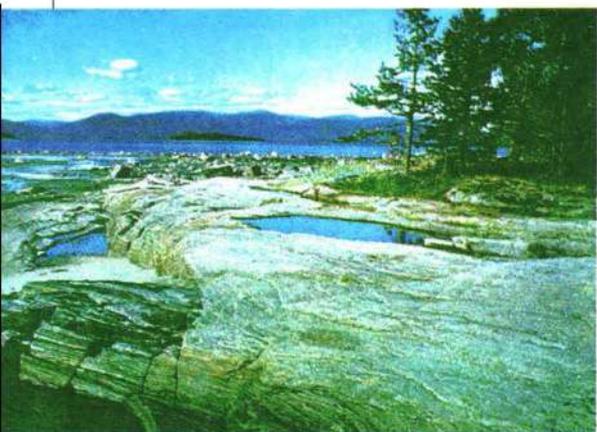


Железистый песчаник из Германии.

Метаморфические горные породы образовались в результате изменения (метаморфизма) толщ осадочных или магматических пород. При сильном и длительном их сжатии, а также под воздействием высоких температур и газов в породах происходит изменение состава минералов, появляются новые минералы: эпидот, хлорит, тальк, серицит, графит и др. Самая известная из таких пород — мрамор, образующийся при метаморфизме известняков. Чистый, белоснежный мрамор может просвечивать в слое толщиной до 30 см, что придает мрамору характерное для него мерцание. Под воздействием сжатия и высоких температур вулканические и осадочные породы превращаются в гнейсы, а каменные угли — в графиты.

Гнейсы — метаморфическая горная порода. Насчитывают около 40 разновидностей гнейсов. Их чаще всего можно встретить в Финляндии, Карелии, Восточной Сибири, в Канаде.

Для гнейсов характерны серый или зеленовато-серый цвет, тонкая полосчатость из темных, почти черных и светлых прослоек, включения сплюснутых минералов и обломков пород. В гнейсах видны следы микроскладок и изгибов слоев.



Гнейсы — одна из самых древних на Земле метаморфических пород.

Гнейсы образуются при температурах от 400 до 900° С и давлении в 3 — 9 тыс. атмосфер. Такие условия существуют только в глубоких недрах Земли. Образование гнейсов протекает в несколько этапов. Сначала осадочные породы (илы, пески) превращаются в глины и песчаники, а иногда в глинистые сланцы. Обычно это происходит в верхних горизонтах земной коры, где еще невелики температура и давление. Затем по мере погружения в глубину и с возрастанием температуры и давления сланцы и песчаники резко уплотняются, теряя при этом воду; минералы «расплющиваются». Смена геологических условий приводит к появлению характерных листовидных и чешуйчатых «метаморфических» минералов: хлорита, талька, силиманита, ставролита и др. Высокие температуры и горячие магматические расплавы способствуют частичному расплавлению уже измененных пород. На последнем этапе гнейсы приобретают пластичные свойства и способны сминаться в складки, образуя иногда даже характерные гранито-гнейсовые купола. Эти преобразования происходят очень медленно и постепенно. Возраст гнейсов в большинстве районов Земли составляет 2 — 2,4 млрд. лет. Чем древнее такие породы, тем больше фаз метаморфизма они испытали. ■

Гнейсы образуются при температурах от 400 до 900° С и давлении в 3 — 9 тыс. атмосфер. Такие условия существуют только в глубоких недрах Земли.

Образование гнейсов протекает в несколько этапов. Сначала осадочные породы (илы, пески) превращаются в глины и песчаники, а иногда в глинистые сланцы. Обычно это происходит в верхних горизонтах земной коры, где еще невелики температура и давление.

Затем по мере погружения в глубину и с возрастанием температуры и давления сланцы и песчаники резко уплотняются, теряя при этом

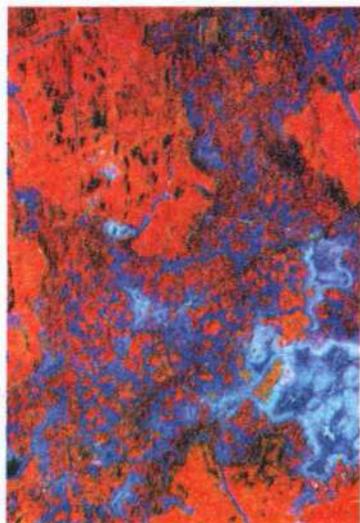


Примеси изменяют первоначальный рисунок мрамора, придавая ему полосатый, муаровый, пятнистый узоры. Мрамор редко бывает однотонным. ■

Немецкий красный мрамор.



Некоторые конгломераты настолько декоративны по своему рисунку, что их структуру воспроизводят в искусственных облицовочных материалах.



Яшма — метаморфическая порода из кварца и халцедона.

Одни камня радуют взгляд,
Другие — сердце веселят,
Третьи — с давних времен и поныне
Успешно служат медицине.

В. Эшенбах. Парцифаль. ■

Друза красных гранатов и кристаллы граната из Австрии.



МИНЕРАЛЫ-САМОЦВЕТЫ

Среди минералов особое место занимают минералы-самоцветы. К ним относятся аметист, аквамарин, алмаз, рубин, сапфир, гранат, топаз, бирюза, изумруд, амазонит, чароит, шпинель и др.

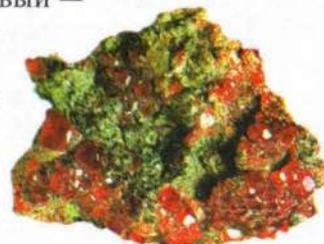
У драгоценного камня — три главных качества: красота, долговечность, редкость. История многих самоцветов поистине фантастична. Алмаз, рубин, изумруд стали почти легендарными, а наиболее крупные из них получили даже персональные собственные названия (алмаз «Шах», «Жемчужина Аллаха» и др.). Люди создали особый календарь камней-самоцветов, куда кроме минералов входят и некоторые горные породы. ■

КАЛЕНДАРЬ КАМНЕЙ-САМОЦВЕТОВ

Месяц	Название драгоценного камня	Цвет камня
Январь	Гранат, родонит	Темно-красный
Февраль	Аметист, чароит	Фиолетовый
Март	Аквамарин, амазонит	Голубой, зеленовато-голубой
Апрель	Алмаз, горный хрусталь	Бесцветный
Май	Изумруд, малахит	Ярко-зеленый
Июнь	Александрит, жемчуг, агат	Кремовый, зеленый, красный
Июль	Рубин, шпинель, сердолик	Красный
Август	Хризолит, гроссуляр, нефрит	Бледно-зеленый
Сентябрь	Сапфир, лазурит	Густо-синий
Октябрь	Опал, яшма	Пестрый
Ноябрь	Топаз, цитрин, янтарь	Желтый
Декабрь	Бирюза, циркон, голубой топаз	Лазурный

Гранат — камень января. Он стоит первым в календаре камней-самоцветов. Наверное, ярко-красный или розовый цвет гранатов отождествлялся зимой с пламенем костра или раскаленными угольками на снегу. Гранат — это «фамилия» большого семейства минералов, а имена их весьма многочисленны: альмандин, гроссуляр, пироп, демантоид, карбункул и т. д. (в пер. с древнегреч. и лат. «гранат» означает «уголь»). Гранаты широко распространены в природе. Их находили на пашне в Богемии (XVII — XIX вв.), на Анатолийском плоскогорье, в Карелии, Австралии, Африке, Индии. В Чехии был даже создан Музей богемских гранатов.

Окраска гранатов зависит от наличия в их составе железа (красный цвет), хрома (зеленый), марганца (розовый) и др. Красный цвет гранатам придает присутствие двух-трехвалентного железа, зеленый цвет дает примесь хрома, розовый — марганца и т. д. Флюорит своим ярко-зеленым свечением обязан тому, что он образовался из высокотемпературных гранитов; красно-зеленое свечение свидетельствует о присутствии солей урана и т. п. Правда, иногда при нагревании минералы могут изменять свой цвет.



Прозрачность — свойство некоторых минералов, точнее, их кристаллов. Иногда минерал вообще не пропускает свет, и тогда говорят, что минерал непрозрачен. Минералы, содержащие железо, обладают разной магнитной восприимчивостью. Самый типичный среди них — магнетит. Минералоги при анализе даже выделяют особую магнитную фракцию минералов. Образуются гранаты на большой глубине, часто в мантии Земли. Пиропы (разновидность граната) указывают путь к залежам алмазов и являются их спутниками. Гранаты имеют твердость 6,0 — 7,5; плотность — до 4,3 г/см³. Гранаты используют при изготовлении лазерных приборов, генераторов высокочастотных колебаний и, конечно, ювелирных украшений. ■

Аметисты были известны еще до новой эры. На греческом языке это название означало «не пьяный», т. е. противодействующий опьянению. «...Аметист есть камень цветом вишневым, а родится в Индии; сила того камня есть: пьянство отгоняти, мысли лихие отдасть, добрый разум делать и во всяких делах помочь дает» — так характеризуют камень на Руси в 1672 г.



Друза аметиста из Южной Америки.

Благодаря своей красоте и приписываемым ему свойствам аметист пользовался большим успехом при исполнении церковных обрядов. При посвящении в сан Папа Римский надевал епископу перстень с аметистом. В католических странах аметист считали епископским, а в православной Руси — архиерейским камнем.

Твердость аметиста по шкале Мооса составляет 7; плотность — 2,6 — 2,75 г/см³. Любопытно, что нагревание кристаллов аметистов до 673° Кельвина приводило к полному исчезновению его фиолетовой окраски. Минерал становился при этом обыкновенным кварцем. Исследования показали, что минерал кристаллизуется при температуре 400 — 500° Кельвина и давлении от 5 МПа до 10 ГПа. Окраска связана с содержанием солей трехвалентного железа.

Самые большие месторождения аметистов находятся в Бразилии, Уругвае, на Мадагаскаре, а в России — на Урале. ■

Аквамарин — это берилл голубого цвета, напоминающий цвет морской воды (от лат. aqua marina — морская вода). Цвет аквамарина обусловлен небольшими примесями железа. С аквамарином связано множество поверий — сохранение любви в долгой разлуке, военные победы на море и др. Кристаллы аквамарина могут достигать 50 — 80 см и весить 100 — 110 кг. Крупные кристаллы имеют разную окраску — от желто-зеленой до ярко-голубой. Наиболее часто аквамарины встречаются в пегматитах и грейзенах (породы кислого состава). ■

Алмаз — король самоцветов; он самый твердый (по шкале Мооса — 10) и с самым сильным блеском. В минералогии есть понятие «алмазный блеск». Кристалл алмаза, искусственно ограненный ювелиром, получает название бриллианта. История алмазов началась, по-видимому, с V в. до н. э. Именно тогда бы-

Крупные и правильные кристаллы минералов красивой формы встречаются в горных породах, где они нарастают на внутренних стенках округлых замкнутых полостей. Замкнутые полости в горных породах, не полностью заполненные минеральным веществом, называют жеодами, а наросты на их стенках группы кристаллов — друзами. ■



Аквамарин из Бразилии.

Аквамарин очень ценился в Средние века. Первые линзы для очков были изготовлены из него еще в 1300 г. ■

Аквамарин из Пакистана.





Алмаз «Куллинан» весом 3106 карат, найденный в Южной Африке.

Знаменитый «Куллинан» — самый крупный из алмазов, когда-либо найденных человеком. Теперь его можно увидеть только на фотографиях и иллюстрациях. Владельцы камня раскололи этот неповторимый алмаз на десятки частей и огранили. Самый большой из бриллиантов встроен в королевский жезл и хранится в английской сокровищнице. ■

Чудесные свойства камней описаны в лапидариях. Большинство лапидариев основано на классическом труде «Книга камней», написанном около 1068 г. епископом французского города Рени Марбодом. Он утверждал, что Господь наделил драгоценные камни даже большей силой, чем травы. Описывая свойства 60 камней, автор отмечал, что, например, критский агат нейтрализует яды, индийский агат укрепляет зрение, халцедон приносит победу. ■

Изумруд из Колумбии.



ла создана бронзовая греческая статуэтка, у которой в глазницах находились алмазы. В XV в. стали делать огранку алмазов, и в ювелирном деле появились первые бриллианты. Алмаз очень широко используется в ювелирных украшениях. Его вставляли в царские короны, табакерки и ордена, нашивали на костюмы и шляпы.

Шляпу графа Потемкина носил за хозяином его слуга, поскольку вес ее из-за обилия алмазов и других камней превышал 15 кг. Мелкие и непрозрачные (технические) алмазы нашли свое применение в буровых коронках при бурении скважин. Кристаллы этого типа устанавливают в алмазные пилы и резцы, превращают в алмазный порошок, которым полируют твердые поверхности камней и металлов.

Основным поставщиком алмазов служат «трубки взрыва», заполненные глубинными породами — **кимберлитами**. При их возникновении порода пронизывали горячие газы, менялись давление и температура. Все это свидетельствует о том, что алмазы также принадлежат к минералам глубинных недр Земли. В России алмазы добывают в Якутии и на Урале. ■

Изумруд — драгоценный зеленый берилл, цвет которого зависит от количества примесей хрома и ванадия. Изумруды рождаются там, где магма, содержащая бериллий, прорывает породы основного состава, богатые хромом. Кристаллы изумруда имеют шестигранную форму. Иногда они достигают гигантских размеров. Так, в 1964 г. на Мадагаскаре был найден кристалл длиной 18 м и периметром 3 м, т. е. его размер равен размеру колонны фасада Большого театра в Москве. В России самые большие месторождения изумрудов обнаружены на Урале. Впервые они были открыты в 1831 г.



Изумруд из Австрии.

В Древнем Египте верили, что изумруд охраняет домашний очаг, способствует благополучию семьи. В Европе считалось, что изумруд придает своему владельцу чувство собственного достоинства, делает его великодушным, тактичным и проницательным, умеющим предвидеть события.

Изумруды и сапфиры нередко украшали золотую королевскую посуду, поскольку считалось, что они помогают обнаружить подсыпанный в пищу яд. Описывая обстоятельства смерти короля Джона, английский историк упоминает о возникших у короля подозрениях, будто поданные ему груши были отравлены, «поскольку его драгоценные камни тут же покрылись влагой». ■

Жемчуг — камень июня. Это округлое зернышко состоит из ядра (обычно песчинки), вокруг которого выросли концентрические слои из арагонита и перламутра. Это чаще всего происходит в воде, которая сохраняет более или менее постоянную температуру и медленно омывает песчинку, попавшую в раковину моллюска. Такие раковины называют жемчужницами. Моллюски-жемчужницы приспособляются к разным условиям. В Карелии они встречаются в порожистых реках, в Персидском заливе и Красном море — на мелководье, однако во всех случаях для роста жемчуга необходима очень чистая вода.

Жемчуг — национальный символ Японии, Саудовской Аравии. В гербе старинного города Кемь (на севере Карелии), известного с XV в., изо-



Жемчуг.

прекрасным. Самой крупной из ювелирных жемчужин в мире считается «Перегрина» («Странница») размером с голубиное яйцо, вес ее чуть больше 13 г. Она была найдена еще в XVI в. у берегов Центральной Америки, прошла через королевские семьи Англии, Австрии, Испании, Франции; сейчас находится в одной из частных коллекций в Швеции. Гораздо более крупная, но менее красивая — «Жемчужина Аллаха». Она достигает размеров 23×14 см и весит более 6 кг. Ее извлекли из огромной раковины — тридакны — у берегов Индии в 1934 г. ■

Рубин — июльский камень, один из наиболее ценных драгоценных камней-самоцветов. Рубин относится к семейству очень твердых корундов. Прозрачные корунды красного цвета называли рубинами, синего — сапфирами. В старину на Руси их именовали яхонтами. Корунд состоит из элементов алюминия и кислорода. Твердость минерала по шкале Мооса достигает 9. Благодаря его высокой твердости, окраске, похожей на огонь, и прозрачности рубину приписывали уникальные свойства. Он не только служил дорогим украшением, но и защищал от проказы, лихорадки, меланхолии, чумы и эпилепсии. Рубин иногда использовали для изготовления печатей, которые укрепляли на перстнях или брелоках. Самый крупный рубин (из Таиланда) весит около 80 г. Рубины образуются в магматических породах, измененных метаморфическими процессами. Крупные россыпи рубинов находятся в реках острова Шри-Ланка. Небольшие месторождения обнаружены в Афганистане, Австралии, Бразилии, Камбодже, на Мадагаскаре. В России они известны на Полярном Урале. ■



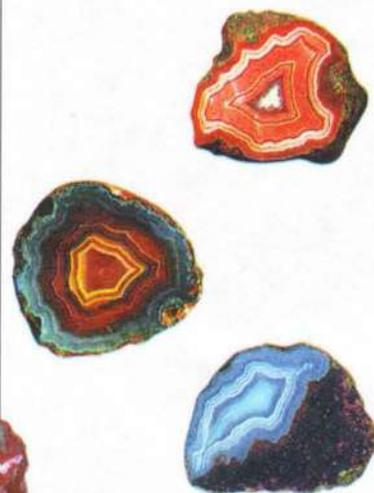
Кристалл оливина. Был известен еще в Древней Греции. Хризолит — разновидность оливина.

Хризолит — камень с золотисто-зеленой окраской, которая как бы напоминает о приближающейся осени. Цвет его обусловлен содержанием железа и никеля. К концу лета минералы красных тонов в календаре камней-самоцветов исчезают. Уже для августа характерен бледно-зеленый цвет минералов. Хризолит похож на многие самоцветы, из-за чего его часто путали с другими минералами, в частности с зелеными гранатами-демантоидами. Демантоиды даже называли русским хризолитом.

бражен венок из жемчуга. Это прямое свидетельство того, что на реках, «вытекающих из Лапландских» гор, было много раковин, содержащих жемчуг.

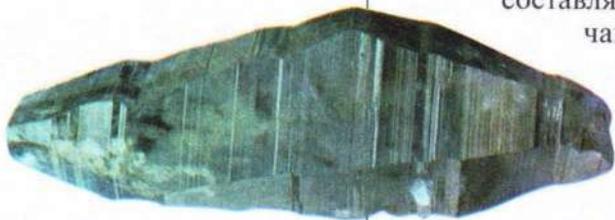
Широко известен белый или кремовый жемчуг, но иногда он приобретает черную окраску. Отличительная черта жемчуга — удивительные переливы света на его поверхности, что делает этот камень сказочно

Кристаллы рубина из Индии.



Разноцветные агаты. В Древней Греции и Древнем Риме агат уже умели окрашивать. Из него делали декоративные предметы, вырезали камеи.

Типичная форма кристалла сапфира.



Хризолит — ювелирный камень. В Алмазном фонде России хранится самый крупный кристалл хризолита. Хризолит хрупок. Твердость его составляет 6 — 7; плотность — около 4 г/см³. Хризолиты встречаются в ультраосновных магматических породах и так же, как и алмазы, содержатся в кимберлитах, реже в дунитах и перидотитах. ■

Сапфир — одна из разновидностей корунда.

Цвет его — удивительно синий. Сапфиры ценятся очень высоко и по своей стоимости соизмеримы с алмазом, изумрудом и рубином. Так же как и многие самоцветы, сапфир был обнаружен в Индии, Шри-Ланке, Бирме. Интересное описание минерала дал А. И. Куприн: «Сапфиры походят цветом на васильки в пшенице, другие — на осеннее небо, иные — на море в ясную погоду. Это камень девственности — холодный и чистый. Во время далеких и тяжелых путешествий его кладут в рот для утоления жажды. Он также излечивает проказу и всякие злые наросты. Он дает ясность мыслям». Сапфирами украшали короны королей и царские одежды. В сапфирах встречаются мельчайшие включения других минералов, которые создают особый «звездчатый» блеск. ■



Окатанные сапфиры.



Огненный опал из Германии.



Топаз с кварцем из Германии.

Опал — камень октября. Его оранжево-золотистые, зеленовато-белые и слабо-голубоватые матовые тона вобрали все краски октябрьской осени. Переливы цвета, возникающие при повороте минерала, ничуть не хуже, чем у жемчуга. Опал — затвердевший коллоид кремнезема, состоящий из халцедона, кристобалита, воды. Попав на опал, луч света распадается на множество мелких лучиков, что и создает эффект переливов света. Опал — «мягкий» камень: его твердость по шкале Мооса — около 6. Поверхность минерала легко царапается. Минерал хрупок. По мнению древних римлян, опал охранял воина в бою. Опалу приписывались волшебные свойства.

«В опале — невероятная смесь цветов и игры света, он успокаивает нервы, помогает при болезни сердца, действует против меланхолии, грусти, обмороков... возвращает остроту зрения и блеск глазам», — писал лейб-медик императора Священной Римской империи Рудольфа II (1552 — 1612). Опал был любимым камнем английской королевы Виктории (1819 — 1901).

Опалы встречаются в Австралии, Бразилии, США, Венгрии, Чехии. Месторождения этого драгоценного камня часто связаны с гидротермальными вулканическими породами, но в Австралии его добывают из коры выветривания — из сильно разрушенных временем горных пород. ■



Топаз — талисман ноября, имеет желто-зеленоватый цвет. Он очень похож на другие минералы с такой же окраской, из-за чего топазом нередко называли цитрин, лабрадор, дымчатый кварц, корунд. Цвет топазов самый разнообразный — желтый, розовый, голубой, фиолетово-красный. Топаз относят к силикатам, состав которых осложнен примесями титана, магния, кальция, хрома, железа.

По своей природе топаз связан с гранитами, содержащими много кремниевой кислоты, алюминия и фтора; более всего — с полостями в пегматитовых телах. По своему внешнему виду кристаллы напоминают бочонки или срезанные пирамиды. Твердость топаза — около 8, плотность — 3,55 г/см³.

Во второй половине XVII в. на Урале, неподалеку от деревни Мурзинка, были найдены уникальные месторождения самоцветов, среди которых был и топаз. Они образовали 80-километровую полосу, названную Мурзинско-Адуйской зоной самоцветов. Из ювелирного топаза изготавливают украшения, но встречаются огромные кристаллы, имеющие только музейную ценность, поскольку их величина достигает в периметре десятков сантиметров, а вес — 110 — 117 кг. ■

Бирюзу называют «любимый камень Востока», «священный камень Тибета», «камень египетских фараонов». Бирюзовые бусы носили для защиты от грозы, укусов змей, болезней. Этот минерал помогал искать воду в пустынях. Считалось, что, когда болеет хозяин, бирюза бледнеет и «скорбит о нем, как верный пес».

Для этого минерала характерны ярко-голубой, голубовато-зеленый (лазурный), зеленый цвета. Обычно бирюза напоминает плотную стекловатую массу и почти не встречается в виде хорошо ограненных кристаллов. По своему составу бирюза — водный фосфат меди и алюминия. Содержание оксида меди довольно высоко — до 9%. В ней также много железа. Наиболее часто бирюзу находят в областях распространения метаморфических пород, а также в раздробленных тектонических зонах, насыщенных жилами кварца. Месторождения этого драгоценного камня известны в Северной Америке, Китае, Иране, Австралии, Монголии, Болгарии и многих других странах. В России месторождения бирюзы встречаются на Кавказе и Полярном Урале. ■

Камнями-самоцветами занимается особая ветвь геологической науки и искусства — **геммология**. Искусство миниатюрной резьбы по камню называется **глиптикой**, а резные картины по камню — **геммами**.

Выпуклая гемма, рельефная, как скульптура, — это камеи, а выемчатое изображение, как бы оттиск камеи, ее отпечаток — это инбальо, или инталья.

Геммологи не только изучают драгоценные камни и минералы, но и разрабатывают методы по облагораживанию их окраски и формы огранки, методы искусственного выращивания кристаллов. ■

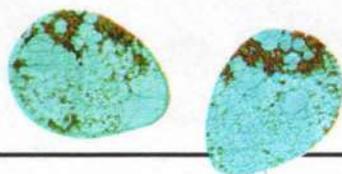


Янтарь — затвердевшая смола древних хвойных деревьев. Лучшие всего остатки древних насекомых сохранились в янтаре. Их тела не разложились, а потому мы можем видеть их строение. Это насекомое жило 24 — 25 млн. лет назад.

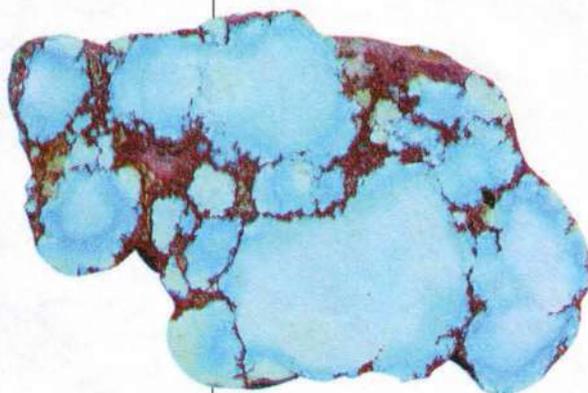


Небольшие обломки янтара перерабатываются путем прессовки в сплошные массы. Наиболее значительные места распространения: побережье Балтийского моря, Румыния, Сицилия, Бирма. Янтарь — самый легкий в обработке прозрачный камень. Из янтара можно обычными железными резцами вырезать линзу. Некоторые ученые считают, что первые в мире очки были сделаны из янтара.

Бирюза из Турции.

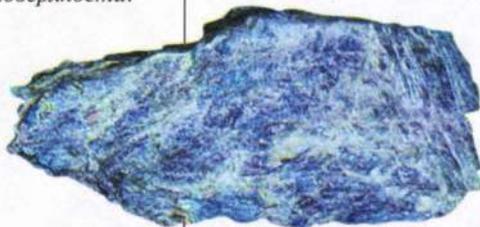


Бирюза из Казахстана. Наиболее интересное в историческом плане месторождение бирюзы расположено в Иране, около Нишапура. Оно разрабатывается уже 4 тыс. лет.



Эклогит и гнейс образуются под самым высоким давлением и при самой большой температуре. Гнейс является скорее всего основным компонентом нижней части земной коры под материками. Обычно минералы в его составе выстраиваются в форме ленты. Типы гнейса, как и типы аспидного сланца, различаются по тому, из каких минералов они состоят, а также из каких пород они образуются. ■

Лабрадор — поделочный камень белого или серого цвета с синеватым отливом. Под действием интерференции света переливается всеми цветами радуги, особенно на отполированной поверхности.



Кристаллы амазонита.

(Справа). Амфиболит — глубинная порода. Образуется из базальтов, габбро, перидотитов или мергелистых глин, бедных известью. Применяется как строительный материал.

ГЛУБОКО ПОД НАМИ

Представления о том, что недра нашей планеты состоят из нескольких оболочек, вложенных друг в друга (ядро, мантия, земная кора), основаны прежде всего на достижениях сейсмологии, которая установила, что скорости сейсмических волн распределяются в глубинах Земли неравномерно, в зависимости от плотности, состава и температуры пород. Например, на глубине 2900 км скорость прохождения сейсмических волн изменяется от 8,1 до 13,6 км/с; на глубине 30 — 60 км — от 6,7 до 8,1 км/с. Эти особенности прохождения волн объясняют тем, что под земной корой находится вещество верхней, средней и нижней мантии, а еще ниже — внешнего и внутреннего ядра Земли.

В 1994 г. американский сейсмолог А. Дзевонски составил серию карт глубинного строения Земли на разных уровнях недр, а российские ученые уточнили и частично изменили прежнюю модель оболочек в глубинном строении Земли. Итак, последовательно сверху вниз идет земная кора (0 — 45 км), затем верхняя мантия (45 — 670 км); первая «зона раздела» (670 — 840 км); средняя мантия (840 — 1700 км); вторая «зона раздела» (1700 — 2200 км); нижняя мантия (2200 — 2900 км); внешнее ядро (2900 — 5146 км); внутреннее ядро (5146 — 6371 км).

Внутреннее ядро планеты (на глубине 5146 — 6371 км) имеет радиус 1225 км, обладает чрезвычайно высокой плотностью (до 12,5 г/см³), а потому,

вероятно, находится в «твердом» состоянии. Предполагается, что оно имеет железисто-никелевый состав вещества, находящегося под давлением 2,5 — 3,0 тыс. Кбар.

Оболочка внешнего ядра Земли имеет толщину около 2250 км и характеризуется плотностью вещества 10 г/см³. Возможно, что вещество находится в «жидком» состоянии и существует при температуре около 4300° С и давлении около 1300 Кбар.

Оболочка нижней мантии (2200 — 2900 км) предположительно имеет плотность вещества около 5,9 г/см³, температуру около 2800 — 4000° С и давление 350 — 1000 Кбар.

Средняя мантия (840 — 1700 км) и **верхняя мантия** (45 — 670 км) отличаются более «низкими» температурами (1000 — 2800° С) и давлением (20 — 300 Кбар). В состав веще-

ства верхней мантии входят кремний, алюминий, железо, магний, кальций, кислород, но и здесь строение недр неоднородно. Минералы образуют группы пиролитовой, пиклогитовой и эклогитовой магм. Эклогит — крупно- или среднезернистая кристал-



лическая порода, состоящая в основном из граната и пироксена; в ней встречаются также полевые шпаты, плагиоклаз, амфиболиты, кианит и другие породы серо-зеленого или коричнево-зеленого цвета, на фоне которого выделяются оранжевые и красные гранаты (пиропы). Кристаллы гранатов достигают при этом 1 см, но чаще они имеют размер 2 — 5 мм.

По своему составу эклогит ближе всего к основным породам (габбро), но отличается от них значительной плотностью — от 3,3 до 4,3 г/см³. Обломки нередко имеют округлые очертания, размеры их достигают 15 см в поперечнике. Предполагают, что они округлились в процессе трения во время движения по «трубке взрыва», хотя сами эклогиты образованы задолго до этого в глубоких недрах Земли. Такие свойства более характерны для вещества верхней мантии, чем для пород земной коры. Эксперименты показали, что минералы эклогитов возникают при температуре от 700 до 1500° С и давлении 13 — 15 Кбар. Это соответствует глубинам от 70 до 100 км. У людей пока нет технических возможностей, чтобы бурить скважины на такую глубину, и поэтому изучение пород, заполняющих жерла «трубок взрыва», представляет большой интерес. ■

Эклогитовая часть вещества верхней мантии может залегать в виде и линз, и отдельных блоков. Присутствие соединений силикатов, магния и кислорода позволило предположить, что здесь же в «связанном» виде находится вода. Правда, содержание ее невелико — около 0,1% (по весу), но если учесть значительную толщину этой оболочки, то общий объем «связанной» воды представится внушительным. Медленные вихревые движения вещества в нижней мантии способствуют появлению разогретых потоков в средней и даже в верхней мантии. Температура и плотность вещества в них также изменяются. Верхняя мантия становится неоднородной. Это, в свою очередь, влияет на состояние и особенности движений земной коры. Плотность пород в верхней мантии составляет 3,3 — 5,0 г/см³.

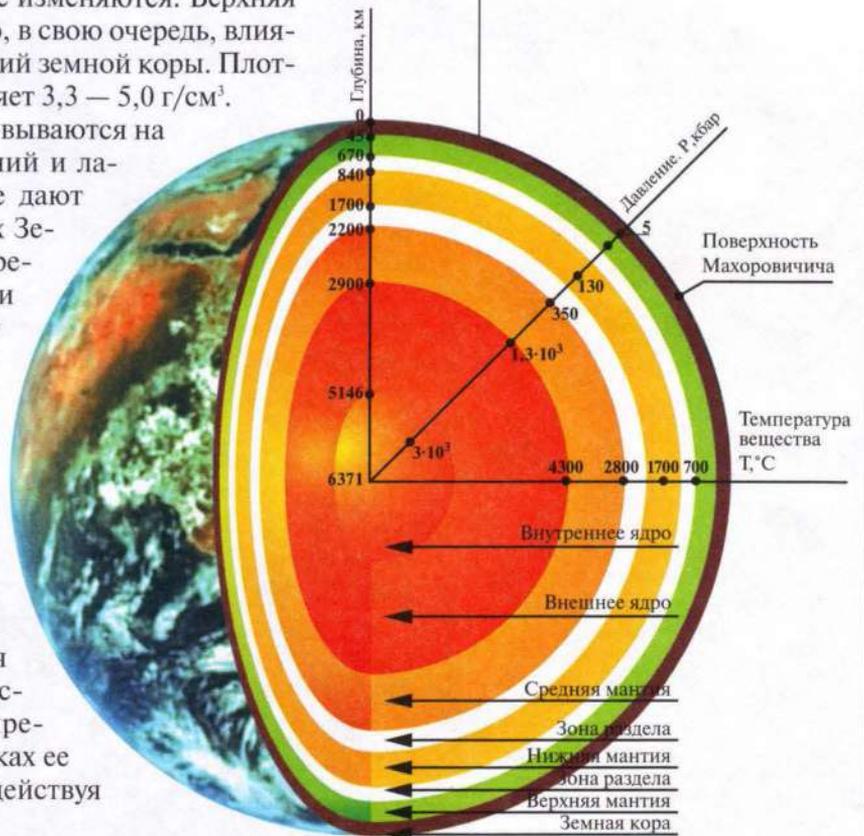
Представления о составе мантии основываются на результатах сейсмических исследований и лабораторных экспериментов, которые дают основание предполагать, что в недрах Земли образуются минералы и даже определенные минеральные ассоциации (от концентрации минералов зависит скорость прохождения сейсмических волн). ■

Оболочки вещества, заключенные друг в друга, делают планету похожей на своеобразное яйцо с полужидким желтком в центре и жидким белком, в котором плавает желток, а жесткая кожа — это земная кора. Такое сравнение как нельзя лучше отражает законы физики, согласно которым вращение планеты непременно должно сказываться на оболочках ее недр, замедляя динамику одних и воздействуя на другие. ■



Кристаллы кианита из Индии. Впервые кианит описан в 1789 г., но в качестве ювелирного материала стал использоваться сравнительно недавно.

Схема внутреннего строения планеты Земля.



Геологические разрезы на подводных хребтах помогли разгадать немало загадок. Одна из них — обнаруженная в Норвежском море на глубине около 1300 м вулканическая лава миоценового возраста, изливавшаяся на суше, а не на дне океана. Это означало, что дно нынешнего океана в этом месте 20 млн. лет назад было сушей и за это время погрузилось под воды океана более чем на 1 км. На континентальном склоне Бискайского залива на глубинах от 2340 до 4400 м при бурении скважин были найдены черные глины с остатками наземных растений, произраставших на суше 132 — 185 млн. лет назад. Кроме того, в геологических разрезах восточной части дна Атлантического океана внутри толщи раннемеловых и позднемеловых осадков выявлен перерыв в накоплении морских осадков продолжительностью более 50 млн. лет. Все это свидетельствует о существовании здесь суши, которая затем погрузилась в пучины океана. ■

Строение земной коры на границе материков и океанов.



Исследования глубинного строения шельфов, материковых окраин, дна морей и океанов поколебали представления ученых о том, что существуют только два типа земной коры — континентальный и океанический. Иногда в толще океанической коры появлялся гранито-гнейсовый слой, а в континентальной коре он сокращался до нескольких километров. Это дало основание предположить, что существует и субокеаническая и субконтинентальная кора.

ЗЕМНАЯ КОРА — КАМЕННАЯ ОБОЛОЧКА ПЛАНЕТЫ

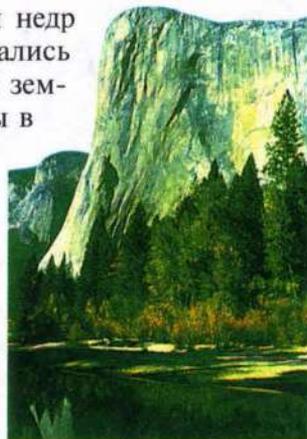
Самая верхняя и твердая геологическая оболочка Земли — земная кора. Она исследована учеными достаточно хорошо, чему немало способствовало бурение скважин на континентах и на дне океанов. Строение, состав и толщина земной коры в разных районах Земли различны.

Верхней границей земной коры служит поверхность видимого рельефа, нижней — планетарная поверхность раздела двух сред, именуемая «поверхностью Мохоровичича». Ее также называют «поверхностью Мохо» или «границей М». А. Мохоровичич (1857 — 1936) — хорватский сейсмолог, наблюдая возрастание скоростей сейсмических волн в зависимости от глубины, впервые установил в 1909 г. наличие границы раздела между земной корой и мантией Земли. Граница М проходит там, где скорость сейсмических волн возрастает с 6,9 — 7,4 до 8,0 — 8,2 км/с. Это дает основание предполагать, что плотность горных пород увеличивается вблизи границы М с 2,8 — 2,9 до 3,2 — 3,3 г/см³.

В земной коре материков три слоя: **осадочный** (самый верхний), в котором преобладают осадочные горные породы, а скорости сейсмических волн составляют 3 — 5 км/с; **гранито-гнейсовый** (интрузивный и метаморфический, ранее называвшийся гранитным), в котором чаще всего встречаются магматические и метаморфические породы, а скорости сейсмических волн колеблются от 5 до 6,5 км/с, и **гранулитно-базитовый** слой (ранее называвшийся базальтовым), основные породы которого содержат не больше 50 — 55% кремнезема, но зато насыщены железом, алюминием, магнием, калием. Скорости сейсмических волн в этом слое достигают 7,2 км/с. Более полную информацию о земной коре геологи получают при геологической съемке местности (как на суше, так и на дне океанов) и при бурении скважин. ■



Научные результаты глубокого бурения недр превзошли все ожидания и в ряде случаев оказались неожиданными. Так, геофизические границы в земной коре до глубины 12200 м были установлены в зависимости от изменений в плотности горных пород. Сверху вниз по скважине плотность последовательно меняла свои значения от 2,88 — 3,01 г/см³ на глубине от 100 до 6000 м до 2,78 — 2,89 г/см³ на глубине 6000 — 9000 м. Однако на глубине 10000 — 12000 м плотность не увеличивалась, как следовало из предварительных расчетов, а оставалась такой же и даже уменьшалась до 2,69 — 2,93 г/см³. Выяснилось, что границы, предположительно установленные геофизиками, на самом деле представляют собой зоны растрескивания и дробления горных пород. Обнаружилось также несоответствие расчетных и реальных температур в этой части земной коры. Ученые предполагали, что на глубине 7000 м температура равна +50° С, а на глубине 10000 м равна +100° С. На самом же деле температура на глубине 10000 м составила 180° С.



Скалистые громады Йосемите.

По всему геологическому разрезу скважины были обнаружены газы и приток минерализованных вод, циркулирующих по трещинам. Такие результаты глубокого бурения недр заставляют пересмотреть некоторые гипотезы построения геофизической модели земной коры. ■

Сверхглубокое бурение на континентах проводится в первую очередь для того, чтобы проверить предположения ученых о строении и условиях залегания горных пород. Геологическое строение дна океанов, скрытое от глаз наблюдателя многокилометровой толщей воды, известно человечеству не лучше, чем внутреннее строение Луны. Кроме того, для подводного бурения нужны не буровые станки, используемые геологами на суше, а совершенно другие механизмы. Работы на дне Тихого океана к югу от Мексиканского побережья с использованием подводных аппаратов позволили установить разнообразные лавовые потоки возрастом от 500 до 5000 лет. В базальтовых лавах при этом были обнаружены многочисленные трещины и пустоты, а также горячие источники воды.

Подводное бурение глубоких скважин показало заметные различия в строении земной коры на континентах и на дне океанов. Самыми древними в их глубинах оказались вулканогенно-осадочные породы юрского и триасового (у берегов Индонезии) возраста. Местами осадкообразование на дне океанов шло с длительными перерывами. Во многих случаях на дне океанов обнаружены лавовые потоки и базальтовые покровы.

Полученные данные, дополненные знаниями о геохимии пород, позволили сделать вывод о существовании двух основных типов земной коры — **континентального и океанического.**

Толщина континентального типа земной коры изменяется от 20 до 70 км. Там, где кристаллический фундамент глубоко скрыт под осадочным чехлом, например, в центре Русской равнины или в Западной Сибири, толщина осадочного слоя составляет 4 — 5 км, гранито-гнейсового слоя и гранулитобазитового слоя — 15 — 20 км. В горных областях (на Кавказе, в Карпатах, на Памире и др.) толщина всех слоев соответственно увеличивается, т. е. составляет 20, 30, 35 км. ■

Для субокеанической коры характерны огромная мощность осадочного чехла, местами превышающего 20 — 22 км, отсутствие гранито-гнейсового слоя, малая мощность (6 — 7 км) гранулитобазитового слоя. В субконтинентальной коре осадочный слой составляет 3 — 5 км, гранито-гнейсовый слой — около 5 — 8 км, гранулитобазитовый слой — до 20 км. Таким строением обладают подводные плато и цепочки островов, вытянутые вдоль континентов и вблизи Курильских, Алеутских, Японских островов.

Под поверхностью дна океанов пока не обнаружен гранито-гнейсовый слой, но это не может служить доказательством того, что здесь отсутствуют метаморфические породы. Так, например, в базальтовых лавах на островах Вознесения и Тристан-да-Кунья, т. е. на оси подводного Срединно-Атлантического хребта, обнаружены обломки гранитов и гнейсов, привнесенных из глубоких недр Земли. ■

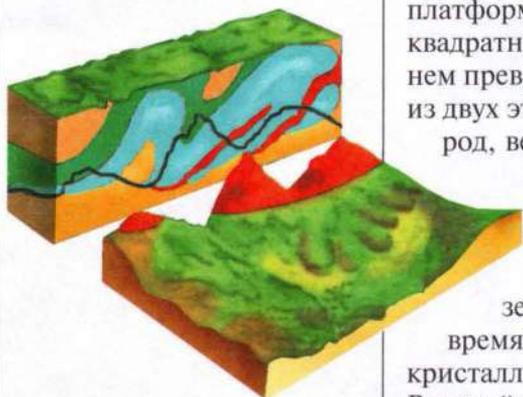
Природное обнажение горных пород.



Перемещения тектонических пластин наблюдаются до настоящего времени. Продолжается пододвигание кристаллического фундамента платформы под складчатое сооружение Главного Кавказского хребта, с чем, в частности, связывают сильное землетрясение в Грузии в 1991 г. ■

Глубоководные котловины гораздо древнее срединно-океанических хребтов. Внутри котловин встречаются участки плато и валов, имеющих складчатую структуру.

По периферии Тихого океана на тысячи километров вытянулись глубоководные желоба. Это узкие дугообразные впадины в местах глубинных разломов в земной коре.



Строение складчатых гор (Альпы).

Иногда эти разломы уходят в глубину на сотни километров. Глубина желобов колеблется от 7 до 11 км (Марианский желоб — 11022 м). Осадки на дне желобов, как правило, залегают горизонтально.

Многие области дна океанов и суши ученые объединяют в гигантские литосферные плиты — огромные глыбы, включающие в себя всю земную кору и часть верхней мантии общей толщиной от 50 до 200 км. ■

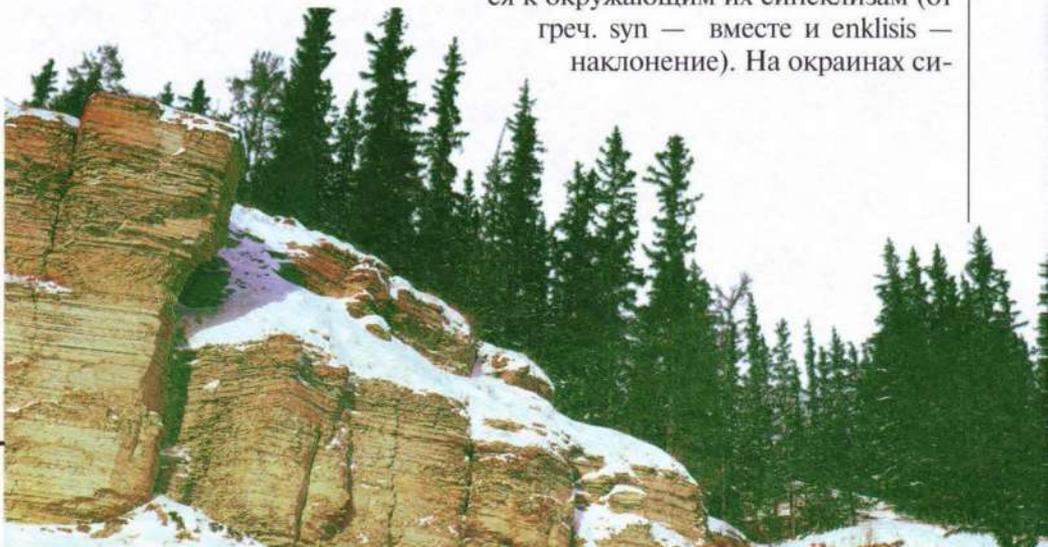
СТРУКТУРА ЗЕМНОЙ КОРЫ

Геологические реконструкции прошлых периодов в истории Земли свидетельствуют о том, что на нашей планете уже много сотен миллионов лет назад сформировались как жесткие и малоподвижные глыбы — платформы и щиты, так и подвижные горные пояса, которые часто называют геосинклинальными. К ним относятся и огромные вулканические пояса, обрамляющие моря и целые океаны. В XX в. эти научные представления были дополнены новыми данными, среди которых в первую очередь следует назвать открытие срединно-океанических хребтов, глубоководных желобов и океанических котловин.

Наиболее устойчивыми участками земной коры являются платформы. Площадь их составляет многие тысячи и даже миллионы квадратных километров. Когда-то они были подвижными, но со временем превратились в жесткие массивы. Платформы, как правило, состоят из двух этажей. Нижний этаж построен из древних кристаллических пород, верхний — из более молодых. Породы нижнего этажа называют фундаментом платформы. Выступы такого фундамента можно наблюдать в Карелии, на Украине, в Восточной Сибири и Канаде. Благодаря своей массивности и жесткости эти выступы получили название **щитов**. Это самые древние участки земной коры: возраст многих достигает 3 — 4 млрд. лет. За это время в породах произошли необратимые изменения состава, перекристаллизация, уплотнения и другие метаморфозы.

Верхний этаж платформ образуют огромные толщи осадочных пород, накопившихся в течение сотен миллионов лет. В этих толщах наблюдаются пологие складки, разрывы, валы и купола. Следы особенно крупных поднятий и опусканий являются **антеклизы** и **синеклизы**. Антеклиза по своей форме напоминает гигантский холм площадью 60 — 100 тыс. км². Высота такого холма небольшая — около 300 — 500 м.

Окраины антеклизы ступенями спускаются к окружающим их синеклизам (от греч. *syn* — вместе и *enklisis* — наклонение). На окраинах си-



неклиз и антеклиз часто встречаются отдельные валы и купола — мелкие тектонические формы. Для платформ прежде всего характерны ритмические колебания, что приводило к последовательной смене поднятий и опусканий. В процессе этих движений возникали прогибы, небольшие складки, тектонические трещины.

Строение осадочного чехла на платформах осложняют тектонические структуры, появление которых объяснить непросто. Например, под северной частью дна Каспийского моря и под Прикаспийской низменностью скрыт огромный замкнутый со всех сторон бассейн глубиной более 22 км. В поперечнике этот бассейн достигает 2000 км. Его заполняют глины, известняки, каменная соль и другие породы. Верхние 5 — 8 км осадков относят к палеозойскому возрасту. По геофизическим данным, в центре этой впадины отсутствует гранито-гнейсовый слой и толща осадочных пород залегает непосредственно на гранулитно-базитовом слое. Такое строение больше характерно для впадин с океаническим типом земной коры, поэтому Прикаспийскую впадину считают реликтом древнейших докембрийских океанов. ■

Полной противоположностью платформам являются **орогенические** пояса — горные пояса, возникшие на месте прежних геосинклиналей. Они, так же как и платформы, принадлежат к длительно развивающимся тектоническим структурам, но скорости движения земной коры в них оказались значительно большими, а силы сжатия и растяжения создали на поверхности Земли крупные горные хребты и впадины. Тектонические напряжения в орогенических поясах то усиливались, то резко уменьшались, а потому можно проследить и фазы роста горных сооружений, и фазы их разрушения.

Боковое сжатие блоков земной коры в прошлом нередко приводило к разделению блоков на тектонические пластины, каждая из которых имела толщину 5 — 10 км. Тектонические пластины коробились и часто надвигались одна на другую. В результате древние породы оказывались надвинутыми на более молодые породы. Крупные надвиги, измеряемые десятками километров, ученые называют **шарьяжами**. Их особенно много в Альпах, Карпатах, Гималаях и Кордильерах, но шарьяжи встречаются и на платформах, где смещение пластин земной коры приводило к образованию складок и валов, например в Жигулевских горах. ■

Дно морей и океанов долго оставалось малоисследованной областью Земли. Только в первой половине XX в. были открыты срединно-океанические хребты, которые впоследствии были обнаружены во всех океанах планеты. Они имели разную структуру и возраст. Результаты глубоководного бурения тоже способствовали изучению структуры **срединно-океанических** хребтов. Осевые зоны срединно-океанических хребтов вместе с рифтовыми впадинами бывают смещены на сотни и тысячи километров. Эти смещения наиболее часто происходят по крупным разломам (так называемым **трансформным разломам**), которые образовались в разные геологические эпохи. ■



Самым типичным является Срединно-Атлантический хребет, проходящий по дну океана на равном расстоянии от берегов Америки и Африки. Он достигает длины 15000 км при ширине по основанию 1000 км. Относительная высота этого хребта над глубоководными котловинами — около 3 км. Это глыбовый и сводово-глыбовый хребет со следами растяжения земной коры в его осевой зоне. Здесь располагаются щелеобразные рифтовые впадины. По результатам гравиметрических измерений, мощность океанической коры в этих местах — около 15 — 25 км. В осевой зоне Срединно-Атлантического хребта осадочный слой либо отсутствует, либо он незначителен. ■

По своей структуре горы бывают глыбовые, складчатые, складчато-глыбовые, сводово-глыбовые. Облик гор создается не только благодаря тектоническим движениям, но и в результате процессов, действующих на поверхности Земли. В горах нередко многочисленны межгорные впадины, котловины, плато. Часто встречаются рифтовые впадины. Такой впадиной, например, является котловина озера Байкал. ■

Вулканическая вершина
Гро-Питон на острове
Сент-Люсия (Малые
Антильские острова).



Уральский геолог А. А. Пронин выявил 13 планетарных циклов тектонической активности за последние 600 млн. лет, каждый из которых, по его мнению, продолжался 40 — 50 млн. лет. Геологи и раньше выделяли крупные эпохи складчатости — байкальскую, салаирскую, каледонскую и другие, тем самым подчеркивая существование в прошлом эпох сжатия и расширения земной коры. ■

Этот лавовый мост на Галапагосских островах образовался, когда расплавленная лава встретилась с холодным океаном. Вероятно, определенную роль сыграло и разрушительное действие волн.



Чередование антиклиналей и синклиналей в геологическом разрезе горной местности.



ПУЛЬС И ДЫХАНИЕ НЕДР

Земля движется в космическом пространстве, вращаясь вокруг собственной оси. Земля вздрагивает от внутренних катаклизмов, реагируя на изменения вещества. Земля дышит, выбрасывая газы, магму и воду. Горные породы, залегающие горизонтально или смятые в складки, застывшие потоки лав, гигантские трещины, уходящие в глубь планеты на многие километры, — все это результат разных тектонических движений и магматических процессов.

Науку, занимающуюся изучением структуры земной коры и ее развитием, называют **геотектоникой** (геологи под структурой понимают распределение и залегание горных пород). В своих исследованиях геотектоника использует структурные, геофизические, геодезические, геоморфологические и другие методы.

Геологи подразделяют тектонические структуры нашей планеты на несколько больших групп: структуры первого (высшего) порядка — материка, океаны; структуры второго порядка — подвижные пояса (геосинклинальные области) и устойчивые площади (платформы); структуры третьего порядка — геосинклинальные системы (Кавказ, Тянь-Шань, Сихотэ-Алинь и др.), срединные массивы (Охотский, Закавказский и др.), щиты, антеклизы и синеклизы (Балтийский и Анабарский щиты, Московская синеклиза и др.).

В геотектонических исследованиях важно определить роль разрывов и складок горных пород. Складки наблюдаются как в осадочных породах, так и в древних гранитных телах.

На платформах и в орогенических (от греч. *oros* — гора) поясах встречаются не только складки, напоминающие огромные застывшие волны, но и крупные глыбы поперечником в сотни километров. Они чаще всего наблюдаются там, где толщина осадочного чехла минимальна или он вовсе отсутствует. ■

Тектонические движения делят на вертикальные (в основном колебательные) и горизонтальные. Они взаимно дополняют друг друга. Колебательные движения земной коры представляют собой, с одной стороны, вертикальные и горизонтальные, в том числе складчатые движения, а с другой — сдвиги в земной коре и ее пульсацию.

Особенности древних тектонических движений (в протерозойскую, палеозойскую или в мезозойскую эры) определяют по строению горных пород и чаще всего по анализу фаций.

Фация (от лат. *facies* — облик) — это тип осадочной породы, возникший в определенных физико-географических условиях. Примерами фаций являются морские глины и пески, речные галечники, озерные известняки и т. п. Морские осадки накапливаются, как известно, в глубинах морей и океанов, заполняя прежде всего подводные желоба и котловины. Эти области — результат тектонических опусканий земной коры. Обна-



Фонтаны раскаленной лавы высотой до 90 м.

руженная речная галька на склонах гор свидетельствует о поднятии гор, где реки первоначально текли на более низком уровне. По анализу фаций и возрасту пород можно определять скорости тектонических погружений или поднятий поверхности.

Тектонические движения приводят к образованию котловин, где накапливаются толщи осадков. Однако обломочный материал, сносимый с окружающих склонов, поступает на дно котловин с перерывами. Прогибание котловины также происходит неравномерно. При этом континентальные фации сменяются морскими; котловина полностью заполняется обломочным материалом и в конце концов превращается в аккумулятивную равнину. Таким образом поверхность равнины поднимается над водой и становится сушей. В итоге на-

чинается разрушение рельефа равнины. Затем все повторяется. Цикл осадконакопления продолжается несколько миллионов или даже десятков миллионов лет.

Многие толщи осадочных пород измеряются в километрах. Это свидетельствует о длительном процессе их накопления. Например, в Донецком угольном бассейне за каменноугольный период, т. е. за 75 млн. лет, накопилась толща песчаников, углей, известняков общей мощностью почти в 12 км. Значительная часть их принадлежит к речным и болотным образованиям. ■

Изучая модели развития недр Земли, ученые пришли к выводу о том, что горизонтальные растяжения земной коры обязательно сопровождаются ее сжатием. Это следствие подвижности литосферы и ее неоднородности. Установлено чередование фаз активизации и затухания складчатости и горообразования, вулканизма, наступления и отступления моря. ■



Крутой тектонический уступ отделяет плато от рифтовой впадины (Восточная Африка).



Известняк с остатками морских лилий (вверху).

Глауконитовый песчаник, получивший свое название по присутствию минерала глауконита (слева).

Серый известняк, почти совсем лишенный слоистости (справа).

В основе модели «пульсирующей и расширяющейся Земли», предложенной российским геологом академиком **Е. Е. Милановским** (р. 1923) лежит тезис о чередовании длительных эпох усиления и ослабления тектонической напряженности. Все это связано с попеременным растяжением и сокращением объема недр планеты, т. е. с пульсацией недр. Е. Е. Милановский объяснял ее неравномерностью разогрева земных недр. Появление крупных трещин (рифтов) способствует проникновению магмы в трещины и излиянию ее на поверхность планеты. Затем наступает некоторое охлаждение недр — в результате чего литосфера сжимается и коробится.

Пульсация недр включает разные по продолжительности циклы. Самые крупные продолжались первые сотни миллионов лет; циклы эндогенной активности — 40 — 50 млн. лет; фазы складчатости — 7 — 15 млн. лет. ■

Современные движения земной коры, так же как и более древние, имеют колебательный характер. На берегу Неаполитанского залива (Италия) возвышаются колонны древнего храма, построенные еще 2 тыс. лет назад. Нижние части колонн оказались засыпанными вулканическим пеплом, а в 3 — 4 м над ним в колоннах были обнаружены отверстия — следы деятельности морских моллюсков.

Это можно объяснить только повышением уровня моря, воды которого залили нижнюю часть колонн. Таким образом, после постройки храм опускался под воду на 8 — 10 м. К концу XVII в. храм вновь был поднят тектоническими силами выше уровня моря и оказался на суше, а в начале XX в. опять стал погружаться.

Сейчас он уже находится ниже уровня моря на 2 — 3 м. Чередование опусканий и поднятий прибрежной полосы здесь очевидно. ■



Трещины в дорожном покрытии как свидетельство современных подвижек земной коры.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ДВИЖЕНИЯ ЗЕМЛИ И ВЫБРОСЫ ГАЗОВ

«На памяти человечества» движения земной коры происходили в древности, происходят они и сейчас. Естествоиспытатели и историки оставили описание этих катастроф. Хорошо известны случаи, когда под воду опускались приморские города или даже целые побережья, а землетрясения поражали центральные области многих континентов.

Благодаря совершенствованию геодезических методов наблюдений удалось создать «метод повторных нивелировок» земной поверхности. За 30 — 50 лет наблюдений были получены карты современных движений земной коры. Такие наблюдения обычно велись вдоль железных и автомобильных дорог, где можно установить прочные и неподвижные реперы (от фр. *repère* — метка, знак, исходная точка). Этот знак в виде металлической пластины или штыря обычно закрепляется в стене дома, на железнодорожных насыпях, в бетонных столбах. Для такой метки обязательно определяются ее абсолютная высота и географические координаты. В горах для этого использовали лазерные дальномеры, данные которых корректировались со спутников Земли. Повторные нивелировки местности производились через 6 — 15 лет. Таким путем были выявлены области с разными скоростями тектонических движений. Точность измерений при этом составляла от 1 до 1,5 мм в год. Оказалось, что с течением времени скорости тектонических движений могут изменяться. ■

На острове Сахалин зафиксирована смена знака и скоростей тектонических движений от -8 до $+7$ мм в год. На берегах Балтийского, Черного и Азовского морей отмечены изменения скоростей вертикальных движений от $-8,4$ до $+13,5$ мм в год. Резкое уменьшение скоростей поднятий наблюдалось в



Вулканический остров.

Донбассе — с +12 до +4 мм в год. Хребты Большого Кавказа в его западной части поднимаются со скоростью до 2 мм в год, тогда как на востоке этой горной страны хребты опускаются со скоростью 3 мм в год. За пределами России, в Высоких Татрах, установлено интенсивное поднятие гор со скоростью 7 мм в год, а в предкарпатских районах — опускание со скоростью 3 мм в год. ■

На поверхность Земли из ее недр часто выбрасываются газы. Это бывает связано с различными геохимическими превращениями вещества. В процессе его радиоактивного распада выделяется много гелия (ежегодно от 2 до 5 тыс. т). Он может существовать немногим более 100 лет, после чего исчезает и, как полагают ученые, уходит в космическое пространство. Гелий поднимается к поверхности Земли по тектоническим трещинам и содержится в подземных водах. В областях разломов содержание его может достигать до 0,01 — 0,04% общего объема подземных вод. В результате распада урана появляется радон, а в результате распада некоторых изотопов калия — аргон. Радон быстро распадается (время полураспада — 3,8 дня), но он постоянно образуется во многих горных породах. Помимо газов, связанных с радиоактивными превращениями вещества, из недр поступают газы углеводородного, водородного и сернистого составов: углекислый газ (CO_2), окись углерода (CO), сернистые газы (SO_2 , SO_3), сероводород (H_2S), хлористый водород (HCl), фтористый водород (HF). Почти все они выделяются при извержениях вулканов, а потому поступают импульсами. При вулканических извержениях выделяются пары воды, водород, аммиак, метан, двуокись углерода и другие газы. Взаимодействуя между собой, они образуют формальдегид и синильную кислоту, которые способствуют формированию аминокислот, а через них — сложных молекул, связанных с примитивной жизнью. Особенно характерны такие превращения веществ и газов для подводных вулканов. Однако газы поступают не только в результате вулканических извержений. При бурении Кольской сверхглубокой

скважины обнаружилось, что в трещинах магматических и метаморфических пород содержатся значительные объемы газов. Изучение углеводородов в Хибинском горном массиве позволило установить наличие в нем метана, пропана, этана. Одновременно были обнаружены различные битумы. ■



Выбросы газа из жерл вулканов происходят внезапно, принося значительный ущерб. В 1986 г. в Камеруне (Африка) произошел вулканический выброс, содержащий углекислый газ, метан и гелий. В результате погибло около 1700 человек. ■



«Палящая туча».
Начало извержения вулкана.



ВУЛКАНИЗМ — САМЫЙ МОЛОДОЙ И САМЫЙ ДРЕВНИЙ ИЗ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ЗЕМЛЕ

Если представить, какой была наша планета 3 — 4 млрд. лет назад, то перед нами возникнет ужасающая картина: взрывы, непрекращающийся грохот, огромные фонтаны извергающейся магмы, целые моря расплавленного вещества — словом, царство вулканизма на ранних стадиях формирования поверхности Земли.

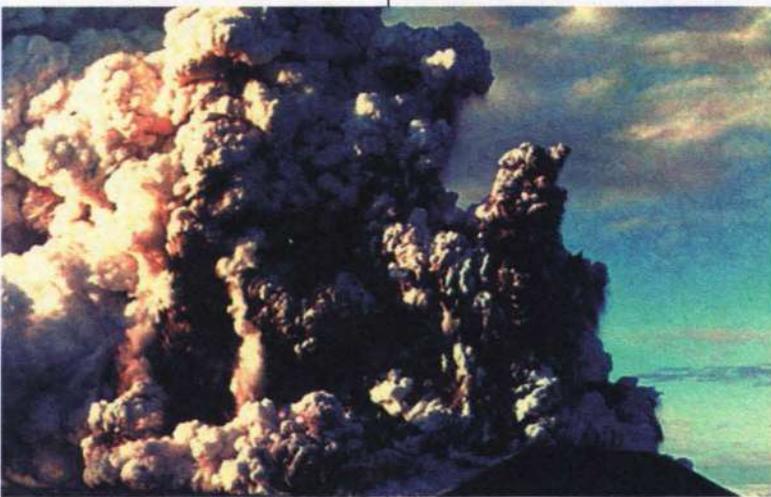
О самой ранней стадии вулканизма (ее часто называют «лунной») нельзя судить по имеющимся сейчас горным породам. Первозданных вулканических пород практически не сохранилось, все они за миллиарды лет были переработаны в результате позднейших процессов. Однако такие породы есть на Луне, которая намного раньше, чем Земля, прекратила тектоническую активность, поэтому модель «лунной стадии» в развитии вулканизма на Земле может быть построена на основе реально существующих пород на Луне.

Вулканизм — совокупность явлений, связанных с перемещением магмы в верхней мантии и земной коре, а также на поверхности Земли. Ему свойственна максимально концентрированная энергия на единицу площади. Наиболее яркими примерами вулканической деятельности служат, конечно, сами вулканы. Местоположение их определяется прежде всего тектоническим строением земной коры, поэтому во многом (хотя и не полностью) области распространения вулканизма и землетрясений совпадают. Ученые выделяют наземный и подводный вулканизм. ■

При наземном вулканизме резко сменяются условия преобразования магматического вещества. При извержении в нем падают давление среды (с 102 до 1 кг/см²), плотность (с 2 до 1,3 · 10⁻³ г/см³), вязкость и т. д. Подводный вулканизм протекает в более плотной среде, чем воздушная. Уже на глубине около 2 км давление паров воды в магме становится меньше давления окружающей воды. Образование паров на больших глубинах невозможно. Вулканы могут находиться и подо льдом. Такие вулканы наблюдаются в Исландии и

Бытует мнение, что вулканические извержения приносят людям и природе только вред. На самом деле это не так. Вспомним, что миллиарды лет назад благодаря вулканизму появились первые острова на поверхности нашей планеты. Это послужило началом образования материков. Выпадение вулканического пепла всегда создает плодородные почвы на склонах вулканов, что повышает урожай. Растительность восстанавливается через 20 — 25 месяцев после извержения вулкана. ■

Раскаленные газы, пар, пепел — спутники вулканического извержения.



Антарктиде. В недалеком прошлом они, например, существовали на Кавказе, а также в Саянах. ■

Признаками близкого извержения являются некоторые изменения в земной коре и сейсмические толчки. Это происходит при нарастании давления в жерле вулкана из-за пробки лавы, оставшейся от предыдущего извержения. Вещество, выбрасываемое взрывами, состоит из газов, паров, жидкой лавы и твердого материала. При небольшой мощности взрывов на поверхность прорываются только газы. Иногда объем вулканического материала такой значительный, что по периферии вулкана формируются холмистые равнины, сложенные из пепла и обломков.

В 1912 г. при сильном взрыве вулкана Катмай на Алеутских островах было выброшено в атмосферу почти 16 км^3 пепла и пемзы. У подножия вулкана толщина слоя пепла достигла 15 м, а в 160 км от него — 3 м. Взрыв вулкана был слышен за 1200 км. Пепла в воздухе оказалось так много, что вулкан и его окрестности погрузились в ночную тьму; в воздухе ощущался запах серы. При взрывах вулканов Безымянный и Шивелуч на Камчатке наблюдались такие же явления. При извержении разрушаются и выбрасываются не только материалы старых вулканов, но и породы кристаллического фундамента. Обломочный материал бывает сильно раздроблен, а потому обломки имеют остроугольную форму. Их величина достигает 15 м. ■

Слоистые вулканы ученые обычно называют **стратовулканами**. Они формируются за сравнительно короткое время, однако и оно различается: Парикутин (Мексика) — за 10 — 12 лет; Исалько (Сальвадор) — за 200 лет. За такой промежуток времени вулкан извергает на поверхность большой объем обломочного материала. Например, Ключевская сопка (Камчатка) за последние 50 лет выбрасывала в среднем около $0,03 \text{ км}^3$ обломков в год, т. е. почти 45 млн. т ежегодно.

При вулканических извержениях обычно изливается лава. Иногда ее так много, что в кратерах образуются лавовые озера. В **кальдере** (от исп. *caldera*, букв. — большой котел; здесь — котлообразная впадина) вулкана Килауэа на Гавайских островах такое лавовое озеро то появляется, то исчезает. Над его поверхностью поднимаются фонтаны магмы высотой 20 м. По трещинам часть лавы вытекает на склоны вулкана. Извержения иногда сопровождаются «палящими тучами» — раскаленными облаками. Они насыщены газами и содержат много обломочного материала. Объем лавовых потоков измеряется сотнями и тысячами кубометров в секунду. Скорость потоков зависит от вязкости вещества, наклона поверхности и колеблется от 10 до 60 км/ч. Лавовые потоки образуют волнистые и глыбовые равнины.



Наблюдать весь процесс формирования вулкана человеку приходится редко. В 1943 г. было прослежено образование вулкана Парикутин (2775 м) в Мексике. Он возник на пологом склоне, разорванном длинной и извилистой тектонической трещиной. Сначала из трещины послышался гул, в воздух поднялись столбы пара и дыма, затем полетели вулканические бомбы и пепел, и только потом показался небольшой язык лавы. Извержение пульсировало, то усиливаясь, то затухая. В первые шесть дней на ровном склоне сформировался пеплово-лавовый конус высотой 167 м, который через 10 недель достиг высоты 360 м. Облака пепла поднимались на высоту в несколько километров. В первые две недели вулкан извергал ежедневно 10 млн. т пепла, обломков и до 0,65 млн. т базальтовых лав. Жидкая лава разрушила несколько деревень. После 1952 г. деятельность вулкана почти прекратилась, но окончательно потухшим его считать нельзя. ■

Взрывы приводят к изменению облика вулканов. В 1883 г. взрывом была уничтожена половина вулкана Кракатау (Зондский пролив), когда в результате извержения море проникло в кратер вулкана. При взрыве в атмосферу было выброшено 18 км^3 пирокластического материала, который выпадал в течение 2 — 3 лет на площади около 1 млн. км². ■

Геологическим раем для вулканологов является Армянское нагорье. Широкое распространение здесь вулканических лав, туфов, разнообразных минералов — результат вулканических извержений в прошлом. Высокие базальтовые стены, словно гигантские органы, обрамляют дорогу, соединяющую Ереван с озером Севан. Розовый туф — гордость Армении — служит прекрасным строительным камнем для зданий и сооружений. Туф отличается прочностью и хорошей теплоизоляцией, легко режется на «кирпичи» разного размера, поддается обработке. В Армении есть розовый, фиолетовый, красно-коричневый, черный туф. ■

Поток лавы, стекающий по склону вулкана.

Каналы выхода паров, имеющих температуру 130 — 165°C и содержащих примеси углекислоты, мышьяка, водорода, серы, хлора и других элементов, называют **фумаролами**. Такие каналы наблюдаются в кальдерах и кратерах потухших вулканов, в лавовых потоках, на склонах вулканов. На месте выходов газов и паров формируются натечные конусы, террасы, «языки», сложенные породами, образовавшимися при кристаллизации минералов. Иногда по периферии фумарол образуются крупные скопления серы (в сольфатарах).■

Подводный вулканизм изучен слабее, чем наземный, хотя подводных вулканов на дне океанов достаточно много. В зону срединно-океанических хребтов ежегодно поступает 5 — 6 км³ лавы, тогда как на

суше — всего около 1 км³. Бывают взрывы вулканов, при которых поднимаются кипарисовидные столбы вещества. От вулкана отделяются облака (в воде!) пепла и мелкоземы, выбрасываются глыбы и вулканические бомбы. Однако излияния лав протекают здесь гораздо медленнее, чем на суше. Лавы состоят в основном из базальтов, а по форме напоминают шаровые лавы.■

О **подледном вулканизме** известно еще меньше, чем о подводном. Наблюдения в Исландии и Антарктиде показали, что эти особые вулканические процессы возникают при взаимодействии прочной земной коры, льда и атмосферы. В Исландии, например, ряд вулканов располагается в основании покровных ледников. Мощность льда, перекрывающего жерла вулканов, достигает 300 — 500 м. При извержениях, которые сопровождаются интенсивным плавлением льда, происходит высвобождение морены и смешивание ее с пирокластическим материалом.■

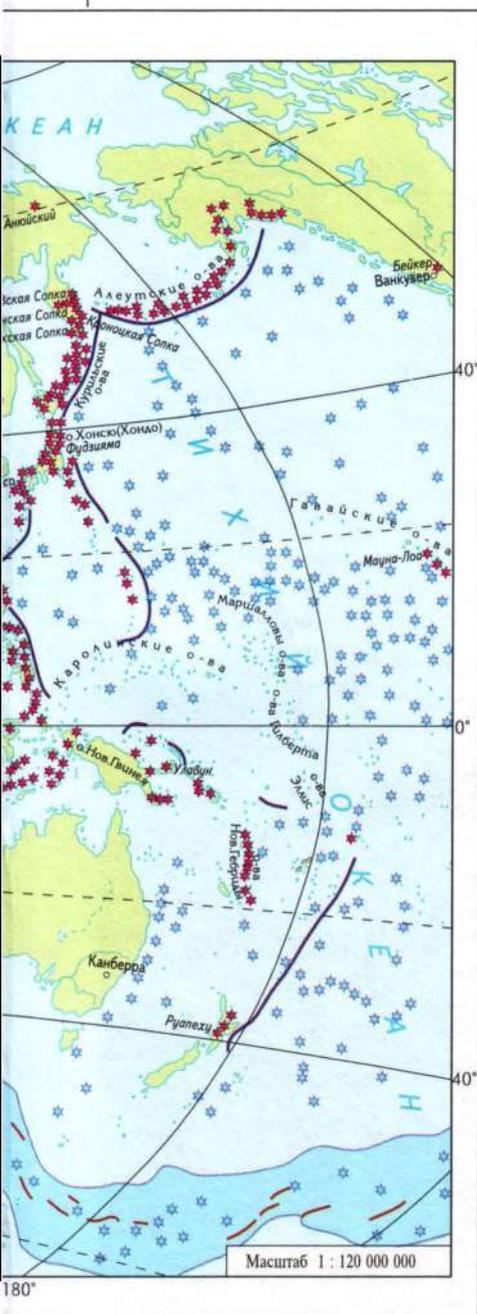
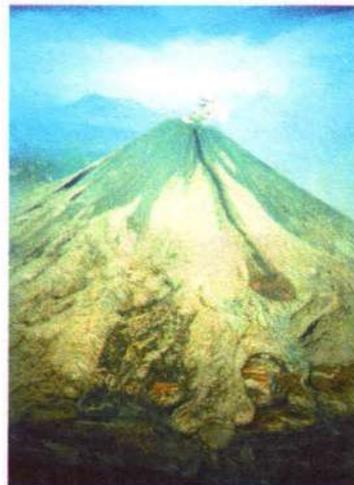
Непременные спутники вулканов — вулcano-тектонические поднятия и опускания поверхности. В Исландии длина разрывных нарушений, связанных с поднятиями, достигает десятков километров, а амплитуда — 30 — 40 м. При активизации вулканов наблюдаются не только вертикальные, но и горизонтальные подвижки. Известны крупные впадины по периферии вулканов, например вокруг Ключевской сопки, происхождение которых обусловлено оседанием земной коры после освобождения магматического источника.■



Обсидиан.

«Камень, найденный Обсидием в Эфиопии, цвету весьма черного, иногда прозрачного, но с большой темнотой и, будучи употреблен на стальные зеркала, отражает тень вместо изображения. Многие делают из него вставки для перстней, а мы видели из него целые изображения императора Августа, коему нравилась густота сего вещества. Сам он посвятил за редкость храму богини Согласия четыре слона из обсидиана...» (Кай Плиний Секунд).■

Вулкан на Камчатке.



На поверхности Земли наиболее четко прослежены границы семи литосферных плит. Вблизи «подводных» границ расположены наиболее крупные горные пояса (Северо-Американские Кордильеры, Анды, горы вблизи восточной окраины Азии, Альпийско-Гималайский пояс и др.). «Подводные» границы плит проходят по осям срединно-океанических хребтов. Как считал академик **В. Е. Хаин**, гипотеза «тектоники литосферных плит» дала полное, простое и изящное объяснение разнообразным фактам и явлениям, описанным геологией, геофизикой и геохимией. Она объединила в единую модель разные процессы, установив их взаимосвязь в глобальном масштабе. Разработка гипотезы «тектоники литосферных плит» привела к мысли о концентрации рудных полезных ископаемых вдоль окраин плит. В горных поясах континентов, расположенных ближе к морским побережьям, обнаружены сульфидные полиметаллические руды, а далее, в глубь материка, — оловяносные и месторождения редких металлов. ■

Гипотеза «тектоники литосферных плит» поставила новые вопросы о геологическом строении Земли. Не на все из них можно уже ответить. Трудно согласиться, например, с тем, что при известной слоистости литосферы, и в особенности земной коры, могут поддвигаться плиты в целом, а не их верхние части, так называемые пластины. Весьма сомнительны повсеместные перемещения плит по прерывистой астеносфере. Недостаточно объяснены тектонический режим, сейсмичность, вулканизм в континентальных районах Земли. Не нашли объяснения в этой гипотезе и цикличность тектонического развития, периодичность усиления или затухания активности планеты; не был выяснен механизм погружения океанической коры в глубоководные желоба.

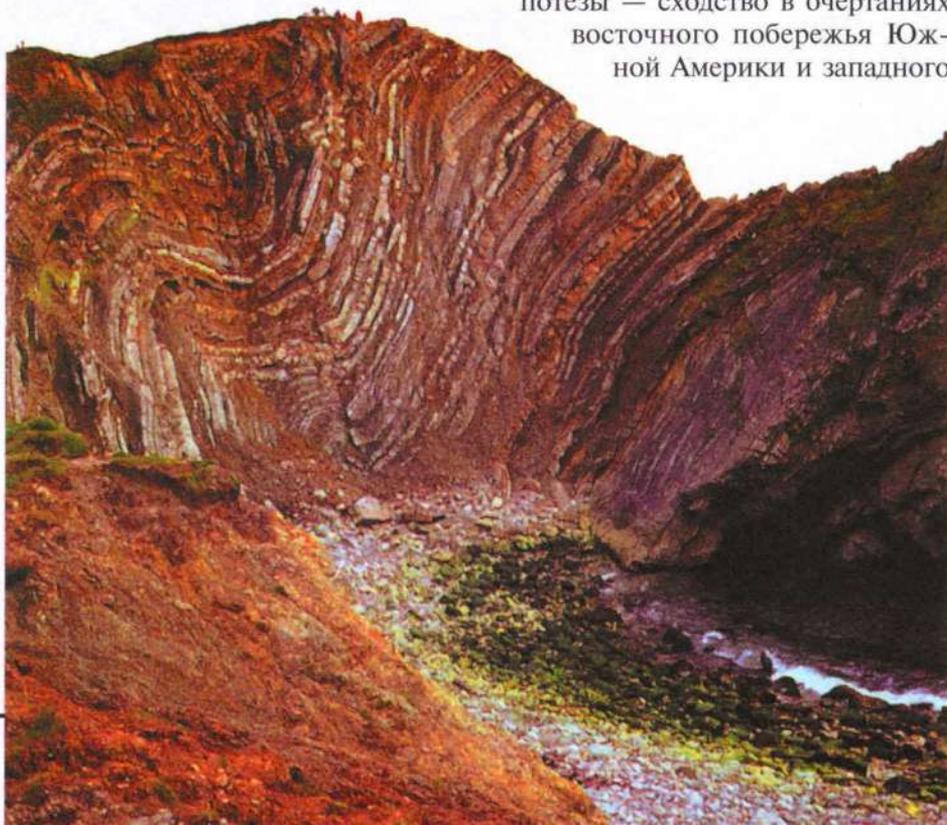
Последствия сжатия земной коры.

ЛИТОСФЕРНЫЕ ПЛИТЫ ЗЕМЛИ

Верхняя часть литосферы Земли — твердая и прочная, чего не скажешь о нижних ее горизонтах, которые постепенно переходят в литосферу с низкой вязкостью и значительно большей подвижностью. Толщина литосферы колеблется от 50 до 200 км на материках и от 5 до 15 км под дном океанов. Главное свойство литосферы — отсутствие монолитности. В литосфере имеются активные зоны, где опускаются или обрушиваются материковые окраины. Трансформные разломы разделяют всю толщу литосферы на гигантские глыбы.

Ученые давно пытались выяснить строение таких планетарных морфологических структур, как подвижные горные пояса, равнины, плато, плоскогорья. Однако различные гипотезы их происхождения основывались на представлениях о недрах Земли, существовавших прежде. Во второй половине XX в. геохимические, геофизические и геологические исследования во многих районах Земли привели к появлению гипотез о расширяющейся Земле и дрейфе материков. Кроме того, обнаружили новые данные о возможном перемешивании вещества в литосфере, о подкорковых течениях и радиоактивном распаде вещества с выделением огромного количества тепла.

Особое место в науке заняла гипотеза о движениях литосферных плит, построенная на результатах геофизических исследований океанов. В начале XX в. немецкий геофизик **А. Вегенер** (1880 — 1930) высказал идею о дрейфе материков. Отправная точка этой гипотезы — сходство в очертаниях восточного побережья Южной Америки и западного



побережья Африки. В своих работах А. Вегенер исследовал «вязко-жидкое состояние земного шара», процессы растяжения океанического дна, сущность вулканизма. Его труды стали фундаментом, на котором в 60-е гг. XX в. была построена гипотеза «**тектоники литосферных плит**».

Модель Земли по этой гипотезе выглядела так: плиты, располагаясь на пластичном веществе астеносферы и обладая разной массой, находились в неустойчивом состоянии и могли продвигаться наподобие плавающих льдин. Они включали в себя не только всю толщу земной коры, но и верхнюю часть мантии. Перемещаясь, плиты сталкивались, терлись друг о друга, погружались одна под другую. Это приводило к возникновению в литосфере активных тектонических зон. Границами плит служили осевые (в том числе и рифтовые) зоны срединно-океанических хребтов, которые получили названия зон спрединга (или расширения дна океанов). Эти зоны отличаются высокой тектонической напряженностью, о чем свидетельствуют частые и сильные землетрясения и извержения вулканов. Из жерл вулканов и тектонических трещин на дно океанов поступают лавы, формирующие океаническую кору. Лавы расплазуются по обе стороны срединно-океанического хребта. Самые молодые из лав располагаются в его центре, самые древние — по периферии дна океана, вблизи границы его с материком. Скорости спрединга в разных океанах и в разное время изменялись от 1 до 18 см в год. Возраст пород изменялся от 3 — 5 до 150 млн. лет. Это означало, что в океанической коре нет пород старше 150 — 160 млн. лет, т. е. вся она не древнее юрского периода. Однако объемы магматического и вулканического материала, поставляемого из недр Земли на дно океанов, оказались настолько значительными, что простыми расчетами удалось доказать, как начиная с юрского периода океаны заполнялись молодой корой. Геофизики предложили механизм повторного «погружения» избытков океанической коры в глубины Земли и переработки ее в мантии. Это происходило в зонах пододвигания одной толщи коры под другую, которыми служили глубоководные желоба. В их недрах происходил обмен старой океанической коры на новую. Он включал два этапа. На первом из них в рифтовых зонах срединно-океанических хребтов осуществлялся процесс плавления вещества мантии и образования базальтов, т. е. формировалась габбро-базальтовая океаническая кора толщиной около 5 км. Ее блоки, перемещаясь, достигали окраин океанов и погружали ее в мантию. На втором этапе начиналось образование континентальной коры, которая в этой модели литосферных плит рассматривалась как результат вторичной переработки и переплавления океанической коры, затянутой в зоны пододвигания плит.

Результаты бурения в глубоководных желобах пока не выявили следов «соскабливания» осадочного чехла на дне океанов, как предполагалось по этой гипотезе. Наоборот, выяснилось, что осадки в желобах отличаются почти горизонтальным залеганием. К тому же геофизики обнаружили, что литосфера проникает в мантию до глубин 600 — 700 км, а это значительно превышает толщину литосферных плит. Несмотря на некоторые слаборазработанные направления этой гипотезы, она остается популярной.



Бухты, созданные вулканическими извержениями.





Поселок, уничтоженный землетрясением.

«Я только что взял трубу, чтобы приступить к своим музыкальным упражнениям, как началось землетрясение. Сразу же стало ясно, что землетрясение нешуточное: слишком уж сильно раскачалась люстра, сделанная из корабельного штурвала. Начали падать предметы, которые раньше никогда не падали. Я бросился к дверям. На дорожке перед домом я обернулся: мой дом корчился и стонал. Во дворе падали высокие деревья. Я устремился к тому месту, где, как мне казалось, я буду в безопасности, но когда я оказался там, то увидел, что по земле поползли трещины. Куски земли непонятной формы, с рваными краями, двигались вверх-вниз, наклоняясь под всевозможными углами. Я попытался перебраться на другое место, но всюду появлялись все новые и новые трещины. Вдруг мой дом отодвинулся от меня, причем очень быстро. Я начал было перелезать через изгородь в соседний двор, как вдруг эта изгородь провалилась в землю... Появились глубокие расщелины... Потом обрушился дом моего соседа и тоже сполз в расщелину. Когда движение земли прекратилось, я выбрался наверх и увидел странный угловатый ландшафт, окружавший меня со всех сторон».

Сила землетрясения, происшедшего 27 марта 1964 г. на Аляске, в эпицентре составила 11 баллов. Очевидец — редактор газеты «Анкоридж дейли таймс». ■

Землетрясение в Иране в 1962 г. унесло более 12 тыс. жизней.

ОЖИДАЕМЫЕ И «НЕОЖИДААННЫЕ» ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Землетрясения — это очень быстрые колебания горных пород в недрах земной коры, вызывающие сейсмические толчки недр. Подземные удары длятся обычно всего несколько секунд, реже — минут. Сотрясения пород происходят в результате разрядки долго накапливающихся напряжений в литосфере с высвобождением при этом колоссальной энергии, способной разрывать на части земную кору и создавать новые формы рельефа.

Очаги землетрясений располагаются на разной глубине. Они могут находиться как в земной коре, так и в верхней мантии. Форма и поперечное строение очагов землетрясений также различаются — от сотен метров до 30 — 45 км. Место очага называют **гипоцентром**, а его проекцию на поверхности Земли — **эпицентром**.

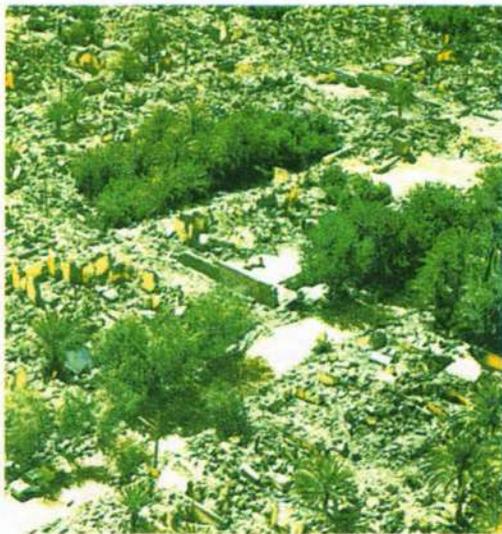
В приграничных зонах литосферных плит количество эпицентров измеряется десятками тысяч. Это наиболее сейсмоопасные территории. Встряхивания здесь происходят очень часто, сила их весьма значительна. Во внутренних частях плит есть участки, где в прошлом отмечались сильные **землетрясения**. Обычно это происходило вблизи глубинных разломов земной коры.

Сила землетрясений измеряется в условных баллах по двенадцатибалльной шкале. ■

Землетрясению, как правило, предшествует так называемый «рой» сейсмических толчков, продолжающихся многие недели, а иногда и месяцы. Подобная природная вибрация ослабляет устойчивость горных пород,

но одновременно препятствует накоплению более крупных напряжений.

Механизм развития глубоких очагов землетрясений иной: на глубине более 300 км вещество недр Земли находится в пластичном состоянии, в условиях высоких давлений (до 200 Кбар) и температуры выше 800 — 1000°C. На глубине 700 км, т. е. на пределе развития очагов землетрясений, температура вещества близка к 1500 — 1600°C. Пластичное состояние вещества препятствует появлению здесь разрывов. В таких услови-



ях происходили, вероятно, химические превращения минералов, высвобождение из них воды, растрескивание. Подобные превращения в огромных объемах пород, содержащих эти минералы, приводили к скачкообразным деформациям вещества. Возможно, это и являлось причиной сейсмических толчков.

Таким образом, механизмы развития очагов землетрясений на малых и больших глубинах неодинаковы, это осложняет прогноз землетрясений. ■

В зонах активных тектонических разломов землетрясения наблюдаются довольно часто. В феврале 1976 г. произошло катастрофическое землетрясение в Гватемале (Центральная Америка). Эпицентр его находился в зоне разлома Мотагуа, где сила сейсмических толчков составила около 10 баллов при магнитуде в 7,5. Очаг располагался на глубине всего 5 — 10 км. Сейсмологи предположили, что сдвиги по этому разлому были связаны с подвижкой литосферных плит.

Изучая эпицентры наиболее крупных землетрясений, связанных с движениями земной коры вдоль разломов, ученые обратили внимание на постепенное горизонтальное смещение каждого из эпицентров относительно предыдущего. Это легло в основу гипотезы миграции эпицентров. Вдоль крупных среднеазиатских разломов (Дарваз-Каракульского и Гиссаро-Кокшаальского) было установлено смещение эпицентров сильных землетрясений, скорость которого, по данным российского ученого А. А. Никонова, составила (за период 1710 — 1980 гг.) 1,3 — 5,5 км в год. Последовательность смещения эпицентров крупных сейсмических толчков указывает на то, что разрядка тектонических напряжений в одном месте разлома сразу же ослабляет устойчивость соседних участков. Разлом как бы последовательно «вспарывается» изнутри. Сведения о миграции эпицентров помогают прогнозировать землетрясения. ■

Хотя процесс формирования напряжений в земной коре изучен достаточно неплохо, механизм развития крупных землетрясений на платформенных равнинах еще не определен. Имеются сведения о землетрясениях в «спокойных» равнинных областях Австралии, Северной Америки и т. д. Сейсмологи стали относить их к так называемым внутриплитовым землетрясениям, примером которых может служить Унгавское землетрясение 1989 г. (на полуострове Лабрадор, Северная Америка). Оно имело магнитуду 6,0. В результате толчков здесь появились трещины и надвиги длиной около 8 км. ■

Хозяйственная деятельность человека часто провоцирует землетрясения. Сначала такие землетрясения считали «неожиданными», но это не совсем так. При заполнении водохранилищ водой ее большие массы резко увеличивают нагрузку на верхние горизонты земной коры. Вода проникает по трещинам в глубину пород, вызывая их неустойчивость. Эти породы существовали в совершенно иных условиях десятки тысяч лет. Недра Земли не успевают быстро приспособиться к новым условиям, и в толщах пород образуются разрывы, сдвиги. «Неожиданные» землетрясения происходят также в местах, где откачивают подземные воды, добывают нефть и газ, роют карьеры. ■

При землетрясениях высвобождается гигантская энергия. Она на один-два порядка выше энергии атомных взрывов. Энергия измеряется в магнитудах. Это условная величина — логарифм отношения амплитуды смещения частиц грунта к такой же амплитуде при «эталонной» землетрясении. Самые сильные землетрясения на Земле имели магнитуду от 7 до 8,5. ■

В полосе Байкальского рифта (в России) постоянно отмечаются участки с очень высокими тектоническими напряжениями в земной коре. И как следствие этого — частые землетрясения. ■



Трагические последствия землетрясения.

Волновые движения земной коры прошли под этим домом.



В январе 1973 г. на острове Веймаей (Исландия) проснулся вулкан, дремавший более 7 тыс. лет.

Огромная зона трещин длиной более 1,5 км расчленила остров. В самом начале извержения целый каскад лавовых фонтанов из более чем 40 жерл на дне трещины создал огненную стену высотой 100 — 150 м. Часть лавы растекалась потоками.

В конце зияющей трещины, которая оказалась под водой океана, произошли три коротких подводных извержения. Лава ярко светилась даже на глубине 30 — 40 м. Там, где она соприкасалась с водой, возникли турбулентные движения воды. На суше жерла постепенно стали принимать облик низких вулканических конусов, но они извергались недолго. Через 16 — 18 ч после начала извержения активными остались только два кратера. Правда, при этом высота лавовых фонтанов достигала 200 м, а отдельные вулканические бомбы выбрасывались на высоту 2,5 км.

Потоки лавы достигли океана. Дома и улицы близлежащего городка были покрыты пеплом и пемзой. Для того чтобы защитить город от надвигавшейся лавы, люди стали охлаждать лавовый поток, поливая его водой. К счастью, им удалось не только замедлить его движение, но и создать холодный барьер на его пути. Однако в этой борьбе вулкан все же победил: он разрушил жилые дома, электростанцию, промышленный комбинат. ■

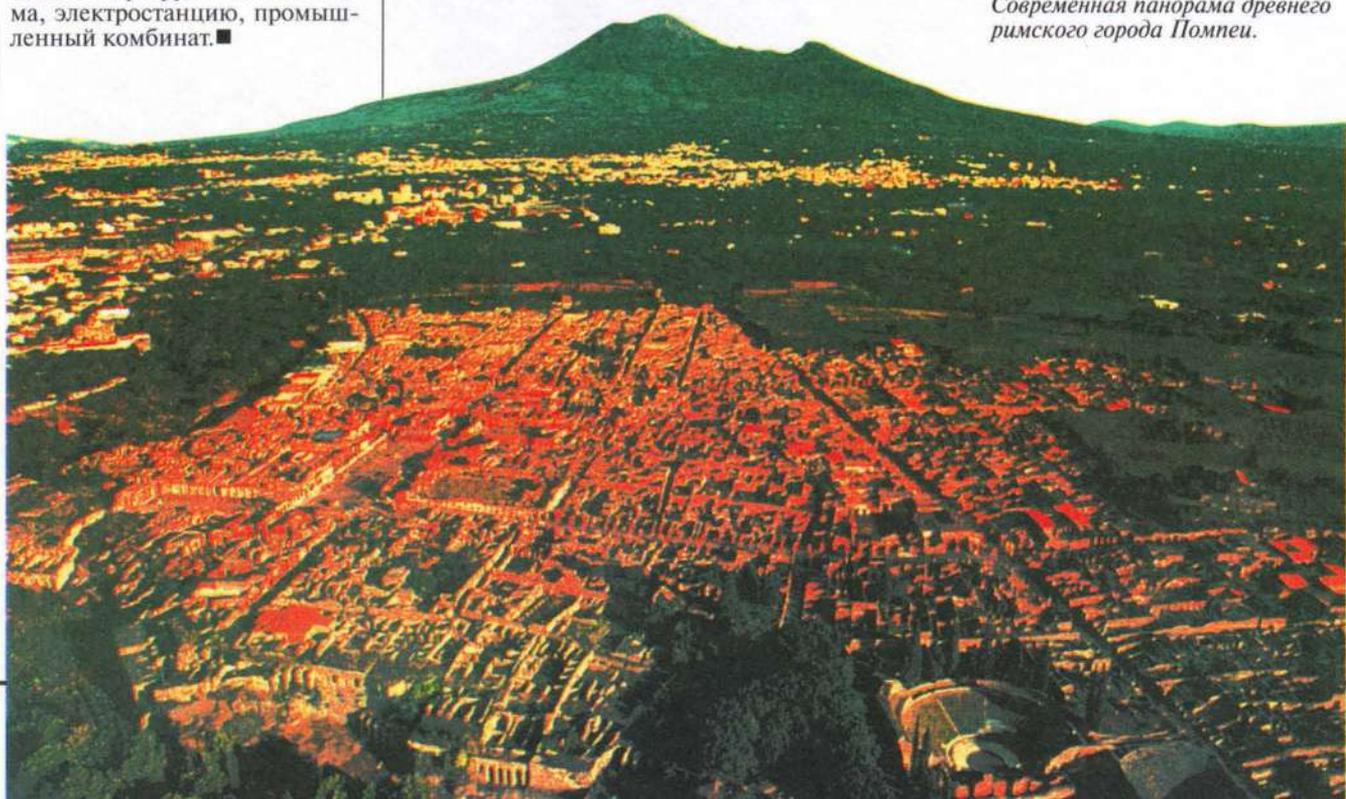
ДРЕМЛЮЩИЕ ВУЛКАНЫ

В истории Земли известно немало случаев, когда внезапно начинали активно действовать давно потухшие вулканы. Они есть во Франции и Италии, в Исландии и на Камчатке, на островах Океании.

Самым известным из дремлющих вулканов можно считать Везувий. До 79 г. до н. э. на его склонах располагались богатые города, леса, посевы. За 6 тыс. лет до н. э. Везувий сформировал кальдеру, но его извержения закончились примерно около 1200 г. до н. э. После этого наступил длительный период спокойствия, который прервался через 1000 лет — в 79 г. до н. э., когда взрыв полностью разрушил вершину Везувия, а гигантские выбросы пемзы и пепла засыпали и уничтожили города Геркуланум, Помпею, Стабию. В последние 200 лет взрывы происходили с интервалом 40 — 50 лет. После излияния лавы в 1944 г. вулкан затих. Считается, что его магматический очаг, находящийся на глубине всего 4 — 5 км, пока не набрал необходимого количества раскаленного вещества. ■

В самом центре Франции, в низких горах Центрального Французского массива, находится плоскогорье Канталь. Здесь были обнаружены базальтовые лавы, а позднее и вулканы, действовавшие в миоцене, плиоцене и даже в голоцене. Неожиданной была находка обожженных лавой стволов деревьев, произраставших здесь 7650 лет назад. Вероятно, после этих последних извержений вулканы погасли. ■

Современная панорама древнего римского города Помпеи.



В России к числу дремлющих вулканов относится Эльбрус. Его лавы прекратили изливаться 10 тыс. лет назад, но на вершине сохранились (или вновь образовались) термальные поля с газово-паровыми выделениями — **фумаролами**. Они создали в снежно-ледовом панцире Эльбруса пещеры и гроты, где температура воздуха на высоте свыше 5 тыс. м достигает $+16... +18^{\circ}\text{C}$ при наружной температуре около -10°C . В воздухе ощущается запах сероводорода.



Магматический очаг вулкана Эльбрус находится на глубине около 5 — 10 км. Предполагается, что температура расплавленного вещества в его центре достигает $+600^{\circ}\text{C}$. Вблизи Эльбруса и на его склонах часто отмечают сейсмические толчки в 3 — 4 балла, свидетельствующие об активности магматического очага. Сколько еще продлится «спячка» вулкана — неизвестно.

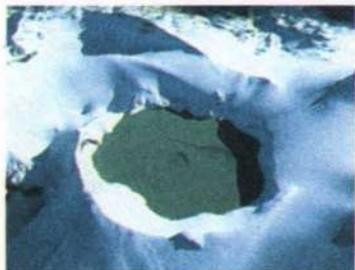
Остается неясно, сколько еще «проспит» и другой дремлющий вулкан — Балаган-Тас (Якутия-Саха), прекративший свою активную деятельность и заснувший примерно в 1770 г.

Но литосфера Земли постоянно находится в движении и развитии. И процессы, происходящие в ней, более сложные, чем это можно предположить. Литосфера открыла людям лишь часть своих тайн, так что многое еще предстоит разгадать. ■

На юго-восточном побережье Северного острова архипелага Новая Земля, в районе бухты Вершина, исследователями были отмечены мелкие вулканические «трубки взрыва», возраст которых определен в 1,6 млн. лет. «Трубки взрыва» сложены агломератовыми лавами и крупно-обломочными брекчиями (сцементированная обломочная горная порода) основного и ультраосновного состава, а также туфобрекчиями и пористыми шлаками. Все породы относительно молоды. Шлаки окрашены в вишнево-красные и коричневые цвета. ■

В 1998 г. были опубликованы данные о возрасте вулканических аппаратов, сложенных щелочными базальтами, обнаруженными на севере Шпицбергена. Начало вулканической деятельности произошло здесь еще 30 — 40 тыс. лет назад. Один из молодых вулканов (вулкан Сверре) действовал 10 — 11 тыс. лет назад. Последнее извержение произошло 6200 лет назад.

Данные о четвертичном и голоценовом (последнеледниковая эпоха) вулканизме позволяют геологам по-новому рассмотреть последние эпохи в палеогеографии Арктики. В частности, необходимо исследовать возможность вулканического «потепления» отдельных ее районов. ■



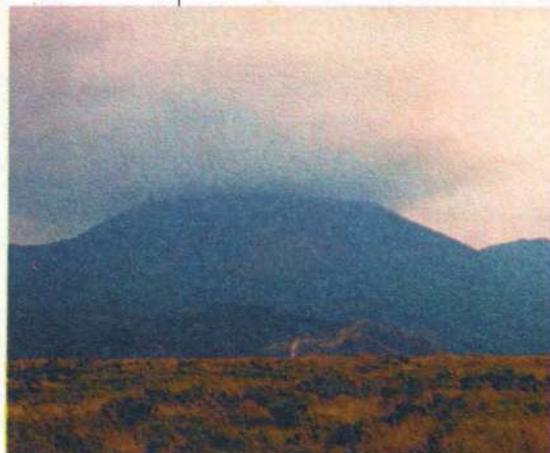
Вулканический кратер.

Во время только одного извержения образуется достаточно пепла, чтобы похоронить под ним целый город. Теперь археологи могут совершенно достоверно судить о его жителях и об укладе их жизни. ■



Слепок человеческого тела, оставшегося в толще вулканического пепла. Обнаружен при археологических раскопках в городе Помпея.

Туча пепла при извержении вулкана закрывает горизонт.



Золото было известно как драгоценный металл с IV тыс. до н. э.



Его ценили древние шумеры, египтяне, ацтеки, инки, майя, греки и римляне. У некоторых народов золото первоначально было объектом культа, а потом стало использоваться в качестве денег.

Поиски камней-самоцветов древними старателями.

ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ

Значительная часть минералов, горных пород, подземных вод, газов используется человеком. Разделение их на полезные и бесполезные ископаемые, конечно, условно. Это зависит не от самих ископаемых, а от экономической целесообразности их добычи. Однако термин «полезные ископаемые» давно вошел в литературу и сознание людей.

Наиболее часто среди полезных ископаемых называют нефть, газ, уголь, золото, алмазы, медь, никель и др. Выделяются группы **металлических**, **неметаллических** и **горючих** ископаемых. По своему физическому состоянию они бывают твердые, жидкие и газообразные.

Полезные ископаемые распределяются в зависимости от горных пород, образовавшихся в определенных тектонических условиях. Например, нефть, газ и уголь залегают чаще всего в областях распространения осадочных пород; золото и алмазы — в областях с магматическими породами; каменная соль — в районах с соленосными пластами.

Скопления полезных ископаемых в одном месте образуют их залежи, проявления или даже месторождения. Разведанные и оцененные скопления полезных ископаемых считают месторождениями. Они могут иметь как промышленное, так и непромышленное значение. Промышленными называют те месторождения, разработка которых в данное время экономически выгодна и целесообразна. ■

Металлические полезные ископаемые в недрах Земли — это железо, марганец, хром, золото, серебро, цинк, медь, олово и другие металлы. Все они являются твердыми ископаемыми, хотя среди них есть и





Золотые самородки из Калифорнии.



исключения. К ним, например, относится самородная ртуть в виде жидких капель или даже маленьких ртутных озер.

Руды черных металлов (железные, марганцевые, хромитовые) часто встречаются

в древних метаморфических породах, где они бываю́т представлены магнитным железняком, железистыми кварцитами, гематитом и др.

Железистые кварциты образуют иногда очень крупные месторождения (Курская магнитная аномалия и т. п.). Железистые кварциты в центре Русской равнины образовались около 700 млн. лет назад в результате метаморфизма осадочных пород.

С древними осадочными породами связаны и месторождения марганца, образовавшиеся первоначально на дне морских заливов.



Самородное серебро. Один из старейших и известнейших драгоценных металлов. Издавна использовалось в качестве денег. Сегодня находит применение в фотографии, электронике и медицине.

В группе цветных металлов особое место занимают золото, серебро и платина.

Они мало изменяются со временем, необыкновенно устойчивы к химическим преобразованиям, не растворимы большинством кислот. Золото, серебро и платину выделяют в качестве драгоценных металлов.

Золото встречается там, где на поверхности обнажаются древние граниты и вулканические породы. В таких местах земная кора в прошлом была весьма активной, и в ней неоднократно возникали участки сжатия и расширения горных пород, а по трещинам вверх поднимались раскаленные магмы, создавая рудные тела. Золото и платина — минералы, обладающие большой плотностью (золото — 19 — 19,5 г/см³; платина — 21 г/см³), благодаря чему реки, размывающие скопления ценных минералов, не могут далеко переносить их частицы. Таким образом, недалеко от рудных месторождений образуются россыпные месторождения, или россыпи. ■

В группе неметаллических полезных ископаемых выделяют горно-химическое сырье (апатит, фосфорит, соль, сера), огнеупорное сырье (глина, кварцит, магнезит), электрохимическое и изоляционное сырье (слюда, флюорит, корунд, пьезооптический кварц), разнообразные строительные материалы (песок, глина, щебень, галька). Самое распространенное полезное ископаемое в этой группе — каменная соль. Она образуется в результате выпаривания соленых вод в жарких условиях.

Месторождения каменной соли обычно образуются в древних прогибах, которые заливались морскими водами. В угольном Донбассе, например, соль «моложе», чем уголь. Ей всего 200 — 210 млн. лет, и образовалась

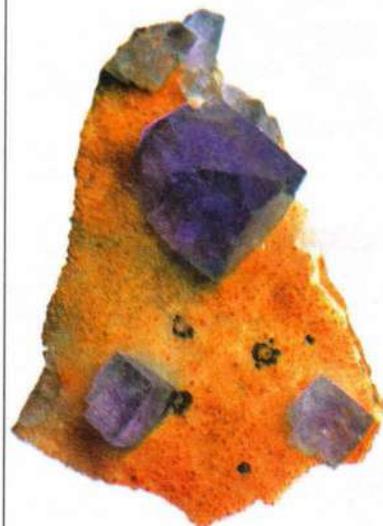


Сросток кристаллов платины.



Самородок платины весом 85 г.

Флюорит в кварце.





Октаэдр алмаза в кимберлите.

При погружениях одной из исследовательских подводных лодок на Восточно-Тихоокеанском поднятии ученые обнаружили на дне Тихого океана низкие холмы, в центре которых располагались отверстия — жерла, откуда постоянно поступала сильно минерализованная вода с твердыми частицами. Температура воды составляла $+375^{\circ}\text{C}$. Очертания холмов напоминали пологие конусы со столбами на их вершинах. Высота холмов достигала 20 м, а диаметр основания столбов — 5 м. Холмы протянулись цепочкой более чем на 1,5 км и были сложены пористыми породами красного, коричневого, оранжевого и серого цветов с крупными обломками вулканического стекла. Некоторые из обломков представляли собой трубочки диаметром примерно 0,5 — 3 см. В разрезе трубочек были обнаружены опал, пирит, сфалерит, гидроксиды железа, золото, серебро, платина.

Возраст рудных столбов, насыщенных на широкое основание из пород, составлял 300 — 700 тыс. лет. Над жерлами иногда поднимались облака «дыма» — раствора, насыщенного очень мелкими частицами молочно-белого цвета. За секунду изливалось около 7 — 10 л раствора. Такие явления получили название «белые курильщики». В других же местах океана холмы имели черный цвет, на фоне которого ярко выделялись оранжевые жерла с изливающимися растворами. Здесь поднимался черный «дым» до высоты 300 — 400 м. Это «черные курильщики». ■

она в древней лагуне пермского периода, когда здесь был жаркий и сухой климат. Однако самая большая кладовая соли находится в Северном Прикаспии. Разбросанные на этой огромной равнине пологие низкие холмы почти целиком сложены каменной солью. Здесь ее около 1500 млрд. т. Плотность соли — около $2,2 \text{ г/см}^3$. Она отличается одновременно хрупкостью и текучестью. Геологические исследования показали, что соль в Прикаспии залегает в виде крупных куполов, верхние части которых достигают поверхности, а нижние располагаются на глубине 8 — 9 км. Соляные купола в разрезе представляют собой как бы застывшие всплески гигантских капель воды внутри пластов песчаников и глин. Форма куполов различна — от наковальни до цилиндра; площадь куполов — сотни квадратных километров. Всего же в этом районе Земли насчитывается более 1300 куполов, возраст которых почти 250 млн. лет. Главными причинами образования соляных куполов геологи считают наличие соленосных глин, постоянное прогибание впадин, что вызывает накопление осадков и в связи с этим увеличение давления на соленосные пласты, а также способность соли «течь» под давлением от одного места к другому, в том числе выдавливаясь вверх к поверхности Земли.

Другое неметаллическое ископаемое — алмазы. По своему химическому составу алмаз близок к графиту, однако условия образования его иные. Представим себе трубку овального сечения, уходящую на глубину 80 — 100 км. Трубка проникает сквозь осадочный и гранито-гнейсовый слой. Ее внутренняя часть заполнена кимберлитами — брекчиями основного состава, возникшими при чрезвычайно сильном давлении и высокой температуре. Миллионы лет назад давление и температура в трубке резко менялись, приобретая часто характер взрыва (отсюда пошло название «**трубки взрыва**»). Температура образования алмазов при таких взрывах составляла около $1300 - 1500^{\circ}\text{C}$, а давление — не ниже 50 тыс. атмосфер. В кимберлитах находят обломки эклогитов — пород верхней мантии, что указывает на проникновение «трубки взрыва» глубже нижней границы литосферы. Наиболее крупные «трубки взрыва» достигают в поперечнике 1 км. В них и содержатся алмазы. Алмазоносные «трубки взрыва» известны сейчас в Африке, Австралии, Индии, Якутии, на севере Русской равнины и в других регионах.

Алмазы широко используются в технике и ювелирной промышленности.

К неметаллическим полезным ископаемым относятся минералы из группы самоцветов (изумруд, сапфир, аметист, рубин и др.). Они встречаются редко и широко используются в ювелирном деле. ■



Фрагмент кристалла из Бирмы.



Рубин в породе из Норвегии.

Горючие полезные ископаемые — это каменный уголь, торф, нефть, газ. Каменный уголь находят в месторождениях на всех материках. Его происхождение связано с последовательным накоплением торфа, ко-



Каменный уголь.

торый под давлением и в результате химических процессов превратился в бурый уголь, а затем, когда в пласте температура и давление повысились, в антрацит. Однако последний этап не всегда завершался накоплением угля, поэтому месторождения бурого угля иногда соседствуют с месторождениями каменного угля. В антраците — около 95% углерода, в буром угле его 70%, а в торфе — 50 — 65%. Торф обычно накапливался на поверхности заболоченных равнин в умеренных климатических условиях.

Хорошо известны угольные месторождения Донбасса, Урала, Воркуты, Подмосковья, Восточной Сибири и Приморья.

Нефть и газ также относятся к горючим ископаемым. Они, как правило, залегают в недрах обширных равнин или крупных тектонических прогибов, на месте существовавших здесь когда-то дельт крупных рек. На Русской равнине накопление речного ила и песка происходило в прошлом на прибрежных низменностях. Растительные остатки и планктон при участии бактерий насыщали отложения органическим веществом, в результате биохимического превращения которого сначала появлялись капельки нефти, а затем и целые нефтеносные слои. Тектонические движения земной коры в таких регионах создавали складки горных пород — ловушки для накопления нефти и газа. Одно из самых крупных в мире месторождений нефти в Персидском заливе обязано дельтовым и устьевым участкам рек Тигра и Евфрата, существовавшим еще 70 — 90 млн. лет назад.

Нефтяные залежи образовывались в последние 600 — 900 млн. лет и сейчас иногда встречаются в очень древних горных породах. В них нефть заполняет трещины и поры, а также пустоты выщелачивания. ■



Поиски и разведка месторождений алмазов в так называемых «трубках взрыва» привели геологов к мысли о необходимости изучать эти трубки в качестве природных скважин, которые исходят из верхней мантии Земли и пронизывают земную кору. ■

Торф. Образуется из растений, разложению и гниению которых препятствует отсутствие доступа воздуха.



«Большая дыра» в Южной Африке на месте алмазной шахты XIX в.

Кристаллы алмаза. Поперечник самого крупного из них составляет 11 мм.



Изучением рельефа Земли занимается наука геоморфология. Ее название произошло от греческих слов *geo* — Земля, *morphe* — форма, *logos* — учение. Геоморфология — наука о строении, размещении и истории развития рельефа суши и дна океанов. Она возникла на стыке наук географии и геологии, вобрав в себя методы той и другой, создав новую методику исследований Земли. Геоморфология объединила изучение процессов образования неровностей планеты и их разрушения. ■



Обрывистые склоны гор на острове Мадагаскар.

Возраст рельефа определить гораздо сложнее, чем горных пород и минералов, поскольку в отличие от горных пород его развитие продолжается и сейчас.

Что же осталось от древнего рельефа? Если мы зададим себе такой вопрос, глядя на рельеф Подмосковья, то станет ясно, что он мог возникнуть только после того, как эти районы покинул последний ледник (т. е. около 220 тыс. лет назад), и после того, как реки успели сформировать свои долины (т. е. около 90 — 110 тыс. лет назад). За эти десятки тысяч лет от древнего рельефа сохранилось главное — неглубокие долины рек, сглаженные рыхлыми отложениями. ■

Древнее «корыто» бывшей ледниковой долины в Пиренеях.

РЕЛЬЕФ ЗЕМЛИ

«Спокойная» жизнь каменной оболочки Земли заканчивается, как только она соприкасается с водой или газами. Тогда на земной поверхности происходят удивительные превращения горных пород и минералов, наблюдаются явления, которые в глубоких недрах просто не могут возникнуть.

Рельеф Земли — это сочетание разнообразных неровностей поверхности, как больших, так и маленьких, возникших в результате деятельности внешних и внутренних сил. Важную роль в образовании рельефа играют тектонические движения, сила тяжести, плотность и состав горных пород, деятельность вулканов и текучих вод.

Грозные силы природы, приводя в движение прочнейшие скальные массивы, как разрушают их до основания, так и создают новые горы, впадины, ущелья и долины. Даже на дне океанов возникают огромные равнины, которые со временем покрываются илом и крупными обломками. Происходит это довольно медленно, и всей человеческой жизни не хватит, чтобы заметить изменения поверхности. Она как будто дышит — то поднимается, то опускается, по ней пробегает волны, она лопается от возникших напряжений.

На поверхности планеты происходит циркуляция воды (из атмосферы на сушу и далее в океан), воздушных масс, смена растительного покрова и миграция животных, перемещение крупных обломков и мельчайшей пыли. Все это ученые считают процессом обмена веществом и энергией, который приводит к образованию рыхлых осадков, а вместе с тем к формированию рельефа, т. е. к процессу **морфолитогенеза**. Даже если несколько песчинок передвинутся ветром или водой на небольшое расстояние, на поверхности появится маленькая ямка или бугорок.

Однако **морфолитогенетический анализ** выявляет только часть связей между рельефом, атмосферой и природными водами. Другую часть связей показывает **морфоструктурный анализ**.



Морфоструктурами называют геологические структуры, выраженные в современном рельефе. Самыми крупными морфоструктурами на Земле являются **материки** и **океаны**. Они относятся к планетарным морфоструктурам, внутри которых находятся **горные пояса**, **плоскогорья** и **равнины**, **подводные хребты** и **котловины**, отличающиеся строением земной коры, видом и скоростью тектонических движений, степенью участия других факторов в их образовании. Таким образом, планетарные морфоструктуры состоят из менее крупных региональных морфоструктур. ■

Рельеф крупных регионов формировался многие миллионы лет. На местах древних платформ на поверхность обычно выходит кристаллический фундамент, сложенный гнейсами, гранитами, сланцами и песчаниками. Такой фундамент служит для рельефа основанием, цоколем, а равнины, сложенные этими породами, получили название **цокольных равнин**. В России их можно встретить в Карелии, на Кольском полуострове, на севере Сибири.

Равнины на древних платформах и щитах появились сотни миллионов лет назад. Цокольные равнины, например, относятся к палеозойскому периоду. Планетарный рельеф тесно связан с наиболее крупными морфоструктурами Земли.

Региональные морфоструктуры возникли несколько позже планетарных. В их развитии участвовали тектонические движения, а на их фоне происходили процессы дробления пород, перемещения верхних горизонтов литосферы и др.

Морфоструктурный анализ используется при изучении крупных форм рельефа, сложенных разными породами; тектонических движений, обусловивших появление крупных форм рельефа; разрывных нарушений — разломов, ограничивающих морфоструктуры. ■

Если говорить о возрасте рельефа крупных горных поясов, то очевидно, что возраст их не менее 200 млн. лет; если же речь пойдет, например, о возрасте Кавказских гор, то он будет составлять 80 — 90 млн. лет. В обоих случаях для определения возраста рельефа нужно знать начало появления самых крупных и характерных его форм. В горных областях это образование не только хребтов, но и межгорных впадин.

Часто для определения времени начала разделения рельефа на холмы и возвышенности, горы и впадины в качестве начальной точки отсчета принимают возраст одной из древних **поверхностей выравнивания**. Так называют существовавшую в прошлом на многих материках волнистую, слабо расчлененную эрозией равнину.

Начало эрозионного разделения равнины — точка отсчета для определения возраста рельефа.

Возраст рельефа — время, прошедшее с момента образования его современного облика. Оно измеряется в едином масштабе времени — в годах, сотнях, тысячах, миллионах лет, хотя часто используют диапазоны времени, называя рельеф мезозойским, неоген-четвертичным, позднелайстоценовым и др. ■

Формы разрушения горных склонов на севере Канады.



Горные склоны Аляски.

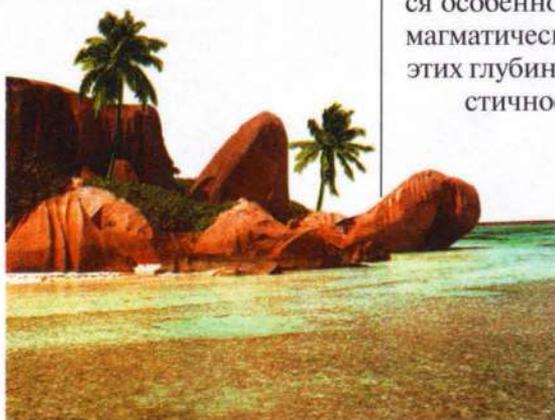
История рельефа Земли насчитывает миллиарды лет. Изучение самых древних горных пород — гнейсов и сланцев протерозойского возраста (2 — 3 млрд. лет назад) показало, что уже в то время существовали низкие горы, по склонам которых текли реки, а вершины кое-где были покрыты небольшими ледниками. С гор на заболоченные равнины сносились щебень и песок, неглубокие моря обрамляли континенты и острова. Самые древние из известных науке речных отложений принадлежат к раннему протерозою, с ними же связаны самые древние россыпные месторождения золота. В эту невообразимо далекую эпоху на суше вследствие резкого и длительного иссушения климата периодически возникали эоловые пустыни. ■



А вот как описаны экзогенные процессы в сказке С. Лагерлеф «Чудесное путешествие Нильса с дикими гусями». Хотя скорее всего автор и не подозревала, что эти процессы так называются.

«Давно уже в этих местах между Землей и Морем шел нескончаемый спор. Вдали от берега у Земли только и было забот, что о картофеле, об овсе и о репе. Про Море она и не думала. И вдруг узкий и длинный залив, как ножом, разрезал Землю. Земля отгородилась от него берегой и ольхой и снова занялась своими обычными делами...

Но вот еще один залив рассек Землю. Земля и на этот раз окружила его деревьями, словно это был не морской залив, а



обыкновенное пресное озеро. А заливы бороздили уже весь берег. Они ширились, вторгались в самую середину лесов и полей, дробили Землю на мелкие кусочки.

Море хотело захватить Землю. Земля хотела оттеснить Море. Земля подбиралась к Морю отлогими зелеными холмами. Но Море выбрасывало ей навстречу песок и складывало у берега сыпучие горы.

— Не пушу! — говорило Море.
— Не сдамся! — говорила Земля. И она поднималась перед Морем отвесной скалистой стеной.

Тогда Море начинало яростно биться. Оно шумело и пени-

При отливах море отступает, оставляя за собой обширные лагуны.

ВНУТРЕННИЕ И ВНЕШНИЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ ЗЕМЛИ

Как внутри Земли, так и на ее поверхности происходят процессы, которые определяют формирование рельефа.

Каждому региону на Земле, на суше и на дне океана свойствен собственный тектонический режим, определяющий развитие рельефа. Эндогенный фактор образования рельефа включает тектонические, сейсмические и вулканические явления. До глубины 400 — 700 км прослеживаются особенно крупные разрывные нарушения, гипоцентры землетрясений, магматические очаги, с которыми связаны вулканические процессы. На этих глубинах происходят переходы вещества из твердого состояния в пластичное и даже жидкое (и обратно), разогревание и плавление его в результате радиоактивного распада, гравитационная и химическая дифференциация веществ.

Эндогенные процессы (от греч. endon — внутри и genes — рожденный) бывают как активными и длительными, например в вулканических поясах, так и импульсивными.

Внешние процессы, называемые **экзогенными** (от греч. exo — вне и genes — рожденный), протекают на поверхности литосферы благодаря воздействию солнечной энергии, силе тяжести, физико-химическим изменениям горных пород и осадков, перемещению веществ из недр Земли в вертикальном и горизонтальном направлениях. Накопление осадков

на дне морей и океанов, перемещение рыхлого материала на суше — также результат экзогенных процессов. ■

Основной источник энергии внешних сил планеты — это солнечная энергия. Из нее на экзогенные процессы расходуется около 60%, остальная часть возвращается во взвешенное пространство. Солнечная энергия поглощается Мировым океаном. Это определяет высокую степень подвижности его вод: течений, вихрей и др. Но и на суше достается значительная доля энергии, которая не только расходуется, но и идет на накопление, уплотнение и преобразование осадков и минералов. Немалая часть ее сохраняется в биосфере Земли. Помимо солнечной энергии



на создание форм рельефа расходуется энергия падающих на Землю космических тел — метеоритов. Нетрудно заметить, что у эндогенных и экзогенных процессов имеются общие источники энергии: солнечное излучение, вращение планеты и физико-химические превращения вещества. Однако экзогенные процессы теснее связаны с географическими и прежде всего с ландшафтно-климатическими условиями. Для каждого ландшафтного пояса характерны свои действующие экзогенные процессы. Установлено, что главным фактором в распределении и свойствах экзогенных процессов является непосредственное соотношение тепла и влаги. Это энергетическая основа многих географических процессов на поверхности Земли, в том числе процессов образования рельефа. Распределение тепла и влаги на поверхности планеты никогда не было постоянным. Это зависело от величины угла наклона оси вращения планеты, которая менялась от $15^\circ - 20^\circ$ до $30^\circ - 40^\circ$. Сейчас этот угол составляет около 27° . ■

На проблему происхождения и развития рельефа суши и дна морей ученые смотрят по-разному. Одни полагают, что океаны возникли одновременно с появлением планеты. Однако они постоянно сокращают свою площадь, поскольку идет рост континентов. Другие считают, что океаны возникли при разрыве и дрейфе первичных материков, когда пространство между ними стало заполняться водой. Третьи предполагают, что океаны возникли на месте существовавших некогда континентов в результате «океанизации» Земли. ■



Разрушение берегов волнами называется абразией. В этом процессе активное участие принимают шторма.

никли на месте существовавших некогда континентов в результате «океанизации» Земли. ■

лось, оно кидалось на утесы так, словно хотело растерзать на части всю Землю.

Но Земля пускалась на хитрости. Она выставляла заслон из множества островов — шхер. Они держались крепко, как солдаты в строю. В первой шеренге стояли самые заслуженные старые бойцы. На них давно и травинки не осталось: свирепые волны срывали с них даже водоросли — из пены поднимались только камни, источенные глубокими морщинами. Море перекатывалось через них, шло на приступ дальше. Но все новые и новые защитники вставали на его пути. И Море билось с ними, постепенно истощая свою ярость. А когда добиралось наконец до Земли, у него уже не было сил, и оно мирно плескалось у зеленых островков». ■

Модель «первичных океанов» возникла из предположения о существовании на Земле в самые первые эпохи ее развития тонкого слоя воды, когда материков вообще еще не было. На «лунной стадии» развития Земли при повсеместном вулканизме слоя воды, покрывавшего весь земной шар, также быть не могло. Поэтому первые моря и океаны Земли были мелководны и совершенно не походили на современные. ■





Вулканы на Гавайских островах извергаются почти ежедневно.

ЭНДОГЕННЫЕ И ЭНДО-ЭКЗОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ РЕЛЬЕФООБРАЗОВАНИЯ

В рельефе извержение вулкана всегда проявляется быстро. Например, извержение вулкана Стромболи (недалеко от Италии) в 1930 г. началось с того, что незадолго до взрыва весь остров, на котором расположен вулкан, поднялся почти на метр, а потом снова опустился. В результате на море возникли волны высотой более 2 м. Затем произошел выброс пепловой тучи, а через 1,5 часа раздались два мощных взрыва, и огромная масса обломков поднялась на высоту 2,5 км. Глыбы весом до 30 т были отброшены на несколько километров, после чего начались выбросы раскаленного шлака и пепла. Взвесь из пепла и обломков вместе с горячими газами образовала раскаленную лаву, температура которой доходила до 700°С. ■

Энергия, сосредоточенная в недрах Земли, влияет на появление самых крупных неровностей на ее поверхности. Однако строгую границу между эндогенными и экзогенными процессами рельефообразования провести невозможно. К тому же эндогенные превращения вещества и динамика земной коры сказываются на появлении и развитии рельефа далеко не всегда. Особенности верхней мантии слабо отражены в планетарном рельефе, не говоря уже о рельефе небольших горных областей или целых материков. Многие геологические и тектонические структуры и рельеф на равнинах и плоскогорьях едва различаются между собой.

Облик рельефа, обусловленного эндогенными процессами, может быть различным и зависит прежде всего от внутреннего строения территории. Платформенные тектонические структуры земной коры имеют в своем основании кристаллический фундамент, который либо выступает на поверхность, либо скрыт под толщей осадочных пород. Умеренный тектонический режим платформ не приводит к созданию контрастного релье-

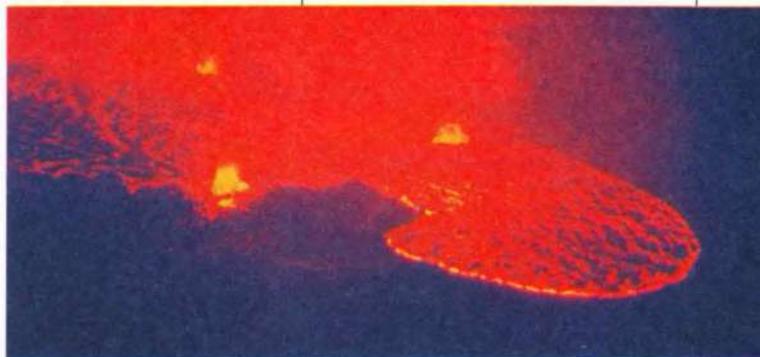


фа. Поэтому в рельефе прослеживаются невысокие глыбовые горы и нагорья, цокольные и пластовые равнины, а также плато. Антиклиналии и синклиналии редко бывают выражены в крупных формах рельефа. Сильная раздробленность горных пород в зонах разломов и податливость таких участков к размыву текучими водами приводят к появлению здесь сначала небольших эрозионных рытвин, а впоследствии речных долин. Значительные тектонические подвижки в земной коре ведут к образованию орогенов (от греч. *oros* — гора и *genes* — рождение) — горных сооружений, возникших на месте бывшей геосинклиналии, либо на платформе.

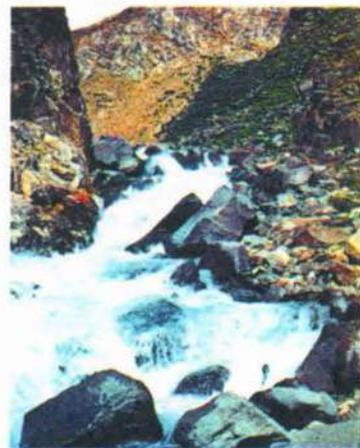
Смятие в складки толщ горных пород, появление блоков и глыб, разбитых разломами, вулканизм и землетрясения — обычные признаки орогена. Так возникли горные страны (Альпы, Карпаты, Кавказ) и горные пояса (например, Альпийско-Гималайский). Расположение подвижных горных поясов во многом определено первичными активными тектоническими зонами, куда входят и системы планетарных разломов земной коры. Этим объясняется длительное существование Андийско-Кордильерского, Альпийско-Гималайского и других горных поясов.

Наиболее крупные формы рельефа на дне океанов также созданы эндогенными силами. К ним относятся глубоководные котловины, срединно-океанические и вулканические хребты, рифтовые долины и грабены на месте трансформных разломов.

Для того чтобы понять роль эндогенных процессов, необходимо знать продолжительность их деятельности и скорости самих процессов. Период времени с особенно интенсивными тектоническими движениями земной поверхности геологи называют **периодом тектонической активизации**. В истории Земли их было много, и каждый продолжался от 15 до 20 млн. лет.



Поток раскаленной лавы ярко светится в темноте.



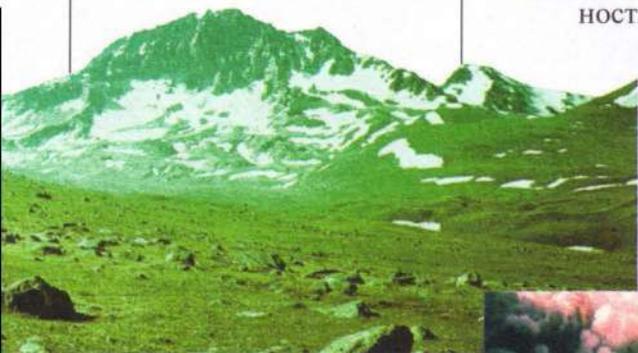
Сквозь каменные завалы пробивается река.



Движения, формировавшие рельеф Земли многие тысячи и миллионы лет назад, было бы очень трудно представить и понять, если бы человек не наблюдал движения поверхности, которые происходили буквально на его глазах. Так, в течение 1978 — 1983 гг. велось наблюдение за распространением «волны» тектонических напряжений в северной Евразии с востока на запад. Прохождение фронта такой «волны» в районе города Южно-Сахалинска сопровождалось в течение недели подъемом уровня грунтовых вод, извержениями грязевых вулканов, сжатием поверхности, изменениями аномалий силы тяжести. Скорость движения «волны» была незначительной и составила примерно 5,5 м в сутки. ■

В высоких горах острые гребни чередуются с глубокими ущельями.

Когда самолет заходит на посадку в столице Эквадора городе Кито, в иллюминатор можно увидеть величественные конусы вулканов. Внизу же расстилается холмистая равнина с квадратиками полей, селениями. Между вулканическими хребтами Оксиденталь (с востока) и Реаль (с запада) тянется более чем на 500 км широкая, до 40 км в поперечнике, полоса возвышенных равнин.



Дремлющие вулканы иногда неожиданно «просыпаются».

Эти равнины располагаются на значительной высоте (2800 — 3400 м). Обрамляющие их вулканы — в основном действующие. Они создают впечатление аллеи. Человек издавна селился в этой аллее, о чем свидетельствуют остатки крепостей инков. Поверхность равнин, по сведениям геологов, образовалась 4 — 5 млн. лет назад на месте тектонических провалов, постепенно заполнявшихся вулканическим пеплом, песком, щебнем, к которым примешивались речные и озерные отложения. Поэтому геологический разрез похож на «слоеный пирог» из чередующихся рыхлых и плотных глин, суглинков, песков, крупных обломков.■



В последние 100 лет скорости поднятий поверхности в разных регионах Земли неодинаковы: от 0,05 до 12 мм в год. При этом, например, скорость горообразования колеблется от 0,01 до 1 мм в год.

Самыми быстрыми являются эндогенные процессы, связанные с сейсмическими подвижками. Они обладают скоростью до нескольких метров в секунду, но длятся недолго. Помимо эндогенных процессов существуют промежуточные, **эндо-экзогенные процессы** рельефообразования. Среди них первое место занимает **вулканизм**. Вулканический процесс состоит из двух частей. Глубинный разогрев и истечение магмы по каналам в толще земной коры — эндогенный процесс в «чистом» виде. Но соприкосновение лавы при извержении вулкана с воздухом и водой на поверхности Земли вызывает появление лавовых потоков, озер, пепловых равнин — всего того, что в недрах Земли образоваться не может.■

Результатом эндо-экзогенной деятельности вулканов являются прежде всего вулканические и шлаковые конусы. Наиболее типичны в вулканических областях **стратовулканы**. Они имеют вид усеченного конуса с вогнутыми склонами. Привершинная часть конуса заканчивается **кальдерой**, или **кратером**. В Курило-Камчатской зоне таких вулканов за последние 40 лет возникло около двух десятков.■



Разнообразие видов вулканизма часто определяется составом и степенью вязкости магматического вещества. Так, у Этны и Везувия подвижные лавы образуют волнистые равнины. Бывают лавы в виде скрученных канатов. При небольших скоростях движения лавы на фоне волн видны

участки с плитовидной поверхностью, пустоты в виде туннелей. Глыбовые равнины обычно образованы более вязкими лавами. При короблении лавового потока возникают трещины, обуславливающие дробление на глыбы и блоки поперечником в несколько метров.

Еще одна форма рельефа, образующаяся при извержениях вулканов, — **купола**. Разрушение вулканических конусов происходит довольно быстро. Пепловые равнины разрушаются за сотни-тысячи лет, конусы стратовулканов — за 4 — 10 тыс. лет; шлаковые конусы — за несколько тысяч лет. Исключение составляют лавовые плато, которые существуют несколько миллионов лет.■

Увеличение внутрипластового давления в недрах осадочных пород приводит к «извержению» потоков полужидкого обломочного материала на поверхность и образованию низких (до 400 м) усеченных конусов, похожих на щитовые вулканы. В природе встречаются надводные и подводные **грязевые вулканы**. Грязевая равнина у подножия вулканов обычно отличается холмисто-западинным рельефом.

Грязевые вулканы распространены в тех областях, где наблюдаются мощные толщи рыхлых отложений и отмечаются активные движения земной коры. Поэтому зна-

Грязевые вулканчики.

чительная часть грязевых вулканов встречается в Альпийско-Гималайском и Андийско-Кордильерском горных поясах. Особенно много, около 170, действующих грязевых вулканов в Азербайджане, где есть наземные, подводные и даже погребенные вулканы. Происхождение многих островов Бакинского и Апшеронского архипелагов связано с грязевым вулканизмом. Под действием огромного давления газов и воды морское дно нередко приподнимается на 5 — 10 м, а площадь таких поднятий достигает 8 га. Интересно, что в этом районе Альпийско-Гималайского горного пояса в периоды снижения уровня Каспийского моря грязевой вулканизм усиливается, а при подъеме морских вод — стихает. Другая область, где извергаются грязевые вулканы, находится на северо-западе Куринской впадины, вблизи границы Азербайджана и Грузии. Здесь насчитывается около 20 вулканов. За период с 1810 по 1839 г. тут произошло 7 извержений, с 1839 по 1868 г. — 20 извержений, с 1868 по 1906 г. — 24 извержения.

Грязевые вулканы действуют на дне Черного моря, к югу от Крымского полуострова. Их насчитывается более десятка. ■

Помимо вулканизма к эндо-экзогенным процессам относятся **ударно-взрывные процессы**. Они связаны с падением на Землю крупных метеоритов. Наряду с едва видимой пылью на поверхность планеты падают и крупные космические тела, вызывающие появление огромных кратеров и котловин. Первая стадия — столкновение метеорита с Землей. Эта стадия может считаться экзогенной. Но через доли секунды создается не только рельеф, но и горная порода. Эта стадия может считаться эндогенной.

Поверхность Земли сохранила до наших дней многие сотни «звездных ран», их часто называют метеоритными кратерами. При этом остались, конечно, самые большие кратеры. Об этом можно судить по диаметру кратеров. Аризонский кратер в Северной Америке достигает в поперечнике 1200 м, Госез-Блаф в Австралии — 4000 м, Нордлингер-Рис в Германии — 24000 м, Болтышский на Украине — 25000 м, Карский — 60000 м. Встречаются также гигантские кратеры, диаметр которых превышает сотни километров. Их называют **астрооблемами**. Попигайская астрооблема на севере Сибири имеет диаметр более 100 км, Приаральская — 700 км.

На Украине найдены следы падения очень крупного каменного метеорита, которое произошло около 100 млн. лет назад. Диаметр кольцевого вала по окраине кратера составил около 4 км, а энергия, выделившаяся при ударе о землю, такая же, как при взрыве 120-мегатонной ядерной бомбы. При ударе горные породы были разрушены до глубины 100 м.

Столкновение метеорита с поверхностью Земли происходит со скоростью около 16 км/с, кратер образуется в несколько фаз. Первая — фаза сжатия, в течение которой космическое тело испытывает торможение в толще гор-



ных пород. Это длится несколько секунд. Вторая фаза — образование кратера. Третья фаза — трансформация кратера и заполнение его обломками. ■

Аризонский метеоритный кратер.

Еще одна область грязевого вулканизма обнаружена российскими океанологами на дне Средиземного моря, к югу от острова Крит. Эти вулканы, наиболее древние из грязевых, возникли около 80 тыс. лет назад. Среди грязевых отложений, однако, встречены осадки, образовавшиеся всего 7 тыс. лет назад. Это свидетельствует о непрекращающейся деятельности грязевых вулканов на протяжении многих десятков тысяч лет. Материал грязевых извержений, который называют сопочной брекчией, представлен здесь скоплениями глинистых масс с многочисленными включениями слабоокругленных обломков. ■

Одно из последних наблюдаемых людьми падений космических тел — падение в мае 1990 г. метеорита в Башкирии, примерно в 20 км к западу от города Стерлитамака. Здесь на хлебное поле упал небольшой метеорит, который двигался с юга на север под углом 40° к горизонту и был виден в полете 8 секунд. При ударе о землю произошел взрыв и образовалась воронка диаметром 10 м и глубиной 5 м. Она была окружена валом, сложенным раздробленной породой; высота вала — 1 м. При первом осмотре места падения ученые смогли собрать 10 кг осколков космического тела. Часть их имела уплощенную форму; на некоторых виднелась черная и фиолетово-синяя корка — результат плавления вещества. Впоследствии выяснилось, что большие обломки метеорита залежали под дном воронки, на глубине 12 м удалось откопать самый большой обломок метеорита весом 315 кг. По этим показателям ученые предположили, что первоначальный вес метеорита составлял 1200 кг, а в поперечнике он имел около 1,5 м. По своему составу стерлитамакский метеорит относился к категории «железных» метеоритов, поскольку в его обломках содержалось до 90% железа. ■



Скалы при выветривании принимают самые причудливые очертания.

Если подниматься по дороге на горный массив Витоша (окраина Софии), можно увидеть крупные, слабоокругленные глыбы, как ядра, впрессованные в песок. При внимательном рассмотрении становится заметно, что песок, дресва и щебень сцементированы в плотную массу желтовато-серого цвета, с трудом поддающуюся даже удару геологического молотка. Следы перемещения этого мелкозема отсутствуют, а ядра покрыты тонкой корочкой отслоившихся обломков. Ученые относят подобные породы к сапролитам. Сапролит — гнилой камень, разновидность древней коры выветривания. Ядра в виде крупных валунов — это наименее выветрелая, а иногда и совершенно невыветрелая часть такой толщи. Мелкозем же вокруг ядер состоит из угловатых частичек кварца, полевых шпатов. Поверхность небольших глыб изедена округлыми ячейками. Все это говорит о длительности выветривания первичной породы вулканического происхождения. ■

Склоны гор, превращенные в лабиринты.



ВНЕШНИЕ СИЛЫ И ЭКЗОГЕННЫЙ РЕЛЬЕФ ЗЕМЛИ

Естественно, что экзогенные процессы изучены лучше, чем эндогенные. А потому ученые имеют более четкие представления о роли экзогенных процессов в образовании и развитии рельефа.

Развитие земной поверхности обязательно происходит с перемещением обломочного материала. На равнинах и в горах обломочный материал движется сверху вниз. Начинается этот процесс с подготовки обломочного материала к движению.

К самой важной форме преобразования горных пород на суше относится **выветривание пород** и **формирование элювия**. Выветривание — процесс разрушения и преобразования минеральной части горной породы, ее химического и физического состава. Выветривание минералов разделяют на физическое (механическое) и химическое. В последнее включают биохимические процессы.

Физическим выветриванием горных пород и минералов называют процесс разрушения их на обломки разной величины. Днем в ясную погоду солнце сильно нагревает поверхность скал, особенно тех, которые имеют темный цвет. Скалы нагреваются даже в условиях Антарктиды. Здесь отмечены случаи, когда поверхность черных базальтов нагревалась под лучами солнца до $+10... +12^{\circ}\text{C}$ при температуре воздуха -5°C . При нагревании горные породы и минералы расширяются, причем каждый из них обладает собственными свойствами (теплоемкостью) для такого расширения. При неравномерном расширении минералы оказывают разное давление друг на друга. В ночное время скалы охлаждаются, и объемы пород и минералов сокращаются. Незаметные для глаза колебания объемов пород происходят ежедневно, что в конце концов изменяет плотность породы и постепенно разрушает ее. Особенно сильно физическое выветривание развито в областях с глубоким (более 1 м) промерзанием грунта. Замерзающая в узких трещинах породы вода превращается в лед, который, кристаллизуясь, механически раздвигает трещину.

Таким образом, основными агентами физического выветривания пород и минералов являются теплоемкость, колебания температуры, увлажнение, замерзание воды, кристаллизация солей в трещинах и на поверхности скал. Последний процесс иногда называют **солевым выветриванием**.

Химическое выветривание представляет собой процесс разложения минералов и горных пород водами, природными кислотами, кислородом, содержащимся в воздухе. Эти превращения вещества иногда приводят к уничтожению одних и возникновению других (вторичных) минералов. Химическое разложение пород происходит при воздействии на них различных растворов и кислот. Они проникают в глубь земли по тон-

ким трещинам во время дождя, изменяя по пути минералы. Похожий процесс наблюдается при проникновении корней растений, которые выделяют агрессивные кислоты, растворяющие окружающую породу. В этом участвуют и живые организмы, находящиеся в почвах. Дожди приносят в толщу пород азотнокислый аммоний, аммиачные соли, магниевые-хлоридные соли. На химическое разложение горных пород особенно сильно влияет углекислота. Насыщенная ею вода резко повышает растворимость всех минералов. Чем ниже температура воды, тем больше в ней углекислоты.

Корни растений также выделяют кислоты, растворяющие породы и минералы. В результате на месте произрастания лишайников на поверхности скал иногда образуются небольшие углубления.

В умеренном поясе Земли и в поясе влажных тропиков наиболее быстро выветриваются основные породы — габбро, диабазы, базальты, содержащие мало кварца, но много оливины, авгита, которые быстро распадаются. Граниты во влажных тропиках часто превращаются в однородную глинистую массу. На севере же, наоборот, процессы химического выветривания замедляются, хотя и не прекращаются. В арктических пустынях полностью преобладает физическое выветривание.

Выветривание горных пород и минералов приводит к появлению вторичных минералов — гидрослюда, каолинита, серицита, галлуазита и др. Толща пород, в которой происходят эти преобразования, называется **корой выветривания**. Границы ее определяются глубиной проникновения атмосферных осадков и колебаниями температуры пород. В результате физического и химического выветривания горных пород образуется **элювий**. Элювий — продукт выветривания, состоящий из обломочного материала, образовавшийся на месте разрушения горных пород. Он представляет собой разновидность коры выветривания. ■

Процессы выветривания и образования элювия подготавливают обломки к перемещению и почвообразанию, чему способствует трещиноватость пород. Трещины, расположенные высоко, характеризуются сезонной увлажненностью, а те, которые низко, насыщены влагой постоянно. Все это создает условия для неравномерного разрушения пород. Маловодная зона может иметь толщину от нескольких сантиметров до 5 — 10 м. Сокращение такой зоны вызывает усиленный водообмен, выветривание коренных пород, разрушение их до очень мелких частиц. Неравномерность распределения обломков в рыхлых отложениях, в свою очередь, вызывает значительные боковые напряжения, что приводит к горизонтальному перемещению обломков. Правда, оно невелико и измеряется долями миллиметров. Различаются и формы залегания элювия. В нем могут присутствовать неслоистый щебнистый суглинок, щебнисто-глыбовый материал, трещины, заполненные песком или глиной, и др. Образование элювия длится тысячи и десятки тысяч лет. ■

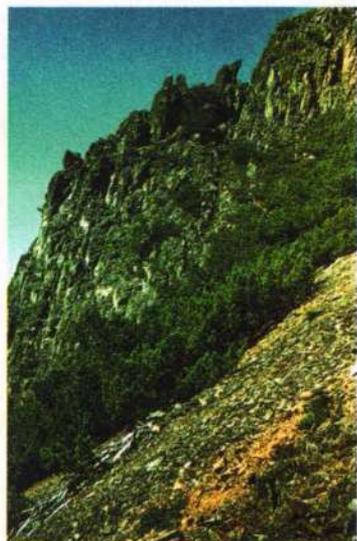
Сапролит образуется при выветривании горных пород в течение миллионов лет.



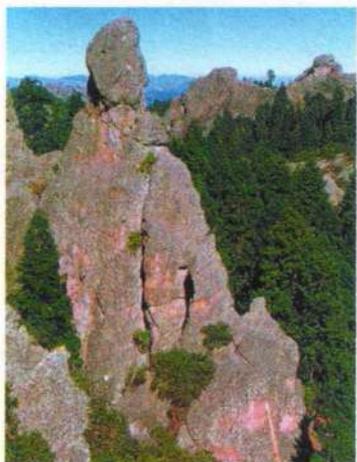
В сочетании с другими процессами выветривание и образование элювия приводят к образованию совершенно фантастического рельефа с пещерами, каньонами, колодцами. Поверхность скал в этих случаях напоминает кружево из округлых углублений, своеобразных ячеек, соединяющихся друг с другом. В сухих и жарких условиях контрасты ночных и дневных температур вызывают появление росы, вместе с которой в мелкие трещины горной породы проникают растворимые соли. Кристаллизуясь, они как бы раздвигают трещины. Ветер удаляет разрушенный материал, превращая этот участок в округлую впадинку на поверхности скалы. ■

Прочные слои известняков напоминают ребра огромного животного.





Сначала на крутых склонах возникают глубокие трещины, затем отделившиеся глыбы наклоняются и скатываются вниз к подножию склонов.



В Японии при двух тайфунах, вызвавших обильные ливни, интенсивность которых превысила критический порог в 300 мм в сутки, произошло массовое развитие обвальных и оползневых процессов. Ежегодные их объемы оцениваются в Альпах в $274 \cdot 10^6$ т, в Скандинавии — $23 \cdot 10^6$ т. ■

Река едва справляется с огромной массой обломков, накапливающихся на пологих склонах.

СВЕРХУ ВНИЗ ПО СКЛОНАМ

В природе можно видеть, как по долинам рек тянутся полосы расчлененного рельефа, для которого характерна густая сеть рытвин, промоин, оврагов. Здесь же наблюдаются крутые склоны. Но немало мест, где склоны очень пологие. Они отличаются большой протяженностью, спокойной ровной поверхностью и покрыты лесом. Такие склоны иногда называют склоновыми шлейфами. Глядя на их спокойную и ровную поверхность, можно подумать, что тут уж ничего не движется. На самом деле процессы, которые здесь протекают, гораздо более сложные, чем на крутых склонах.

Самой распространенной формой медленного перемещения обломочного чехла является **крип** (от англ. creep — ползти). Это форма медленного движения всей толщи обломочного материала, закрывающего склоны, которое происходит при одновременном изменении объема грунтовой массы в результате колебаний ее температуры и влажности. На движение толщи влияют растительность и работа землероек. Если выкопать яму (шурф), то в ее стенке можно увидеть отчетливые следы перемещения всей толщи обломков, т. е. обломочного чехла. В прошлом перемещение то возникало, то исчезало, изменяя скорость. В конечном счете именно оно превратило форму склона в пологий шлейф. Средние скорости перемещения обломочного чехла на нем колеблются от 0,02 до 0,9 мм в год. Глинистый чехол в зависимости от насыщения его влагой передвигается прерывисто.

Весной скорость движения достигает максимальных значений, сухим летом движение почти прекращается. На залесенных склонах, сложенных щебнистыми суглинками, ведущую роль в перемещении играет процесс медленного, или, как еще говорят — векового, движения обломков. Описанные выше процессы называются **гравитационными**, к ним условно относятся прежде всего обвалы и оползни.

В Перу в 1970 г. произошло мощное землетрясение, которое началось с легкого покачивания поверхности, а превратилось в колебания со значительным ускорением. В результате на склоне горы Уаскаран высотой 6768 м произошел обвал скальных обломков, льда и глины.

Лавина объемом около 50 млн. м³ прошла расстояние 15 км со скоростью около 400 км/ч. На своем пути она преодолела гребни не-



высоких гор. Обломки весом более 10 т были отброшены на несколько километров.

Крупные обвалы происходили и в прошлом, например обвал Тюбеле, перегордивший долину реки Баксан в Приэльбрусье. Примерно 20 тыс. лет назад с правой стороны долины сорвалась ледниково-скальная масса, пролетела на воздушной подушке над склоном и упала на дно долины. Высота вала составила 200 м. Перед ним образовалось озеро глубиной около 50 м, которое позже было спущено при прорыве вала рекой. ■

Причины формирования оползней на первый взгляд достаточно просты. При насыщении грунта водой происходит резкое увеличение его веса, а в результате потеря им устойчивости. Учеными установлена связь между оползневыми процессами и интенсивностью атмосферных осадков. Скорости движения грунта весьма различны и колеблются от нескольких сантиметров в сутки до нескольких метров в секунду.

Роль обвалов и оползней в развитии рельефа Земли значительна. Они возникают в разных природных зонах и нередко приобретают характер катастроф. Оползни часто происходят в Болгарии в долине Дуная, на побережье Черного моря, в горных районах Рила-Родопского массива. Морское побережье вблизи городов Бургас, Варна, Балчик отличается плейстоценовыми оползнями. Такие оползни могут двигаться в течение полутора месяцев. В районе города Балчик один из постоянно перемещающихся оползней ускорил свое движение до 1 м в сутки. На оползневых ступенях нередко можно видеть заболоченные озера, тянущиеся вдоль склонов на 1 — 2 км. Абразия берегов приводит к неустойчивости склонов, а в результате к оползням. К северу от мыса Калиакра подошва оползневых тел уходит на 15 — 20 м ниже уровня Черного моря. Это связано с более низким положением уровня Черного моря в ранние эпохи плейстоцена.

Жители Болгарии не раз имели дело с оползнями. А потому ими была сооружена дренажная сеть в виде колодцев и труб, предохраняющая грунт от перенасыщения водой. Тем не менее за несколько часов

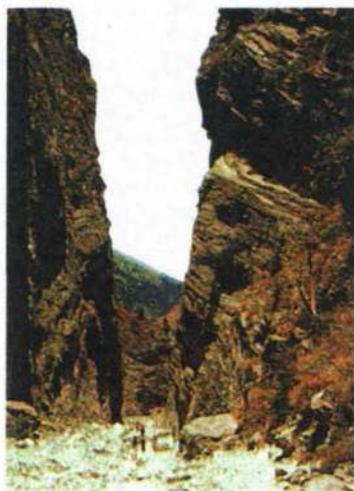
все было разрушено. К тому же оползневое тело было подрезано автомобильной дорогой, для безопасности которой была возведена железобетонная стенка. Оползень разрушил эту стенку и создал угрозу жилым домам. ■



В горных областях преобладают оползни-сплывы, но иногда бывают и необычные оползни-потоки, возникающие на поверхности обводненных тектонических разломов. Сползанию грунта способствует значительная обводненность тектонических нарушений. Скорости движения оползней резко возрастают после продолжительных весенних дождей.

Всплеск оползневой активности на морском побережье Болгарии и в предгорьях Родоп произошел в мае 1998 г. Проливные дожди обусловили появление крупных оползней и селей. Неподалеку от города Пловдива в долине реки Пырвенецка 10 — 11 мая 1998 г. начала перемещаться узкая и длинная полоса перенасыщенного водой грунта в форме потока. Поток захватил площадь 100 га, его «волны» достигали высоты до 5 м, расщепленные трещинами глубиной до 4 м. По форме оползень-поток напоминал ледник с резко очерченными краями. Вес оползневого тела составил 250 — 300 тыс. т, скорости движения — от 2 до 8 м в сутки. ■

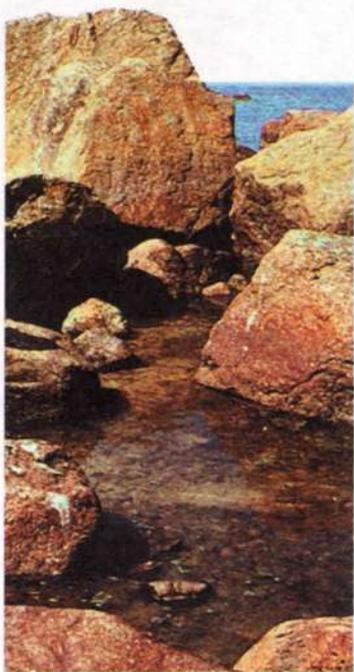
Обвалы нередко перегораживают долины, создавая глубокие плотинные озера.



В сухом климате даже очень крутые склоны ущелий становятся устойчивыми и разрушаются чрезвычайно медленно.

Языки курумов нередко приобретают вид стекающих со склонов каменных ледников, или, как их чаще называют, — каменных глетчеров. Они движутся с достаточной скоростью, которую необходимо учитывать при строительстве линий электропередач, зданий. ■

Река с трудом пробивается среди огромных глыб курума.



КАМЕННЫЕ «РЕКИ» И «МОРЯ». ГОРНЫЕ РЕКИ

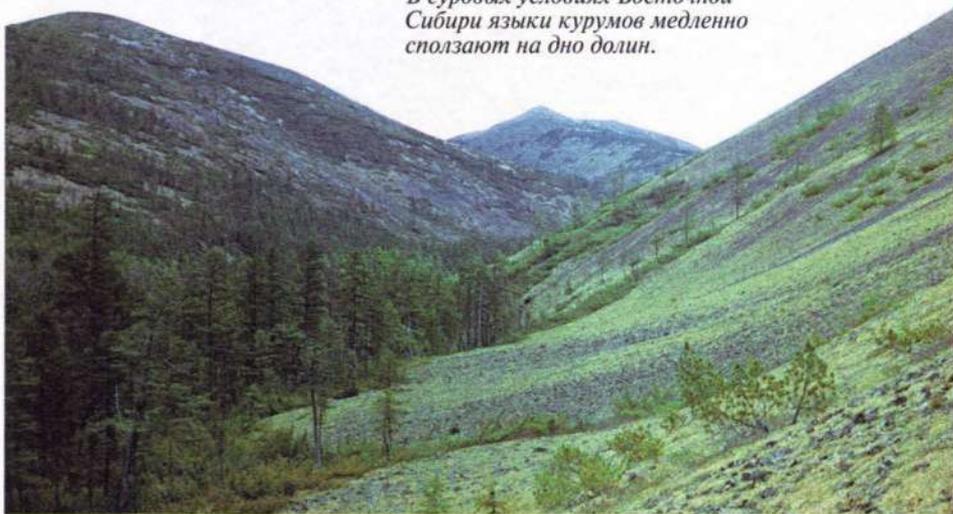
Каменные «реки» и каменные «моря» часто встречаются в горных областях умеренного пояса и являются типичным компонентом местных ландшафтов. В Сибири их называют курумами. Под этим названием они вошли в научную литературу.

Курум — россыпь крупных обломков, перемещающихся сверху вниз по склону со средней скоростью 50 см в год. Процессы курумообразования обычны для гор, сложенных песчаниками, гранитами, базальтами и другими прочными породами. Часто курумы встречаются у подножий крутых скальных обрывов или в зонах тектонических нарушений земной коры. Внешне курум напоминает застывший каменный поток, у которого на поверхности видны волны из крупных обломков, а ложбины сложены мелкоземом. Его края обрамлены низкими валиками, состоящими из обломков средней величины.

Механизм движения курумов несложен. Обрушение у подножия горных пород приводит к накоплению обломков склона. При сносе часть крупных обломков разрушается до размеров щебня. Оказавшись на склоне, обломки быстро выветриваются. Например, в Карпатах всего за 5 — 6 лет крупный щебень распадается на мелкие обломки. Выветрелый мелкозем смывается с поверхности обломков и привносится в нижние горизонты курума, создавая нижний горизонт «смазки», по которому передвигаются крупные и средние по размерам глыбы. При этом обломки стираются до состояния песка.

Перемещение крупных глыб размером до нескольких метров происходит медленно и вызвано как гравитационными, так и мерзлотными процессами. О движении курумов свидетельствует неустойчивое положение покачивающихся глыб. Курумы, словно ледники, сползают с плоских вершин хребтов и нередко достигают дна долин. ■

В суровых условиях Восточной Сибири языки курумов медленно сползают на дно долин.



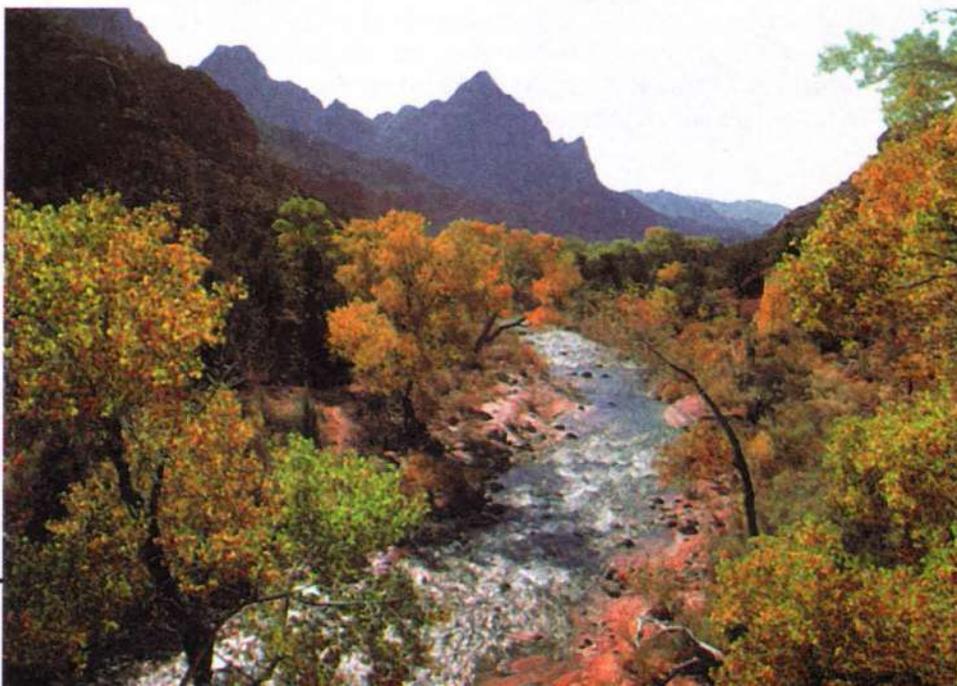
Реки и речные долины всегда были предметом особого внимания исследователей и строителей: здесь селились люди, строились жилища, прокладывались дороги. Еще в 1899 г. профессор А. Зупан отмечал, что процесс образования горной долины — длительный и прерывистый. Долина формируется в течение миллионов лет, причем ее разные части развиваются неодинаково. «Горные ручьи, вырывающиеся из крутых боковых долин, откладывают почти весь приносимый ими материал в форме конусов выноса при входе в более пологую главную долину. Притоки, доносящие взвешенный материал до своего устья, встречаются здесь подпор и принуждены откладывать материал в месте впадения».

В горах, передвигаясь по речной долине от ее устья к верховьям, можно видеть, как хорошо террасированная и широкая долина постепенно сужается, а иногда превращается в узкий каньон, за которым, еще выше по течению, появляется очень широкая долина, без малейших признаков террас. По дну долин струится крохотный ручеек, несоизмеримый по своим размерам с долиной, по которой он протекает.

В горах часто можно видеть весьма древние речные долины с обилием аллювиального обломочного материала. Возраст древнего аллювия в них достигает 4 — 5 млн. лет. ■

Обломки горных пород медленно продвигаются к рекам и попадают в русловой поток, где резко меняются условия их передвижения. Попадая в такой поток, они переносятся на десятки и сотни километров. Поток сортирует обломки по размеру и по весу, накапливает в одних местах и размывает в других. Постепенно обломки округляются, поверхность их становится гладкой. В горных реках можно видеть хорошо окатанные гальку и валуны, между которыми залегает песок и гравий, в руслах равнинных рек — песок, гравий и глинистые частицы. Отложения, образованные речным потоком, называют **аллювиальными**, или — сокращенно — **аллювием**.

Русла рек достигают огромной протяженности. Длина их измеряется тысячами километров, а ширина — десятками километров. Среди крупнейших рек — Амазонка, Миссисипи, Лена, Енисей, Обь. Но большинство рек имеют длину всего в десятки километров. Они являются притоками крупных рек и поддерживают их существование. ■



«За сто семьдесят шесть лет Нижняя Миссисипи укоротилась на двести сорок две мили, т. е. в среднем примерно на милю и одну треть в год. Отсюда всякий спокойно рассуждающий человек, если только он не слепой и не совсем идиот, сможет усмотреть, что в древнюю силурийскую эпоху, которой в ноябре будущего года минет ровно миллион лет, Нижняя Миссисипи имела свыше миллиона трехсот тысяч миль в длину и тянулась через Мексиканский залив наподобие удочки. Исходя из тех же данных, каждый легко поймет, что через семьсот сорок два года Нижняя Миссисипи будет иметь только одну и три четверти мили в длину...» (Марк Твен. «Жизнь на Миссисипи».) ■

По данным известного исследователя каменных глетчеров А. П. Горбунова, самые крупные глетчеры в горах Тянь-Шаня достигают длины 3,5 км, при ширине — 1 км. Необычно велика толщина обломочного чехла таких форм рельефа, она составляет часто несколько сот метров. В Саянах встречены каменные глетчеры с мощностью обломочной толщи в 125 м, а в Перуанских Андах — до 300 м. ■



Речная долина в горах на севере Хабаровского края.

Пышная растительность часто скрывает сложный рельеф на дне долины.

По склонам долины, иногда на значительной высоте, располагаются террасы. Они сопровождают реку почти на всем ее протяжении. Каждая из террас является свидетельством какого-то этапа углубления долины или ее заполнения обломочным материалом. На террасах можно увидеть аллювий. По возрасту и происхождению аллювия судят об этапах жизни речной долины. ■

Устойчивые породы создают препятствия на пути рек, образуя ступени в руслах. Возле ступеней возникают водобойные котлы глубиной в несколько метров, в которых скапливаются крупная галька и валуны. ■

Реки в бассейне Амазонки.



Пересекая заболоченные леса и влажные саванны на равнинах Южной Америки, река Ориноко образует меандры, старицы.



РАВНИННЫЕ РЕКИ

Изменение русел наиболее изучено на равнинных реках или на реках, текущих по плоскогорьям.

Меандрами, или излучинами, называют плавные изгибы равнинной реки. Они получили свое название от реки Большой Мендерес в Малой Азии, которая изобилует излучинами. Словно змеи, меандры перетекают одна в другую. Полосу, в пределах которой располагаются меандры, называют **поясом меандрирования**. Характерны наблюдения за рекой Вислока в Западных Карпатах, русло которой пересекает возвышенную и расчлененную равнину с абсолютными отметками 400 — 600 м. Излучины долины этой извилистой реки обладают большим радиусом кривизны. В результате этого ширина излучины — около 1000 м. За сто с лишним лет (с 1855 по 1964 г.) очертания русла изменились, появились новые береговые обрывы, старицы заполнились глинистым аллювием, полностью перестроились плесы и перекаты. Однако при этом не произошло увеличения или уменьшения пояса меандрирования.

На заболоченной приморской равнине Приохотья, как показала аэрофотосъемка местности, очертания долин за 35 лет также практически не изменились. Площадь галечных кос и пояс меандрирования остались такими же, но за это же время перекаты сместились почти на 900 м, а часть прежних плесов и многие боковые протоки заполнились галечным аллювием и исчезли. Это показывает, что речные долины на равнинах консервативны, они меняются медленно, хотя русловые процессы ведут себя активно. Наиболее крупные деформации рельефа на дне речных долин происходят во время паводков и наводнений. Там, где большую часть года реки маловодны или даже пересыхают, эти изменения выражены лучше всего.

Установить возраст долин не так легко. Например, развитие долины Волги в ее среднем течении началось около 5 — 6 млн. лет назад. Наиболее крупное углубление долины произошло около 3 млн. лет назад. В эту эпоху река то углубляла свое русло, то заполняла его аллювием. Продолжительность эпох углубления, или, как говорят геоморфологи, «вреза», была в 5 — 10 раз меньше, чем продолжительность расширения долины и заполнения ее аллювием. К таким выводам пришли ученые после изучения аллювия на волжских террасах. ■

Боковые смещения русел рек обычно приводят к разрушению склонов, усилению на них склоновых процессов, увеличению количества крупных обломков в составе руслового аллювия. В горных районах, где преобладают глубокие долины, объемы обломочного материала значительно больше, поток вынужден приспосабливаться к новому рельефу.

Сухие долины, на дне которых залегают пески, гравий, глины, встречаются на Земле довольно часто. Гигантские каньоны напоминают о бур-

ной деятельности водных порогов в далеком прошлом. Но раскаленные солнцем скалы уже ничего не могут рассказать об этих процессах. Одним из таких мест является плоскогорье Гоби в самом центре Азии. Здесь площадь бывших речных долин достигает 60 тыс. км². Сейчас в рельефе преобладают плоские поверхности со следами эрозионных размывов и горы-останцы. Непросто установить направления течения древних рек — часть их впадала не в море, а во внутренние озера.



Сухое русло в пустыне Гоби заполняется водой только в периоды сильных дождей.

Другим районом с сухими реками является пустыня Сахара, а восточнее ее — Аравийское плоскогорье. Здесь сухие долины (**вади**) начинаются на крутых склонах гор, пересекают межгорные впадины и заканчиваются в замкнутых котловинах. Ширина вадей достигает 15 — 20 км, а протяженность — 500 — 600 км. Во время редких, но сильных дождей, которые бывают не каждый год, по их дну проносится бурный поток глубиной всего

1 — 2 м. Но за один паводок поток переносит такое количество обломочного материала, что на какое-то время приобретает вид селя. Затем вода исчезает, и в сухой долине опять становится жарко.

Однако сухие долины встречаются не только в пустынных областях. На Алтае, в североамериканских Кордильерах, на Верхнеколымском нагорье и в других местах Земли наблюдаются долины, сформированные в прошлом катастрофическими потоками, которые неслись с невероятной скоростью. Эти потоки более известны под названием **прорывных паводков**. Долины, сформированные такими потоками, прорезают скальные породы, образуя в них гигантские котлы с огромными валунами на днище. В этих долинах бессмысленно искать русла рек, их просто нет. Когда-то очень давно, несколько тысяч лет назад, горные ледники подпрудили обширную котловину, создав глубокое озеро. Вода заполнила озерную котловину, и возник сток воды в ближайшие долины. При этом потоки воды разрушили горные перевалы и бывшие долины, образовали крупные водопады, переместили очень крупные обломки. Постепенно озеро исчезло, и на поверхности остались только сухие долины и котлы от бывших водопадов. ■



Высохший ил на пойме быстро превращается в сморщенные чешуйки.

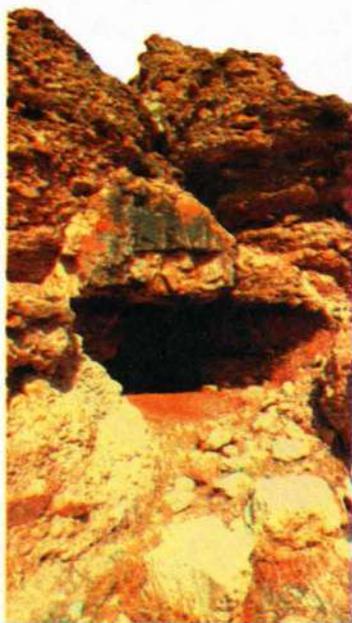
«Ливни в Сахаре — это частую настоящие потоки... Широкие и сухие долины в течение нескольких часов превращаются в мощные потоки. Паводки бывают очень кратковременными, но исключительно бурными и внезапными. Вода не задерживается и не рассеивается растительностью, почти мгновенно стекает в вади. И как ни странно и ни парадоксально звучит, но одна из серьезнейших опасностей, которым путешественники подвергаются в Сахаре, — это опасность утонуть. Так, в Айн-Сефре разлив вади снес часть этой деревни; при этом было много человеческих жертв». *Огюстен Бернар.* ■

Сезон дождей закончился, и влажное дно долины высыхает.



В России наземный и подземный карст распространен главным образом там, где есть доломитовые, известняковые, гипсовые породы. Разнообразные карстовые формы встречаются даже в областях с вечной мерзлотой: карстовые блюдца, воронки, шахты и др. По наблюдениям российского ученого **И. Ю. Долгушина**, на Алданском нагорье карстовые блюдца имеют диаметр около 20 — 70 м, а глубину — 1 — 2 м. Чаше всего они встречаются на плоских междуречьях. Карстовые воронки обладают более крутыми стенками и большей глубиной. Диаметр их достигает 100 м. Дно воронок прикрыто небольшим слоем мелкозема со щебнем, располагающимся вокруг центрального отверстия — понора. Иногда чередующихся воронок и блюдец бывает так много, что они образуют «сотовые поляны». Своеобразие их рельефа состоит в том, что карстовые углубления, похожие на ячейки, расположены так близко, что создается впечатление пчелиных сот. ■

Вход в карстовую пещеру.



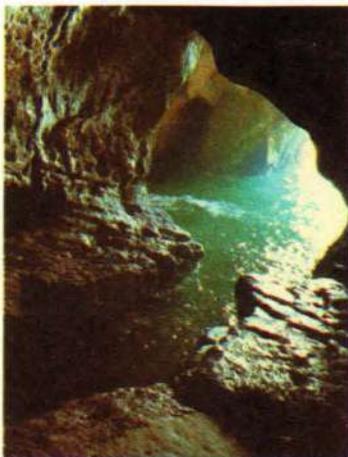
Под землей встречаются реки и озера.

КАРСТОВЫЙ РЕЛЬЕФ

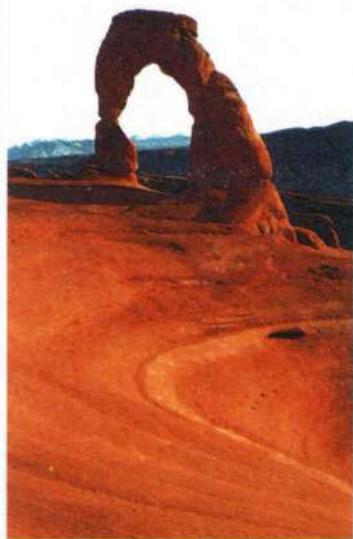
Там, где на поверхности Земли почти не видно текущих вод, рельеф более разнообразен. Работа рек проходит в подземельях, глубина которых достигает нескольких километров.

Подземный рельеф — это бесчисленные пещеры и пропасти, шахты и воронки. Воды, текущие здесь в полной темноте, редко прорываются на поверхность. Подземные озера словно черные зеркала. Они полны тайн, в них скрыт пещерный жемчуг. Это такой своеобразный мир, природа которого изучена еще плохо. Это мир сталагмитов и сталактитов. Все это называют **карстовым рельефом**, или просто **карстом**. Термин «карст» происходит от названия плато Карст (Крас), которое расположено на одном из полуостровов в Адриатике. Почти безводное плато изобилует воронками, сухими котловинами, провалами, трещинами, бездонными колодцами. Карстовый рельеф — комплекс форм, созданный природой в результате растворения водой горных пород и выпадения в осадок растворенного материала. Формы карстового рельефа обладают размерами от нескольких сантиметров (карры, лунки, борозды и пр.) до многих сотен метров и километров. О неровностях рельефа величиной менее 1 см известно мало. ■

Карстовый рельеф обычно формируется в областях, сложенных водорастворимыми породами. Чаше всего ими являются известняки, доломиты, гипсы, ангидриты, мраморы, соленосные глины и соль. Растворение происходит с большой скоростью, из-за чего эту группу даже называют карстующимися породами. Но растворению подвержены и сланцы, песчаники, граниты, кварциты, базальты и др. Скорость растворения у них в десятки тысяч раз меньше, чем у карстующихся пород. Карстообразование происходит потому, что есть не только горные породы и минералы, поддающиеся растворению, но и проточные воды и трещины в горных породах. Человек видит поздние стадии образования карста, поскольку наблюдения за миграцией воды по тончайшим трещинам невозможны. Механизмы образования карстового рельефа на первых стадиях скорее всего связаны с проницаемостью горной породы. Наиболее распространенными формами карстового рельефа являются **воронки, блюдца, шахты, колодцы, карры, долины, поля, пещеры, котлы, плотины и занавеси, террасы, сталактиты, сталагмиты** и т. д. ■



Карры образуются обычно на поверхности трещиноватых известняков и доломитов дождевыми водами, струйки которых создают промоины. Огромные карровые поля находятся в Альпах, их глубина достигает нескольких метров. Карстовые воронки на поверхности встречаются чаще. Их диаметр — от 1 до 500 м, а глубина — от 0,5 до 45 м. Цепочки воронок нередко сливаются, образуя карстовые долины. ■



Арка — след разрушения карстового массива.

В Родобах (Южная Болгария) находятся удивительные создания природы — скальные мосты. Они представляют собой огромные арки, перекинутые через крупные долины, по дну которых сейчас протекает едва заметный ручеек. Это остатки древних подземных долин, пересекавших эту часть Родоп 1,5 млн. лет назад. Многие тысячелетия подземные воды растворяли мраморы, разрушали стены пещер и создавали фантастический мир подземелий. Наконец стены пещер не выдержали и обрушились, отодвинув русло подземной реки в сторону. Высота «чудесных мостов» достигает 30 м, а ширина — 50 м. Здесь, в нишах бывших карстовых пещер, открыты стоянки древнего человека, обнаружены каменные топоры, керамика. ■

Плато Карст (территория Хорватии и Словении) — каменистая пустыня, поражающая своим унылым видом. Здесь нет воды и не видно зелени. Поверхность его покрыта трещинами, ямами, рывтинами и воронками. Есть тут и реки, но они текут под поверхностью земли в темных и сырых подземных руслах. Помимо безводья на каждом шагу путешественника ожидают глубокие трещины, провалы, бездонные колодцы. Встречаются участки, где воронки буквально, как оспины, изрыли поверхность. Их количество достигает 150 штук на квадратный километр.

Красно-бурые глины с щебнем, обнаруженные на дне воронок, являются продуктом не только химического растворения известняков, но и смыва по трещинам карстующегося массива, а также пыли, приносимой ветром. ■

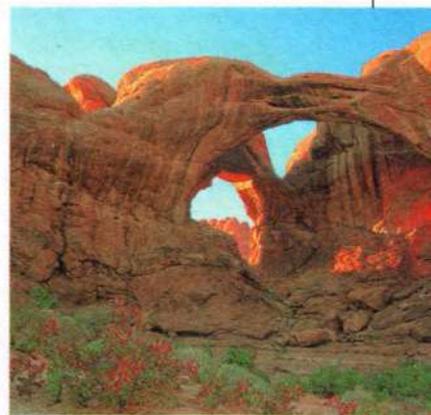


Значительная часть карстовых форм возникла в более теплых и влажных климатических условиях, скорее всего в эоцене и олигоцене, т. е. 30 — 40 млн. лет назад. Интенсивность действовавших в то время процессов выщелачивания карстующихся пород была значительно выше, чем сейчас. Однако с тех пор воронки, шахты и блюдца не заполнились обломочным материалом. Это говорит о непрекращающемся процессе карстообразования.

На Алданском нагорье имеются и древние, реликтовые формы карста в виде огромных западин диаметром до 300 м, которые заполнены белыми каолиновыми глинами, представляющими собой остатки прежней коры выветривания, возраст которой определен учеными как позднеюрский — раннемеловой.

В условиях распространения вечной мерзлоты карстообразование, по-видимому, не прекращается, о чем свидетельствует повышенное содержание солей кальция и магния в воде рек, пересекающих области с известняками и доломитами.

На Урале известно много примеров карстовых форм рельефа: Кунгурская пещера, огромные полости внутри гор Южного Урала и др. Некоторые из них служили жилищем для древнего человека и являются ценными археологическими объектами. ■



Разрушенный карстовый массив в Национальном парке в Колорадо.

Моготы — форма тропического карста на западе Кубы.

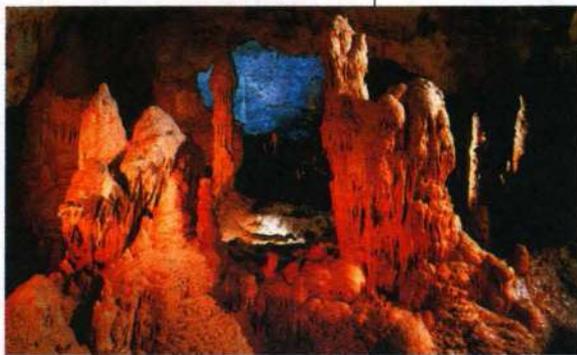


Типичный известняковый ландшафт в Серранья-де-Ронда в восточной Месете.

Башенный карст можно встретить на морских побережьях. В заливах нередко можно видеть сотни небольших известняковых островов-утесов причудливых очертаний: одни похожи на человеческую голову, другие — на дерущихся петухов, третьи имеют форму гигантской черепахи или лягушки. В скалах встречаются пещеры и гроты, некоторые почти до самого свода заполнены морской водой, поэтому внутрь их можно попасть только на лодке, да и то согнувшись. В гротах сталактиты переливаются многоцветной радугой, а при ударе по ним издают мелодичные звуки. ■

Самая большая в мире Ма-монтова пещера расположена в США. Поверхность покрыта многочисленными карстовыми воронками, по которым вода во время дождей проникает внутрь плато, оставляя его поверхность совершенно сухой. Подобные пещеры есть и на территории России. Наиболее известна Кунгурская пещера на Урале. ■

Подземный рельеф пещер.



Шахты и колодцы представляют собой узкие, почти вертикальные каналы, образованные при расширении трещин. Диаметр колодцев различен — от 0,3 до 350 м, глубина может достигать 1300 м. Карстовые долины, занимаемые руслами как подземных, так и наземных рек, характеризуются резкой ступенчатостью продольного профиля. Странные реки появляются из пещеры, текут на протяжении нескольких километров по поверхности и вновь скрываются в пещере. Эти долины — без поймы, без террас, без паводков и наводнений. Особым видом карста являются **поля** — замкнутые или полузамкнутые котловины. Площади полей достигают 500 — 600 км², глубина — сотен метров, ширина — 10 — 15 км. Одно из них — в северо-западной части Динарского нагорья — занимает площадь 380 км². Ось котловины совпадает с направлением горных хребтов и ориентировкой складчатых структур. В периоды сильных ливней тонкие частички грунта смываются и постепенно все трещины заполняются водой. Это ведет к прекращению фильтрации, а атмосферные осадки способствуют заливанию котловин.

Карстовые пещеры находятся глубоко под землей. Они очень разнообразны по размерам и конфигурации, что объясняется не только залегаем карстующихся пород, но и определенной стадией их развития.

В пещерах среди многочисленных форм карста, связанных с накоплением растворенного вещества, известны в основном сталактиты и сталагмиты. Известковые сосульки — **сталактиты** —

достигают высоты в несколько метров и толщины 1,5 — 5 м. В процессе роста сталактитов в воде уменьшается содержание CaCO₃. Выпавший в осадок углекислый кальций цементирует обломочный материал и образует карбонатные натечки. **Сталагмиты** — известковые столбы и конусы — растут снизу вверх и достигают высоты 15 — 20 м. Все это происходит очень медленно. Подсчитано, что сталагмит в Карлсбадской пещере высотой 19 м формировался около 50 млн. лет.

К натечным формам карстового рельефа относятся плотины, перегородившие подземные ходы. За подобными плотинами возникают озера. Но возраст плотин более молодой, чем сталагмитов, — 9 — 10 тыс. лет.

Под воздействием теплых влажных муссонов известняковые породы подвергаются карстованию, в результате чего возникает много причудливых пейзажей: то над пропастью поднимаются отвесные скалы, то в горах зияют глубокие пещеры, то через реки перекинута каменные мосты. Все это называется **башенным карстом**. В некоторых районах, где известняковые породы подверглись разрушениям, образовались округлые долины с ровным дном. В таких долинах на одинаковом отдалении друг от друга возвышаются конусообразные известняковые холмы, а у их подножия



При карстовых процессах нередко возникают каменные «леса».

амфитеатром располагаются ступенчатые поля, что делает каждый холм похожим на гигантский замок с крепостными стенами и сторожевыми башнями. Иногда в долинах видны небольшие холмы с острыми вершинами, издали напоминающими огромные стога сена. Карстовые долины, как правило, очень широкие, а посреди них нередко встречаются глыбы известняков. ■

В теплых и влажных условиях тропиков карстовый рельеф принимает причудливые формы. Выделяются куполовидные холмы и гряды, башни, острые конусы, карстовые равнины. Системы округлых куполов рассечены ущельями, возникшими по тектоническим трещинам. Периферия куполов обрамлена башенным карстом. Карстовые котловины и равнины разделены зазубренными грядами и глубокими ложбинами. Обломки известняков, упавшие со склонов башен или куполов, быстро разрушаются.

Густая растительность, покрывающая склоны, способствует активности вод с содержанием кислот разного состава. Поэтому, как правило, у подножий карстовых холмов или небольших гор не происходит накопления обломков. Выветривание превращает их в песок и глину, которые в дождливые периоды быстро выносятся струями воды.

Наибольшая интенсивность карстовых процессов — во влажных областях, а наименьшая — в сухих.

Текучей водой растворяются не только карбонатные и соленосные, но и силикатные породы, в которых этот процесс протекает в тысячи раз медленнее. Растворяются песчаники, граниты, сланцы и другие кристаллические породы. Речная вода, протекающая по таким породам во влажных тропиках, содержит много растворимого кремнезема.

Формы рельефа, связанные с силикатным карстом, разнообразны. На Гвианском нагорье в Южной Америке в кварцитах наблюдаются провалы, колодцы, шахты, воронки. На плато Гуайкуинима в Венесуэле в кварцитах обнаружена даже система пещер протяженностью около 2 км с горизонтальными ходами и глубокими колодцами.

Гигантские шахты диаметром 350 м и глубиной более 500 м наблюдаются на плато Рорайма, сложенном древними кварцитами. На основании ана-

лиза кварцитов, в которых есть силикатный карст, можно сделать вывод, что здесь происходит растворение как зерен кварца, так и силикатного цемента. Причем процесс должен не прекращаться десятки и сотни миллионов лет.

Формы силикатного карста образуются в результате как растворения горных пород, так и их биохимического выветривания. ■

Когда-то здесь уходил под землю бурный поток.



В карстовых подземельях встречаются сталактиты и сталагмиты, которые растут навстречу друг другу.

Образование долин (замкнутая впадина карстового происхождения) идет так быстро, что иной местный житель, вернувшись по прошествии нескольких десятилетий на родину, едва ли узнал бы ее, так как из-за провалов дома за это время были перенесены на другое место, проложены новые дороги, исчезли плодовые сады. ■



Эоловый город «имеет вид высокой гряды, покрытой сверху донизу рядами замков, башен и стен.

В действительности он опускается на юго-запад тремя широкими уступами с довольно ровной поверхностью, местами разрезанной короткими и крупными оврагами, склоны последних, а также откосы самих уступов расчленены еще более многочисленными короткими и крутыми ложбинами и рытвинами на разнообразие, часто причудливые формы; нижний уступ сложен главным образом из пластов серо-желтого рыхлого песчаника, обилующего конкрециями разной формы и величины, которые при выветривании и развеивании песчаника образуют выступы самых причудливых очертаний на стенах и обрывах.

В верхних горизонтах этого уступа появляются розоватые и зеленоватые глины, которые слагают, перемежаясь с песчаником, и верхние два уступа, почему формы рельефа по окраинам последних более массивны и округленны, представляя широкие низкие круглые башни и стены с редкими карнизами». *В. А. Обручев.* ■

ВЕТЕР — СОЗИДАТЕЛЬ И РАЗРУШИТЕЛЬ

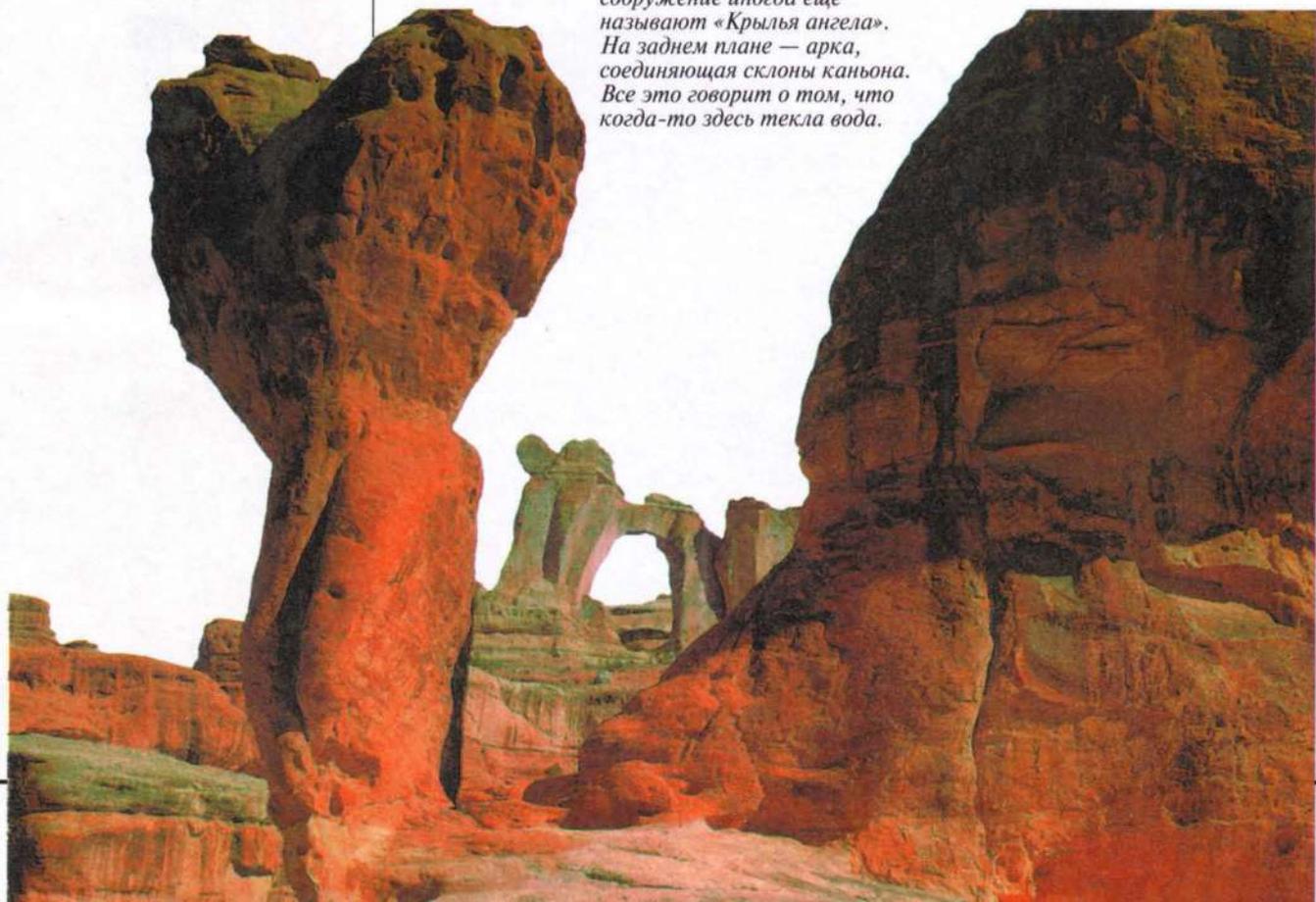
На открытых и безлесных пространствах ветер устремляется через низкие перевалы, по речным долинам, через равнины и моря, преобразуя рельеф суши и побережий. Скорость ветра достигает 45 — 50 м/с, а иногда и больше. В южных районах Евразии в мае и июне образуются пыльные бури, а в пустынных областях — самумы.

Пустыни всегда представлялись людям гигантскими скоплениями песка. На северо-западе Индостана располагаются пустыни Тхал и Тар. Эоловые формы рельефа здесь возникли в результате переработки ветром песчаных наносов древних рек и представлены низкими дюнами, ячеистыми песками.

Кроме того, тут встречаются грядовые и дюнные пески. Барханов сравнительно немного. В межгрядовых понижениях накапливаются мощные **солевые коры**.

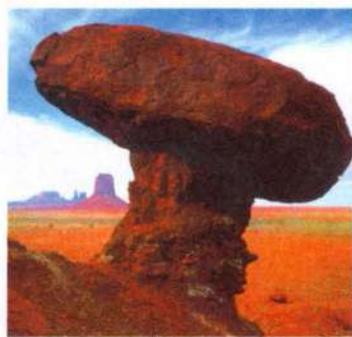
На севере Аравийского полуострова расположена песчаная пустыня Большой Нефуд с барханами. Неподалеку от нее находится пустыня Руб-Эль-Хали, достигающая в поперечнике более 1000 км. Здесь царствуют дюны, барханы высотой до 120 м, галечные равнины — рэги, по которым когда-то текли реки.

Это природное гигантское сооружение иногда еще называют «Крылья ангела». На заднем плане — арка, соединяющая склоны каньона. Все это говорит о том, что когда-то здесь текла вода.



Примерно такая же картина предстает перед путешественником при пересечении плоскогорья Гоби. Для рельефа здесь характерен каменный панцирь, образовавшийся при разрушении и выносе ветром песчаного материала; валунов и гальки накопилось столько, что галечный покров стал препятствовать воздействию ветрового потока. Переноса песок, ветер, как наждаком, истирал препятствия, встречающиеся на пути. ■

В северной части Тибета Н. М. Пржевальского в свое время поразили зимние пыльно-песчаные бури. Он писал, что «одновременно с морозами и бесснежьем характерную черту тибетской зимы составляли пыльные бури... Они всегда случались днем и обыкновенно начинались умеренным ветром, который, мало-помалу усиливаясь, к полудню достигал страшной силы и дул до заката солнца. Понемногу небо начинало сереть от поднятой в воздух пыли, которая густела все более и более, так что солнце, тускло светившее, как сквозь дым, делалось совсем невидным. Наступало что-то похожее на сумерки, так что



Каменный гриб в Долине памятников (Аризона).

на расстоянии в несколько сот шагов не было видно даже высоких гор. Пыль, песок и мелкие камни неслись в воздухе, словно снег в сильную метель. Невозможно было открыть глаза или перевести дух. А воздух делался чрезвычайно тяжелым для дыхания. К закату солнца буря вдруг стихала, но пыль продолжала стоять в воздухе». ■

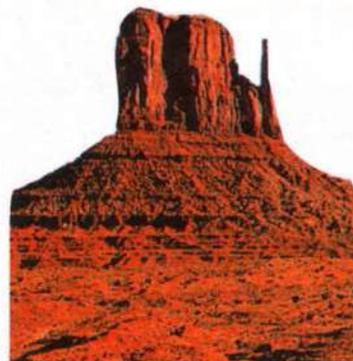
В Центральной Азии российскими учеными еще в конце XIX в. были описаны уникальные памятники природы — **эоловые города**, возникавшие при разрушении ветром гряд и котловин. В основном

они сложены песчаниками и глинами.

Название рельефа — эоловый — дано в честь древнегреческого бога ветров Эола. Возникшие формы ориентированы по направлению преобладающих ветров и имеют вид пирамид, башен, разнообразных скульптур, игл. ■

Гоби — это прежде всего равнинные плоские впадины с песками и глинистыми площадками в центре, где мало обнаженной почвы, а все одето щебенкой, черной, коричневой или серой, мелкой во впадинах, крупной — в горах. Это или мелкосопочник — сильно размывые, задернованные плоские холмы, или небольшие горы, или гряды обнаженных твердых пород с россыпями камней и невысокими ощеренными скалами.

Вот как описывал Гоби писатель, ученый-палеонтолог И. А. Ефремов: «Это ветер и блеск. Это обширные светлые плоскогорья, покрытые редкой желтой травой... и это же невысокие горы, вокруг которых вся поверхность иссечена мелкими промоинами и сухими руслами. Мощные пояса из крупных камней и щебня охватывают бастионы хребтов...» ■

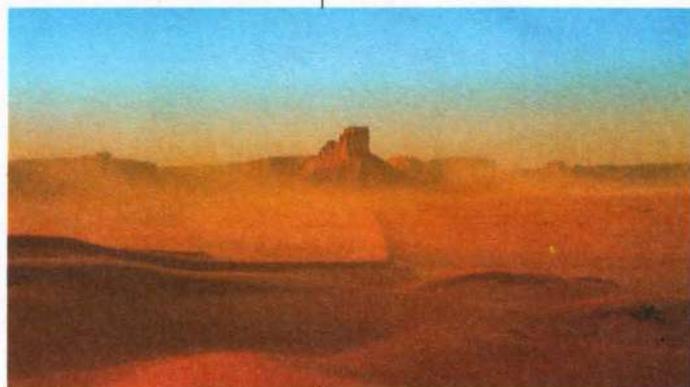


Каменные башни — все, что осталось от древнего рельефа.

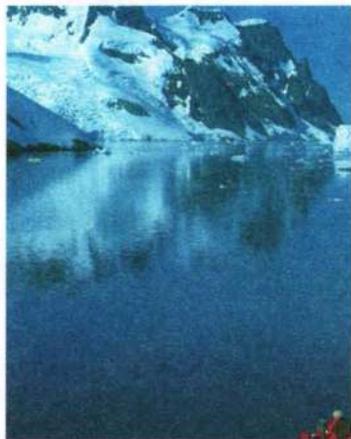
Долина памятников расположена вдоль границы штатов Аризона и Юта на юго-западе США. Названа так за каменные монолиты, возвышающиеся над равниной. Монолиты имеют необыкновенную форму и названия: Скала-замок, Рукавички, Наседка и др. ■

Почти в центре Китая располагается еще одна уникальная по своему рельефу территория — Лёссовая провинция. Рельеф имеет здесь главным образом эрозионно-эоловое происхождение, а сами лёссы являются в основном эоловыми отложениями. Лёссы — однородные пористые и неслоистые породы серовато-желтого цвета, состоящие из очень тонких пылевых частиц. Лёссы распространены в Европе, Азии, Северной Америке. Они покрывают самые разнообразные формы рельефа. Толщина лёссовых покровов достигает десятков и сотен метров. ■

Сильнейшие песчаные бури скрывают силуэт эолового города.



Из исторических хроник известно, что похолодание климата в XIII в. привело к надвиганию ледников, замерзанию морей, ледяной блокаде берегов Гренландии. Период с 1580 по 1900 г. даже был назван малым ледниковым периодом. В этой фазе разрастания и появления новых ледников было наступление льда в Приэльбрусье, наличие крупных снежных полей на Южном Урале. Ледниковые эпохи включали в себя этапы попеременного роста и сокращения ледников. Это было типично для равнинных и горно-долинных ледников. Длительность этапов зависела от глобального понижения температуры воздуха и от местных причин. Поэтому этапы оледенений на разных материках и даже в разных регионах не всегда полностью совпадают. ■



Приледниковое озеро.



Антарктида безо льда. Область Сухих долин в Трансантарктических горах.

ЛЕДЯНОЙ И ПОДЛЕДНЫЙ РЕЛЬЕФ

Самый южный материк Земли — Антарктида — почти полностью закрыт огромным ледниковым щитом. Из-под него по периферии континента выступают горы и холмы. Большая часть шельфовых ледников лежит на поверхности коренных выступов материка, меньшая — на плаву в морях. Главная особенность Антарктиды — одновременное существование ледяного и подледного рельефа, развитие которого происходит с разной скоростью. Механизмы образования у них тоже разные.

В области Полюса недоступности, почти в центре Антарктиды, находятся три ледяных купола, являющихся центрами растекания ледников. Радиус куполов достигает 2000 км, а толщина льда — около 4500 м. Под толщей льда скрыты неровности подледного ложа материка — горы и равнины. Самыми крупными подледными горами являются горы Гамбурцева высотой около 4 км. Над ними залегает толща льда в 600 м. Таких подледных гор на Земле нигде больше нет. ■

В Западной Антарктиде, в Бассейне Берда, находится огромная ледяная равнина. Толщина льда здесь — около 1000 м, а в центре — около 2500 м. Коренное основание Бассейна Берда уходит глубже уровня Мирового океана. Над поверхностью ледяной равнины поднимаются отдельные горные хребты, холмы. Среди ледниковых форм рельефа — кары, «бараньи лбы», отшлифованные льдом скалы. На поверхности склонов гор встречается крупная галька. Это позволило ученым установить, что раньше поверхность льда в регионе находилась примерно на 500 м выше. ■

Восточная Антарктида начинается длинным поясом Трансантарктических гор, где ледников немного. Этот горный пояс как бы отгораживает и защищает центральные области с ледяными куполами. Здесь находится один из уникальных памятников природы Земли — Область Сухих долин. Это целая система гор и долин, свободных от ледников, на дне их располагаются соленые озера. В поперечном сечении долины имеют вид огромного и длинного корвета. Необычность здешнего рельефа резко контрастирует с представлениями о сплошном ледяном панцире, закрывающем материк. Но в Антарктиде есть не только Трансантарктические горы, но и места, свободные от льда. Они получили название «оазисов». Причины появления оазисов — препятствия в стоке льда. Они уменьшают скорость движения ледников и повышают температуру льдов. Когда край ледника начинает утончаться, на поверхности появляются черные скалы, которые в летний период сильно нагреваются солнцем. Постепенно размеры таких участков увеличиваются, создавая особый микро-

климат, и там даже появляется вода. Скорости движения ледников по окраинам материка достигают 1000 м в год. ■

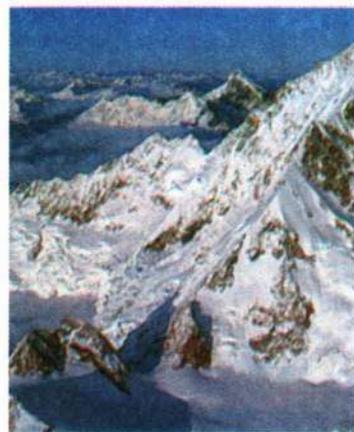
В далекой Гренландии, на другом конце Земли, ледников меньше, но и они занимают площадь в несколько миллионов квадратных километров и имеют толщину до 3000 м. Ледники часто сползают в открытое море, образуя целые стада беспорядочно дрейфующих айсбергов. Наивысшая точка Гренландского ледяного купола имеет высоту 3360 м. Иногда по окраинам купола встречаются во льду глубокие трещины — следы медленных движений ледников. Ровная или слабоволнистая поверхность ледника простирается на сотни километров. Во время летнего таяния льда талые воды создают долины до 40 м глубиной. Так же как и в Антарктиде, они существуют несколько месяцев, а затем затягиваются льдом. Возле нагреваемых солнцем скал образуются огромные воронки. ■

Горные ледники встречаются на всех континентах за исключением Австралии. Они, как правило, сосредоточены у вершин гор, где господствуют низкие температуры воздуха, а снег выпадает в течение всего года, накапливаясь в глубоких нишах и котловинах. Белые пятна и полосы ледников хорошо видны из космоса.

Горно-долинные ледники переносят массу обломочного материала. При своем продвижении лед насыщается обломками разрушенных горных пород. Они скапливаются сверху, внутри или непосредственно подо льдом. Во время таяния льда обломки остаются на поверхности. Этот процесс наиболее активен, когда движение ледника прекращается и начинается вытаивание мелкозема и валунов. Такие ледниковые отложения называются **мореной**.

Языки льда, спускаясь по долинам, своим весом разрушают основание долин, переносят крупные глыбы и оставляют их у внешнего края ледника. Множество валов и гряд в рельефе — это следы остановок ледника. Обычно это невысокие дугообразные гряды. Понижения между валами морен заняты озерами или сухими долинами. Среди валов можно встретить глыбы-отторженцы в сотни метров: когда-то они были оторваны от выступов коренных пород и перенесены ледником на сотни километров.

Когда ледник останавливался или замедлял движение, огромные массы льда так сильно давили на горные породы, что даже самые крепкие из них не выдерживали и разрушались. Обломки вмержали в тело движущегося ледника и царапали скалы. При своем передвижении ледники сгладили многие неровности в рельефе, разрушили возвышенности и кряжи, заполнили моренами долины. Наибольшему разрушению подвергались те области, где происходило зарождение ледников. Там толщина ледниковых покровов достигала нескольких километров. Для Европы таким центром оледенения была Фенноскандия, включавшая территорию Норвегии, Швеции и частично Финляндии. Небольшие центры оледенения располагались в Шотландии, на Новой Земле и Полярном Урале. К югу от этих регионов значительные территории оказались перекрытыми моренами и водно-ледниковыми отложениями. ■



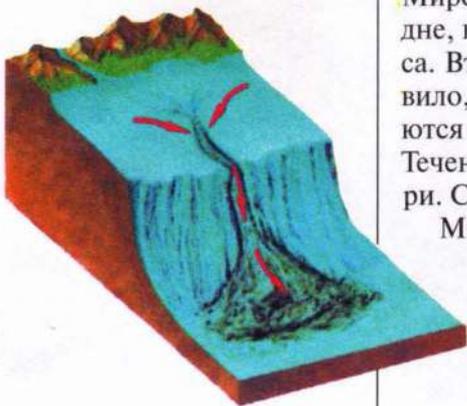
Ледниковая долина в горах Новой Зеландии.

В длительной истории Земли существовало по меньшей мере семь крупных эпох материковых (т. е. покровных) оледенений. Самое раннее началось еще в протерозое, самое позднее — существует до настоящего времени. Длительность ледниковых эпох была разной — от 10 до 100 млн. лет. Например, оледенение Антарктиды началось примерно 40 — 45 млн. лет назад с появления горных ледников. Впоследствии оно распространилось на равнины Антарктиды. Самые древние из сохранившихся морен в этом регионе планеты имеют возраст около 10 — 12 млн. лет. ■

Река Виват в горах Сунтар-Хаята (на севере Хабаровского края). Вдали виден ледник Васьяковского.



Вот как описывает каньон Вскриппса американский ученый Ф. Шепард: «Представьте себе, что вы надели акваланг и стали спускаться по каньону Скриппса от самой его вершины. Спуск вы начинаете на отлогом песчаном скате, где глубина всего 4,5 м. Вы находите там небольшую долинку и плывете вдоль нее. Постепенно ее склоны становятся все выше, а на дне появляются огромные заросли водорослей ламинарий и морской травы — зостеры. Уже на глубине 15 м склоны долины оказываются очень крутыми, а дальше долина превращается в скалистое ущелье. На глубине 53 м каньон соединяется со своим главным боковым рукавом. Отсюда можно начать подниматься по каньону. При этом попадаешь в такое узкое подводное ущелье, что можно легко коснуться руками обеих его стенок одновременно. Выше каньон несколько расширяется. Однако стенки его остаются обрывистыми вплоть до самой вершины, а там — снова крутой песчаный скат...»■



Песок и ил под водой сползают достаточно быстро, образуя при этом конусы выноса.



В СПОКОЙНЫХ ГЛУБИНАХ ОКЕАНОВ

Достигнув моря или океана, обломок хотел бы спокойно улечься на дно и «подумать о своем будущем», но не тут-то было.

Водная среда обладает собственными формами движения. Волны, атакуя берега, разрушают их и поставляют на дно крупные обломки, айсберги переносят огромные глыбы, опускающиеся в конце концов на дно, подводные течения разносят илы, песок и даже глыбы на значительные расстояния, оползни смещают под водой огромные массы грунта. Поэтому в действительности вместо спокойного накопления осадков мы обнаруживаем такую же, как и на суше, «борьбу процессов». Но подводные процессы не во всем похожи на «сухопутные» явления. Экзогенные процессы в морях разделяются на гидрогенные, гравитационные и биогенные.■

Гидрогенные процессы — это процессы осаждения на дно органического материала, приливно-отливные движения воды, ветровое волнение, поверхностные и донные течения.

Среди гидрогенных процессов первое место занимают процессы осадконакопления, затрагивающие самые глубокие и самые мелкие участки Мирового океана. Ил и песок покрывают огромные пространства на дне, выравнивая рельеф котловин и формируя гигантские конусы выноса. Второе место, пожалуй, занимают разнообразные течения. Как правило, они не захватывают всю толщу воды в морях и океанах и наблюдаются на разной глубине.

Течения не всегда прямолинейны, в них возникают даже гигантские вихри. Скорости течений различны — от 1 — 2 до 250 см/с и более.

Многолетние исследования американских, французских и российских океанологов позволили установить, что на скорость течений большое влияние оказывает сила Кориолиса, которая возникает вследствие вращения Земли. Благодаря ей вблизи западных окраин материков роль течений в образовании рельефа возрастает.

Размыв течениями горных пород приводит к образованию под во-

дой эрозионных желобов и рытвин.

Приливно-отливные течения связаны со значительной высотой приливных волн. На атлантическом побережье Канады высота приливов достигает 19,6 м; в



Круговые течения — водовороты в Средиземном море.

Аргентине — 18 м; в Англии — 16,3 м; в Охотском море — 10 м. Высота приливов зависит от очертаний берегов. Проникая по речным долинам в глубь материка, приливы вызывают речную **абразию** берегов.

На Амазонке приливные волны, называемые поророка, проникают от устья вверх по течению более чем на 500 км, создавая при этом встречную волну высотой до 7 м. При этом вверх по течению движется несколько волн со скоростью до 20 км/ч. Поророка за считанные минуты «съедает» огромные массивы берега вместе с растительностью.

Особенно активны приливно-отливные течения в узких проливах между островами. Здесь они «вычищают» дно проливов даже от крупных обломков.

Течения способны взмучивать и перемещать до 50 кг/м³ рыхлых осадков, т. е. примерно около тысячи тонн ила ежедневно. ■

Гравитационные процессы включают прежде всего подводные обвалы и оползни, а также мутьевые потоки. Подводные оползни возникают уже при углах наклона поверхности около 2 — 3°. В местах с большими массами илистого материала они образуют холмисто-западинный рельеф с валами.

Одно из самых необычных явлений на Земле — мутьевые потоки. Они возникают по разным причинам, среди которых — сейсмические толчки, быстрый вынос мелкозема реками с суши, оползни.

Для своего передвижения мутьевые потоки чаще всего используют подводные каньоны. Насыщение потоков взвешенными частичками достигает 3000 г/м³, а скорость — 870 см/с. Длина пути мутьевых потоков измеряется десятками и сотнями километров.

Так же как сели на суше, мутьевые потоки во многом определяют строение рельефа в подводных каньонах. Некоторые из них приобретают ступенчатый продольный профиль, крутые стенки делают их похожими на долинную сеть. ■

Биогенные процессы — это процессы образования коралловых островов и рифов, разрушение горных пород животными и растениями. Биогенные процессы играют немаловажную роль в тех акваториях, где условия особенно благоприятны для произрастания подводной растительности и деятельности животных.

Есть мнение, что важнейшими агентами образования рифовых построек в океане являются коралловые полипы, известковистые водоросли и мшанки. Они распространены вдоль берегов тропических морей,

образуют подводные террасы и кольцевые рифы — атоллы. Например, Большой Барьерный риф у восточных берегов Австралии тянется на 2300 км. На подводные выступы скал и глинистых холмов нередко «набрасываются» полчища моллюсков-каменоточцев, пожирающих эти породы. ■



Большой Барьерный риф у восточных берегов Австралии.

В районе Сочи на мергелистых глинах однажды насчитали 2600 моллюсков, поместившихся на 1 м² выступа пород.

На подводный рельеф воздействуют илоеды. Они разрыхляют горные породы, перемещают осадки и этим разрушают их, а вместе с ними и формы рельефа. ■



Кораллы на склонах рифов.

Выносимые с берега осадки располагаются в каждой точке океана в зависимости от расстояния от берега. Более крупные частички откладываются в прибрежной полосе, мелкозернистые пески выносятся дальше в море, и наконец, еще дальше попадают только пылевидные частицы — илы. Однако среди подводных осадков (и в илах тоже) обнаруживаются крупные обломки и даже валуны, обвалившиеся с растаявших айсбергов или унесенные льдинами берегового припая. ■

Пластовая равнина возле Парижа (именуемая Парижским бассейном) представляет собой огромную чашу, в центре которой как раз и располагается Париж. Диаметр этой чаши — около 500 км. Если двигаться от центра к ее окраине, можно заметить постепенную смену не только рельефа, но и ландшафта. Именно здесь река Марна впадает в реку Сену.

Вот как описывает известный французский географ и геолог Э. Мартон пластовую равнину: «Все мощнее врезается Марна своими меандрами в покрытое пятнами лесов и озер плато Бри, которое постепенно поднимается вплоть до поросшей виноградниками куэсты Эперне, господствующей над бесконечным горизонтом Шампаньской равнины. Меловая равнина Шампани, в свою очередь, незаметно поднимается. И вот за мягкой волнистостью влажной Шампани открываются четкие известняковые возвышенности Барруа; лесистые плато достигают здесь высоты 400 м, и врезавшиеся в них на глубину 200 м Мез и Мозель протекают на высоте, которой не достигают самые высокие холмы вокруг Парижа. Юрские известняки, образующие куэстовую гряду Лотарингии, сменяются триасовыми глинами, в толщах которых близ Нанси добывают соль. Рельеф становится еще более мощным, и песчаники нижнего триаса обрамляются, закрывая горизонт, величественный массив Вогезов, кристаллический цоколь которого достигает высоты 1300 — 1400 м».

Следы разрушения нагорья Ахаггар (Африка) ветром и древними реками.

РАВНИНЫ И ПЛОСКОГОРЬЯ

На Земле есть такие формы рельефа, которые занимают сотни тысяч квадратных километров, иногда целые океаны и большую часть материков. Их относят к планетарному рельефу.

На материках прослеживаются цепи гор, полосы равнин и плоскогорий. Это хорошо видно в Северной Америке, Европе, Азии и Африке. Среди них выделяются самые крупные горные пояса Земли: Андийско-Кордильерский, вытянутый с севера на юг почти на 18 тыс. км, Альпийско-Гималайский — около 11 тыс. км, Восточно-Азиатский — почти 11 тыс. км. На дне Мирового океана планетарные формы представлены поясами срединно-океанических хребтов и возвышенностей общей длиной 80 тыс. км, на дне подводных котловин равнинами и горами, вулканическими хребтами, размеры которых по площади соизмеримы с площадью Европы. Равнины и плоскогорья в Северном полушарии вытянуты в виде широкого пояса (2700 — 2900 км), протяженность которого с запада на восток 11 тыс. км. Равнины и подледные плато Гренландии расположены на древней платформе с характерным для нее континентальным типом земной коры.

У гор, плоскогорий и плато Канадского Арктического архипелага значительно выровнены вершины. Однако палеогеновые и неогеновые угленосные породы смяты здесь в пологие складки или разорваны разломами, из-за чего большинство островов имеют угловатые очертания. Это связано с растяжением земной коры. Лаврентийское плоскогорье также покрыто разломами и трещинами, которые ясно выражены в современном рельефе.

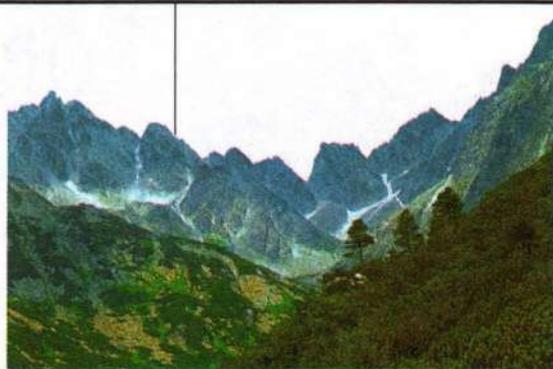
Наиболее крупные равнины сложены горизонтально залегающими осадочными породами палеозойского, мезозойского и кайнозойского возрастов, которые образуют чехол толщиной 6 — 8 км. В их рельефе хорошо выражены ступени. Местами встречаются рифтовые структуры, одна из которых проявляется на поверхности в виде долины и залива реки Святого Лаврентия, другая — расположена в котловине озера Верхнего. Равнина Великих прерий сформировалась на месте тектонического прогиба, заполненного палеозойскими и мезозойскими осадками. На них залегают палеогеновые и неоген-четвертичные толщи. На месте обширного прогиба располагается также пластово-аккумулятивная равнина побережья Мексиканского залива.



Землетрясения — причина обвалов и оползней.



Невысокие Аппалачские горы отражают положение древних тектонических структур. Мезозойский рельеф сохранился на медленно поднимающихся блоках земной коры. Этот пояс продолжается на другом материке, в северной Евразии. Высота здесь, как правило, невелика — до 800 м, но геологическое строение отличается от строения Северной Америки. На равнинах Евразии есть участки резко расчлененного рельефа, сложенного самыми древними (1—3 млрд. лет) породами. Такое строение у Кольско-Карельского и Анабарского щитов, а на юге Сибири — Алданского щита. ■



Высокогорья Карпат
(Словакия).

Там, где кристаллический фундамент погружается под толщи осадочного чехла, это отражается в морфоструктуре равнины. На севере Евразии — это Восточно- и Западно-Европейская, Западно-Сибирская равнины. Мощный (в среднем — 3 — 4 км) чехол осадочных пород полностью перекрывает кристаллический фундамент, и влияние древних структур на современный рельеф практически не прослеживается. В отдельных регионах, например в Прикаспийской низменности, толщина осадочного чехла достигает 20 — 22 км. Среди равнин нередко можно видеть плато и низкие горы. Горизонтально залегающие и смятые в пологие складки мезозойские породы, слагающие пластовые равнины Западной Сибири, перекрыты еще и чехлом древнеледниковых и озерных отложений четвертичного периода.

На востоке равнинно-плоскогорного пояса Северного полушария Земли располагается огромное Средне-Сибирское плоскогорье. Рельеф плоскогорья представляет собой ступенчатую равнину, блоки которой приподняты на разную высоту, от 400 — 600 м вблизи Байкала до 1700 м — в горах Путорана. ■

Ориентировка равнинно-плоскогорного пояса в Африке близка к меридианальной. Через весь материк, от прибрежных равнин Туниса на севере до Драконовых гор на юге, протягивается широкая (до 3500 км) полоса равнин, плоскогорий, нагорий и плато. В ее пределы входят Сахара, Гвинейское плоскогорье, котловина Конго, равнина Калахари, плато Намиб, Велд и др. К югу от Сахары находится Гвинейское плоскогорье (абсолютная высота 600 — 1000 м), геологическим основанием которого служит Либерийский кристаллический щит. Наиболее типичной чертой его рельефа являются ступенчатые возвышенности. В самом центре материка находится огромная равнина Конго (абсолютная высота 330 — 390 м). Она образовалась на месте древнего палеозойского прогиба Африканской платформы. На юге Африки на протяжении почти 2000 км тянется плато Намиб и Велд, обрывающиеся к Атлантическому океану гигантским уступом, высота которого на отдаленных участках достигает 2000 м. Равнины и низкие плоскогорья Центральной Африки отделены от Индийского океана широкой, более 800 км, полосой высоких конусов вулканов (Килиманджаро, Кения и др.), лавовых плоскогорий и узких провалов. Эта полоса вытянута с севера на юг почти на 4000 км, и ее называют Восточно-Африканским плоскогорьем. Однако на таком плоскогорье встречаются огромные горы, глубокие впадины-щели, озера, плато. Все они возникли при активных тектонических движениях, приводивших то к сжатию, то к растяжению земной коры, сопровождавшихся землетрясениями и извержениями вулканов. Здесь начинается величайшая река Африки — Нил. ■

Самым большим из горных массивов Восточно-Африканского рифта является Рувензори (5109 м). Он невелик по площади, но поднимается, как башня, нависая над ближайшими впадинами. Рувензори — гигантская глыба палеозойских гранитов, выжатая невероятным давлением из недр Земли на одном из этапов сжатия земной коры. Рувензори начал подниматься около 5 млн. лет назад, но особенно быстро — в конце плейстоцена, т. е. около 100 тыс. лет назад. Геологи полагают, что за это время горный массив поднялся на высоту более 1000 м, т. е. со скоростью 1 — 2 см в год. О его «молодом» возрасте свидетельствуют свежие расколы скальных пород, которые не поражены эрозией.

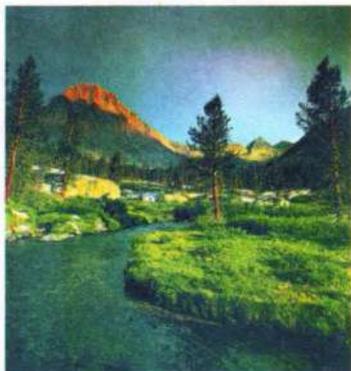
Рувензори — единственный в Африке «невулканический» горный массив, где существует горное оледенение. Ледники располагаются на шести самых высоких вершинах — 4,5 — 5,1 км. Всего здесь насчитывают 37 ледников общей площадью 5 км². Вершинная часть Рувензори имеет облик, характерный для ледниковых плоскогорий, — пирамидальные пики, зубчатые гребни, корытообразные долины, небольшие ледниковые озера.

Нижняя часть склонов Рувензори — это целая система глубоких ущелий с бурными потоками, нередко превращающихся в сели. ■



В горах Кавказа.

Известный французский географ и геолог Э. Мартон дает интересную характеристику Альп: «Обитателям равнин на первый взгляд Альпы всегда представляются миром дикой природы, и молодость рельефа кажется основной чертой долин, углубившихся на 1500 м между изрезанными гребнями со склонами, по которым стремятся вниз водопады, с горными обвалами и осыпями. Но первое впечатление вскоре становится менее резким, и привыкающий к альпийским ландшафтам глаз начинает подмечать имеющие важное значение оттенки. И действительно, реки с непрерывно крутым продольным профилем встречаются очень редко; участки с бурным течением чередуются с более пологими, в которых расширяется поперечный профиль долины. Лишь в редких случаях линия склонов, ведущих к высоким вершинам, представляет собой одну прямую. Круто поднимающиеся в гору дороги и тропинки прерываются более пологими склонами, на которых среди лугов или полей расположились селения. Эти террасы составляют повсеместно существенный элемент ландшафта».



ГОРНЫЕ ПОЯСА

Расположение планетарных горных поясов на Земле, так же как и равнинно-плоскогорных поясов, неодинаково. Альпийско-Гималайский пояс вытянут в субширотном направлении, Андийско-Кордильерский — в субмеридианальном направлении, а Восточно-Азиатский как бы окаймляет материк Азии с востока, следуя его изгибам.

Альпийско-Гималайский горный пояс начинается на юго-западе Европы и тянется неширокой полосой к востоку. В него входят Пиренеи, Альпы, Карпаты, Кавказ, Апеннины, Балканы, а также равнины во внутренних впадинах. Одной из них является впадина Черного моря. **Пиренеи** ограждают с северо-востока плоскогорье Месета барьером длиной почти 600 км. Это небольшая горная страна, по размерам равная Южному Уралу. Ширина хребта по основанию приближается к 120 км. Наивысшая точка Пиренеев — пик де Ането — 3404 м. Начинаясь у восточного окончания Кантабрийских гор, где они представляют единую гряду, к востоку Пиренеи дробятся на несколько параллельных хребтов. В своей осевой зоне Пиренеи сложены палеозойскими сланцами, песчаниками, кварцитами, известняками, гранитами. На северном и южном склонах палеозойские породы скрываются под мезозойскими и палеогеновыми отложениями. Они смяты в складки и местами надвинуты друг на друга. Единственным вулканическим районом Пиренеев является тектоническая депрессия Олот.

Альпы — одна из крупнейших горных стран этого пояса. Длина ее около 1200 км, а высота отдельных вершин превышает 4 км (Монблан — 4710 м). Горы сильно расчленены и, так же как Пиренеи, не представляют собой единого горного хребта. Осевая зона их сложена породами кристаллического фундамента — гранитами, гнейсами, метаморфическими сланцами, которые с приближением к окраинам сменяются осадочными толщами глинистых сланцев тонкослоистых песчаников и аргиллитов. С севера Альпы обрамляют низкие плато, расположенные на месте предгорного прогиба, на юге находится Венециано-Падуанская впадина. Восточную окраину Альп пересекают рифтовые впадины, отделяющие их от Дунайских равнин. Вулканов в Альпах нет.

Карпаты имеют протяженность почти 1500 км. Наивысшие отметки в Высоких Татрах — 2663 м. Ширина, однако, меньше, чем у Альп, но хребты более обособлены. Межгорные котловины глубоко проникают в горы, которые сложены в основном из песчаника и глин, но в Западных Карпатах есть граниты и гранитогнейсы. Вдоль южного склона Восточных Карпат тянется вулканический хребет. Карпаты более раздроблены, чем Альпы.



Центральные хребты Карпатских гор сложены песчаниками и гранитами.

Кавказские горы по своему рельефу более похожи на Альпы. Но их морфоструктуры различны.

Длина Кавказа достигает 1100 км, а площадь составляет около 145 тыс. км². Это горная система, состоящая из продольных и поперечных хребтов, вытянутых в одну линию впадин, вулканических массивов. По особенностям геологического строения в ней выделяются северный и южный склоны, а также осевая полоса.

В осевой полосе расположены самые высокие горы (4 — 5 км), сложенные докембрийскими и палеозойскими породами. Их выступы окаймлены песчаниками, известняками и сланцами мезозойского возраста. Главный Кавказский хребет резко расчленен глубокими долинами, на крутых склонах встречаются ледники, а самая высокая вершина Кавказа и всей Европы гора Эльбрус представляет собой огромный вулканический конус, высота которого достигает 5633 м. Реки порожисты, с бурным течением.

Кавказ выглядит как гигантский свод, разбитый на глыбы огромными трещинами. Движения этих глыб продолжаются до сих пор, что нередко приводит к обвалам на склонах.

Между цепями грандиозных гор в этой части Европы располагаются Дунайские равнины, сформировавшиеся на месте погружившегося срединного массива. Средняя высота поверхности составляет: у Верхне-Дунайской равнины — 110 — 120 м, у Средне-Дунайской — 80 — 85 м, у Нижне-Дунайской — 10 — 30 м.

Большую часть Апеннинского полуострова занимают **Апеннинские горы**. Это система средневысотных хребтов, поднявшихся и оформившихся только 800 тыс. лет назад. Здесь располагается зона наиболее значительных землетрясений и крупнейших действующих вулканов Европы. Самой высокой точкой Апеннин является гора Корно-Гранде (2914 м). Вулканы сосредоточены вдоль западного побережья Италии и на дне Тирренского моря: Амиата, Вулсино, Везувий, Этна, Вульгуре и др.

Наиболее крупными на Балканском полуострове являются **Динарское нагорье, Албано-Пиндские горы, складчатые горы Стара-Планина, Рила-Родопский горный массив**.

Продолжением Альпийско-Гималайского пояса в Азии является **Малоазийское нагорье**. На севере длинной цепью тянется **Понтийский хребет**, на юге — **горы Тавра**.

Горно-долинный ледник и валунная морена.



Понтийский хребет (3937 м) сложен смятыми в складки осадочными породами мелового, эоценового и олигоценового возраста. Они местами прерваны гранитами или перекрыты покровами базальтов. Горные цепи часто бывают разделены межгорными впадинами. Горы Тавра (2200 м) выражены в рельефе несколькими цепями. В западной части они сложены палеозойскими, а в восточной части — мезозойскими и кайнозойскими породами. Анатолийское плоскогорье в центре полуострова Малая Азия состоит из обширных равнин (800 — 1100 м).■



Верхне-Дунайская равнина представляет в основе гигантский конус выноса из предгорьев Альп, наложившийся на неровный рельеф тектонического происхождения. Равнину окаймляют островные горы — остатки погружившегося срединного массива. Разливы Дуная способствуют накоплению здесь огромных масс илистого и песчаного материала. Наиболее мощные аллювиальные и озерно-аллювиальные осадки накопились со временем на Средне-Дунайской равнине. Причина этого — в ее интенсивном прогибании. При средней абсолютной высоте в 80 — 85 м кристаллическое основание этой территории находится на 800 — 1200 м ниже уровня Мирового океана. Судя по возрасту осадков, залегающих в основании Средне-Дунайской равнины, прогибание вызвано активным тектоническим движением Альпийско-Гималайского пояса, и началось оно примерно 25 — 30 млн. лет назад. Начиная от южных склонов Карпат и вплоть до Динарского нагорья на равнине видны аллювиальные и эолово-аллювиальные песчаные поля, дюны, обширные конусы выноса. Довольно большие площади занимают лёссовые отложения.■



На западе США территорию штатов Вайоминг, Аризона и Невада пересекает река Колорадо. Длина ее составляет почти 3000 км; истоки располагаются на западных склонах Скалистых гор, а устье — в северной части Калифорнийского залива. Начинаясь в горах, река затем долгое время течет по плато того же названия, постепенно углубляясь в его недра. Плато Колорадо — высокая (более 1800 м) и сухая страна, где в течение года выпадает от 200 до 400 мм осадков. Зимой температура воздуха нередко опускается до -12° . На фоне однообразной всхолмленной поверхности плато возвышаются руины древних вулканов, отчетливо видны сухие долины и крупные ложбины. В низовьях русло реки пересекает несколько впадин и завершается дельтой, расположенной на юго-западной окраине пустыни Мохаве. В среднем течении река настолько углубилась в поверхность плато, что образовала цепочку каньонов, самым величественным и известным из которых является Большой Каньон. Он достигает длины 320 км, глубины — до 2000 м и ширины по бровкам — почти 30 км. Ступенчатые склоны каньона часто имеют вид колонн, нависших козырьков, глыбовых осыпей. Изрезанность склонов обусловила здесь появление необычайно красивых форм рельефа, получивших интересные названия: Книжные утесы, Каньонные Земли, Долина памятников, Живописная пустыня, Красная стена и др. ■

Заснеженные пики гор и огромные ледники — характерные черты рельефа Памира и Каракорума.

Армянское вулканическое нагорье (5156 м) находится к востоку от Анатолийского плоскогорья. Здесь можно видеть вулканические плато, конусы вулканов, провальные котловины и другие формы вулканического рельефа. В целом Армянское нагорье представляет собой огромный свод, приподнятый и расколотый на отдельные части.

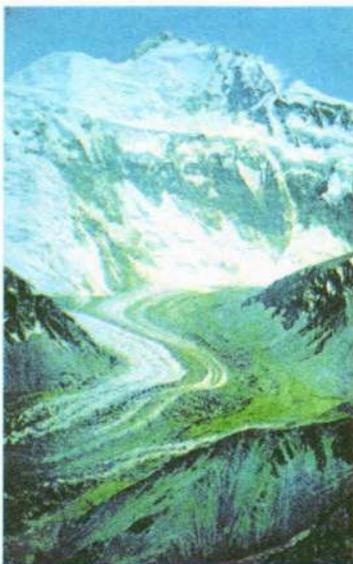
Наибольшую площадь огромного **Иранского нагорья** (5604 м) занимает хребет Эльбурс, горы Загрос и обширные равнины между ними. Это активная сейсмическая зона, где происходят землетрясения силой до 10 баллов.

Горные страны **Гиндукуш, Памир, Гималаи** и **Тибетское нагорье** являются самыми высокими на нашей планете. Главная черта рельефа — очень глубокое расчленение. Мощность земной коры на границе Гималаев и Тибета достигает 70 км, что примерно на 30 км больше, чем на смежных территориях. Гималаи включают в себя огромную территорию длиной около 2500 км и шириной до 350 км. Эверест достигает 8848 м. Наиболее высокая часть Гималаев сложена кристаллическими сланцами, а Эверест — пермскими известняками.

Одним из самых эффектных горных узлов на поверхности Земли является **Памир**. В нем сходятся горные цепи Каракорума, Куньлуна, Гиндукуша. Здесь соседствуют высочайшие горы и высокогорное плато. Горные гряды с острыми зубренными гребнями разделяют гигантские долины глубиной 2 — 3 км. В их верховьях лежат огромные ледники и ледниковые озера. Ученые полагают, что эти признаки указывают на продолжающееся до настоящего времени быстрое поднятие гор (1—2 см в год). Об этом же напоминают частые землетрясения, приводящие к крупным обвалам и разрушению склонов. Геологи предполагают, что Памирский горный узел был создан при столкновении литосферных плит.

На юго-востоке Альпийско-Гималайский пояс оканчивается **Бирманским нагорьем** (4149 м), сложенным гранитами, кристаллическими сланцами, известняками и песчаниками. Субмеридианальные хребты разделены здесь продольными впадинами. Осевые зоны сложены мезозойскими гранитами и сланцами. Похоже на него и **Шанское нагорье**.

Таким образом, для всего Альпийско-Гималайского пояса характерны динамичность и контрастность тектонических движений (в Альпах размах движений составил 10 — 12 км; в Карпатах — 6 — 7 км; в Гималаях — 10 — 12 км). Хотя вулканизм развивался не во всех горных странах этого пояса, но сейсмическая напряженность довольно высока. Зоны «сейсмического молчания» чередуются с зонами частых землетрясений силой до 10 баллов. ■



Андийско-Кордильерский горный пояс при ширине от 600 до 1200 км протянулся на 18 тыс. км. Он начинается на Аляске и идет вдоль западных побережий Северной и Южной Америки.

Горы и плоскогорья Аляски отличаются разнообразным рельефом. Приморские равнины отделены от внутренних областей высокими хребтами, **Юконское плоскогорье** разбито на участки межгорными впадинами, а **хребт Брукс** непроходимой стеной отделя-

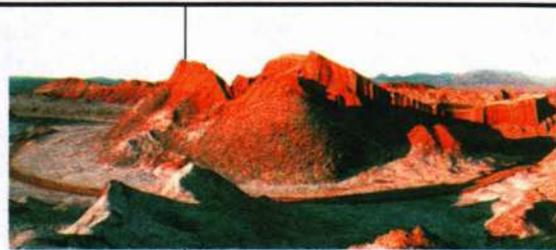
ет Юкон от льдов океана на севере. В геологическом строении этой территории участвуют породы докембрийского, палеозойского и мезозойского возрастов. Они, как правило, смяты в складки и смещены по зонам надвигов. Для востока Аляски характерны глубокие продольные рвы, тянущиеся далеко на юг.

Скалистые горы — это цепь высоких параллельных хребтов и горных массивов, вытянутая на 3200 км. Ширина цепи значительна (400 — 700 км), хотя и непостоянна. Толщина земной коры — около 40 км. Горы достигают высоты 4399 м. Тектоническая и геологическая структуры Скалистых гор на севере и юге заметно различаются. На севере видны глубокие рвы, глыбовые массивы. В центральной и особенно в южной части Скалистых гор широко распространены рифтогенные образования. До сих пор одной из геоморфологических загадок остается происхождение гигантского Рва Скалистых гор — узкой (около 6 — 12 км) трещины, вытянутой вдоль западного склона гор на 15 тыс. км. По разрывам в толще горных пород можно установить надвиги докембрийских толщ на мезозойские породы. Громадная длина Рва объяснима только тектоническими растяжениями земной коры. В центральной части главный хребет имеет ширину около 300 км. Южная часть Скалистых гор резко отличается от северной и центральной частей.

Между Скалистыми горами и морским побережьем расположены внутренние плато, горы и плоскогорья. Они включают плато Стикин, Нечакко-Фрейзер, Колумбийское, Колорадо, а также провинцию Хребтов и Бассейнов. Внутренние плато и плоскогорья характеризуются волнистым рельефом с горами. Колумбийское плато (200 — 1000 м) сложено в основном вулканическими породами; Колорадо — горизонтально залегающими толщами осадочных пород и только провинция Хребтов и Бассейнов представляет собой уникальную территорию с необычным рельефом. Средняя высота ее — 1400 — 1700 м, максимальная — 4356 м.

По своему рельефу отличается от Скалистых гор и внутренних равнин **Мексиканское нагорье**. Это горная область с разобшенными грядами высотой 600 — 1000 м. Некоторые из них достигают 2500 м. Здесь есть обширные плато и вулканические массивы. Из наиболее известных вулканов можно назвать Попокатепетль (5452 м) и Орисаба (5747 м). Они отличаются хорошо выраженными коническими массивами.

В прибрежной зоне Тихого океана располагаются высокие хребты и глубокие впадины, а рельеф менее контрастный, хотя именно здесь нахо-

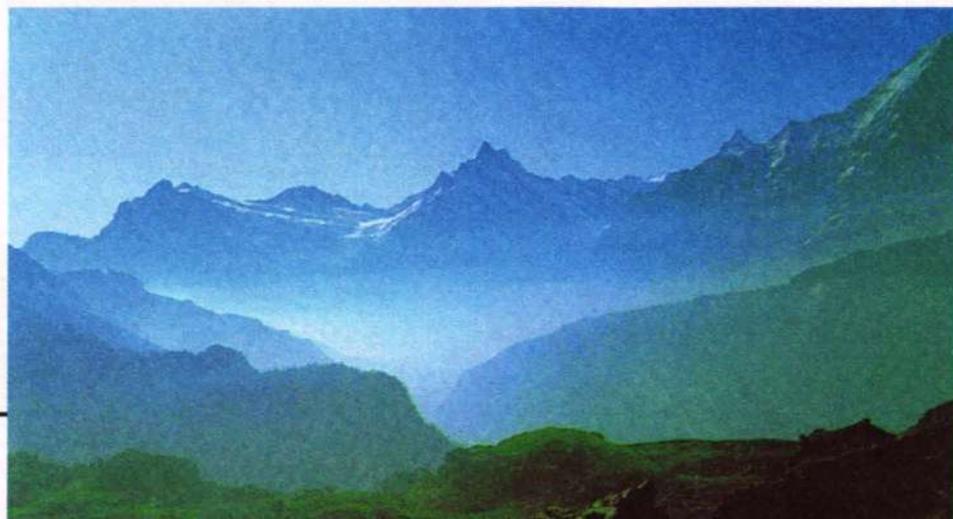


Горы и равнины пустыни Атакама в Южной Америке тянутся вдоль тихоокеанского побережья.

Европейцами Большой каньон был обнаружен в 1540 г., когда военному отряду испанцев аборигены показали сверху реку Колорадо, протекавшую на такой глубине, что она иногда скрывалась в фиолетовой дымке. При этом индейцы наотрез отказались показать места, где они сами спускались на дно каньона. Из-за этого испанский отряд так и не смог пересечь реку Колорадо. Впоследствии миссионеры и путешественники не раз посещали эти места. В 1766 г. священник Франсиско Гарсес назвал реку на дне каньона Колорадо, что означало «цветная». Скорее всего, это произошло из-за красно-коричневого цвета воды в реке, обязанного своим происхождением размыву и попаданию в воду больших объемов красных глин, сползающих со склонов Большого каньона. Однако только в 1869 г. Дж. Пауэлл смог успешно проплыть по всему каньону на плоту.■

Анды — одно из звеньев гигантского «огненного кольца» вокруг Тихого океана. Сотни вулканов шеренгами тянутся вдоль побережий, то удаляясь от них, то приближаясь к самому берегу.■

Альпийский рельеф.



Тибетское нагорье.



Землетрясения несколько раз в течение года сотрясают побережье Тихого океана, один раз в течение 4 — 8 лет наступление Эль-Ниньо приводит к катастрофическому выпадению осадков, сходу селевых потоков, углублению речных долин, наводнениям.

Между тем в вершинном поясе Эквадорских и Перуанских Анд расположены не только высокие горы, но и плоскогорья и равнины, не уступающие по своей высоте Тибетскому нагорью. Вместо многоводных рек, крутосклонных долин здесь преобладает более спокойный рельеф с глубокими оврагами, озерными равнинами, аридным рельефом. ■

Многим из путешественников, причалившим на корабле к побережью Перу или Эквадора, открывается необычная картина: холмы и низкие горы расчленены густой сетью сухих долин, покрытых зарослями древовидных кактусов и сухих кустарников. Парадокс состоит в том, что в колючих «ветвях» и иглах кактусов на высоте 2 — 3 м над сухим руслом застряли речная галька и даже валуны. Объясняется это тем, что здесь за год выпадает всего от 50 до 120 мм осадков, однако почти все они принесены с ливнями. Бурные потоки быстро наполняют при этом сухие долины, перенося много ила, валунов и гальки. Рельеф на дне сухих долин почти ежегодно перестраивается. Обычно это происходит в сезон дождей, т. е. с декабря по март. ■

Вулкан Котопакси в Эквадорских Андах.

дится самая высокая точка Америки — гора Мак-Кинли (6193 м). Характерная черта рельефа — исключительная раздробленность блоков, линейное расположение хребтов и впадин.

Различия в крупных чертах рельефа этой части Андийско-Кордильерского горного пояса обусловлены прежде всего историей их формирования. Горные массивы Скалистых гор сформировались в конце мезозоя, когда на месте внутренних плато и плоскогорий еще существовали низменные равнины. Раздробленные, но менее активные в тектоническом отношении морфоструктуры Скалистых гор уже примерно 10 млн. лет назад превратились в крупные линейные хребты и впадины, а потом в систему чередующихся вулканических хребтов и плато, глыбовых гор, шелеобразных рвов.

Узкий и длинный перешеек, соединяющий Северную и Южную Америку, называют Центральной Америкой. Она характеризуется множеством вулканических массивов и хребтов, лавовыми плато и плоскогорьями. Густая сеть разломов пронизывает всю земную кору этого региона. Андийско-Кордильерский пояс продолжается в Южной Америке. Наиболее характерная черта расположенных здесь Анд — разветвленная система хребтов, называемых Кордильерами. Они тянутся почти параллельно друг другу и разделены глубокими впадинами, высокими плато и плоскогорьями. Самый высокий горный массив Анд венчает гора Аконкагуа (6980 м).

По обе стороны Анд располагаются линейные прогибы. Они имеют разное происхождение. На севере пояс начинается субширотной полосой Венесуэльских Анд, которые без резких переходов сменяются Колумбийскими Андами. Самые крупные хребты здесь — Западная, Центральная и Восточная Кордильеры, как бы расходящиеся лучами из одного узла в районе массива Кумбаль на юге Колумбии.

Расположенные к югу Эквадорско-Перуанские Анды имеют ширину всего 320 — 350 км. Здесь отсутствуют изгибающиеся горные цепи. Средняя высота доходит до 4 — 5 км, а наивысшие отметки имеют вулканиче-



Анды.



ские массивы Чимборасо (6272 м) и Котопакси (5896 м). В этом районе отчетливо выражена в рельефе так называемая аллея вулканов — дно крупного грабена, заполненного пеплово-песчаными и щебнистыми отложениями и обрамленного с обеих сторон цепями вулканических конусов. На юге Перу поднятие межгорных котловин привело к образованию огромных плоскогорий.

Если двигаться к Андам со стороны Тихого океана, то горная цепь Анд возникает как-то сразу, без постепенного подъема. Путь преграждают ущелья с бурными потоками, склоны становятся очень крутыми, покрытыми желтыми пятнами свежих оползней и обвалов. В долинах практически нет речных террас.

Здесь можно начать подъем на Западную Кордильеру. Крутые склоны уходят вверх, автомобильная дорога извивается, приспособившись к рельефу. И вот по обеим сторонам дороги появляются сухие степи, между куртинами трав отчетливо видна высохшая земля. На горизонте вырастают конусы вулканов, которые сначала не производят особого впечатления — их просто не с чем сравнивать. Неожиданно дорога начинает спускаться, и путешественник попадает на дно обширной депрессии, занятой многочисленными поселками, полями, пастбищами. Эту депрессию называют по-разному — аллеей вулканов, внутриандийской впадиной, полосой гигантских грабенов. Депрессия с обеих сторон окаймлена горными грядами Западной и Восточной Кордильер, ширина ее достигает 40 км.

Для жителей умеренного пояса такие рельеф и ландшафты во многом необычны. В Эквадоре и Перу их называют **парамо**, т. е. высокогорные равнинные сухие степи. Парамо занимает высотный пояс между 2800 и 4700 м. Холмистые равнины здесь — сочетания поверхностей, сложенных вулканическим пеплом и обломками, выброшенными при извержении вулканов. Отчетливо видны полосы **лахаров** — застывших горячих потоков.

В геологическом разрезе ландшафты парамо — «слоеный пирог», состоящий из разных пород и сохраняющий память о катаклизмах прошлого. ■

Горы на дне Мирового океана изучены не так хорошо, как на суше. В самых крупных океанах — Тихом и Атлантическом, простирающихся по обе стороны от экватора, рельеф не может быть даже сравним с самыми значительными горными поясами на суше.

Тихий океан окружен с севера, запада и юго-запада окраинными морями, глубоко вдающимися в континенты. Основные морфоструктуры дна —

Значительную роль в преобразовании рельефа парамо играют водотоки, которые возникли в результате интенсивных дождей, извержений вулканов и таяния ледников. Кроме того, обширные открытые пространства — это вотчина высокогорных ветров, даже создающих небольшие барханы. Пепловый покров способствует развитию огромных и глубоких оврагов. Глубина некоторых из них превышает 400 — 500 м. Плоские междуречья, сложенные песчано-глинистыми и щебнисто-глыбовыми отложениями, так тщательно «подметаются» ветрами, что на поверхности нередко обнажаются огромные глыбы, передвинуть которые ветру не под силу. Возникают фантастические ландшафты каменных лабиринтов, тянущиеся на сотни метров. В сезон дождей в парамо происходит интенсивный смыл почвы, в сухой сезон — пыльные бури.

Парамо — один из очень редких природных феноменов. ■

Лестница водопадов в Андах.



Руины древнего города Мачу-Пикчу в Южной Америке.



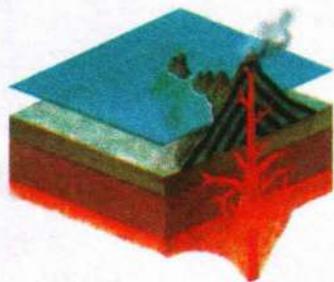


Вулканические острова — характерная черта Тихого океана.

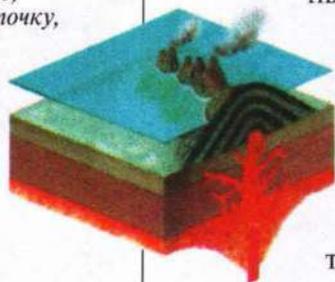
«Огненное кольцо» вулканов вокруг Тихого океана почти по всему периметру соседствует с глубоководными желобами. Это единственный океан на Земле, где желоба опоясывают его на западе, севере и востоке.

В центре Тихого океана желобов нет, хотя встречаются глубокие вытянутые впадины.

Желоба же имеют гигантские размеры, несоизмеримые с формами рельефа суши. Так, например, длина Алеутского желоба (на севере Тихого океана) достигает 2800 км. Это такое же расстояние, как от Иркутска до Хабаровска. ■



Когда плита, двигаясь, пересекает горячую точку, вулкан извергается.



это **срединно-океанические хребты** и **подводные котловины** с горным и равнинным рельефом.

Срединно-океанические хребты Тихого океана вытянуты на многие тысячи километров и местами приобретают вид широких и протяженных возвышенностей, которые нередко разбиты трансформными разломами на сегменты разного размера и разного возраста.

Планетарная система срединно-океанических хребтов и возвышенностей в Тихом океане представлена широкими и слабодифференцированными Южно-Тихоокеанским и Восточно-Тихоокеанским поднятиями. Неподалеку от Калифорнийского залива Восточно-Тихоокеанское поднятие вплотную подходит к континенту Северная Америка. У этого хребта рифты слабо выражены, а местами отсутствуют. В рельефе чаще прослеживаются купольные возвышенности, отстоящие друг от друга на 200 — 300 км.

Горные сооружения в других частях Тихого океана представлены сводоглыбовыми хребтами, имеющими иногда дугообразные очертания. Например, северную дугу образует Гавайский вулканический хребет. Остров Гавайи представляет собой вершину поднимающегося над водой вулканического массива из щитовых подводных вулканов, слившихся своими основаниями. К югу от Гавайского хребта располагается горная система, длина которой достигает 11 тыс. км. На разных участках она имеет различные названия. Начинаются эти подводные горы от массива Картографов, затем переходят в горы Маркус-Неккер и далее представлены подводными хребтами вблизи островов Лайн и Туамоту. Эта горная система идет почти до основания Восточно-Тихоокеанского поднятия. По предположениям ученых, все эти горы — фрагменты бывшего срединно-океанического хребта.

Огромная Северо-Восточная котловина на дне Тихого океана лежит на глубине около 5 км (максимальная глубина ее составляет 6741 м). На дне котловины преобладает холмистый рельеф. ■

К планетарным формам рельефа также относится **Атлантический океан** — второй по размерам и глубине среди океанов Земли. Он тянется от Гренландии до Антарктиды. Планетарной морфоструктурой является Срединно-Атлантический хребет, делящийся на три хребта: Рейкьянес, Северо-Атлантический и Южно-Атлантический.

Хребет Рейкьянес прослеживается от острова Исландия к югу. Русский ученый О. К. Леонтьев полагал, что это даже не хребет, а нагорье с хорошо выраженными осевой и фланговыми зонами.

Северо-Атлантический хребет разбит на множество сегментов трансформными разломами, причем в месте их пересечения отмечены глубокие грабены, часто значительно более глубокие, чем осевая рифтовая впадина.

Южно-Атлантический хребет имеет меридианальное простирание и разбит на сегменты такими же разломами. Ложе Атлантического океана не содержит особенно крупных подводных котловин, но плато и горы встречаются часто. Одна из наиболее крупных подводных котловин — Северо-Американская. В ее пределах обнаружены три плоские равнины. ■



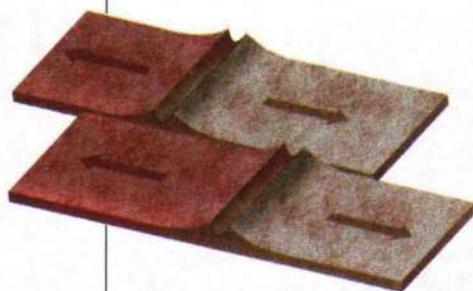
Система срединно-океанических хребтов в Индийском океане — третьем по величине океане Земли — отличается от подобных хребтов в Атлантическом океане тем, что они состоят из отдельных звеньев (Аравийско-Индийский, Западно-Индийский, Центрально-Индийский хребты; Австрало-Антарктическое поднятие), которые как бы сходятся в одной точке. Внутри такого узла находится глубокий каньон, который постепенно расширяется и приводит к распаду подводных гор на отдельные части.

На дне Индийского океана существуют и глубоководные котловины. Дно в них опущено на глубину 5 — 6 км. В рельефе Западно-Австралийской котловины (–6429 м) хорошо выражены подводные гряды и холмы. В самой большой Центральной котловине (–5290 м) на дне расположена наклонная поверхность аккумулятивного шлейфа с отчетливыми ложбинами — следами мутьевых потоков. Но посреди пологого шлейфа встречаются и горы высотой 3 — 3,5 км.

В северо-восточной части океана находится Восточно-Индийский подводный хребт протяженностью около 4800 км и относительной высотой около 4000 м. На обрывистых склонах этого хребта почти не встречается молодых осадков, а древний осадочный покров содержит внутри магматические тела. Хребт образовался на месте крупного меридианального разлома земной коры около 75 млн. лет назад (т. е. в позднемеловое время). Мощные излияния вулканических лав неоднократно приводили к появлению вершин хребта в виде островов, возвышавшихся над поверхностью океана.

Следуя теории «тектоники плит», срединно-океанические хребты в Индийском океане являются границами Африканской, Индо-Австралийской и Антарктической литосферных плит. Само дно представляет собой результат расползания этих плит.

В арктической области Северного полушария располагается **Северный Ледовитый океан** — сравнительно небольшой по размерам. Его площадь составляет около 13,1 млн. км², а средняя глубина — 1780 м. Кроме того, в его пределах находятся многочисленные окраинные моря и огромные подводные равнины материковых шельфов. Ширина некоторых из шельфов достигает 1300 км. Это самые большие мелководные равнины на нашей планете. Характерно, что в Северном Ледовитом океане отсутствуют глубоководные желоба. В точке Северного полюса глубина океана составляет около 4400 м. ■



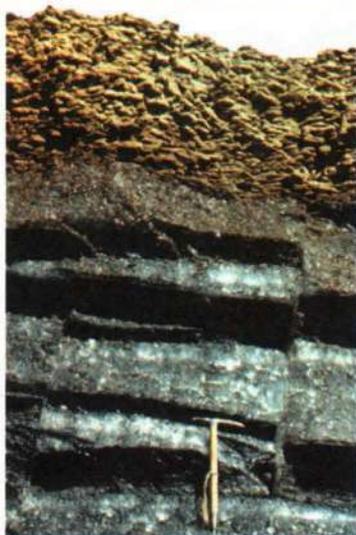
Смещение рифтовых долин в срединно-океанических хребтах происходит по трансформным разломам.

Если поместить на дно желоба Тонга, расположенного на юго-западе Тихого океана, гору Эверест, то она «утонет» в нем и еще сверху останется около 1,5 км толщи воды. Таковы соотношения между горами на суше и впадинами в океане. ■



Острова бывают окаймлены цепочками коралловых барьеров. Рифы и острова — это самые верхние части подводных вулканов.





Горизонтальные прослои льда в толще морских многолетнемерзлых отложений в нижнем течении Енисея. В качестве масштаба — ледоруб.

Так выглядит ледовый комплекс, слагающий Яно-Индигирскую, Колымскую низменности и значительные пространства Новосибирских островов.

Ледовый комплекс состоит из повторно-жильных льдов гигантской ширины и мерзлых грунтов в виде колонн, сцементированных прослоями льда разной толщины. Данный комплекс — это реликт последнего термического минимума (15 — 18 тыс. лет назад). В современных климатических условиях он протаивает и разрушается. Следы этого явления видны на переднем плане фотографии.

ЧТО ТАКОЕ ВЕЧНАЯ МЕРЗЛОТА

Вечная мерзлота — это подземный лед и холод, проникающие в глубину недр на сотни метров и существующие в течение длительного времени. Отрицательная температура и наличие подземного льда являются специфическими признаками вечномерзлотных толщ.

Вечная мерзлота — это подземная часть **криосферы** — особой природной оболочки Земли, которая имеет постоянную отрицательную температуру и содержит значительные включения грунтового льда.

Подземный лед — самый загадочный и таинственный вид природного льда на Земле. Даже в наше время, которое называют эпохой информации и научно-технического прогресса, еще трудно наверняка сказать, как образуется лед под землей. Подземный лед — это часть более общего природного явления — **вечной мерзлоты**.

В других разделах дается представление о различных видах снега и льда, которые возникают при замерзании свободной воды, разделенной на мелкие капли либо находящейся в больших массах на поверхности земли. Но ведь вода присутствует также и под поверхностью земли. Ее называют грунтовой, или подземной, водой.

Грунтовая вода находится в самых разнообразных соотношениях с твердым минеральным скелетом горных пород. Отсюда и разнообразие подземных вод. Вода может образовывать подземные реки, если она фильтруется по пластам крупнозернистых (песчаных и галечных) пород. Существуют и подземные резервуары воды, напоминающие озера, которые возникают в крупных структурах земной коры — артезианских бассейнах. И все же больше всего грунтовой воды в порах,



тонких трещинках и капиллярах различных пород. Такая вода называется связанной, или пленочно-капиллярной. Ее молекулы притягиваются или адсорбируются поверхностными силами минеральных частиц грунта. Благодаря присутствию пленочно-капиллярной воды глинистые грунты приобретают пластичность.

Если кусочек пластичной глины, настолько легко поддающийся деформации, что из него нетрудно вылепить любую фигуру, положить в холодильник, то через некоторое время глина замерзнет и станет твердой, как камень. Кристаллы льда, возникшие при замерзании пленочно-капиллярной воды, содержащейся в глине, накрепко сцементировали частицы минералов, и образовался мерзлый грунт.

В принципе такой же процесс происходит в природе. Жителям стран Европы, Америки да и других регионов хорошо знакомо явление кратковременного, или зимнего, промерзания почвы до небольшой глубины (несколько десятков сантиметров). Весной и летом сезонная мерзлота довольно быстро оттаивает. ■

В отличие от сезонной вечная мерзлота существует уже 1-1,5 млн. лет. Это, разумеется, максимальная длительность мерзлого состояния грунтов. Естественно, в природе встречается и более молодая вечная мерзлота — возрастом всего в несколько лет. В вечной мерзлоте, толщина которой достигает сотен метров, большая часть грунтовой влаги в результате замерзания превращается в различные формы подземного льда — от единичных не видимых глазом кристаллов до огромных скоплений в виде многометровых пластов и жил. Термин «вечная мерзлота» следует понимать в смысле долговременности существования мерзлых толщ. На самом деле ничего вечного нет. Мерзлота, как и все на Земле, непрерывно меняется. ■

Следы вытаявшей ледяной жилы в озерно-ледниковых отложениях близ Лейпцига (Германия).

Ледяная жила была заключена в вечной мерзлоте, когда 300 тыс. лет назад недалеко располагался ледник, а перед его фронтом земля промерзла на несколько сотен метров.



Вечная мерзлота — уникальный естественный холодильник. Это подтверждают многочисленные находки трупов мамонтов, шерстистого носорога, первобытного бизона, древней лошади и других животных, в настоящее время не живущих на Земле.

Самая знаменитая находка была сделана в 1972 г. на берегу притока реки Индигирки — реке Шандрин, где был обнаружен громадный мамонт, проживший 150 лет и пролежавший в вечной мерзлоте свыше 20 тыс. лет. ■

ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

История изучения вечной мерзлоты насчитывает около 350 лет и содержит немало волнующих, драматических страниц.

Установлено, что первые научные факты, свидетельствующие о реальности вечной мерзлоты, относятся ко второй половине XVII в.

Русским ученым принадлежит приоритет в научном истолковании явления глубокого промерзания земной коры. Еще в XVIII в. они опубликовали данные, свидетельствующие о широком распространении вечной мерзлоты в Сибири и о находках в ее толще неразложившихся трупов мамонтов.

Ленские воеводы П. Головин и М. Глебов сообщали в 1640 — 1643 гг. царю в Москву: «А в Якутском-де, государь, по сказкам торговых и промышленных служилых людей, хлебной пашни не чают; земля-де, государь, и среди лета вся не растаивает». Это было одно из первых достоверных сведений о наличии не тающей в течение лета мерзлой подпочве, или вечной мерзлоте. Про нее знали, конечно, казаки и землепроходцы — первые исследователи Сибири. А коренные жители этих мест знали о вечной мерзлоте всегда. Для них она была реальностью и служила естественным холодильником: в летнее время они закапывали мясо и рыбу в глубокие ямы на хранение.

Просвещенные люди России верили донесениям казаков-землепроходцев и ленских воевод и накапливали сведения о вечной мерзлоте. Через столетие этими сообщениями воспользовался М. В. Ломоносов и дал научное объяснение происхождения этого явления природы. ■

Однако не все ученые считали сведения о вечномерзлой подпочве достоверными. Особенно много скептиков поставляла Западная Европа. Они никак не могли себе представить, что при существовании на сравнительно небольшой глубине вечной мерзлоты, т. е. при постоянных отрицательных температурах, здесь могут произрастать высокоствольные леса, которые в Сибири простираются до весьма высоких широт.

Известный естествоиспытатель Леопольд фон Бух даже в первой половине XIX в. писал: «Я вполне убежден, что должно считать совершенно ненадежными все известия, в которых утверждается, будто на глубине нескольких футов земля даже и летом была находима замерзшею в странах, где произрастают кустарниковые растения. Показание казаков не должно было бы употребляться для подкрепления столь странного и невероятного факта». ■

Окончательный удар по сомневающимся и противникам реальности существования вечной мерзлоты нанесло



Местные жители, находя в вечной мерзлоте туши древних животных — мамонтов, кормили их мясом ездовых собак.

Уникальной находкой явилась совершенно целая мерзлая тушка мамонтенка, со шкурой и шерстью, названного в многочисленных публикациях Димой. Его обнаружил летом 1977 г. бульдозерист старательской артели в верховьях реки Колымы, недалеко от поселка Сусуман, под двухметровым слоем мерзлого грунта. ■



сооружение шахты в Якутске купцом Федором Шергиным. Шахта-колодец сечением 2,13 × 2,13 м была вырыта, чтобы найти грунтовую воду для питья, как это обычно делается и в наши дни вне зоны вечной мерзлоты. Работа длилась почти 10 лет — с 1827 по 1836 г. В результате была достигнута глубина 116,4 м, но пробить вечную мерзлоту и найти воду так и не удалось. Вряд ли современный человек может представить, какие колоссальные усилия потребовались для создания Шергинской шахты в те годы. Работать можно было только зимой, когда плотность воздуха на поверхности больше, чем у забоя шахты. Это обеспечивало естественную вентиляцию шахты. Летом нормальный воздухообмен невозможен, поскольку тяжелый холодный воздух в шахте остается неподвижным и не вытесняется воздухом с поверхности. А летняя жара в Якутске нередко достигает 30°C и более. Свечи у забоя гасли, рабочие задыхались, а об искусственной вентиляции в те далекие годы и речи быть не могло. ■

Предоставившейся возможностью исследования вечной мерзлоты в шахте Шергина воспользовались ученые. Российская академия наук дала адъютанту **А. Ф. Миддендорфу** (1815 — 1894), в будущем академику, специальное поручение измерить температуры грунта в шахте. В 1844 — 1846 гг. был проведен замер температур вечномерзлого грунта по всему разрезу шахты. На глубине 116 м температура оказалась равной -3°C. А. Ф. Миддендорф впервые вычислил значения температурного градиента и определил мощность вечной мерзлоты: она оказалась равной 187 или 204 м при значении геотермического градиента соответственно 2,8° и 3,3° на 100 м. Эти данные были очень близки к реальным, полученным уже в наши дни по результатам бурения (210 — 214 м).

Первую в истории науки специальную экспедицию по изучению вечной мерзлоты провел А. Ф. Миддендорф. Его исследования произвели сенсацию в кругах ученых и просвещенных людей того времени.

Впоследствии шахта Шергина неоднократно использовалась для наблюдений за температурой вечной мерзлоты. Сейчас шахта объявлена историческим памятником и охраняется государством.

Тот, кто смог увидеть шахту Шергина, освещенную мощными прожекторами, висящими на тросе по всему разрезу шахты, и заглянуть в глубь вечной мерзлоты, не останется равнодушным. Зрелище поражает даже в наши дни.

В то время, когда некоторые ученые сомневались в реальности существования вечной мерзлоты, участники гидрографической экспедиции (1820 — 1823) на побережье моря Лаптевых и на Новосибирских островах обнаружили огромные залежи подземных льдов в многочисленных береговых островах. Многометровые ледяные жилы, по мнению

участника экспедиции А. Е. Фигурина, образовались в результате замерзания воды, проникавшей в трещины, которые возникали в почве в результате ее неравномерного охлаждения. ■

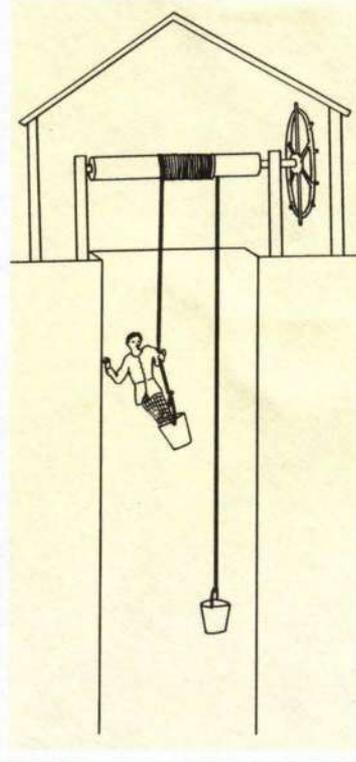


Отложения, в которых были заключены кости животного, первоначально находились в мерзлом состоянии, затем они протаяли в связи с потеплением климата и деградацией мерзлоты в Европе. ■

Ученые, изучившие мамонтенка, пролежавшего в вечной мерзлоте много тысяч лет, сделали вывод, что его ткани прекрасно мумифицированы, как будто хранились в самых современных консервирующих средах.

На стоянках древнего человека исследователи находят кости мамонтов, которые использовались как строительный материал. Такой стоянке, например, в Межиричах на Украине 14 тыс. лет. ■

Шахта Шергина расположена в старейшей части Якутска и является одной из достопримечательностей города.



В России площадь вечной мерзлоты составляет примерно 11115000 км², т. е. более 65% ее территории. Это в 10 раз больше площади Франции, Великобритании, Федеративной Республики Германии, вместе взятых. ■

Летом практически в любом районе вечной мерзлоты и особенно на равнинах поражает обилие воды — многочисленные озера, болота, ручьи, протоки, реки. Зимой, которая длится большую часть года, мелкие, средние реки, небольшие озера промерзают до дна. За зиму даже по таким могучим рекам, как Лена, Колыма, Индигирка, стекает мизерное количество воды, в сотни раз меньше, чем летом. ■

Ледовый комплекс северной Якутии — реликтовое образование. В современном ландшафте он проявляется очень слабо. Тонкий слой торфянистой почвы надежно предохраняет ледовый комплекс от протаивания сверху, с поверхности. Разрушается ледовый комплекс главным образом с боков, по берегам рек, озер, морей.

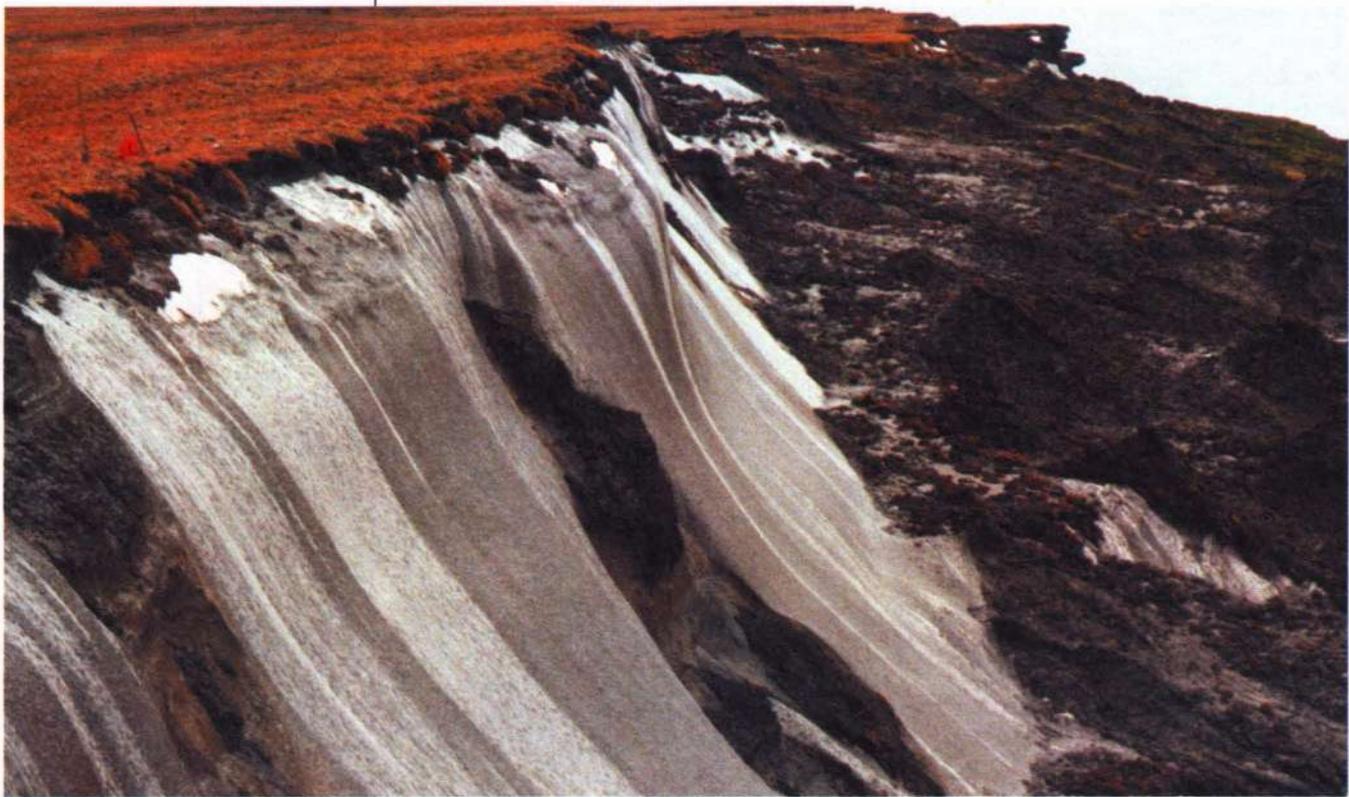
ВЕЧНАЯ МЕРЗЛОТА КАК ГЛОБАЛЬНОЕ ЯВЛЕНИЕ

Вечная мерзлота — явление глобального масштаба, она занимает не менее 25% площади всей суши земного шара.

Вечная мерзлота — это природный феномен Северного полушария нашей планеты, где сосредоточена большая часть суши. Здесь расположены два крупнейших ареала вечной мерзлоты — азиатский и североамериканский, распространяющиеся от берегов Северного Ледовитого океана далеко на юг в глубь континентов.

Ареал вечной мерзлоты разделяется на три зоны: сплошного, прерывистого и островного ее распространения.

Зона сплошного распространения вечной мерзлоты расположена в северной части азиатского и североамериканского ареалов. Мерзлые толщи здесь встречаются повсеместно. Однако в некоторых местах вечная мерзлота отсутствует. Это так называемые **талики**. Они располагаются под крупными озерами, реками, вдоль тектонических разломов земной коры, на склонах южной экспозиции, в местах повышенного накопления снега, т. е. там, где верхние горизонты литосферы либо предохраняются от интенсивного выхолаживания, либо получают тепло дополнительно. В итоге даже в самых суровых климатических условиях талики не подвергаются многолетнему промерзанию. ■



Если вечная мерзлота занимает не менее 90% территории, а остальная площадь приходится на талики, то эту территорию относят к зоне сплошного развития мерзлых толщ. Как видим, термин «**сплошная мерзлота**» достаточно условен; даже в самых суровых климатических условиях массивы вечной мерзлоты расчленяются таликами.

Южнее располагается **зона прерывистого массивно-островного распространения вечной мерзлоты**, где она занимает от 40 до 70% территории. Здесь особенно много таликов. Помимо отмеченных выше участков они занимают места с преобладанием грубообломочных и песчаных отложений, хорошо фильтрующих поверхностные воды, которые препятствуют глубокому промерзанию литосферы.

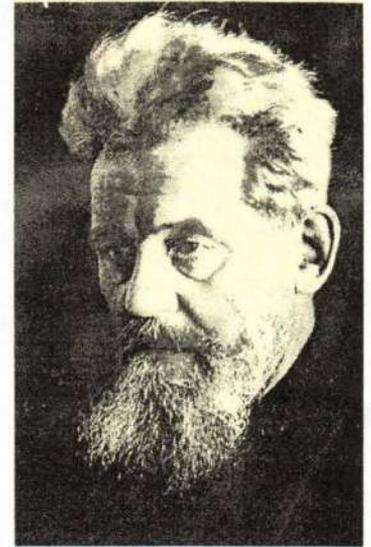
Южная часть области вечной мерзлоты занята **зоной островного развития мерзлых толщ**. В сравнении с зоной сплошного развития вечной мерзлоты здесь талики и участки вечной мерзлоты как бы меняются местами. На общем фоне талых грунтов в местах, где имеется дефицит тепла (склоны северной экспозиции, заболоченные участки с торфяно-моховым покровом и т. д.), присутствуют мерзлые толщ, общая площадь которых не более 10%, а чаще — намного меньше. Южная граница общего ареала вечной мерзлоты обычно включает все острова мерзлых толщ.

В Евразии вечная мерзлота занимает около 13 млн. км² и простирается от приполярных широт до 44° северной широты, а в Тибетско-Гималайской высокогорной области доходит до 28-й параллели. В Северной Америке площадь вечной мерзлоты меньше — 7,2 млн. км², ее южные пределы располагаются на широтах 52 — 56°, т. е. значительно севернее, чем в Азии. Причина этого различия заключается в том, что в холодных высокогорьях Азии граница вечной мерзлоты находится южнее. ■



Единственный в мире Институт мерзлотоведения им. академика П. И. Мельникова, Якутск. Перед зданием института — скульптура мамонта, ставшего символом вечной мерзлоты.

Пластовая залежь погребенного ледника, правый берег Енисея, на широте Полярного круга. Протаивание сопровождается катастрофическим нарушением ландшафта.



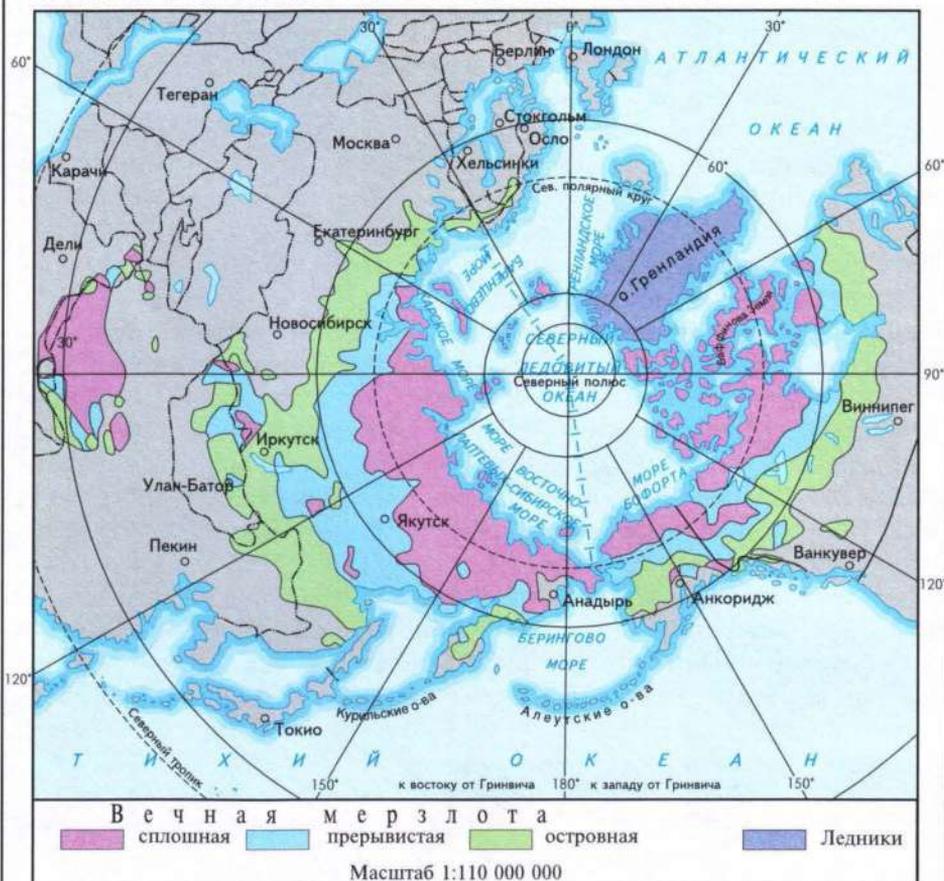
М. И. Сумгин (1873 — 1942) — основоположник науки о вечной мерзлоте. Он уточнил положение южной границы вечномерзлых толщ и составил карту вечной мерзлоты Евразии по типам ее географического распространения, высказал идею устройства музея-холодильника в толще вечной мерзлоты в научных целях, обосновал положение о деградации вечной мерзлоты в последническое время. Рождение мерзлотоведения связывается с публикацией в 1927 г. книги М. И. Сумгина «Вечная мерзлота в пределах СССР».



На географических картах Арктики долгое время помешались мифические земли, на которых никто никогда не был, их наблюдали лишь издали. Наиболее известны «Земля Санникова» в море Лаптевых и «Земля Андреева» в Восточно-Сибирском море. С «Землей Санникова» связаны многочисленные путешествия, специальные экспедиции, научные дискуссии и легенды, гибель людей. Известный географ и геолог академик **В. А. Обручев** написал научно-фантастический роман «Земля Санникова», впервые опубликованный в 1926 г. и выдержавший несколько изданий. Идея романа была навеяна гипотезой о загадочной земле, сообщения о которой содержатся у многих полярных путешественников начиная с 1811 г., когда впервые русский промышленник и исследователь Новосибирских островов **Яков Санников** рассказал о большом острове к северу от острова Котельного. Сообщение Санникова побудило Адмиралтейский департамент снарядить особую экспедицию для описания Новосибирских островов и поисков неведомой земли. ■

Работы экспедиции под руководством лейтенанта **П. Ф. Анжу** (1796 — 1869) велись в 1820 — 1823 гг., после которых он пришел к выводу об ошибочности открытия Санникова. Не все согласились с таким заключением, и в 1886 г. выдающийся исследователь Арктики **Э. Толль** (1858 — 1902) поставил вопрос о «Земле Санникова» перед Академией наук, которая организовала экспедицию для отыскания этой земли на судне «Заря». Но тогда «Земля Санникова» найдена не была. ■

ВЕЧНАЯ МЕРЗЛОТА В СЕВЕРНОМ ПОЛУШАРИИ ЗЕМЛИ



Благодаря горному рельефу острова вечной мерзлоты проникают далеко на юг. В Европе массивы вечной мерзлоты находятся в горах Скандинавии и Исландии, в Альпах, Пиренеях, Карпатах и на Кавказе. Естественно, что в горах вечная мерзлота начинается с определенной высоты, где среднегодовые температуры грунта не выше 0°C .

В Северной Америке вечная мерзлота равнин сливается на западе с мерзлотой Скалистых гор Канады. Но острова вечной мерзлоты в горах распространяются значительно южнее границ общего ее ареала на континенте. На территории США вечномерзлые толщи встречаются в Скалистых горах выше 2200 — 3500 м. Отдельные массивы вечной мерзлоты характерны для вершин высочайших потухших вулканов Мексики (выше 4600 м). В Южном полушарии, за исключением Антарктиды, вечная мерзлота — это элемент высокогорий. Наибольшая площадь (200 тыс. км²) — в Южной Америке, в Андах. На севере вечная мерзлота распространена выше отметок 5000 — 5300 м, на юге — 1500 — 2000 м.

Имеется небольшой массив (11 тыс. км²) вечной мерзлоты в Альпах южного острова Новой Зеландии. Здесь на широте 43° южной широты высотная граница вечной мерзлоты совпадает с высотой 1600 м. Острова вечной мерзлоты встречаются даже на Новой Гвинее на высоте 4500 м над уровнем моря.



Единственный материк, где вечная мерзлота отсутствует, — это Австралия. Даже в Африке предполагается наличие вечной мерзлоты на трех самых высоких горных массивах (выше 5800 м).

Сейчас известно, что некоторые ледники Антарктиды, Гренландии и других ледниковых районов движутся по мерзлому основанию. Следовательно, под ледниками — вечная мерзлота. Есть еще очень много неясного в том, как распространяются мерзлые толщи под ледниками. Под гигантскими ледниковыми покровами Антарктиды и Гренландии возможно в ряде мест донное таяние и отсутствие мерзлого основания. И все же значительные территории Антарктиды и Гренландии заняты вечной мерзлотой, которую называют **подледниковой**, или **субгляциальной**. Вечномерзлые толщи распространены не только на суше. Они были обнаружены в морях Восточно-Сибирском и Лаптевых. Эти острова являются остатками огромной древней равнины, соединявшей Азию и Северную Америку и разрушенной наступающим морем в последние 10 тыс. лет. На мелководьях шельфов морей Бофорта, Лаптевых, Восточно-Сибирского, Карского вечная мерзлота залегает на разной глубине и простирается от берега на многие десятки и сотни километров. Мощность шельфовой мерзлоты достигает нескольких сотен метров. Шельфовая мерзлота получила название **субаквальной**.

На континентах вечная мерзлота охватывает самые разнообразные типы рельефа — от низменностей и равнин до высокогорий. Она распространена в различных климатических поясах и ландшафтных зонах — от арктических пустынь и тундр до степей и полупустынь.

Главные планетарные закономерности в распространении вечной мерзлоты объясняются совместным проявлением широтной географической зональности и высотной поясности. Некоторые исследователи, стремясь подчеркнуть влияние этих двух глобальных факторов на распространение вечной мерзлоты, разделяют вечномерзлые толщи континентов на мерзлоту приполярную и альпийскую, или горную.

Приполярная вечная мерзлота развита на низменностях, равнинах, плато, плоскогорьях, горах. Альпийская вечная мерзлота — это часть горного ландшафта, ее возникновение обусловлено исключительно высотным фактором. ■

Не была обнаружена «Земля Санникова» и после плавающих ледоколов «Таймыр» и «Вайгач» (1913), экспедиции на «Садко» в 1937 — 1938 гг. и поисков летчиков А. Д. Алексеева в 1938 г., И. С. Котова и В. Т. Задкова в 1944 г. к северу от острова Котельного. Но вопрос о существовании «Земли Санникова» и «Земли Андреева» вновь был поднят в 1947 г. на Всесоюзном съезде географов. В. Н. Степанов в своем докладе сделал вывод о существовании в недалеком прошлом этих земель, которые были сложены сильно льдистыми мерзлыми грунтами и ископаемым льдом. В настоящее время они растаяли и их остатки лежат на небольшой глубине. ■



Горная, или, как ее еще называют, альпийская, вечная мерзлота занимает более половины территории северо-востока России, где расположены горные цепи.



Лед разного состава — это одно из самых распространенных веществ во Вселенной. Как показали космические исследования, огромные массы льда находятся, помимо Земли, на Марсе, Юпитере, Сатурне, а некоторые спутники этих планет сложены почти целиком из льда. Весьма вероятно, что и на более

удаленных планетах Солнечной системы лед также присутствует, и в немалых количествах.

Вполне допустимо, что в космосе лед станет одним из ведущих строительных материалов. В условиях космического холода лед превосходит по прочности металлы. Космические ледяные конструкции будут отличаться большой устойчивостью и смогут существовать долго, принимая ту необходимую форму и размеры, которые понадобятся человеку. ■



ТЕМПЕРАТУРА И МОЩНОСТЬ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

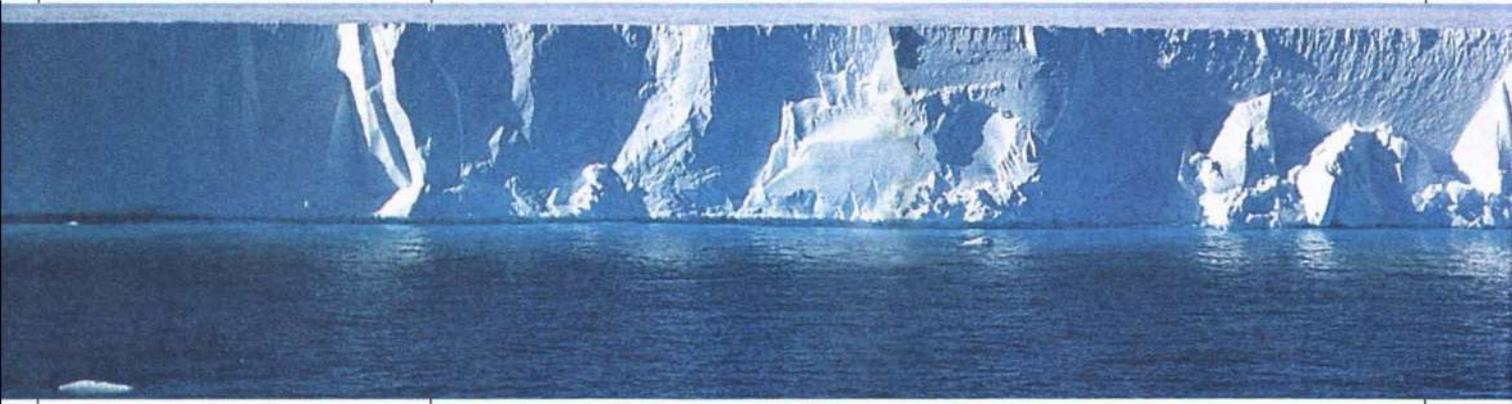
Температура и мощность вечной мерзлоты — важнейшие характеристики, определяющие ее устойчивость. Как правило, эти параметры меняются с разной последовательностью. Сначала — температура, а затем — мощность.

Минимальные температуры обычно наблюдаются в приповерхностном слое вечномерзлой толщи, а по мере углубления температура повышается до 0°C на подошве. Температура мерзлых толщ непостоянна. В верхнем горизонте она изменяется в течение года. Весной и летом верхние слои постепенно нагреваются, а самый верхний нагревается настолько, что оттаивает на небольшую глубину. Осенью и зимой этот слой промерзает и температура достигает минимальных значений. Колебания температуры, происходящие в верхнем слое в течение года, называются сезонными колебаниями, и они постепенно затухают на некоторой глубине (обычно 10 — 15 м). Ниже температура вечномерзлой толщи остается постоянной в течение года. Но это не означает, что на больших глубинах температура вечной мерзлоты не изменяется вообще. Здесь она также нестабильна, но изменения происходят медленно вслед за вековыми, тысячелетними и более длительными колебаниями климата. Когда говорят о температуре вечной мерзлоты, то имеют в виду среднегодовую температуру на глубине, где прекращаются сезонные колебания температуры.

Среднегодовые температуры вечной мерзлоты изменяются в широких пределах — от 0 до -15°C . Минимальные температуры вечной мерзлоты наблюдаются в самых северных пределах ее ареала, в зоне сплошного распространения. К югу температура вечной мерзлоты постепенно становится выше и на южной границе равна 0°C .

Широтная температурная зональность мерзлоты сочетается с вертикальной поясностью в горах, где по мере подъема температура вечной мерзлоты понижается. ■

В прибрежных районах Антарктиды, где мощность покровного ледника меньше по сравнению с центральной его частью, ложе ледника постоянно находится в мерзлом состоянии. Мощность подледной вечной мерзлоты достигает нескольких сотен метров.



Толщина вечной мерзлоты увеличивается с юга на север — от 3 — 4 до многих сотен метров. Однако в каждом конкретном районе толщина мерзлоты зависит от геологического строения земной коры, водонасыщенности промерзших толщ, рельефа, глубинных потоков тепла и т. д. В горах, расположенных в пределах ареала вечной мерзлоты, ее мощность обычно резко возрастает. Так, в северном Забайкалье, на хребте Удокан, мощность толщ, имеющих отрицательную температуру в течение всего года, достигает 1300 м, а в высокогорных частях Памира и Тянь-Шаня подобные толщи могут иметь мощность в 2,5 — 3 км. По сравнению с горными системами мощность мерзлых толщ на равнинах выглядит не столь впечатляюще: на севере Западной Сибири это 400 — 600 м, в районе устья реки Лены — 600 — 650 м.

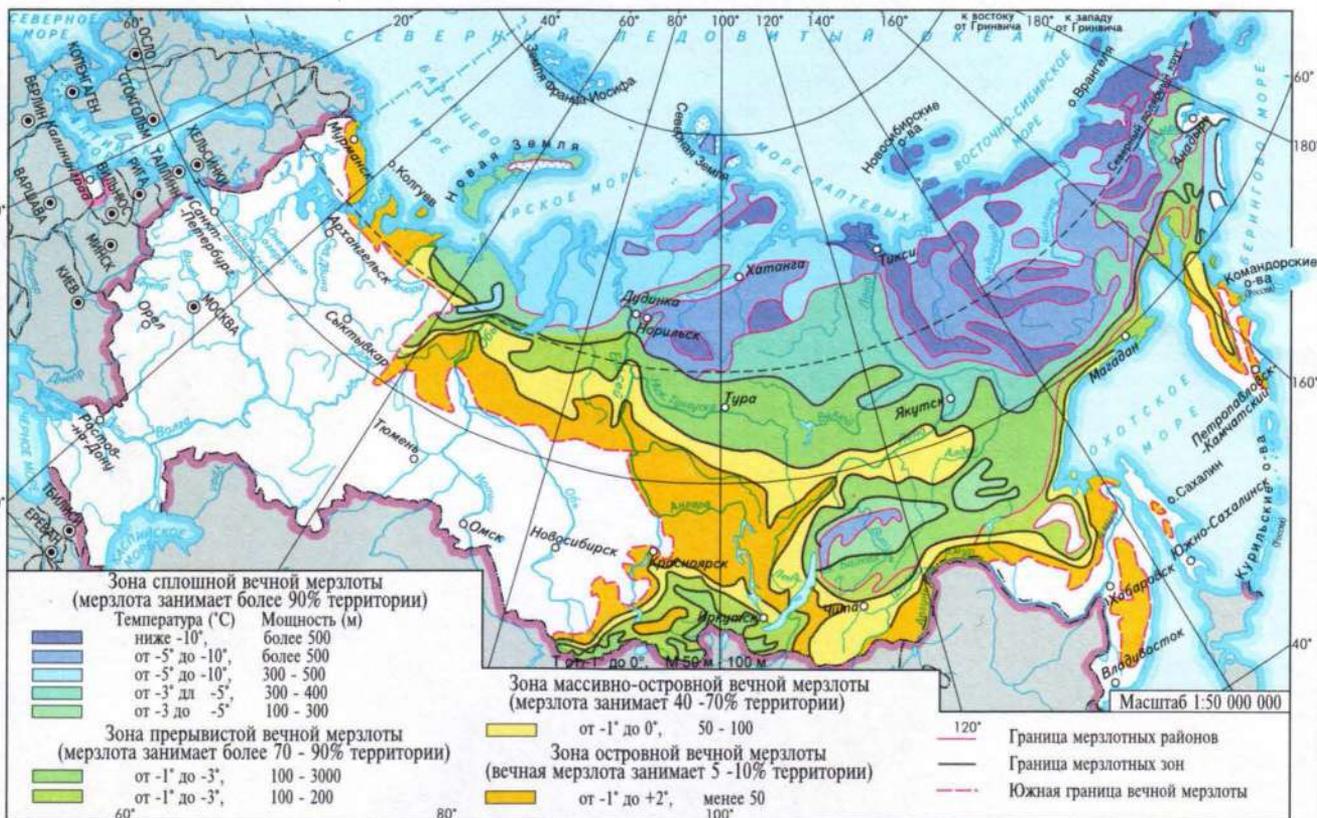
Как видим, даже самые большие мощности вечной мерзлоты на 3 — 4 порядка меньше радиуса Земли, а в масштабах земной коры составляют небольшую ее часть. Даже на Марсе, где вечная мерзлота охватывает всю поверхность планеты от полюса до полюса, включая экваториальный пояс, вертикальное ее развитие не превышает 5 км. И это при условии, что средняя температура поверхности Марса -53°C . Средняя же температура поверхности Земли намного выше $+14^{\circ}\text{C}$. Из этого сравнения ясно, что если мощность вечной мерзлоты и увеличивалась на Земле в эпохи похолодания, то марсианских масштабов она не достигала. ■

Меркурий в силу своей небольшой массы не удерживает не только тяжелые газы, но и легкие, а потому практически лишен атмосферы — давление у поверхности составляет всего 1 мм рт. ст. В небольших количествах в его атмосфере содержатся азот и углекислый газ. В недрах Меркурия предполагается наличие свободной, а также физически и химически связанной воды. На теневой стороне планеты в атмосфере, на поверхности и литосфере возможны кратковременные образования кристаллоконденсатов углекислоты совместно с водой или отдельно.

На Марсе в атмосфере — постоянный холод, в литосфере на всей планете — вечная мерзлота, а в полярных областях наблюдаются полярные «шапки» кристаллоконденсатов, состоящие из воды и углекислоты. Летом южная «шапка» исчезает. ■



ТЕМПЕРАТУРА И МОЩНОСТЬ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ



Зимой, когда влажные мохово-торфянистые покровы промерзают, они почти не изолируют подстилающие грунты от сильного охлаждения. В летнее время мхи и торф высыхают, становятся пористыми и поэтому плохо проводят тепло. Таким образом, они изолируют мерзлые грунты от протаивания и способствуют их сохранению в течение длительного времени. ■



Важенка с олененком.

Растительность является очень важным фактором развития вечной мерзлоты. Одни виды растительности способствуют повышению температуры вечной мерзлоты, а иногда даже ее деградации. Другие виды растительности, наоборот, ведут к накоплению холода в грунтах. Особенно большое влияние на вечную мерзлоту оказывают мхи и торфянистые грунты, под которыми простираются мерзлые острова далеко на юг от геофизической южной границы вечной мерзлоты, за которую принимается линия, соединяющая пункты, где температура поверхности грунта нулевая. ■

На Антарктическом полуострове — длинном выступе, окруженном относительно теплым морем, произрастают антарктические лишайники — родственницы гвоздики (слева) и антарктический аир (справа).

СЛОЙ СЕЗОННОГО ОТТАИВАНИЯ

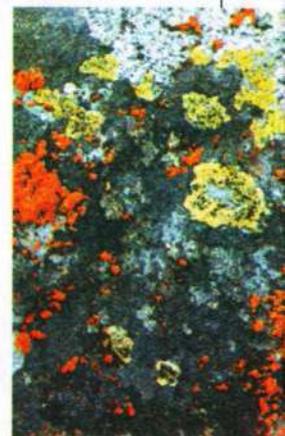
Велика роль слоя сезонного оттаивания. Именно благодаря ему в зоне вечной мерзлоты возможно произрастание высших растений: трав, злаков, кустарников и даже деревьев.

Вечная мерзлота начинается не от поверхности земли, а с некоторой глубины, изменяющейся в зависимости от географической широты, абсолютной высоты и местных условий — состава почв грунта, растительности, увлажнения и др. Толщина слоя сезонного оттаивания, или, как его иногда называют, «деятельного слоя», меняется от 0,2 — 0,3 м на севере до 4 — 5 м на юге области вечной мерзлоты. Ежегодно в теплый сезон года деятельный слой оттаивает и затем осенью и зимой вновь замерзает, сливаясь с массивом вечной мерзлоты. В летние месяцы температура оттаившего слоя, его верхних почвенных горизонтов достигает $-10... -15^{\circ}\text{C}$.

Глубина летнего оттаивания минимальна на торфяниках и под моховым покровом (0,2 — 0,3 м), суглинистые почвы оттаивают на большую глубину (до 1 — 1,5 м), а на песках, гравийно-галечных и щебнистых грунтах глубина оттаивания всегда максимальна (более 2 — 2,5 м). Экологическая роль слоя сезонного оттаивания исключительно велика, в нем располагается корневая система растений, которая развивается преимущественно в горизонтальном направлении.

В северных районах вечной мерзлоты — тундровый тип растительности. Однако большая часть территории с вечной мерзлотой покрыта тайгой. (В азиатском ареале вечной мерзлоты в тайге преобладает сибирская разновидность лиственницы.) На юге зоны вечной мерзлоты встречаются даже степи, которые широко представлены в Монголии.

Условия произрастания растений в области вечной мерзлоты весьма суровы — низкие температуры, пониженная скорость почвообразования, небольшая (15 — 25 см) мощность плодородного



В северной части тундры широко распространены мхи и лишайники. На каменной почве селятся накипные лишайники.

горизонта, бедность почвы питательными веществами. Видовой состав растений, приспособленных к жизни на вечной мерзлоте, ограничен. У них ослаблена корневая система, деревья малы по размеру, с чахлой кроной.

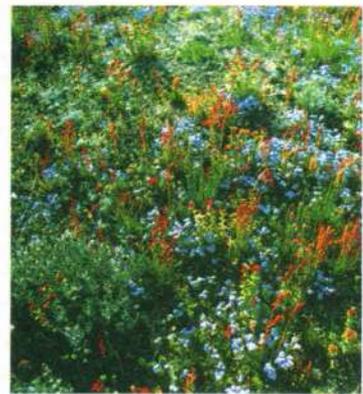
Совсем другую экологическую роль играет слой сезонного оттаивания во внутриконтинентальных районах Азии с засушливым климатом, где испарение превышает осадки, например в центральной Якутии. Здесь слой сезонного оттаивания становится своеобразным коллектором почвенной влаги благодаря конденсации водяного пара в нижних его горизонтах, в непосредственной близости от вечной мерзлоты, где температура в летние месяцы не столь высока, как на поверхности. Не будь этого, на обширных пространствах центральной Якутии и юга средней Сибири простирались бы безжизненные пустыни.■

По характеру распространения вечной мерзлоты ясно, что глубокое промерзание земных недр возможно в условиях сурового холодного климата, продолжительных зим, отрицательных среднегодовых температур воздуха, небольшого снежного покрова, плохо защищающего почву от выхолаживания.

Вечная мерзлота возникает в условиях дефицита солнечной радиации и тепла, приносимого воздушными массами. Северная часть евразийского континента в наибольшей степени отвечает этим условиям, и именно здесь расположен самый обширный ареал вечной мерзлоты.

Максимального развития вечная мерзлота достигает в областях с холодным и сухим климатом, с небольшим количеством снега, что ограничивает возможности развития ледников. С этой точки зрения Азия, на большей части которой господствует континентальный климат, также весьма благоприятна для глубокого промерзания земных недр. Не случайно именно на севере Азии зафиксированы рекордные глубины проникновения отрицательных температур — 1450 м.■

Толокнянка — небольшой вечнозеленый кустарничек с красными ягодами, типичное растение арктической тундры.



В южной части тундры растительность более разнообразна. Наибольшие площади занимают кустарничковые тундры с карликовой березой и ползучей ивой.

Любимая пища северного оленя — ягель, один из видов наземного лишайника. Ягельники — олени пастбища. Если они будут уничтожены в результате перевыпаса или пожара, животных ожидает голод. Восстанавливается ягель очень медленно, в течение многих десятков лет.



Лед-цемент — неперенный компонент всех типов мерзлых рыхлых грунтов. Он как бы создает их общий ледяной микрокаркас, на фоне которого развиваются другие, более крупные включения льда. ■

Фронтальное вытаивание реликтового ледового комплекса, сложенного повторно-жильными льдами.



ПОДЗЕМНЫЙ ЛЕД

Подземный лед — это важнейший компонент вечной мерзлоты. Отрицательная температура создает условия для возникновения льда в грунтах.

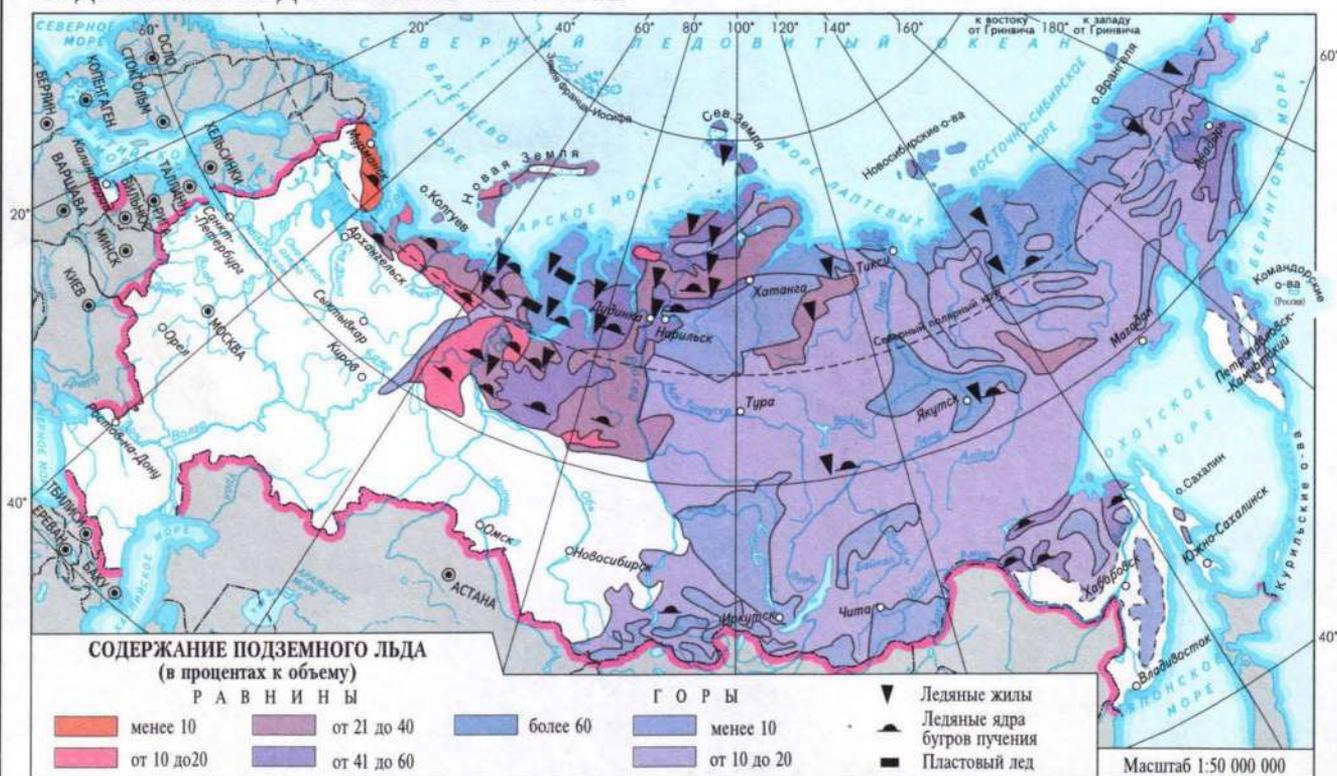
Присутствие льда в мерзлой толще кардинально меняет ее свойства по сравнению с исходным, немерзлым грунтом. В то же время большие массивы скальных грунтов или грунтов, насыщенных достаточно концентрированными растворами, могут иметь отрицательную температуру и при этом совсем не содержать льда. Подобные толщи получили название морозных, в отличие от мерзлых, т. е. содержащих лед.

Количество льда в вечномерзлых толщах разного типа неодинаково. Его содержание изменяется от долей процента, а в некоторых горизонтах и до 100%.

Вечная мерзлота равнин и горных впадин, где промерзли толщи рыхлых грунтов, отличается более сложным распределением льда, значительным содержанием разных типов подземного льда по сравнению с горными массивами и хребтами.

Подземные льды очень разнообразны. Наиболее распространены лед-цемент и сегрегационный лед. ■

ПОДЗЕМНЫЙ ЛЕД В ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЕ



Лед-цемент — это мелкие, чаще всего не видимые глазом кристаллы льда, заполняющие поры и небольшие трещинки в грунте. Образуется в результате замерзания воды и сублимации водяного пара в порах и капиллярах, существующих в грунте. Этот вид льда потому и называется цементом, что он как бы цементирует отдельные минеральные частицы в единую монолитную массу мерзлой толщи. ■



Сегрегационные льды образуются при промерзании влажных глинистых грунтов. В этом случае грунтовая масса разделяется на ледяные линзочки, прослои, прожилки (ледяные шпирсы) и прослои глинистого грунта, сцементированного отдельными кристаллами льда. При формировании сегрегационных льдов происходит перемещение воды из глубоких слоев грунта к фронту промерзания. Таким образом, мерзлый грунт обогащается льдом. В зависимости от темпов промерзания, влажности, типа грунта может сильно меняться форма и толщина ледяных шпирсов — тонких слоев льда — от долей миллиметра до нескольких сантиметров.

При промерзании массивов твердых коренных пород лед образуется за счет воды, циркулирующей по тектоническим и иным трещинам, а также водяного пара, который, сублимируясь на холодных стенках трещин, создает ледяные щеточки. ■

Крупные включения подземного льда наиболее интересны для исследователей. Особое внимание привлекают огромные вертикальные жилы и горизонтальные пласты льда. Жильные льды встречаются на Яно-Индибирской, Колымской, Центрально-Якутской низменностях. Этот вид льда залегает в мерзлой толще в виде вертикальных жил или клиньев шириной до 7 — 8 м. Ледяные жилы создают решетчатый каркас, образовавшийся в результате пересечения двух взаимно перпендикулярных рядов жил. Ледяные жилы могут достигать 10 — 20 м и даже более.

Как же возникают такие льды? Зимой, когда полностью промерзает слой летнего оттаивания, мерзлота образует сплошной монолит, простирающийся в глубь поверхности на многие метры. В области вечной мерзлоты при сильных морозах происходит охлаждение массивов мерзлых толщ. Они испытывают своеобраз-

Консервирующие свойства вечной мерзлоты позволяют сохранять пищевые продукты в течение многих десятилетий. В сентябре 1900 г. первая русская полярная экспедиция на шхуне «Заря» под руководством барона Э. В. Толля на полуострове Таймыр сделала продовольственный склад. В шурфе глубиной 1,4 м, вырытом в вечном мерзлом грунте, были оставлены сухари, 48 банок консервированных щей, овсянка, сахар, шоколад, чай. В июле 1973 г. склад обнаружила экспедиция газеты «Комсомольская правда». Лабораторными анализами в Москве было установлено, что овсянка и сухари сохранили все свои питательные свойства и вполне пригодны для употребления. Через год экспедиция «Комсомольской правды» вновь посетила склад Толля. Часть продуктов доставили в Москву и после исследований их продегустировали. Через 75 лет ученые и дегустаторы с аппетитом ели щи с мясом и кашу, пробовали шоколад и пили чай фирмы «Цзинь Лунь». Только чай несколько утратил вкусовые и ароматические качества. ■

Остров Большой Ляховский, пролив Дмитрия Лаптева. Сложен ледовым комплексом, который образует уступ высотой 15 — 20 м. Под воздействием морских вод, волнения и солнечной радиации уступ каждый летний сезон отступает в глубь острова на 5 — 7 м.



Особое место среди подземных льдов занимают ледяные пещеры.

Встречаются они как в пределах ареала вечной мерзлоты, так и вне его, на многие сотни километров южнее его границы и на низких абсолютных отметках, что исключает влияние фактора высоты.

В северной Евразии известно более 500 карстовых и других видов пещер, где постоянно присутствует лед в больших количествах.

Наибольшую известность получили Кунгурская ледяная пещера на Урале, Добшинская пещера-ледник в Словакии. Кунгурская ледяная пещера при общей длине ходов 5600 м имеет зону постоянного оледенения около 120 м. В Бриллиантовом и Полярном гротах можно видеть ледяные кристаллы на стенах, наплывы льда на полу, ледопады, сталагмиты, сталагматы, сталагнаты. Низкая температура в пещерах объясняется характером циркуляции воздуха. Холодный зимний воздух, проникающий в пещеры, замораживает подземные воды и проводит сублимации водяного пара. Летом компенсационного отепления не происходит, так как теплый воздух легче холодного и в отдаленные части пещеры он не проникает. ■

Ледяные сталагмиты и сталагнаты (колонны) в Кунгурской пещере.



разный тепловой удар и растрескиваются на поверхности. Трещины называются **морозобойными**. И действительно, образование трещин сопровождается сильным шумом. ■

Морозобойные трещины образуют в плане геометрически правильную, тетрагональную или гексагональную сеть, что объясняется закономерным распределением напряжений в мерзлых грунтах при их охлаждении. Морозобойные трещины не только рассекают поверхность почв, но и проникают в глубину на 5 — 6 м. Весной, когда верхние слои грунта оттаивают, в трещины затекает талая вода, которая, просачиваясь вниз, замерзает при соприкосновении с мерзлыми стенками трещины. Так возникает элементарный ледяной клин. Высота его, считая от подошвы слоя летнего оттаивания, составляет несколько метров, а ширина всего 1 — 3 см.

Морозобойные трещины обладают одним замечательным свойством — постоянством места своего возникновения. Из-за того что лед имеет меньшую прочность на разрыв, чем мерзлый грунт, морозобойные трещины из года в год образуются на одном и том же месте. Поэтому этот тип подземного льда был назван **повторно-жильным**. Ледяной клин растет в ширину и за столетие может достигнуть 2 — 3-метровой ширины. Но, пожалуй, самое удивительное в том, что ледяные клинья растут не только вширь, но и в высоту. В это трудно поверить. Многих исследователей ставили в тупик реально существующие жилы льда вертикальной протяженностью в несколько десятков метров, тогда как теоретически максимально возможное морозобойное растрескивание не может быть больше 10 — 12 м, а обычно оно равно 5 — 6 м.

Объяснение этому явлению нашел российский географ-мерзлотовед А. И. Попов. Он выдвинул концепцию синхронного роста жил и осадконакопления, которое повышает поверхность Земли. В результате жилы льда растут вверх. Подобное сочетание морозобойного растрескивания, роста жил и осадконакопления существует в природе и сейчас на поймах северных рек — Яны, Лены, Колымы и других, а также у подножий склонов, где скапливаются современные речные и склоновые отложения. ■

Происхождение мощных повторно-жильных льдов, широко распространенных на севере Восточной Сибири и Новосибирских островах, вызвало оживленную дискуссию ученых, которая продолжалась с конца XIX и до середины 50-х гг. XX столетия. В ней можно обнаружить немало драматических страниц и интересных сюжетов.

В конце XIX и до середины XX в. в научной среде бытовало мнение, что льды — это погребенные остатки древних ледников. И только в 1952 г., когда была разработана концепция роста повторно-жильных льдов, такая точка зрения была пересмотрена. Любопытно, что еще в 1820 — 1823 гг. участвовавший в экспедиции Гидрографического департамента на побережье моря Лаптевых и Новосибирских островах медик А. Е. Фигурин исследовал многочисленные обнажения залежей подземных льдов по берегам рек и отнес их к повторно-жильным. Подобное заключение ему, безусловно, помогли сделать наблюдения за формированием морозобойных трещин. Но значительная вертикальная протяженность повторно-жильных льдов А. Е. Фигурин не объяснял. ■

Самые же крупные включения льда в толще вечной мерзлоты — это так называемые **пластовые льды**. Они представляют собой преимущественно горизонтально ориентированные пласты льда, простирающиеся на многие сотни метров. Их вертикальная мощность колеблется от нескольких метров до десятков и более. Пластовый лед встречается, как правило, в верхних горизонтах мерзлых толщ (до 40 — 50 м), но известны пластовые льды и на больших глубинах — до 100 — 150 м.

Пластовые льды широко распространены на севере Западной Сибири, на Чукотке, северо-западе Канады и на Аляске. В некоторых случаях они имеют горизонтальную слоистость, иногда пластовые льды сильно деформированы, смяты в складки, так же как и вмещающие их мерзлые грунты. В ряде случаев пластовые льды залегают в виде крупных наклонных слоев. Лед пластовых льдов либо чистый, без включений, либо содержит небольшие слои мерзлых суглинков, песка, валунов.

Среди мерзлотоведов нет единства в понимании происхождения крупных пластов льда, заключенных в мерзлых толщах. Собственно само наличие пластовых льдов таких больших размеров и их широкое распространение в упомянутых районах установлены относительно недавно — в конце 60 — начале 70-х гг. XX столетия.

Проблема происхождения пластовых льдов еще далека от решения, так как ученые-мерзлотоведы не имеют единого взгляда на природу этого удивительного феномена. ■



А. И. Попов (1913 — 1993) — российский ученый-географ и мерзлотовед, один из создателей криолитологии — науки о подземных льдах и составе мерзлых грунтов, автор районирования области вечной мерзлоты по генетическим типам подземного льда.

Разрез типичной ледяной жилы. Видна вертикальная полосчатость льда — следы элементарных ледяных жилок. При росте в ширину ледяной клин отжимает вмещающий мерзлый грунт и деформирует его.



МЕРЗЛОТНЫЕ ФОРМЫ РЕЛЬЕФА

Мерзлотные формы рельефа возникают в результате изменения строения поверхности Земли различными криогенными процессами: морозобойным растрескиванием почвы, протаиванием под-земного льда и пучением.

Наледная поляна в летнее время. На фотографии видны оголенные нижние части деревьев, что указывает на мощность льда наледи в зимнее время. В процессе формирования наледный лед сдирает кору деревьев, что и приводит к их гибели.

Крупные и очень крупные наледи занимают площадь от 100 тыс. м² до 10 км², а объем льда — до 20 млн. м³. Крупнейшей на планете наледью является Момский Алахан-Тарын, что по-русски означает «Большая наледь» (улахан — большой; тарын — наледь).■

Общее число наледей достигает десятков тысяч, они наблюдаются практически во всей зоне вечной мерзлоты. Много наледей на Урале, Тянь-Шане, Алтае, в Саянах, Скалистых горах, на Аляске.■

В области вечной мерзлоты наледи являются существенным фактором развития речных долин. Выделяется даже особый тип речных долин — четковидные долины, отличающиеся чередованием сужений и расширений. Последние — не что иное, как наледные поляны.■

Эта гигантская наледь расположена в левом притоке реки Индигирки — Моме. Ее площадь — 150 км², объем льда — 400 млн. м³. Мощность льда в больших наледях достигает 8 — 10 м, обычно 2 — 3 м.

Наледи — это ледяные поля различных размеров и очертаний. Возникают они в результате неравномерного промерзания речных, озерных вод и подземных источников воды зимой, в сильные морозы. Увеличение напора воды приводит к прорыву слоев промерзшего грунта, изливаю воды на поверхность, где она и замерзает, образуя наледь. Нередко прорывы воды на поверхность сопровождаются взрывами. Слоистость наледи — результат цикличности излиятий воды на поверхность. Особенно благоприятные условия для формирования наледей создаются в горных районах, где резко континентальный климат с морозными и малоснежными зимами.■

Наледи представляют большую опасность для многих сооружений, особенно для шоссе и железных дорог. Наледь провоцируется даже незначительными изменениями природы. Например, на дорогах зимой убирается снег, в результате под полотном дороги грунт промерзает глубже. Мерзлый барьер под дорогой становится препятствием для потока подземной воды на прилегающем склоне. Поэтому на склоне начинают образовываться наледи.

Наибольшее количество наледей встречается в Забайкалье и Верхояно-Колымской горной стране на северо-востоке Азии. Это своеобразный наледный центр нашей планеты. Наледи чаще всего расположены в долинах

рек и напоминают ледники. Но ничего общего с ними они не имеют. Это их антипод.■



Когда летишь на небольшой высоте на самолете или вертолете вдоль побережья Ледовитого океана, то видишь бескрайние пространства, имеющие правильный рисунок. Что это? Прямоугольники возделанного поля? Каналы ирригационной системы? Ни то, ни другое. Это типичная **полигональная тундра**, которая занимает огромные пространства на низменностях северной Якутии, Чукотки, Западной Сибири. Рисунок полигонов очень разнообразен: четырех-, пяти-, шестиугольные; одни — плоские, другие — с небольшими валиками по краям и с мелкими озерами в центре; третьи — с выпуклой центральной частью и ограниченные канавками с водой. Размер полигонов колеблется от 10 — 15 до 40 — 50 м. Образовались они в результате неоднократного морозного растрескивания почвы. Под их краями в разрезе, как правило, залегают ледяные жилы. ■



Полигонально-валиковый рельеф в тундровой зоне, север Канады.

Бугры пучения — результат промерзания изолированных таликов, возникающих после спуска или зарастания озер. Особенно выразительны крупные конические бугры высотой до 40 м. Их основание имеет в плане овальную форму и размер от нескольких десятков до сотен метров. Быстрое промерзание осушенных подземных таликов сопровождается пучением и довольно быстрым ростом бугра, который аборигены Северной Америки называли **пинго**, а якуты — **булгуньяхами**. В научной литературе бугры пучения называются **гидролакколитами**. Ядро бугров пучения представлено либо чистым льдом, либо сильно льдистым грунтом. Много бугров пучения в прибрежной зоне материковой части Канады, и особенно многочисленны эти формы на полуострове Туктояктук, который можно без преувеличения назвать царством пинго.

Процесс вытаивания подземных льдов и образования в связи с этим понижений рельефа, своеобразных просадочных форм, называется **термокарстом**, а соответствующие формы рельефа — термокарстовыми. Особенно характерны формы термокарстового рельефа, образующиеся в результате вытаивания мерзлых толщ с мощными повторно-жильными льдами, — **аласы**. Это котловины глубиной от 5 — 7 до 30 — 40 м и горизонтальными размерами от сотен метров до нескольких километров. Аласы очень широко развиты на севере Якутии. ■

Это не воронка от падения метеорита или взрыва авиабомбы, а естественная форма рельефа, которая возникла в результате локального протаивания подземного льда и вечной мерзлоты; в научной литературе она называется термокарстом.

Типичный бугор пучения. Ядро бугра сложено льдом, который ближе к поверхности включает минеральный грунт. Бугор пучения покрыт тонким почвенно-растительным слоем, который предохраняет ледяное ядро от протаивания. Если бугор пучения не подмывается ручьем или озером, то внешний вид бугра не говорит о его ледяной начинке.





Гигантский многолетний бугор пучения высотой до 40 м, выросший между двумя большими озерами на севере Канады, на полуострове Туктояктук, который является настоящим заповедником огромных бугров пучения.

Байджежаховый рельеф — это типичная форма разрушения ледового комплекса и показатель катастрофической перестройки всего ландшафта — почв, растительности. В понижениях между байджежахами видна вторичная растительность — осоки, пушица.



ВЕЧНАЯ МЕРЗЛОТА И ВРЕМЯ

Биография современной вечной мерзлоты начала складываться 1 — 2 млн. лет назад. Мерзлотные процессы реагируют на изменения природной среды разной продолжительности: от многих тысячелетий до кратковременных, охватывающих всего несколько лет.

Расчеты показали, что вечная мерзлота в современных климатических условиях не может сформироваться, она возникла при более низких отрицательных температурах. Об этом свидетельствуют и реликтовые, не развивающиеся сейчас гигантские повторно-жильные льды в центральной и северной Якутии.

Контуры вечной мерзлоты за последние 1 — 1,5 млн. лет изменились. На основании точных физических датировок возраста мерзлых толщ ученые установили, что вечная мерзлота существует в Якутии по крайней мере на протяжении 1 млн. лет. Предполагается, что с получением новых данных этот возрастной рубеж еще опустится в глубь веков. Наиболее древние мерзлые толщи найдены в Колымской низменности на севере Якутии, поэтому ее нередко называют колыбелью вечной мерзлоты. Следовательно, в вечной мерзлоте Якутии содержатся самые древние из обнаруженных на нашей планете льды.

Подземные льды вечномерзлых толщ оказываются, таким образом, значительно древнее льдов современных наземных ледников, даже антарктического ледникового покрова, ледовая масса которых из-за постоянного движения полностью обновляется за десяток тысяч лет. ■

Особое влияние на вечную мерзлоту оказал экстремально суровый этап развития природной среды — конец последнего ледникового периода, датируемый 12 — 15 тыс. лет. В то время вечная мерзлота охватывала огромные территории Евразии и включала помимо ее современного ареала юг Западной Сибири и Северный Казахстан, большую часть европейской территории России и Западной Европы. Особенно кардинально изменилась природа Европы. Большая часть территории Франции, Германии, Польши, Чехии, Словакии, Венгрии, Румынии оказалась скованной вечной мерзлотой. На Восточно-Европейской равнине граница вечной мерзлоты достигала южной Украины. Это был грандиозный трансконтинентальный пояс вечной мерзлоты,

примыкавший с юга к покровному леднику, занимавшему северную часть Европы. Так далеко на юг не доходил ни один покровный ледник. Северные моря тогда осушались до глубины 100 м. Осушенные шельфы морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского промерзали на несколько сотен метров в глубину.

В Евразии площадь древней мерзлоты с учетом ее экспансии на юг, в средние широты и на север, на шельфовые пространства, составляла около 25 млн. км², т. е. более чем в два раза превышала современную. Экстремальных значений достигали и мощности древней мерзлоты на равнинах, вероятно, до 2 — 2,5 км.

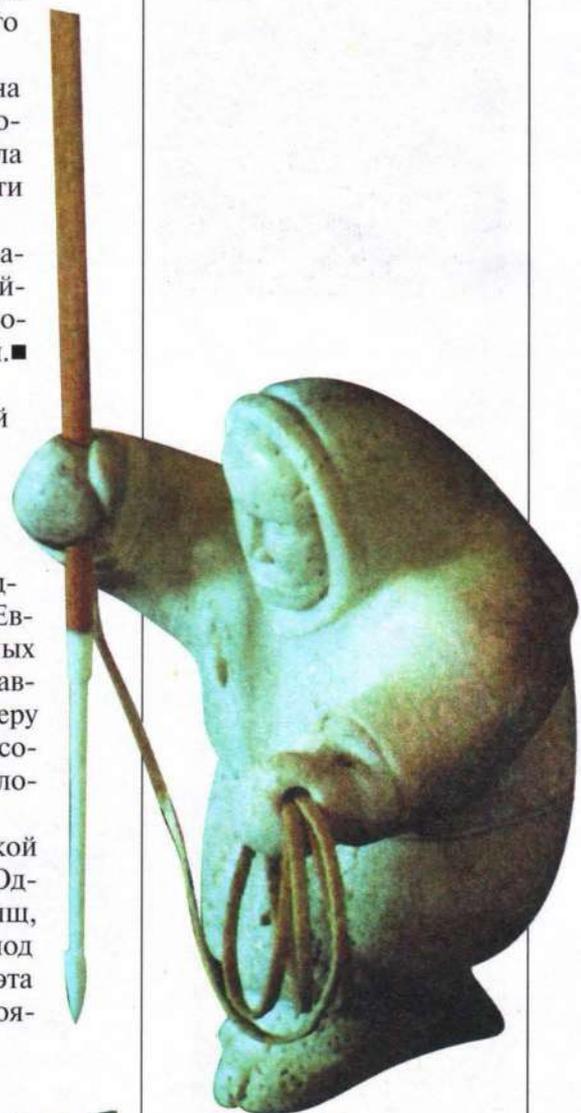
В Северной Америке по современным реконструкциям южная граница вечной мерзлоты проходила между 35° и 40° с. ш. там, где сейчас жаркий штат Колорадо. Но в отличие от Евразии ширина полосы древней мерзлоты в Северной Америке не была столь большой. ■

Реконструировать ареал распространения древней мерзлоты помогли следы морозобойных трещин, повторно-жильных льдов, полигональных форм рельефа, следов пучения, вымораживания и др. Таяние этой колоссальной зоны мерзлоты до современных ее границ произошло вследствие коренной перестройки природных ландшафтов при переходе от ледникового периода к современному геологическому периоду. В Европе это отступление происходило с колоссальной для природных процессов скоростью. Например, на Восточно-Европейской равнине южная граница древней мерзлоты переместилась к северу почти на 2 тыс. км всего за 1000 — 1500 лет. Подобные скорости сокращения мерзлоты близки к катастрофическим и не имеют аналогов в современных условиях.

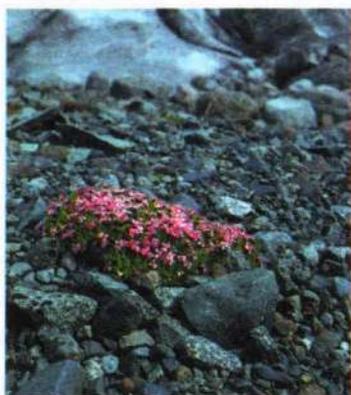
Столь же высокими темпами шло отступление мерзлоты в высокой Арктике: шельфовая мерзлота отходила под действием моря. Однако на шельфе исчезли только верхние горизонты мерзлых толщ, корни их мощностью в несколько сот метров, погребенные под донными отложениями, сохранились до наших дней. Сейчас эта субаквальная вечная мерзлота находится в неустойчивом состоянии и ее деградация продолжается. ■



Жители Севера хорошо приспособились к суровым климатическим условиям.



Предельная форма катастрофически быстрого протавивания и просадки отложений ледового комплекса. Мелкие грунтовые бугорки — это все, что осталось от байджерахов. На месте бывших ледяных жил — грязевые сплывы, под которыми, возможно, сохранились корни ледяных жил. Видны начальные формы освоения растительностью относительно стабильных участков грунта.



Структурные грунты, возникающие в результате выпучивания крупных обломков. Также могут выпучиваться неглубоко погруженные сваи и фундаменты.



Наиболее северная, прилегающая к морям Ледовитого океана часть области вечной мерзлоты занята тундрами. В тундре преобладает растительность с мохово-лишайниковыми ассоциациями, которые к югу сменяются кустарниковой или типичной тундрой с карликовой березой, ивой, багульником. Благодаря низким температурам воздуха, небольшой толщине снежного покрова в тундровых ландшафтах возникает низкотемпературная мерзлота большой мощности.

ВЕЧНАЯ МЕРЗЛОТА — ВРАГ ИЛИ СОЮЗНИК?

Осваивая территории, занятые вечной мерзлотой, человек сталкивается с огромными трудностями. Вечная мерзлота еще далеко не изучена, многие ее проявления неожиданны и непонятны.

Пространства, занятые вечной мерзлотой, — это кладовая разнообразных природных ресурсов. Здесь сосредоточены многие месторождения газа, нефти, угля, алмазов, золота, никеля, меди, олова, минеральных удобрений. Северные районы богаты ресурсами пресной воды, леса. Огромно экологическое значение северных территорий с их неповторимой природой, не загрязненной хозяйственной деятельностью человека.

Вечная мерзлота — главная и характернейшая особенность природы Севера. Поэтому без преувеличения можно сказать, что для рационального освоения природных ресурсов области вечной мерзлоты нужно хорошо знать свойства мерзлых толщ и возможности их использования.

Освоение территорий всегда связано со строительством. Современные строители получили в наследство от предшественников, убедившихся в ее коварстве, не один печальный пример из опыта. Две неприятности ожидают строителей в зоне вечной мерзлоты. Первая — это просадка при оттаивании мерзлых, насыщенных льдом оснований под фундаментами зданий, насыпями железных и шоссейных дорог, покрытиями аэродромов. Вторая — это выпучивание свай, фундаментов, опор мостов, оснований линий электропередач и т. д. Особенно опасны для сооружений неравномерные осадки и пучение мерзлого основания. Легко представить себе, каковы бывают убытки от деформаций и разрушений домов и промышленных сооружений. Основная причина разрушений — нестабильность свойств мерзлой толщи. Прочность и устойчивость мерзлых грунтов зависят от температуры и состава льда. Знакомые всем рыхлый влажный песок и пластичная глина при замерзании цементируются льдом и становятся крепкими, как скала. Они выдерживают большие нагрузки и служат надежным основанием для различных фундаментов, но при условии, что температура мерзлого песка не выше -5°C , а мерзлой глины $-7... -8^{\circ}\text{C}$. При температурах более высоких, близких к 0° , мерзлые грунты становятся пластичными и не выдерживают тяжести сооружений. Это объясняется тем, что в мерзлых глинах, суглинках и песках в неболь-



Нефтяные скважины в Западной Сибири.

шом количестве присутствует незамерзшая вода. Она сохраняется в мерзлых грунтах даже при очень низких отрицательных температурах благодаря молекулярным силам минеральных частиц грунта. С понижением температуры содержание незамерзшей воды быстро уменьшается.■

Строить на вечной мерзлоте сложно еще потому, что ее свойства, в первую очередь температура и механические характеристики, теснейшим образом связаны с природной средой. Достаточно уплотнить или удалить снег зимой, снять растительный покров или осушить территорию, как свойства вечной мерзлоты начинают кардинально меняться. Сооружения будут устойчивыми, если сохранять стабильность вечной мерзлоты и по возможности не тревожить ее. Как этого достичь, особенно под зданиями, выделяющими тепло?

Если заглянуть в историю, то можно обнаружить, что еще в конце 20-х гг. XX столетия мерзлотоведы предложили строителям устраивать между фундаментом здания и его вечномерзлым основанием воздушную теплоизоляцию. Конструкция здания предусматривает устройство проветриваемого в зимнее время подполья с естественной вентиляцией. Летом отверстия подполья закрывают, чтобы теплый воздух не проникал под здание и не отеплял грунты основания здания. Пол здания должен быть хорошо изолирован и утеплен, чтобы обеспечить комфортные условия внутри здания. Лучше всего для этого подходят свайные фундаменты. Сваи помещают в пробуренные скважины, и они вмораживаются в вечную мерзлоту с таким расчетом, чтобы силы смерзания сваи с вечной мерзлотой были намного больше сил выпучивания, действующих на сваю в слое сезонного оттаивания.■

Первым промышленным сооружением на сваях стало здание Якутской тепловой электростанции. Прошло более 50 лет эксплуатации станции, а она совершенно не деформировалась.

На свайных фундаментах в области вечной мерзлоты построено большинство современных многоэтажных зданий в Воркуте, Норильске, Мирном, Якутске. Дома как бы стоят на ножках. Жилые здания имеют все необходимые для нормальной жизни условия: центральное отопление, горячую и холодную воду, канализацию и т. д.

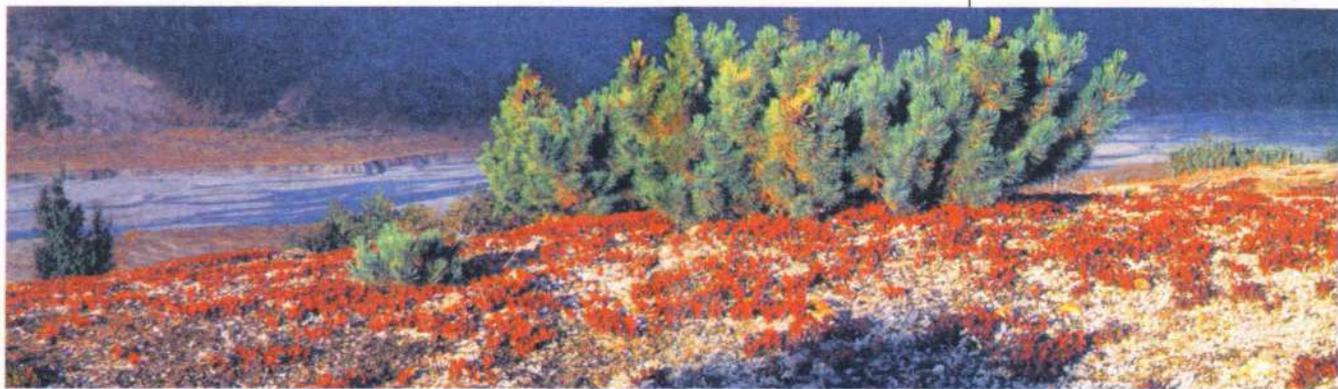
В последние годы конструкции свай на вечной мерзлоте были улучшены. Несущие сваи стали делать холодными: в них помещают охлаждающие устройства — термосифоны, наполненные незамерзающим хладагентом (керосином, фреоном, аммиаком). Зимой вследствие естественной циркуляции хладагента вечная мерзлота еще сильнее охлаждается, что уве-



Такие дома на свайных фундаментах не нарушают температуру вечной мерзлоты, что и сохраняет их устойчивость во время эксплуатации.

На территории вечной мерзлоты в России расположена большая часть запасов нефти и газа. Общая площадь нефтегазоносных территорий здесь оценивается в 4,5 млн. км², а количество месторождений нефти и газа достигает нескольких сотен. В последние десятилетия область вечной мерзлоты стала основной территорией нефтегазодобычи. Разведочные и эксплуатационные скважины, общая протяженность которых измеряется многими тысячами километров, пронизывают насквозь толщу вечной мерзлоты и достигают пластов нефти и газа на больших глубинах, где температура составляет -50... -60°C. По скважинам нефть и газ поступают на поверхность и при помощи трубопроводов транспортируются в центральные районы европейской части России и далее в Западную Европу.■

Лесотундра — типичный ландшафт севера Евразии.



Летнее изобилие пресной воды в зоне вечной мерзлоты сменяется ее зимним дефицитом, как в пустыне. В XIX в., когда возникла проблема водоснабжения сибирских поселков, ученые высказали предположение, что подземные воды в зоне многолетней мерзлоты проморожены до больших глубин, а мерзлота — это сплошь водоупоры, и подземные вод здесь практически нет. Устойчивое же снабжение водой в зоне вечной мерзлоты возможно за счет подземных — межмерзлотных и подмерзлотных вод. Однако трудами нескольких поколений ученых эта точка зрения была опровергнута. Было доказано, что в зоне вечной мерзлоты подземные воды тяготеют к зонам, где мерзлота отсутствует, — таликам, которые возникают под долинами крупных рек и озер, в зонах тектонической активности и рассекают вечную мерзлоту на отдельные массивы. Непосредственно под подошвой вечной мерзлоты горные породы обычно насыщены водой. Это подмерзлотная вода. Циркулирующая по таликам подземная вода, а также подмерзлотные воды могут обеспечить устойчивое водоснабжение крупных населенных пунктов. ■

личивает силы смерзания и повышает несущую способность свайного основания. Свайные фундаменты — наглядный пример того, как вечная мерзлота может служить человеку. Применение таких фундаментов позволяет экономить строительные материалы, столь дефицитные и дорогие в отдаленных, малоосвоенных районах.

Термосифоны в виде металлических замкнутых труб используются также для укрепления оснований опор магистральных линий электропередач. Широко применяются термосифоны и в гидротехническом строительстве, чтобы создать водонепроницаемый мерзлый экран в земляных насыпных плотинах и дамбах. Уже много лет работает Вилюйская ГЭС, снабжающая электроэнергией предприятия по добыче алмазов. Эксплуатируется Хантайская ГЭС, дающая энергию крупным центрам горнодобывающей промышленности — Норильску и Талнах. Мерзлотоведы разработали целую систему способов, обеспечивающих устойчивость и надежную работу сооружений разных типов зданий, трубопроводов, дорог, насыпей, каналов и т. д. Но как показала практика, в каждом конкретном случае необходимы специалисты-мерзлотоведы, ведущие научные исследования. ■

Масштабы освоения территорий вечной мерзлоты грандиозны. Достаточно назвать Байкало-Амурскую магистраль, Западно-Сибирский газонефтяной комплекс, тысячекилометровые газопроводы. Научное обоснование этих грандиозных индустриальных объектов потребовало колоссального объема мерзлотных изысканий, поскольку строителям надо обеспечить детальную техническую информацию о вечной мерзлоте на огромных территориях. Необходимо выявить также особенно неблагоприятные для сооружений районы, где вечная мерзлота насыщена льдом, а температура может меняться на протяжении десятков метров. Но проблема заключается не столько в необычности свойств собственно мерзлых толщ, сколько в исключительной изменчивости вечной мерзлоты в пространстве.

Даже в самых суровых климатических условиях вечная мерзлота — не однородное природное тело. Она состоит из отдельных массивов, разделенных островами талых грунтов, имеющих сложные, прихотливые очертания. ■

По характеру растительности, почв, рельефа ученые-мерзлотоведы определяют температуру, условия залегания, льдонасыщенность мерзлых толщ. Это позволяет в короткие сроки выбрать оптимальное место для размещения комплекса сооружений. Этот метод ландшафтно-мерзлотной оценки громадных территорий севера Западной Сибири позволяет экономить значительные финансовые средства за счет сокращения дорогих геофизических и буровых работ.

В основе метода ландшафтно-мерзлотной оценки лежит высокая чувствительность вечной мерзлоты: ее реакция на изменения климата, растительности, гидрологического режима почти мгновенна. Мерзлые толщи существуют только в связи с отдельными элементами природной среды и с их ландшафтами в целом. Информация о ландшафтной структуре — это основа всех проектов освоения территории вечной мерзлоты и охраны природной среды Севера. Только понимание, что вечная мерзлота — решающий фактор стабильности естественных ландшафтов, позволило разработать и применить на практике средства защиты ландшафтов при прокладке газопроводов. ■



Копытный лемминг — характерный обитатель тундры.

На полигонально-валиковых тундрах зверьки устраивают свои норы на валиках, где богаче растительность и значительно суше.

Таким образом лемминги приспосабливаются к условиям мерзлотного ландшафта.

Ранимость северной природы зависит от нестабильности мерзлоты и неустойчивости тонкого слоя почв и растительности. За мерзлотой надо постоянно следить, она очень чувствительна к воздействию людей, и нужно жестко соблюдать правила эксплуатации сооружений. Для этого в ряде пунктов уже несколько десятилетий действуют мерзлотные стационары. Система мониторинга включает контроль за эксплуатацией зданий и сооружений, для чего созданы специальные лаборатории и стационары во всех городах, крупных поселках и на промышленных объектах — газопроводах, гидростанциях, шахтах.

«Вечная мерзлота — враг или союзник, бороться с ней или охранять?» — этот вопрос часто задают мерзлотоведам люди, не знакомые с этим явлением природы. Но такое противопоставление вряд ли правомерно. Для высоких широт нашей планеты вечная мерзлота — это такое же естественное явление природы, как пески пустыни, безводные степи или непроходимые джунгли.

Понятие о полезности и неполезности свойств вечной мерзлоты меняется во времени, зависит от конкретных условий — района, его ресурсов и их ценности, от намерений человека, уровня техники и, самое главное, уровня знаний о сущности явления. Легендам о коварстве вечной мерзлоты приходит конец. Во многих случаях мерзлота стала добрым помощником, союзником человека и верно ему служит. Со своей стороны человек должен относиться к территориям, занятым вечной мерзлотой, как к уникальному наследству, которое нужно использовать бережно и разумно. ■



Трубопровод пересекает Аляску с севера на юг и проходит через все природные зоны — от тундры до южной тайги. Наиболее сложная в строительном отношении часть трубопровода расположена на севере Аляски, где мощность вечной мерзлоты достигает нескольких сотен метров.

Берег моря Лаптевых. Формы рельефа, образующиеся термокарстом и волновой деятельностью моря.



ГРАФИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЗЕМЛИ

Одно из величайших достижений, которое было сделано на заре человечества, задолго до появления письменности, — это создание карты. Поначалу это были примитивные зарисовки, которые мы сегодня назвали бы кроками, или абрисами, да и охватывали они лишь охотничьи угодья первобытного человека или окрестности его жилища. Но шло время, границы ему известного мира расширялись, усложнялись, и совершенствовались карты. Они оказались универсальными инструментами познания, без которых невозможно стало изучать не только Землю, но и Вселенную.

Карта способна вобрать в себя все сведения об объекте — будь то небольшой поселок или отдаленная планета. С одного листа топографического планшета можно извлечь столько информации, что она едва поместится в объемную книгу. Но в отличие от книги эту информацию можно охватить единым взором. Но карты — это не только результат исследований, они еще и источники новых знаний. В эпоху географических открытий с их помощью в тиши кабинетов было предсказано существование многих островов, проливов и горных хребтов. В наше время открытие месторождения, прогноз урожая как результат анализа специальной карты стали обычным явлением в работе исследователей.

Существует целая область человеческой деятельности, которая называется картография. Поначалу она была уделом избранных. В древности картографы походили скорее на художников или ученых, да и карты были произведениями искусства, которые изобиловали красочными изображениями далеких стран и их обитателей. Технический прогресс подарил картографам печатный станок, который позволил наладить массовое производство, но еще долго оно было связано с тяжелой и филигранной работой гравировщиков. Фоторепродукция значительно облегчила изготовление карт, но ускорили этот процесс компьютерные технологии.

Не оставался неизменным и материал, на который наносилась карта. Первобытный человек использовал бивень мамонта, камень или дерево. В античности карты рисовали на папирусе и ткани, позднее — пергаменте. Наконец появи-

лась бумага — донныне самый распространенный носитель карт. Однако сегодня все чаще мы имеем дело с виртуальными картами, т.е. их изображениями на экране монитора; очевидно, будущее за ними.

Древние греки сделали эпохальное открытие — Земля имеет форму шара (позднее выяснилось, что планета несколько приплюснута по оси своего вращения, есть и другие «изъяны» в ее форме, которую назвали геоидом). В картографии появилась проблема: как отобразить сферическую поверхность на плоскости с минимальными потерями в качестве и достоверности изображения — в любом случае искажений избежать нельзя. Конечно, можно воспользоваться уменьшенной моделью планеты — глобусом. Однако он неудобен для использования (например в путешествии), да и информации он будет содержать не так уж и много. На помощь пришли точные науки. Появились картографические проекции — «математически точные изображения» земного пространства. Для того чтобы можно было однозначно сопоставить точки на планете и на ее деформированном плоском изображении, на географические карты наносится в первую очередь координатная сетка — паутина не существующих в реальности линий меридианов и параллелей.

Как же излагается информация на карте? Первые картографы, отображая свое видение мира, опирались на зрительные образы и пытались с помощью небольших, не похожих друг на друга рисунков передать особенности каждой реки, вершины, храма — любого объекта на местности. Однако такую карту было чрезвычайно сложно не только изготовить, но и понять. Постепенно обозначения приобретали абстрактные геометрические формы, хотя и сохраняющие, по возможности, подобие объектов. Чтобы карта получила объемность, а каждая ее точка несла количественную информацию, изобрели так называемый способ изолиний, и это еще одно выдающееся достижение картографии, которое было взято на вооружение другими науками. Появился неперемный атрибут карты — легенда, или свод условных обозначений. Усвоив его, грамотный «читатель» понимает «язык» карты и видит за многообразием знаков, линий, цветных

пятен и штриховок строгую логику изложения фактов.

Разнообразие карт поистине безгранично. Одни из них охватывают весь земной шар, другие ограничены рамками государства, области, города или его района. Есть свои карты у историков, военных, медиков, мореходов. И все-таки карта не может объять необъятное.

Следующим шагом в развитии картографической мысли стало создание атласов — настоящих энциклопедий карт. Считается, что первое произведение такого рода, автором которого был Птолемей, появилось еще в Римской империи. В конце XVI в. в Нидерландах, где работали выдающиеся картографы Ортелиус и Меркатор, было введено само понятие «атлас», который со временем приобретает популярность не только в географии, но и в других науках. Современный атлас — результат труда большого коллектива специалистов. Как и карта, атлас может иметь разное назначение и пространственный охват.

Прогресс тем временем не стоял на месте. Человек все выше поднимался в воздух, возможности обзора становились все шире. В 1957 г. произошел запуск первого космического аппарата, который положил начало новой, космической, эре в исследовании Земли. Фотографии совершенствовались и позволили получать цветные изображения. Более того, стало возможным делать съемку в узком диапазоне спектра и даже в его невидимой части. К фотографии подключились телевизионная съемка, цифровое сканирование и радиолокация. Все вместе они составляют основу современной аэро- и космической съемки. Детальность и качество получаемых ныне изображений достигли такого уровня, что позволяют из ближнего космоса читать газету в руках стоящего на земле человека. Главное, чтобы она была открыта взгляду сверху.

Компьютеризация вызвала подлинную революцию в картографии. Электронная карта стала доступной всем и везде. Ее можно легко изменить по собственному желанию и даже «оживить» — наблюдать за развитием процессов или движением объектов по планете. С помощью спутниковой навигации можно установить свое местонахождение и передать его на компьютерную карту. Она автоматически позволит выбрать оптимальный маршрут и будет руководить автопилотом по пути следования.

В XIX в. человек осуществил свою заветную мечту: он создал летательные аппараты и под-

нялся на них над Землей. Он не только увидел родную планету со стороны, но и смог запечатлеть ее облик с помощью фотоаппарата. Снимки, сделанные с высоты птичьего полета, были похожи на знакомые картографические изображения местности и в то же время разительно отличались от них массой новых деталей. В кратчайшие сроки громадные территории были покрыты аэрофотосъемкой. Она буквально обрушила на географов и картографов лавину ценнейшей информации, которая поступала оперативно и охватывала одновременно обширные площади. Вооружившись специальным прибором и разглядывая два соседних снимка (так называемую стереопару), можно получить объемное изображение местности. Однако к фотографии не прилагается легенда, и снимки Земли еще предстояло научиться понимать. Развивались так называемые аэрометоды, которые позволяли толковать (дешифровать) фотоизображения и получать на их основе точные топографические и иные карты. Для обработки полученных аэрокосмических материалов сегодня широко привлекаются компьютерные технологии.

Все множество карт, снимков и компьютерных изображений Земли теперь объединяются понятием «геоизображения». В науке возникло новое направление, их изучающее, — геоиконика. Ведущую роль в ее развитии играют ГИС — географические информационные системы. Объединенная с базами данных, электронная карта стала незаменимым инструментом в работе ученых, проектировщиков, работников управленческих аппаратов. ГИС состоит из множества слоев, каждый из которых несет свою нагрузку. Многие из ГИС, по сути, являются электронными атласами, которые, в отличие от своих бумажных «собратьев», могут свободно разместиться на одном компакт-диске. Все чаще электронные карты, атласы и ГИС не только выступают в качестве консультантов (например при подсчете голосов на выборах), гидов и учителей. ГИС не только обеспечивают отображение данных в виде карты или графиков, но и собирают информацию со всех уголков планеты, обрабатывают и распространяют ее. Электронные средства связи, и в первую очередь всемирная компьютерная сеть Интернет, позволяют оперативно обмениваться картографической информацией. Это значит, что любая ГИС, а вместе с ней и любая карта потенциально может быть доступна каждому везде и всегда. ■



Клавдий Птолемей (около 90 — около 160) — античный географ и астроном из Александрии, создатель научной картографии. Его «Руководство по географии» в восьми книгах заложило начала географии как точной науки, опирающейся на картографию.

КАРТОГРАФИЯ — НАУКА, ТЕХНОЛОГИЯ, ПРОИЗВОДСТВО

Изучение Земли сегодня невозможно представить без карт. География, геология, геофизика и геохимия, океанология и планетология — все они наносят результаты своих исследований на карты, обобщают и анализируют их с помощью карт, формулируют новые гипотезы, составляют и проверяют прогнозы.

Становление многих отраслей знания почти целиком опирается на **картографирование**. Например, структурная геоморфология основные сведения о рельефе получает из топографических карт, медицинская география изучает возможные ареалы возникновения болезней и эпидемий



по природным и социально-экономическим картам. Один из наиболее ярких примеров — сравнительная планетология: общие закономерности строения поверхности Земли и других небесных тел устанавливаются исключительно по снимкам и картам, ведь на «пыльных тропинках далеких планет» еще не было человека. Огромна роль карт в познании дна океана, бескрайние пространства которого никто из живущих никогда не охватывал взором.

Картография дает наукам о Земле общий язык, единый метод познания, и они не могут обойтись без карт, подобно тому как физика, электроника, техника не могут обойтись без математики. Велика роль карт в образовании: с детских лет мы привыкли видеть карту на классной доске. Теперь новые времена, и учебные карты все чаще высвечиваются на экранах школьных и домашних компьютеров.

Картография предоставляет информацию, совершенно необходимую для развития экономики, культуры, науки, для обеспечения обороноспособности и экологического контроля, помогает предупреждать чрезвычайные ситуации. Тот, кто владеет информацией, в том числе картографической, владеет и ситуацией. Так было всегда, а в настоящее время новейшая электронная картография производит ценнейший продукт, необходимый обществу и каждому человеку. Именно в этом непреходящее значение картографии в познании и истолковании всего, что происходит на планете. ■

Картографию определяют как область науки, техники и производства, которая охватывает создание, изучение и использование картографических произведений как моделей окружающей действительности. Иногда добавляют, что картография — это еще и «искусство создания карт», и в этом большая доля истины. Картография тесно связана с искусством: многие старинные карты и глобусы приобрели теперь немалую художественную ценность и даже стали объектами коллекционирования.

Теоретики картографии имеют разные взгляды на нее как науку. Одни считают, что картография, как и география, помогает познавать окружающий мир, но только с помощью особых средств — картографических моделей. Таким образом, во главу угла ставится именно познание и моделирование. Другие, и их немало, утверждают, что основное назначение картографии — передача пространственной информации в картографической форме. Карты рассматриваются как своеобразные каналы информации, по которым сведения передаются от составителя карты к читателю. В такой трактовке картография становится частью информатики — науки об информации. Третьи считают, что картография — наука о языке карт, о знаковых системах и правилах их использования. Иначе говоря, главные научные устремления должны быть направлены на разработку и совершенствование особого языка картографии, которая предстает таким образом как отрасль лингвистики — науки о языках. Кто же прав? Какой трактовке отдать предпочтение? Каждая имеет под собой вполне реальные основания. ■

(Слева). Одна из латинизированных реконструкций знаменитой карты мира Клавдия Птолемея (издание 1492 г.). На ней изображен мир, известный античным ученым: юг и запад Европы, Ближний Восток, часть Азии и Индия, северная половина Африки. Птолемей считал, что площадь суши значительно больше моря, а Индийский океан рассматривал как замкнутый средиземноморский бассейн. Интересно, что Птолемей уже имел понятие о меридианах и параллелях.

Иначе говоря, главные научные устремления должны быть направлены на разработку и совершенствование особого языка картографии, которая предстает таким образом как отрасль лингвистики — науки о языках. Кто же прав? Какой трактовке отдать предпочтение? Каждая имеет под собой вполне реальные основания. ■

Картина голландского живописца Вермера Делфтского (1632 — 1675). На ней изображен ученый-географ, склонившийся с циркулем в руке над разложенной на столе картой.

Карты, атласы и глобусы — это не только научные труды, но и произведения искусства. В эпоху Возрождения они были атрибутами картин Рембрандта и Строцци, Гольбейна и Дюрера. Картографические сюжеты символизировали государственность, дух познания и науки. ■



В своем «Руководстве по географии» Птолемей учил, что «география есть линейное изображение всей ныне известной нам части Земли со всем тем, что на ней находится... Она изображает положения и очертания с помощью одних лишь только линий и условных знаков... Все это с помощью математики дает нам возможность обозреть всю Землю в одной картине, подобно тому как мы можем обозреть небесный свод в его вращении над нашей головой». ■





Этапы развития картографии:

древнейшие времена — рисование на камне, дереве, папирусе, ткани;
примерно III в. до н. э. — составление рукописных карт на бумаге;

середина XV в. — изобретение картопечатания, гравирование карт на камне, на медных досках;

вторая половина XIX в. — применение фотохимических процессов для создания карт;

XX в. — развитие технологий картографирования на основе обработки аэро- и космических снимков; цифровые и электронные методы составления карт, формирование баз и банков данных;

конец XX в. — составление карт в компьютерных сетях телекоммуникации. ■

ОСНОВНЫЕ ВЕХИ РАЗВИТИЯ

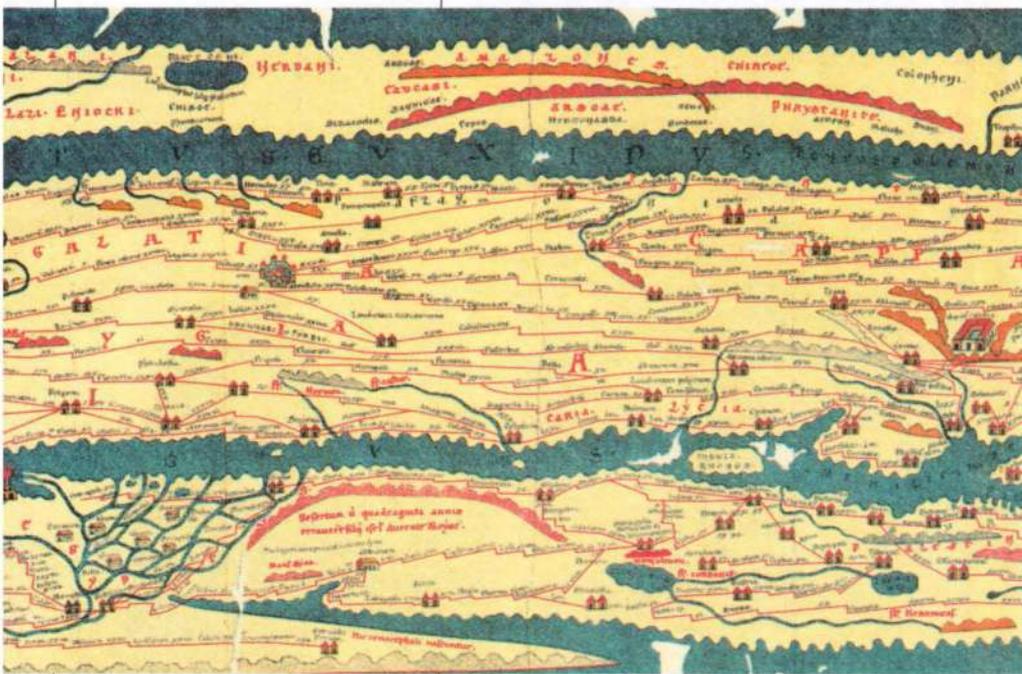
История картографии — часть истории цивилизации. За несколько тысячелетий, прошедших со времени появления первых картоподобных рисунков, картография, как и всякая сфера человеческой деятельности, пережила взлеты и периоды застоя.

Каждый новый виток научно-технического развития оказывал влияние на картографию. Сейчас даже трудно себе представить, как кардинально изменилась карта с тех пор, когда ее стали делать на бумаге и перерисовывать в нескольких экземплярах. А когда появились печатные станки, атласы и карты стали доступны знатным и состоятельным людям. Первые тиражи были невелики, всего несколько экземпляров, но развитие картопечатания позволило изготавливать десятки, а потом и сотни копий.

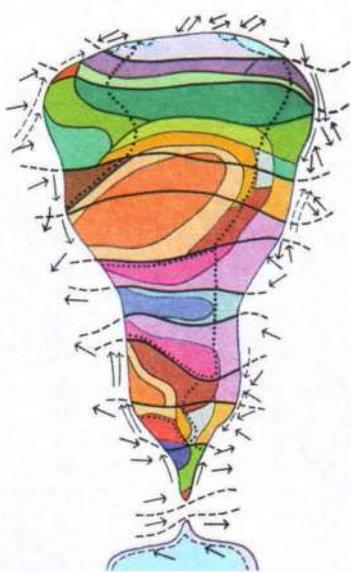
В наши дни благодаря технологии фоторепродукции оригиналов карты можно размножить в тысячах экземпляров. Однако в обиход уже входят карты на экранах компьютеров. Процесс распространения карт стремительно ускоряется, а круг читателей становится неизмеримо шире.

В настоящее время все, чьи настольные компьютеры подключены к глобальной телекоммуникационной сети, получили практически мгновенный доступ к крупнейшим картографическим фондам Европы, Америки, Азии, Австралии.

Одна из самых знаменитых римских карт — Пейтингерова таблица (IV в.), найденная в 1507 г. немецким историком К. Пейтингером (1465 — 1547). Карта сделана в виде свитка и дает своеобразное изображение дорог обширной Римской империи от берегов Британии до Индии.



Небесный глобус-часы. Создан немецкими часовых дел мастерами в конце XI в. Глобус имеет диаметр 20,5 см, а его высота с латунной позолоченной подставкой — 58 см. Часы показывают названия месяцев, дней недели, время суток и солнечное время.



«Идеальный материк» — модель, показывающая, как выглядела бы карта географических поясов и зон на некотором гипотетическом земном материке, если бы он был абсолютно равнинным и имел симметричную форму.

Система картографических дисциплин развивается как живой организм: от главного ствола отходят ветви, одни из них разрастаются и усиливаются, становятся самостоятельными стволами и выбрасывают новые стремительные побеги, а развитие других несколько замедляется. Такой естественный процесс характерен и для науки. Например, изыскание картографических проекций всегда считалось очень сложной проблемой и требовало применения серьезного математического аппарата и трудоемких вычислений, но с внедрением компьютерных технологий это стало «делом техники». Благодаря компьютеризации быстро прогрессируют методы использования карт, а появление спутниковых систем определения координат на местности привело к формированию совершенно новой дисциплины на стыке математической картографии, спутниковой геодезии и радиопизики. Эта дисциплина получила название «спутниковое позиционирование», т. е. местоопределение по спутниковым наблюдениям. ■

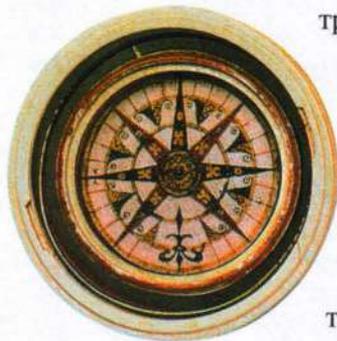
КАРТЫ — МОДЕЛИ ЗЕМЛИ

Моделирование — один из главных методов познания окружающего мира, когда сам изучаемый объект (явление или процесс) заменяется другим, вспомогательным естественным или искусственным объектом — моделью. Модель замещает реальность на отдельных этапах исследования, и свойства ее в чем-то подобны свойствам изучаемого объекта. Она облегчает и упрощает процесс исследования, делает его менее трудоемким и более наглядным. Свойства и закономерности, установленные на моделях, переносятся затем на реальные объекты. Моделирование дает новые факты и знания, подсказывает оригинальные идеи, помогает экспериментировать, выдвигать и проверять гипотезы, а в конечном счете ведет к новым открытиям.

В современном познании моделирование понимается очень широко. В науках о Земле моделью принято считать любой заменитель реального объекта: географические (геологические и др.) описания — описательные, или вербальные (т. е. словесные), модели; карты, аэро- и космические снимки, профили и разрезы, диаграммы и блок-диаграммы — графические, или иконические (изобразительные), модели; уравнения и формулы — математические модели; образцы, макеты — физические, или натурные, модели и т. д.

Моделирование никогда не воспроизводит всех свойств реального объекта, а лишь в большей или меньшей степени приближает к нему. При этом отбрасываются ненужные детали и выделяются (моделируются) наиболее существенные, на которых сосредоточивается внимание. Моделирование — сильнейший инструмент исследования. Им пользуются все науки, в особенности естественные и технические отрасли знания. В науках о Земле самыми распространенными и удобными моделями традиционно служат карты. ■

Географическая карта — удивительное творение разума и рук человеческих, маленькая модель мира. Она распахнута на все четыре стороны света и зовет к познанию недр земных и космического пространства, дна океанов и непроходимых тропических лесов.



Касаясь карты циркулем и грифелем, можно двигаться по самым необычайным маршрутам с любой скоростью, по суше и по морю или вовсе без дорог. За множеством знаков и надписей, за плавными изгибами сетки меридианов и параллелей открывается то, что скрыто от взора, и в новом свете от полюса до полюса предстает Земля — планета людей. ■

Картографические рисунки создавались еще первобытным человеком. С их помощью обозначались охотничьи угодья, соседние поселения, реки, тропы, ориентиры.

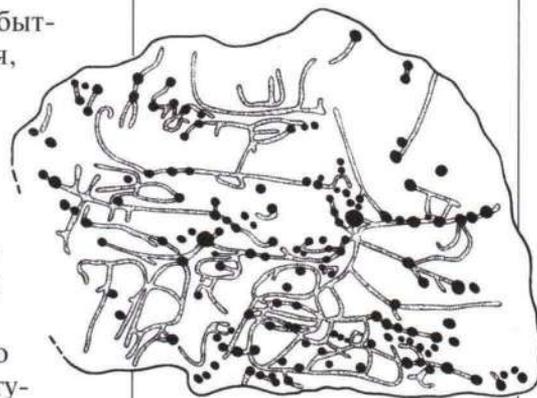
В античном мире карты использовали во время путешествий, а также для определения расстояний и подсчета площадей. Однако сам термин «карта» появился лишь в эпоху Возрождения. До этого употреблялись слова *tabula* и *descriptionis* (изображение). Слово «карта» означает «лист, бумага» и происходит от латинского «*charta*» и греческого «*carthz*» (хартеc) — бумага из папируса.

Сейчас слово «карта» используется во многих языках мира: во французском — *carte*; немецком — *Karte*; итальянском и португальском — *carta*; голландском — *kaart*; шведском — *karta*; датском — *kort*; украинском — *карта*; греческом — *carthz*; турецком — *harita*. Не менее распространен термин, производный от латинского слова «*mapra*», что означало «кусочек полотна»: в английском языке — *map*; испанском — *mapa*; польском, чешском, словацком — *mapa*; украинском — *мапа*.

В некоторых языках применяют оба термина. Например, в английском термин «*chart*» обозначают морские и аэронавигационные карты; в испанском слово «*carta*» используют для морских и астрономических карт. Есть и чисто национальные названия: по-японски — *tizu*; по-венгерски — *terker* (буквально — изображение территории); по-литовски — *zemelapis* (лист Земли).

В России карты долго назывались чертежами, и в Толковом словаре В. И. Даля карта определяется именно как «чертеж какой-либо части Земли, моря, тверди небесной». Лишь в эпоху Петра I появились сначала ландкарты, а потом карты. ■

Научное определение карты, принятое Международным сообществом картографов, гласит: «Карта — это уменьшенное, обобщенное



«Каменная карта» (4 — 3 тыс. лет до н. э.). Каменный монолит найден археологами на юге Иордании недалеко от залива Акаба. Плоская верхняя поверхность камня покрыта сеткой бороздок и ямок разного размера и глубины. Это одна из древнейших моделей местности. Сличение ее с современной топографической картой показало, что на ней подробно изображена древняя сеть дорог, проложенных в горных долинах, и размещение неолитических поселений. Масштаб модели примерно 1:16 000, т. е. 1 см соответствует 160 м на местности. Карта информировала о расположении поселений, дорог, троп и пастбищ. Говоря современным языком, она помогала принимать решения об использовании территории.

Глобусы — модели Земли.



Виды картографирования различаются по объекту (астрономическое, планетное и земное, а внутри земного — картографирование суши и океанов), по методу (наземное, аэрокосмическое и подводное), по масштабу (крупно-, средне- и мелкомасштабное), по степени автоматизации (ручное, автоматизированное или интерактивное и автоматическое).

В современной картографии существуют два разных, но тесно связанных между собой направления. Одно из них — географическая картография — акцентирует внимание на отображении и исследовании природы, населения, хозяйства и экологии, а главное — существующих между ними связей и взаимодействий. Другое направление — инженерная картография — делает акцент на технические аспекты и связь с геодезическими науками. ■

«Картография как наука имеет предметом своего познания объективно существующий порядок взаимного размещения (конкретное пространство) материальных предметов и явлений — природных и общественных, а также временное изменение этого порядка...» — писал **А. Ф. Асланикашвили** (1916 — 1982), теоретик картографии, разработавший ее философские основы и теорию языка карты. ■

Два изображения горного рельефа западных районов США.

Компьютерная модель горного рельефа западных районов США: Скалистых гор, Большого бассейна, Берегового хребта, созданная посредством обработки радиолокационных космических снимков.

изображение поверхности Земли, других небесных тел или небесной сферы, построенное по математическому закону на плоскости и показывающее посредством условных знаков размещение и свойства объектов, связанных с этими поверхностями.

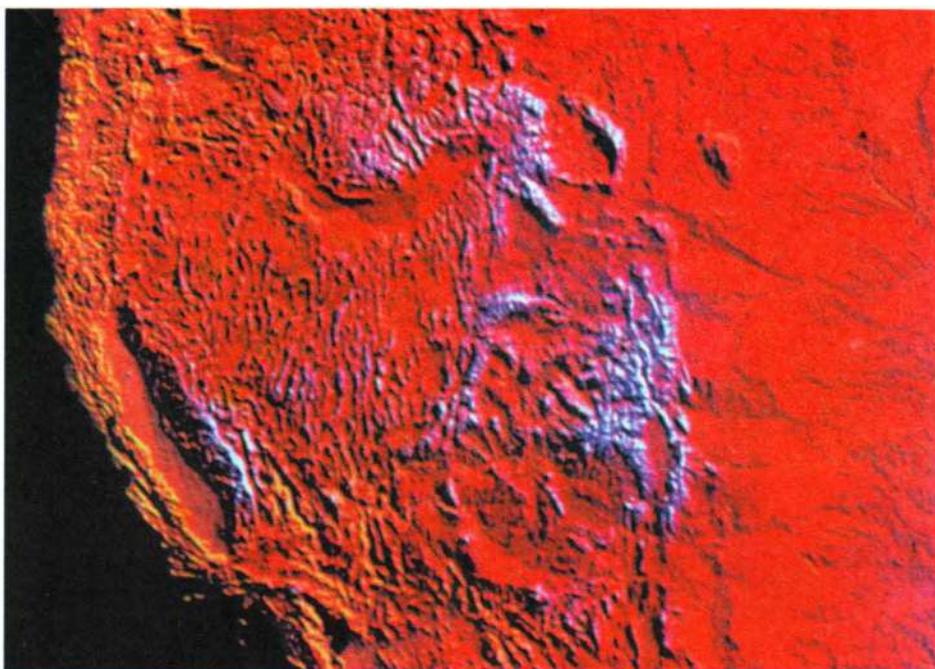
Определение отражает основные свойства карты. Во-первых, математический закон построения, т. е. применение проекций, с помощью которых можно перейти от сферической поверхности Земли к плоскости карты. Во-вторых, генерализованность карты, иначе говоря, отбор и обобщение изображаемых объектов. В-третьих, знаковость карты, т. е. использование особого языка условных символов». ■

Свойства карты хорошо понятны при сопоставлении карт с аэро- и космическими снимками. Снимки дают подробный портрет, копию местности без всяких условных знаков, и территория предстает такой, какова она есть.

Картографические условные знаки во многом обогащают изображение, так как позволяют передать количественные и качественные характеристики объектов, например, могут указать породы леса или проходимость болот. С помощью знаков обозначаются объекты, не доступные взору человека, например, рельеф дна океана, строение земной коры на больших глубинах и т. п. Более того, благодаря условным знакам можно наглядно представить даже то, что нельзя ни сфотографировать, ни воспринять органами чувств, например, магнитное склонение, аномалии силы тяжести и др.

Знаками можно показать динамику процессов, их ход во времени и перемещение в пространстве (атмосферные вихри, миграции населения). Наконец, карты способны представить не только реальные объекты, но и научные абстракции, скажем, градиент поля температур или устойчивость ландшафтов к химическому загрязнению.

Снимок объективен, он показывает то и только то, что видно на местности. Картограф же сам выбирает знаки и способы изображения, решает, что и как будет показано на карте, что не очень существенно и может быть



исключено. При этом он руководствуется не только научными принципами, правилами и инструкциями, но и своими знаниями, собственным пониманием сути и значимости картографируемого явления. Карта в отличие от снимка не является копией местности. Карта — это изображение реальности, пропущенное через голову и руки картографа. Образно говоря, на снимке представлены только факты, а на карте еще и научные понятия, обобщения, логические абстракции.■

Как модель карта обладает свойствами, очень удобными для специалистов в области наук о Земле. Прежде всего это геометрическое подобие, благодаря чему читатель получает точное представление о форме объектов, их взаимном размещении, конфигурации, т. е. о пространственной структуре. Карты обладают масштабом и метричностью. По ним, как по моделям, можно проводить измерения, определять количественные (картометрические) показатели и качественные характеристики. Важнейшие свойства карты — наглядность и обзорность.

Человек лучше всего воспринимает наглядный зрительный образ, быстро «схватывая» объект во всей его целостности и сложности. Известно, что лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать, и карты предоставляют такую возможность. Они открывают взгляду сколь угодно обширные пространства, вплоть до планеты в целом. Никакая из известных в географии моделей не обладает этими свойствами в такой степени, как карта. Наконец, карту отличает высокая информативность. Она намного информативнее и компактнее любого географического описания. На единице ее площади размещается большое число знаков, количественных характеристик, названий. Справочные карты, например, содержат на 1 дм² сотни условных обозначений и надписей.■

Космический снимок и карта Африки.

Снимок показывает реальный вид континента: желтые пески Сахары, темно-зеленые пятна влажных экваториальных тропических лесов, синие вены рек. Часть снимка закрыта облаками.

Карта — рукотворная картина, она передает все в условных цветах и знаках. Это знаковая модель, хотя картографы и стараются приблизить ее к «естественному» виду.



Та же территория (запад США), созданная картографами.

В обоих случаях рельеф передан одинаково точно и пластично.

Одна из отчетливых тенденций современного развития наук о Земле — возникновение межнаучных, междисциплинарных исследований на стыке разных отраслей знаний. И тематическое картографирование, откликаясь на это, создает карты комплексной тематики, принадлежащие одновременно к природной и общественной сферам. Наиболее яркий пример — спектр карт экологических, состояния окружающей среды, условий жизни населения и т. п. Количество таких карт неуклонно возрастает, а содержание становится все разнообразнее. ■

Специальные карты предназначены для решения задач инженерно-технического характера. Самую значительную их часть составляют навигационные, аэронавигационные и лоцманские карты. На некоторых морских навигационных английских и американских картах еще можно встретить английскую систему мер: 1 английская миля равна 1,609 км, она содержит в себе 5280 футов, или 63360 дюймов. В Великобритании до сих пор параллельно издаются карты в традиционных английских мерах и в новых метрических. Например, «некруглый» масштаб 1: 63360 покажется совсем неподходящим человеку, привыкшему к метрической системе, но британцы считают его удобным. Они называют такую карту однодюймовой: 1 дюйм на ней соответствует 1 миле на местности. ■

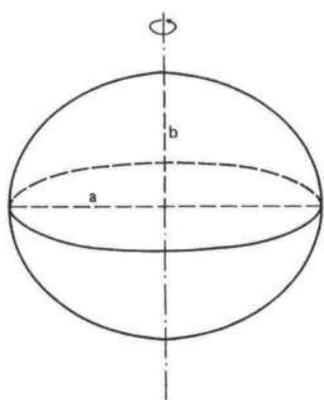
ОБЩЕГЕОГРАФИЧЕСКИЕ И ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАРТЫ

Общегеографические карты изображают земную поверхность и находящиеся на ней основные природные и социально-экономические объекты. Можно сказать проще: эти карты показывают в основном то, что видно на местности (рельеф, растительность, населенные пункты, пути сообщения, границы и др.).

Топографические и обзорно-топографические карты имеют многоцелевое применение: при решении хозяйственных, научных, учебных, военных и иных задач. Во всех странах топографическим картографированием занимаются государственные картографо-геодезические службы и военные ведомства. Серии карт разных масштабов, покрывающих всю страну, постоянно обновляются. Это требует огромных затрат и везде считается делом государственной важности. В России топографо-геодезические работы выполняет Федеральная служба геодезии и картографии (Роскартография). Россия располагает самым крупным в мире единым блоком топографических карт в масштабе 1:25000, который включает десятки тысяч листов. Кроме того, составлены единые блоки карт в масштабе 1:100000 и в более мелких. Для отдельных промышленных районов и крупных городов делают свои крупномасштабные топографические карты и планы. ■

Содержание топографических карт составляют основные элементы местности: рельеф (естественные и искусственные формы); гидрографическая сеть и гидротехнические сооружения; растительность, основные сельскохозяйственные угодья и грунты; населенные пункты и отдельные строения; промышленные, сельскохозяйственные и социаль-





Эллипсоид вращения — геометрическая фигура, которая используется для приближения неправильной фигуры нашей планеты. Любое вертикальное сечение эллипсоида дает эллипс, а сечение по экватору или по параллели — окружность. Форму эллипсоида определяют его экваториальная (a) и полярная (b) полуоси и величина сжатия (α). Для эллипсоида Ф. Н. Красовского, принятого в России, эти значения составляют: большая полуось (a) — 6378245 м; малая полуось (b) — 6356863 м; сжатие — $1 : 298,3$.

МАСШТАБЫ, ПРОЕКЦИИ, КООРДИНАТЫ

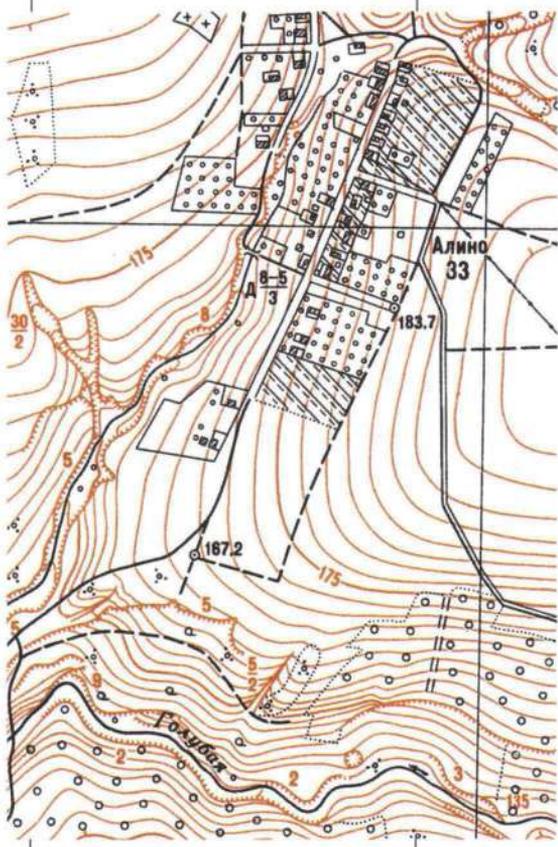
Земля не идеальный шар. Как всякое вращающееся тело, она немного сплюснута у полюсов, а кроме того, имеет пологие впадины и выпуклости, связанные с неравномерным распределением масс в теле планеты. Неправильную фигуру Земли называют геоидом (от греч. *geo* — Земля и *eidos* — вид). Его очень сложно описать математическими формулами.

Хорошее геометрическое приближение к форме Земли дает эллипсоид — тело, моделирующее сжатие планеты у полюсов. Для математически строгого построения карт совершенно необходимо точно знать размеры, или, как говорят картографы, параметры эллипсоида, вернее, **референц-эллипсоида**, т. е. эллипсоида относимости. Геодезисты давно решают эту непростую задачу: сначала нужно измерить дугу меридиана на поверхности Земли, затем путем сложных расчетов вычислить размеры планеты и, наконец, определить сжатие и длины осей эллипсоида. Это дорогостоящие и технически сложные работы.

Требуются точные геодезические приборы и скрупулезный учет всех возможных погрешностей измерений. ■

В настоящее время для определения параметров земного эллипсоида используют спутниковые наблюдения. Они, конечно, намного точнее геодезических измерений на местности. Большая полуось Всемирного эллипсоида (Международная геодезическая система WGS-84) имеет длину 6378137 м и сжатие $1 : 298,3$. Обратим внимание, как близко совпадают эти значения с параметрами эллипсоида Ф. Н. Красовского.

В мире существуют около полутора десятков эллипсоидов, что создает определенные сложности. Координаты пунктов, полученные по топографическим картам разных стран, могут различаться на десятки метров. Было бы, конечно, хорошо принять единую международную систему, но тогда всем странам придется переде-



Три фрагмента топографических карт изображают одну и ту же местность, но первая из них имеет масштаб $1 : 10000$ (в 1 см 100 м), вторая — $1 : 25000$ (в 1 см 250 м, она в два с половиной раза мельче первой карты), а третья — $1 : 50000$ (в 1 см — 500 м, она мельче первой карты в пять раз, а по площади занимает лишь $1/25$ ее часть).

лывать свои карты, подгоняя их под международный стандарт, а это довольно дорого. Приходится мириться с этим, так же как с существованием в разных странах своих национальных валют, разных мер длины и веса. Правда, на мелкомасштабных географических картах, которыми обычно пользуются, различия эллипсоидов практически не сказываются. Для таких карт даже вполне допустимо вместо эллипсоида взять шар, погрешности не будут заметны. Радиус земного шара, заменяющего эллипсоид Ф. Н. Красовского, равен 6371,1 км. ■

Масштаб карты — степень уменьшения объектов на карте относительно их размеров на земной поверхности (точнее, на поверхности эллипсоида). Строго говоря, масштаб постоянен только на планах небольших участков местности, но на картах из-за особенностей проекций он меняется от точки к точке. Поэтому различают **главный** и **частный масштабы**. Главный масштаб показывает, во сколько раз карта уменьшена относительно эллипсоида (или шара); масштаб подписывается на карте, но справедлив он лишь для отдельных линий и точек, где искажения отсутствуют. Частный масштаб отражает соотношения размеров объектов на карте и земной поверхности в любой данной точке. Он может быть больше или меньше главного. В общем случае чем мельче масштаб карты и чем обширнее территория, тем больше различия между главным и частным масштабами. ■



Русские карты в XIX в. составлялись в неметрических масштабах, на них использовались старые русские меры длины — верста (1,0668 км), сажень (2,143 м), дюйм (2,54 см). Многие старые карты сохранились до наших дней, они — ценный научный документ, точно отражающий состояние окружающей среды более ста лет назад. При сопоставлении старых карт с современными приходится иметь дело с неметрическими масштабами. ■

НЕМЕТРИЧЕСКИЕ МАСШТАБЫ СТАРЫХ РОССИЙСКИХ КАРТ

Масштаб	Название карты	Соответствует на местности
1: 21000	Полуверстка	1/2 версты
1: 42000	Одноверстка	1 верста
1: 84000	Двухверстка	2 версты
1: 126000	Трехверстка	3 версты
1: 210000	Пятиверстка	5 верст
1: 420000	Десятиверстка	10 верст
1: 1050000	Двадцатипятиверстка	25 верст
1: 1680000	Сорокаверстка	40 верст
1: 4200000	Стоверстка	100 верст

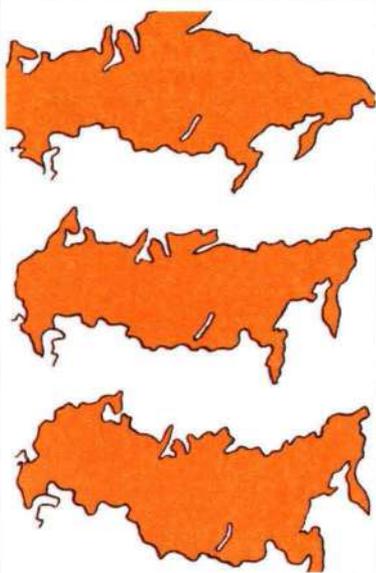
Французский астроном **Жан Батист Деламбр** (1749 — 1822) одним из первых измерил длину дуги меридиана от Дюнкера до Барселоны и в 1810 г. рассчитал параметры земного эллипсоида: длина большой полуоси составила 6376428 м, а сжатие — 1 : 311,5. Между прочим, именно эти измерения послужили основой для установления единицы длины — метра (одна десятиллионная часть четверти дуги меридиана). Впоследствии оказалось, что параметры не очень точны. Почти через полвека (в 1858 г.) английский геодезист **Александр Кларк** (1828 — 1914) заново определил размеры земного эллипсоида и потом еще несколько раз уточнял свои вычисления. Эллипсоид Кларка 1866 г. принят в настоящее время в США, Канаде и Мексике. Большая его полуось равна 6378206 м, а сжатие — 1 : 295. ■

Территорию России — 17,1 млн. км² — покрывают сотни тысяч листов топографических карт разных масштабов, что видно из следующей таблицы:

Масштабы карт	Количество листов
1:1000000	148
1:500000	488
1:200000	3543
1:100000	13129
1:50000	50792
1:25000	201442
1:10000	Свыше 800000

На старинных картах изображение масштабной шкалы — важный элемент художественного оформления. Красивая виньетка, изящные шрифты украшали карты.





В картографической проекции искажаются не только размеры, но и формы объектов. На этом рисунке дан контур России в трех разных проекциях, и видно, что в одном случае очертания Чукотки как бы опущены книзу, в другом — задраны кверху, а в третьем они оказались на уровне полуострова Таймыр. На самом же деле именно на Таймыре находится северная оконечность России — мыс Челюскин.

Все картографические проекции имеют искажения, но люди привыкают к картам и не всегда замечают, как деформированы очертания материков и океанов. Современный картограф А. В. Гедымин составил шуточную карту, на которой показал, как были бы искажены человеческие лица, если их представить в одной из самых популярных — цилиндрической проекции. В северных широтах были бы безобразно раздуты черепа, а в южных — подбородки и шеи.

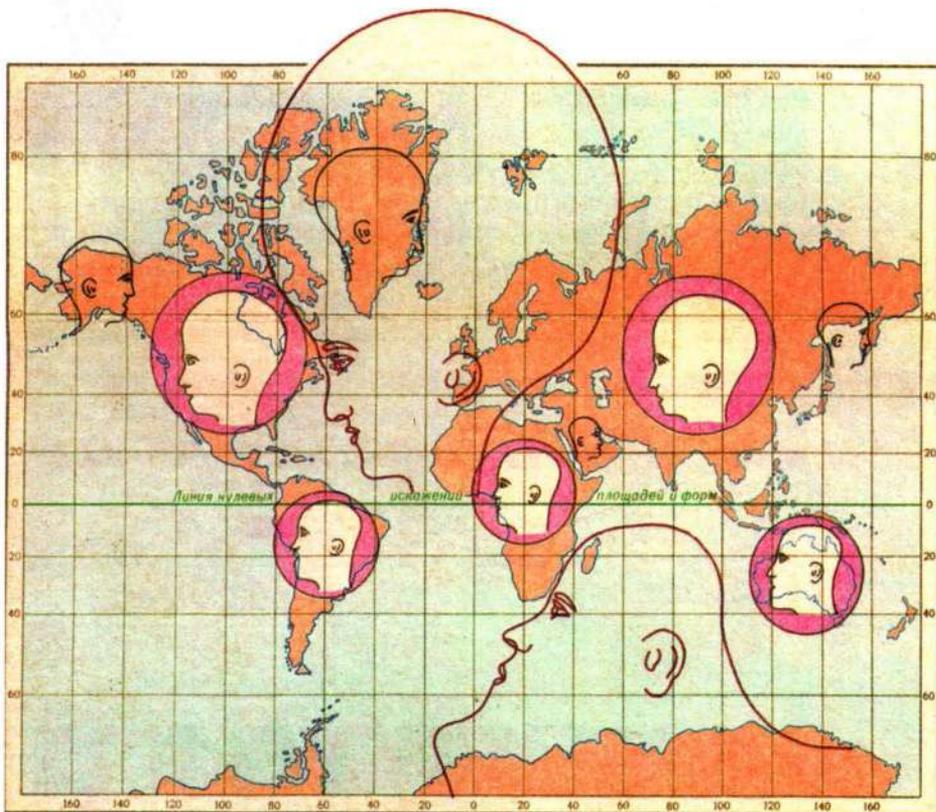
Переход от земной поверхности к плоскости карты идет как бы в два этапа: сначала неровную поверхность Земли проектируют на шар (или на эллипсоид), а затем разворачивают в плоскость. Общее уравнение картографических проекций связывает географические координаты точки на шаре (широту B и долготу L) с координатами X и Y на карте:

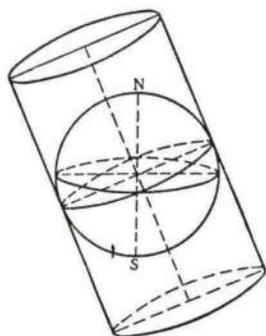
$$X = f_1(B, L); Y = f_2(B, L).$$

Отсюда следует, что **картографическая проекция** — это математически точное отображение поверхности эллипсоида или шара (глобуса) на плоскость карты. Общее уравнение элементарно, а вот конкретные реализации функций f_1 и f_2 часто выражены довольно сложными уравнениями, и число их бесконечно. Следовательно, разнообразие картографических проекций практически неограниченно.

Во всех картографических проекциях присутствуют искажения. Иногда они очень заметны. Например, очертания материков становятся непривычно вытянутыми или сплюснутыми. Другие части изображения могут будто раздуваться. Есть карты, на которых Гренландия выглядит больше, чем Южная Америка, хотя в действительности она меньше ее в восемь с лишним раз, а Антарктида иногда вообще занимает весь юг карты. ■

На картах встречаются четыре вида искажений — искажения длины, площади, углов (направлений) и форм. Соответственно выделяются равновеликие, равноугольные и произвольные проекции. При переходе от эллипсоида или шара к карте в качестве вспомогательных поверхностей берут плоскости, цилиндры, конусы и некоторые другие геометрические фигуры. Соответственно получают разные классы проекций. ■





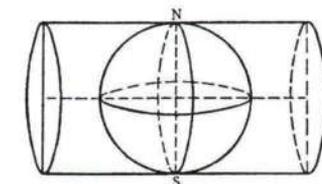
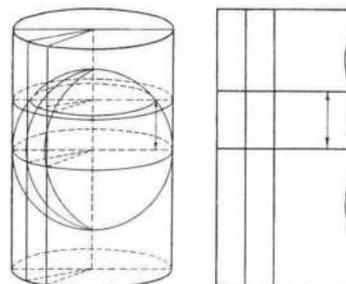
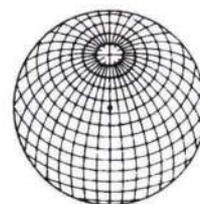
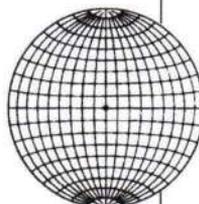
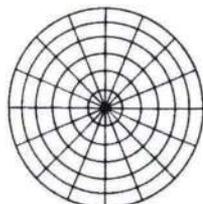
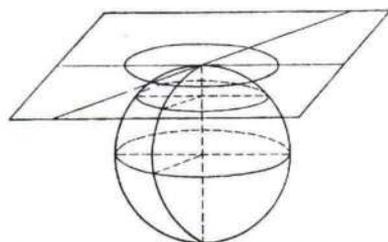
Цилиндрические проекции получают тогда, когда шар (эллипсоид) проектируют на цилиндр, после чего его боковую поверхность разворачивают в плоскость. Если ось цилиндра совпадает с осью вращения Земли, то образуется **нормальная (прямая) цилиндрическая проекция**. Меридианы в ней — параллельные прямые, а параллели — тоже прямые, перпендикулярные к ним. В таких проекциях меньше всего искажений в тропических и приэкваториальных областях.

Если же ось цилиндра расположена в плоскости экватора, то это **поперечная цилиндрическая проекция**. Цилиндр касается шара по меридиану, и, следовательно, в такой проекции наиболее выгодно изображать территории, вытянутые с севера на юг. В тех случаях, когда ось цилиндра расположена под углом к плоскости экватора, проекция называется **косой цилиндрической**. Она удобна для вытянутых территорий, ориентированных на северо-запад или северо-восток. ■

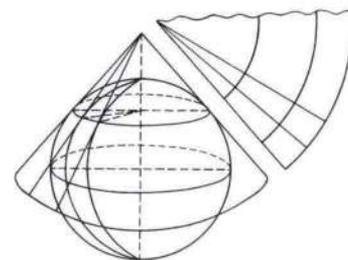
Конические проекции. Поверхность шара (эллипсоида) проектируется на конус, а затем он разворачивается в плоскость. Как и в предыдущем случае, коническая проекция бывает **нормальной (прямой)**, если ось конуса совпадает с осью вращения Земли. Тогда на карте прямые линии меридианов расходятся из точки полюса, а параллели выглядят как дуги концентрических окружностей. Воображаемый конус касается земного шара в средних широтах, поэтому проекция удобна для картографирования таких стран, как Россия, Канада, США, расположенных в средних широтах. В **поперечных и косых конических проекциях** ось конуса находится в плоскости экватора или под углом к нему. ■

Азимутальные проекции. Поверхность земного шара (эллипсоида) переносится на плоскость. Если плоскость перпендикулярна к оси вращения Земли, то получается **полярная (нормальная) азимутальная проекция**. Параллели в ней — концентрические окружности, а меридианы — радиусы этих окружностей. В такой проекции почти всегда составляют карты Арктики и Антарктики. Если же плоскость проекции перпендикулярна к плоскости экватора, то получается **экваториальная (поперечная) азимутальная проекция**. Она удобна для карт полушарий. А если проектирование выполнено на вспомогательную плоскость, находящуюся под углом к плоскости экватора, то получается **косая азимутальная проекция**. ■

В азимутальной проекции изображение с шара переносят на плоскость. В поперечной (экваториальной) азимутальной проекции всегда изображают полушария, а в косой азимутальной можно передать любой ракурс планеты, ее глобулярность.

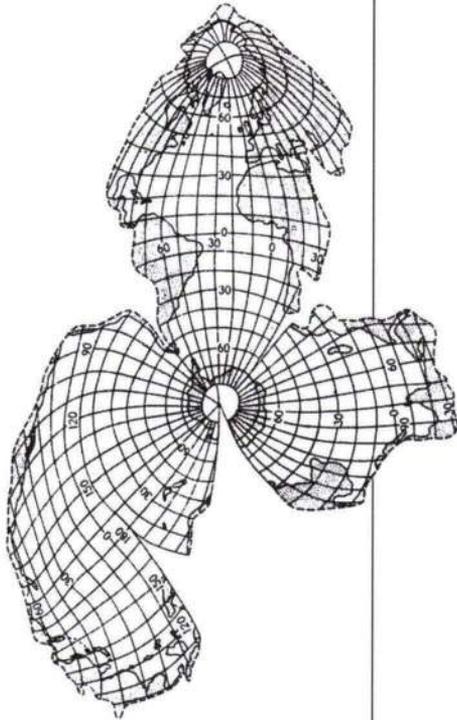


Цилиндрические проекции. В нормальной (прямой) проекции изображение с шара переносится на поверхность цилиндра, ось которого совпадает с осью вращения Земли. В поперечной — цилиндр располагается так, что его ось лежит в плоскости экватора, а в косой цилиндрической — ось цилиндра наклонена под углом к экватору.



Прямая коническая проекция. Конус касается шара в средних широтах. Значит, районы, прилегающие к широте касания, имеют на карте наименьшие искажения. Именно такого типа проекции чаще всего используют для карты России.

Бывают случаи, когда проекцию приходится изобретать заново. Так, когда возрос интерес к познанию океанов, пришлось создать особую проекцию с разрывами на материках. Карта состоит как бы из трех лепестков: Тихий океан, Атлантический вместе с Северным Ледовитым и Индийский. Разрывы на материках сделаны для того, чтобы оставить без искажений площади океанов и проводить по ним измерения.

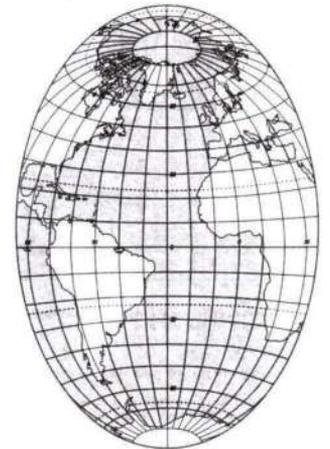


Земной шар можно проектировать не только на цилиндры, конусы и плоскости, но и на многогранники, состоящие, например, из трапеций. Именно так устроена проекция карты мира в масштабе 1 : 1000000.

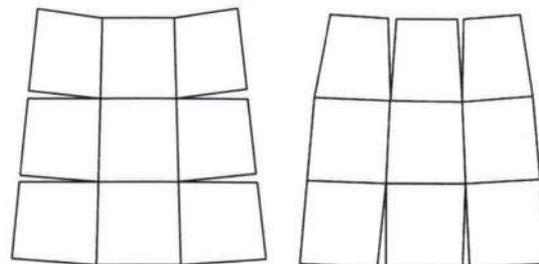
Условные проекции — все остальные проекции, для которых нельзя подобрать простые геометрические аналоги. Их строят, задавая какие-либо условия, например, желательный вид географической сетки, то или иное распределение искажений и др. К условным принадлежат псевдоцилиндрические, псевдоконические, псевдоазимутальные и многие другие проекции. ■

Многогранные проекции. Эти особые проекции создаются для многолистных карт. Глобус проектируют на многогранник, и каждая грань представляет собой лист карты. Искажения в пределах каждой грани совсем невелики, но за удобство приходится расплачиваться: блок листов карт нельзя соединить по общим рамкам без разрывов.

Конечно, для построения картографических проекций никто не помещает глобус в цилиндр и не надевает на него конус. Это всего лишь геометрические аналоги, позволяющие представить вид проекции. Такие проекции получают аналитически. Компьютер может быстро рассчитать любую проекцию с заданными параметрами, а чертежные автоматы легко вычерчивают сетку меридианов и параллелей. Существуют специальные компьютерные атласы проекций, позволяющие подобрать для любой территории или акватории нужную сетку меридианов и параллелей. Например, океанологи часто хотят иметь единое изображение двух соседних океанов — Атлантического и Северного Ледовитого, которые образуют единую систему (их связывает течение Гольфстрим), поэтому удобнее рассматривать их на одной карте. Для этого возможно подбирать особые условные, так называемые **овальные проекции**. Таким образом, выбор проекции во многом определяется положением территории на земном шаре. Для России почти всегда берут конические проекции, для Арктики — полярные азимутальные и т. д. Конечно, приходится учитывать еще и содержание карты. ■



Координаты нужны для того, чтобы определять точное положение точек или объектов, вычислять расстояния и направления, наносить на карты новые объекты. На картах используют две системы координат — географическую и прямоугольную.



Овальная проекция специально придумана для того, чтобы показывать Атлантический океан вместе с Северным Ледовитым как единую океаническую систему. В такой проекции удобно, например, показать течение Гольфстрим, которое начинается у берегов Флориды и проходит почти до Шпицбергена, определяя климат Северной Европы. Проекция хороша тем, что минимально искажает площади.

Географические координаты — широта и долгота — это угловые величины, определяющие положение любой точки относительно экватора и начального меридиана. **Широтой** точки называется угол между плоскостью экватора и отвесной линией в данной точке. А **долгота** — это угол между плоскостью начального меридиана и плоскостью меридиана данной точки. Счет широт идет от экватора (0°) к северу и югу до полюсов (90°), причем соответственно указывают «северную» или «южную» широту («с. ш.» или «ю. ш.»). А за начальный, «нулевой», принят меридиан, проходящий через старейшую астрономическую обсерваторию Гринвич (Великобритания). От него считают долготы в обе стороны — к востоку и западу («в. д.» и «з. д.») от 0 до 180° с добавлением слов «к востоку от Гринвича» или «к западу от Гринвича». Широты и долготы определяют на основе геодезических наблюдений, а на карты наносят только картографическую сетку, состоящую из линий параллелей и меридианов. **Параллель** — это любая линия, все точки которой имеют одинаковую широту, а **меридиан** — линия, все точки которой лежат на одной географической долготе. ■

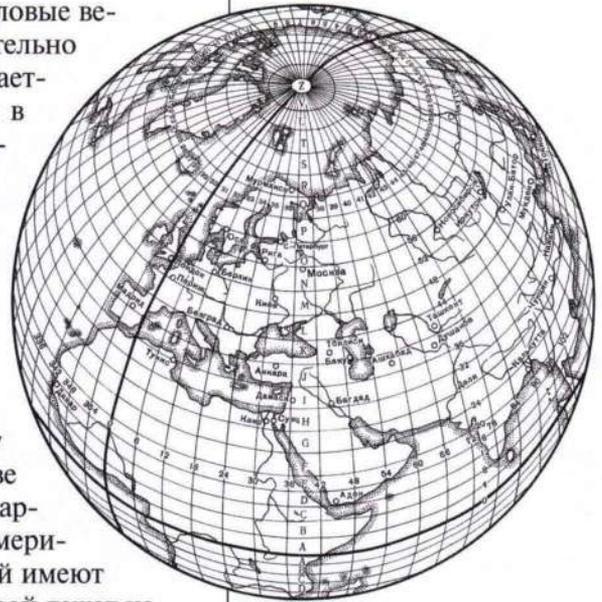


Схема деления земного шара на листы карт масштаба $1 : 1000000$. Каждая клеточка — трапеция — это один лист карты, он имеет размеры $4'$ по широте и $6'$ по долготе.

На топографических картах кроме географической системы координат применяют еще **прямоугольные координаты**. Они удобны для математических расчетов по картам, для определения расстояний или площадей с помощью привычных значений X и Y , а не градусных величин. За ось X берут осевой меридиан геодезической зоны, а за ось Y — линию экватора. Точке пересечения осевого меридиана и экватора (началу координат) присвоены значения $X = 0$ км и $Y = 500$ км (это сделано для того, чтобы избавиться от отрицательных значений Y). На топографические карты линии, параллельные осям X и Y , нанесены через 1 км. Они подписаны у рамок карты и образуют квадратную километровую сетку. Прямоугольные координаты дают в метрах. Если, например, координаты $X_0 = 6\ 081\ 462,5$, а $Y_0 = 4\ 308\ 655,0$, то это означает, что точка удалена от экватора на 6081 км и 462,5 м, находится в 4-й зоне (первая цифра означает номер зоны) и имеет координату по Y , равную 308 км и 655 м. ■

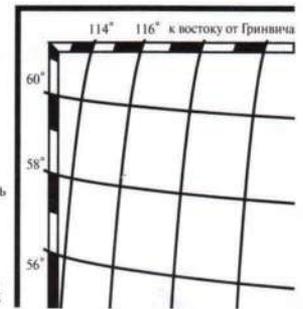
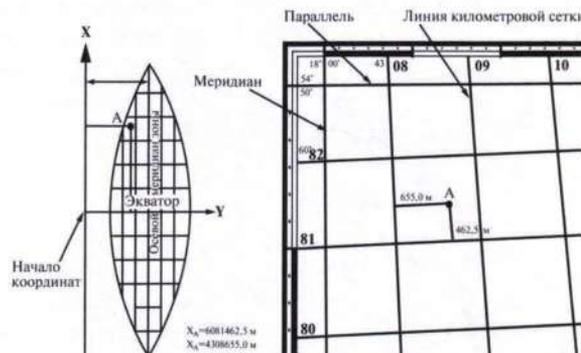


Схема системы географических координат. Географическая широта — это угол между отвесной линией в данной точке и плоскостью экватора, а долгота — угол, составленный меридианом данной точки и начальным (Гринвичским) меридианом. На карты наносится градусная сетка меридианов и параллелей, подписи их даются у рамок карты.

Прямоугольные координаты строятся для каждой шестиградусной зоны, т. е. в пределах сферического двуугольника. Оси координат образуют осевой меридиан и экватор, от них ведется отсчет в километрах и метрах. Такую систему используют в основном на топографических картах крупных и средних масштабов. А на саму карту наносят сетку квадратов, оцифрованную через километр, поэтому ее называют километровой сеткой.





Способы картографического изображения.



ЯЗЫК УСЛОВНЫХ ЗНАКОВ

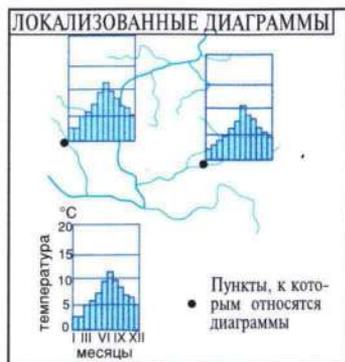
Разнообразие обозначений на картах практически безгранично. Картограф свободен в выборе знаков и способов оформления, и это позволяет составлять яркие, оригинальные карты всевозможных стилей, открывающие простор творческой мысли и воображению читателя. Однако свобода выбора осложняет унификацию и стандартизацию знаков.

Известно, что в математике приняты строго установленные обозначения, а в химии каждому элементу периодической таблицы присвоен один и только один символ. В картографии не так. Город на карте можно показать кружком, звездочкой, квадратиком, стилизованным рисунком домика или как-то иначе, причем есть очень много вариантов кружков или звездочек разного цвета и размера. И если математические формулы и химические уравнения всегда понятны специалистам, то любая карта нуждается в легенде, разъясняющей смысл обозначений.

Унифицированы и закреплены только условные знаки топографических, аэронавигационных и морских карт. Из тематических карт лишь геологические и отчасти почвенные имеют стандартизированные легенды. Для других карт унификация отсутствует.

Не следует, однако, думать, что в выборе условных знаков царит полный произвол. Есть установившиеся нормы, обусловленные особенностями самого картографируемого явления, определенные правила сочетания знаков и традиции. Многие диктуют условия восприятия знаков, необходимость измерения по картам и др. И при этом все картографические знаки можно составить всего из шести графических переменных: формы, размера, ориентировки, цвета, насыщенности цвета и внутренней структуры знака. Из этих элементарных компонентов формируется все богатство знаков подобно тому, как все многообразие существующих мелодий состоит всего из семи нот. ■

Картографические условные знаки — это графические символы, с помощью которых на карте обозначают вид объектов, их местоположение, форму и размеры, а также дают их качественные и количественные характеристики.



Исторически условные знаки развивались на основе картинных перспективных рисунков различных объектов местности: гор, рек, лесов, дорог, населенных пунктов. Древние картографы старались передать с помощью этих рисунков индивидуальные особенности каждого объекта, например, архитектуру храмов в городах, состав пород леса и т. п. Постепенно эти рисунки теряли свою индивидуальность, деревни стали показывать одними значка-

ми, города — иными, для основных дорог применяли одни линии, а для второстепенных — другие. Порой обозначения на картах полностью утрачивали внешнее сходство с изображаемым объектом, скажем, города обозначались кружочком. Знаки приобретали все большую условность и абстрактность. ■

На стыке картографии и семиотики — лингвистической науки, исследующей свойства знаков и знаковых систем, сформировался особый раздел — картографическая семиотика (картосемиотика), в рамках которой разрабатываются общая теория систем картографических знаков как языка карты. В ней изучается довольно обширный круг проблем, касающихся происхождения, классификации, свойств и функций картографических знаков и способов картографического изображения. Наука семиотика включает три основных раздела: синтактику, семантику и прагматику, соответственно эти разделы существуют и в картографической семиотике: картографическая синтактика изучает правила построения и употребления знаковых систем, их структурные свойства, грамматику языка карты; картографическая семантика исследует соотношения условных знаков с самими отображаемыми объектами и явлениями; картографическая прагматика изучает информационную ценность знаков как средства передачи информации и особенности их восприятия читателями карты. ■

Условные знаки подразделяют на три основные группы — точечные, линейные, площадные. **Точечные** знаки применяют для показа объектов, локализованных в пунктах (таких, например, как нефтяные вышки или города на мелкомасштабных картах). Эти знаки всегда внесмасштабны, их размеры на карте не отражают истинных размеров объектов на местности. **Линейные** знаки используются для показа линейных объектов: рек, дорог, границ, тектонических разломов и т. п. Они масштабны по длине, но внесмасштабны по ширине. **Площадные** знаки применяются для показа объектов, представляющих на карте свои размеры и очертания, например для лесных массивов, озер, почвенных ареалов и др. Такие знаки обычно состоят из контура и его заполнения, они всегда масштабны, по ним можно точно определить площадь объектов.

До недавнего времени все условные знаки были статичными, однако с развитием электронных технологий появились **динамические** условные знаки. Это движущиеся, изменяющиеся знаки, используемые в компьютерных картографических анимациях. Они также могут быть точечными, линейными или площадными (фоновыми).

Роль знаков не ограничена только передачей информации. Знаки служат средством фиксации, формализации и систематизации знаний. Не менее важны познавательные (гносеологические) функции картографических условных знаков. С ними можно выполнять действия, преобразовывать их из одной формы в другую, проводить измерения. Знаки служат средством формирования научных понятий, конкретизации, визуализации теоретических выводов, т. е. способом научного познания. ■



БОЛЬШАЯ СЕРИЯ ЗНАНИЙ
ПЛАНЕТА ЗЕМЛЯ

Выпускающий редактор *Е. Таран*
Технический редактор *Н. Лисицына*
Внешнее оформление *В. Орловский*
Корректор *Л. Давыдова*

Компьютерное обеспечение *ООО «ЭЛИТА-Дизайн»*

Разработка макета *Издательство
«Педагогика-Пресс»*

П37 Большая серия знаний. Планета Земля/Сост. А. М. Берлянт. — М.: ООО «ТД «Издательство Мир книги», 2006. Издательский дом «Современная педагогика», 2006. — 128 с.: ил.

УДК 087.5 [55+91] (031)
ББК 26я2

Подписано в печать 20.02.2006 г.
Формат 84x108^{1/16}.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Гарнитура «Ньютон».
Печ. л. 8.
Тираж 30 000 экз.
Заказ № 0601370.

ООО «ТД «Издательство Мир книги»,
111024, Москва, ул. 2-я Кабельная, д. 2, стр. 6

Отпечатано в полном соответствии
с качеством предоставленных диапозитивов
в ОАО «Ярославский полиграфкомбинат».
150049, Ярославль, ул. Свободы, 97.



ISBN 5-486-00580-6



9 785486 005800 >

Большая Серия Знаний

ПЛАНЕТА ЗЕМЛЯ

Эта энциклопедия поможет вам лучше узнать планету, на которой мы живем.

Собранный здесь материал рассказывает о внутреннем строении и рельефе Земли, о деятельности человека по видоизменению ландшафтов, о проблемах, связанных с загрязнением окружающей среды. Подробно освещаются история картографии и виды графических моделей Земли — глобусов и карт. Знания, которые вы почерпнете из этой книги, позволят вам лучше понять, сколь удивителен и прекрасен наш общий дом — планета Земля.

