

Г. А. Максимович

КАРСТ



ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЗНАНИЕ

ФИЗИКА И ХИМИЯ

1960
СЕРИЯ IX

7

ВСЕСОЮЗНОЕ ОБЩЕСТВО
ПО РАСПРОСТРАНЕНИЮ ПОЛИТИЧЕСКИХ И НАУЧНЫХ ЗНАНИИ

Г. А. МАКСИМОВИЧ

КАРСТ

*Печатается по рекомендации президиума правления
Общества по распространению политических и научных
знаний РСФСР.*

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»

Москва

1960

На земном шаре во многих районах обнажаются или залегают вблизи земной поверхности сравнительно легко растворимые в воде горные породы: известняки и доломиты, пясчий белый мел, мраморы, гипсы и ангидриты, каменная и калийная соли. Просачивающиеся вглубь по трещинам дождевые и талые снеговые воды, а также движущиеся подземные воды растворяют эти породы. В результате под землей образуются пещеры и другие пустоты, а на поверхности — воронки, круглые озера, которые относят к карстовым явлениям.

Слово «карст» происходит от названия нагорья Карст, расположенного на Балканском полуострове. Это нагорье сложено известняками. Оно безводно, так как выпадающие осадки стекают в трещины и воронки, в естественные колодцы и шахты, а также другие карстовые пустоты. Жители Югославии дали название каменистому нагорью — карст, точнее крас, что значит камень.

На земном шаре, по подсчетам автора, площадь, занятая обнаженными и погребенными известняками и доломитами, белым мелом и мраморами или карбонатными породами, составляет до 40 млн. км². Распространенностью этих пород, а также гипса, ангидрита, солей и т. п. объясняется значительное развитие карстовых явления на земном шаре. В СССР карст широко распространен. Только на Урале, в пределах геологической карты, растворимые в воде, или карстующиеся, породы занимают около 45 % территории.

КАК ОБРАЗУЕТСЯ КАРСТ

Необходимы три основных условия для появления карстовых процессов:

1) растворимые в воде горные породы; 2) движущаяся вода, способная растворять породы; 3) пути движения воды в этих породах: трещины и другие пустоты.

На развитие карстового процесса оказывают влияние химический состав растворимых в воде горных пород, степень их трещиноватости, условия залегания (горизонтальные или наклонные слои; складчатые или разорванные многочисленными

разломами). Большую роль играют также и движения земной коры в прошлом, в результате которых происходили медленные поднятия и опускания отдельных участков суши. Сказывается и климат района, особенно количество атмосферных осадков, и распределение их по временам года. Таким образом, карст развивается при сложном взаимодействии многих факторов, сочетание которых и определяет тип карста.

Различают несколько типов карста: голый, или средиземноморский; задернованный, или кавказский; покрытый, или средневропейский; закрытый, или русский; перекрытый, или камский.

Голый карст отличается тем, что карстующиеся породы выходят непосредственно на земную поверхность. Этот тип свойственен районам, где большое количество осадков выпадает преимущественно в виде ливней. Нерастворимые части известняков в виде глинистых и более крупных частиц быстро смываются атмосферными осадками в трещины и другие понижения. Поверхность карстующейся толщи остается открытой. К этому типу относится карст Горного Крыма, некоторых районов Кавказа и Средней Азии, Балканского полуострова и ряда зарубежных стран.

Значительную роль в появлении голого карста играет и неразумная деятельность человека, который за многие столетия уничтожил в этих районах леса и кустарники. Неумеренный выпас скота на безлесных пространствах привел к уничтожению не только трав, но и их корней. Почвы, не скрепленные корнями растений, стали размываться дождевыми и снеговыми водами. Образовалась каменная пустыня — хаос изъеденных водой скал известняка с многочисленными воронками, природными колодцами, шахтами и пропастями. Только местами в понижениях, куда вода снесла плодородный нерастворимый остаток из карбонатных отложений, весной всходят посевы на клочках земли, возделанных трудолюбивыми жителями карстовых областей.

Задернованный, или кавказский, тип карста характеризуется тем, что на известняках, доломитах или мраморах развит немогущий почвенный покров, поросший травой; поэтому такой карст и называют задернованным. Развита он на Кавказе и в других карстовых районах. Иногда можно наблюдать переход от задернованного карста к голому. Наряду с участками, где карстующиеся горные породы уже обнажены, имеются и задернованные пространства. Такое явление автор наблюдал в Южнославянской карстовой области в районе Силиц в Чехословакии.

Покрытый карст характеризуется тем, что карстующиеся горные породы перекрыты скоплением нерастворенного

остатка и более крупными обломками этих же пород, оставшимися на месте или немного переместившимися. Этот тип карста развит в областях с умеренно влажным климатом и равномерным распределением осадков. На поверхности карстующихся пород сравнительно быстро накапливается значительный слой покровных образований. Покрытый карст встречается на Урале и в некоторых районах Европейской части СССР, Сибири, Западной Европы.

Закрытый, или русский, тип карста отличается тем, что карстующиеся горные породы перекрыты песчаниками, глинами и другими некарстующимися породами. Карстовый процесс первоначально развивается скрыто, на глубине, под толщей некарстующихся пород. Карстующаяся толща выходит на поверхность в местах, где вышележащие отложения смыты, или вскрывается при провалах. Закрытый тип карста характерен для нашей страны и потому часто называется русским. Он широко развит в Европейской части СССР, в некоторых районах Урала и Сибири.

Перекрытый, или камский, тип карста выделен автором. Он характерен для бассейна реки Камы. Карстующиеся породы в долинах рек перекрыты речными отложениями, под покровом которых и развивается карст этого типа. Он широко развит в долинах рек Чусовой, Сылвы, Ирени, а также за пределами Пермской области.

Значительно реже встречается еще один тип карста — подвулканический, или среднеатласский. В Марокко, вблизи города Азру, на карстовых плато Среднего Атласа на площади 300 км² известняки перекрыты вулканическими излияниями — базальтами. Атмосферные осадки просачиваются через разбитые трещинами базальты и растворяют подстилающие известняки. Образуются круглые воронки глубиной от 15 до 20 м и до 100 м в поперечнике, на дне которых можно наблюдать обрушившиеся базальтовые колонки.

Среднеатласский тип карста имеется в Сибири, Чехословакии и в других местах.

В зависимости от типа карстовые области имеют различный облик и характер хозяйственного использования. Голые каменистые пространства яйл Крыма и Малой Азии, Динарских гор на Балканах с их бедной растительностью могут служить только как скудные пастбища. В тех же районах, где карстующиеся породы залегают под мощным покровом некарстующихся, зеленеют луга, пашни и растут леса. Эти районы вполне пригодны для ведения сельского хозяйства. Здесь только карстовые воронки и пещеры, редкие провалы да большая глубина подземных вод напоминают нам, что мы в карстовом районе.

Всем известна судьба дождевых и талых снеговых вод. Часть их стекает по поверхности и, собираясь в ручьи, попадает

в реки, образуя поверхностный сток. Другая часть под влиянием солнечных лучей испаряется и вновь возвращается в атмосферу. Наконец, третья часть просачивается вглубь и стекает уже под землей — это подземный сток.

Обычно просачивающаяся вода на глубине 7—20 м от земной поверхности задерживается на водонепроницаемых горных породах. Так обстоит дело в районах, где под почвенным слоем залегают пески, глина и некоторые другие горные породы. Несколько другая картина наблюдается там, где залегают известняки, доломиты, мраморы, псичий мел, гипсы и ангидриты, а также каменная, калийная и другие соли. Просочившаяся через почву вода попадает в имеющиеся в этих горных породах трещины и, растворяя, расширяет их. Вода уходит на довольно большие глубины. Чем больше высота водораздельного пространства над уровнем воды в реках, тем глубже находится вода в трещинах и в образующихся от их расширения пустотах. Эти пустоты и находящиеся в них воды называются карстовыми.

Посмотрим, как же движутся карстовые воды. Возьмем наиболее общий случай, когда карстующийся массив пересекает крупная река. Он показан на рисунке 1.

Вода, стекающая по поверхности растворимых в воде горных пород, которые в дальнейшем будем называть карстующимися, образует зону поверхностного движения (рис. 1, *I*). Многочисленные трещины отводят поверхностные воды в глубь карстующегося массива. Здесь вода перемещается по трещинам и карстовым полостям довольно сложными путями, образуя несколько зон карстовых вод.

Вначале вода движется вниз примерно по вертикали. Это зона вертикального нисходящего движения карстовых вод (рис. 1, *II*). В ней вода по трещинам стекает в периоды выпадения осадков и таяния снега. Мощность этой зоны различна. На равнинах она достигает 30—100 и более метров, а в горах сотен метров и доходит до 1—2 км.

Ниже, над менее трещиноватыми породами, примерно на уровне днщ речных долин, вертикальное нисходящее движение сменяется почти горизонтальным. Это зона горизонтального движения карстовых вод (рис. 1, *III*), которые существуют постоянно и перемещаются к долинам крупных рек. Поверхность их имеет слабый наклон к реке.

Уровень карстовых вод в зоне горизонтального движения непостоянен. Весной в результате таяния снега огромные массы воды устремляются через зону вертикального нисходящего движения — и уровень карстовых вод поднимается. Подобное явление наблюдается также летом и осенью после дождей. Над зоной горизонтального движения образуется переходная зона (рис. 1, *III a*). Когда уровень карстовых вод повышается, эта зона заполняется водой, стекающей также в

горизонтальном направлении. Зимой и в летне-осенний период между дождями, когда наблюдается наиболее низкий уровень карстовых вод, переходная зона не насыщена водой. При выпадении осадков вода перемещается здесь вначале вертикально. Таким образом, переходная зона только периодически насыщена водой.

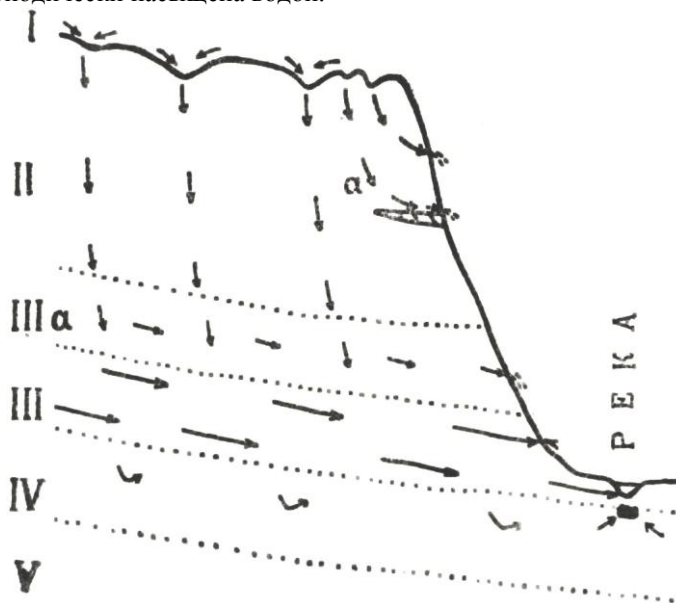


Рис. 1. Схема движения карстовых вод:

I — зона поверхностного движения; II — зона вертикального нисходящего движения; IIa — подзона подвешенных вод; IIIa — зона переходного движения; III — зона горизонтального движения; IV — зона сифонного движения; V — зона глубинного движения.

В некоторых карстовых районах, кроме этих зон, наблюдаются и некоторые другие. Иногда на отдельных участках в зоне вертикального движения карстовых вод, благодаря развитию трудно растворимых пород, имеются подвешенные воды (рис. 1, IIa). Это уцелевшие остатки древней зоны горизонтального движения вод, которая образовалась, когда район был менее приподнят и дно реки находилось выше. В других случаях ниже зоны горизонтального движения, где воды стекают свободно, наблюдается перемещение карстовых вод по изолированным каналам. Воды здесь движутся под давлением. Эта зона, напоминающая трубку перевернутого сифона, получила название зоны сифонного движения (рис. 1, IV). Ниже происходит очень медленное движение глубинных вод (рис. 1, V),

Карстовые воды, выходящие на поверхность, образуют источники или родники. Во многих районах карстовые воды стекают под землей от водоразделов к речным долинам (не выходят на поверхность). Часто жители таких районов рассказывают, что лед на реке местами не образуется, во льду наблюдаются круглые полыньи. Чем же это объясняется?

При бурении скважин в речных долинах и под руслом некоторых рек на глубине 5—20—50 м были обнаружены пустоты, достигающие 8 м в поперечнике. По ним двигалась вода (см. рис. 1). Это зона поддолинного (подруслового) движения. Воды, стекающие из карстового массива к реке, текут под рекой по трещинам и пустотам в карстующихся породах. Это явление установлено в известняках, мраморах и доломитах, в гипсах и ангидритах.

Таким образом, в карстовых районах реки часто имеют три этажа стока: поверхностный, сток в песке и галечнике, находящемся на дне реки, и подрусловой в карстующихся породах на глубине от 5 до 50 м. Так как река меняет свое местоположение в горизонтальном направлении, а подрусловой поток перемещается медленнее, то он может быть в долине реки не обязательно под руслом. Поэтому его называют поддолинным потоком. В нижнем этаже, в поддолинном, или подрусловом, потоке, как и в самой реке, сток происходит от более высоких точек к более низким, то есть от верховья реки к ее устью. В тех местах, где воды подруслового потока выходят в русле реки, летом наблюдается водоворот, вспучивание поверхности реки или выход более холодной воды; зимой в этом месте образуется полынья во льду. Температура карстовых вод 4—6°, поэтому река в месте их выхода не замерзает.

Подрусловой поток питается карстовыми водами зоны сифонного движения, а иногда и зоны горизонтального движения. С водораздельных пространств в подрусловые пустоты поступают пески и галька. Постепенно одни карстовые пустоты заполняются, а за счет расширения трещин образуются другие. Подрусловые пустоты с движущейся карстовой водой, а также заполненные песком, глиной и галькой, были обнаружены бурением на реках Чусовой и Сылве в Пермской области, а также во Франции и США.

Наличие поддолинных и подрусловых пустот заставляет с большой осторожностью проектировать мосты и плотины в карстовых районах. Естественно, нельзя без принятия особых мер строить мост, под опорой которого находятся пустоты с водой, имеющие поперечник 5—8 м. При сооружении плотин вода может уйти через подрусловые пустоты, находящиеся под плотиной.

В различных зонах движения карстовых вод образуются разные формы карста. В зоне поверхностного движения образуются

карры, карстовые овраги и некоторые карстовые воронки. К зоне вертикального нисходящего движения приурочены поноры, карстовые воронки, карстовые колодцы, шахты, вертикальные пещеры. В зоне горизонтального движения карстовых вод формируются разнообразные горизонтальные пещеры и другие пустоты. Если эта зона находится неглубоко, то образуются провальные воронки, вскрываются пещеры, а уцелевшие участки сводов пещер сохраняются на некоторое время в виде естественных мостов. В зоне сифонного движения наблюдаются различные каналы. Зона глубинного движения характеризуется небольшими карстовыми порами, кавернами и другими пустотами.

Кроме сравнительно простых карстовых форм, слияние карстовых воронок может дать карстовые овраги и крупные котловины. Наиболее грандиозные карстовые формы — это поля.

Карры. В трещиноватых карстующихся породах, выходящих прямо на поверхность земли, стекающие дождевые и талые снеговые воды образуют разнообразные углубления в виде небольших лунок, бороздок, разделенных гребнями и другими выступами. Углубления внизу переходят в трещины. Эти формы принято называть каррами. Наиболее ярко карры проявляются в районах, где выпадает много осадков, а почвенный покров с известняков и гипсов совсем удален. Подобная обстановка имеет место в тропиках. Здесь известняковые поверхности изъедены лабиринтом борозд, между которыми возвышаются гребни высотой до 0,5 м и более. Иногда гребни расчленены поперечными углублениями на острые зубья, торчащие наподобие штыков. Такие зубья делают участки совершенно непроходимыми. Подобные карры имеются на севере Австралии, в Индонезии.

Типичные карровые поверхности представляют собой безжизненно каменные пустыни без признаков воды. Выпадающие осадки быстро поглощаются многочисленными отверстиями и трещинами.

Если осадков мало, но они имеют ливневый характер, то образуются карры значительно меньших размеров. Углубления на поверхности известняков и особенно гребни измеряются большей частью сантиметрами. Такие карры отмечены в Горном Крыму на яйлах, на Кавказе в районе Гагр и в других карстовых областях. В более холодных странах снег, выпавший зимой, долго сохраняется в карровых углублениях. Талая снеговая вода способствует разъеданию карр.

Поноры. Это — зияющие отверстия на поверхности карстующихся пород, поглощающие воду. Они образуются из трещин или карровых углублений, причем вода не только растворяет, но и механически разрушает породу. Постепенно трещины расширяются в щели, а некоторые, благодаря вихревому

движению воды, приобретают округлые очертания. Вода стекает в них значительными количествами в виде нисходящего потока. В зависимости от формы различают поноры — щели, округлые и воронкообразные (рис. 2, 1—2).

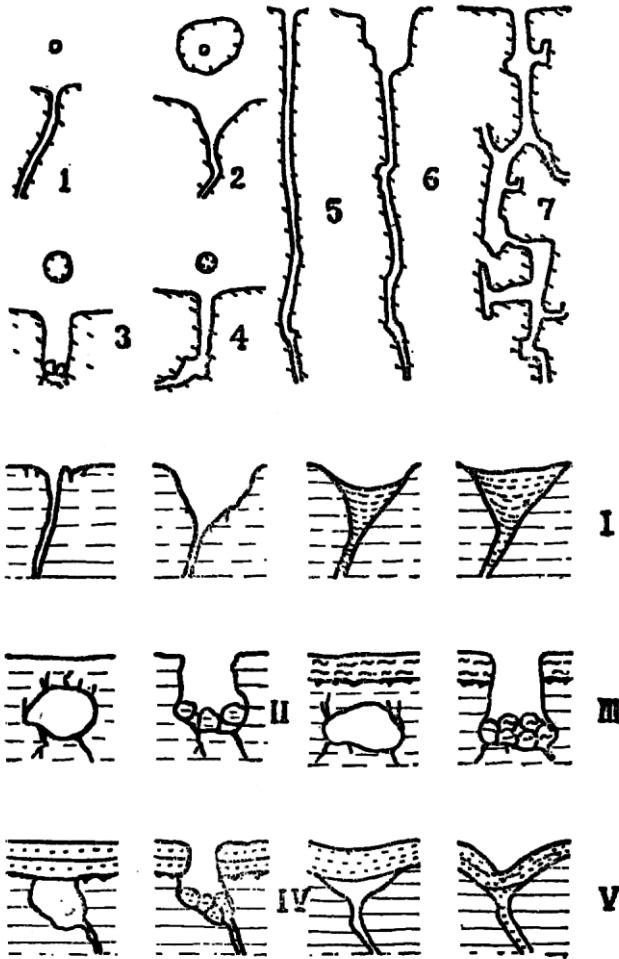


Рис. 2. Различные карстовые формы:

1 — понор цилиндрической формы; 2 — воронкообразный понор; 3 — карстовый колодец; 4 — карстовый колодец, переходящий в пещеру; 5 — карстовая шахта; 6 — пропасть; 7 — вертикальная пещера. Карстовые воронки: I — развитие воронки выщелачивания из понора; II — образование провальной воронки в голом карсте; III — то же в закрытом карсте; IV — образование коррозионно-провальной воронки; V — образование коррозионно-просадочной воронки.

Воронкообразные поноры образуются за счет расширения растворением и размывом верхней части вертикального канала понора с округлым поперечным сечением. Принесенные водой камни, галька, песок и глина могут заполнить устье понора. Тогда вместо зияющего открытого понора образуется закрытый, у которого отверстие скрыто наносами. Вода в него уже не стекает потоком, а только просачивается через наносы. Если устье понора заполнится глиной, которая не пропускает воды, то это будет заиленный, прекративший поглощение понор.

Воронкообразный понор при дальнейшем росте процессов растворения и размывания постепенно может превратиться в карстовую воронку выщелачивания.

Поноры типичны для зоны вертикального движения карстовых вод. В результате расширения и углубления понор образуются более крупные формы: карстовые колодцы и шахты, пропасти и вертикальные пещеры.

Карстовые колодцы. Если вертикальный канал имеет поперечник более 1 м и глубину более 10 м, его называют естественным, или карстовым, колодецем (рис. 2, 3). Такой колодец образуется путем расширения каналов цилиндрических понор за счет выщелачивания известняков и гипсов, их размывания и частично обрушения подмытых выступов на стенках. Колодец может кончаться несколькими трещинами. В некоторых случаях он переходит в расширение — подземный грот.

Естественные шахты и пропасти. Наиболее крупной формой зоны вертикального движения карстовых вод являются естественные шахты с глубиной, значительно превышающей поперечник (обычно более 20—30 м) (рис. 2, 4).

Шахта образуется обычно при дальнейшем углублении и расширении карстовых колодцев при выщелачивании и механическом воздействии воды. Это происходит, когда закарстованный массив поднимается. Чем сильнее расчленен рельеф и больше мощность карстующихся толщ, тем глубже могут быть карстовые шахты (рис. 2, 5).

В СССР естественные шахты известны в Горном Крыму на яйлах и на Кавказе. Их глубина 36—160 м.

На Кавказе очень своеобразной естественной шахтой является Провал на горе Машук в районе города Пятигорска, описанный в повести М. Ю. Лермонтова «Княжна Мэри». Тысячи трудящихся, лечащихся на Кавказских минеральных водах, и туристов ежегодно посещают его. Это удобно сделать, так как горизонтальный тоннель длиной 43,8 м, пробитый еще в 1858 году, ведет в глубь горы, к шахте.

Провал представляет карстовую шахту глубиной 41 м. Он заканчивается гротом, имеющим в поперечнике до 15 м.

В юго-западной части грота находится небольшое озеро с сине-зеленой водой глубиной до 10 м.

За рубежом в горных странах известны глубокие естественные шахты. Некоторые из них представляют собой сложные подземные системы из нескольких вертикальных каналов, которые сообщаются с горизонтальными полостями, а иногда переходят в многоэтажные разветвленные пещеры (рис. 2, 7).

В настоящее время известно более 3 тыс. естественных шахт в карстовых районах. Большая часть из них находится в горных районах, прилегающих к Средиземному, Адриатическому и Черному морям. Преобладают шахты, образовавшиеся в результате расширения вертикальных трещин выщелачиванием, и только незначительная часть возникла путем провала сводов подземных пустот зоны горизонтального движения. Карстовые шахты с расширенным устьем, имеющим в поперечнике десятки метров, часто называют пропастями (рис. 2, 6).

Назовем некоторые естественные шахты и карстовые полости глубиной более 500 м.

Название шахты или карстовой полости	Страна, район или провинция	Достигнутая глубина (в м)
Берже	Франция, Изер	1128
Каракас	Италия	689
Пьер Сан-Мартин	Франция, Пиренеи	689
Дан де Кроль	Франция, Изер	603
Антро ди Корчия	Италия, Тоскана	553
Пропасть Пьер	Франция, Пиренеи	540
Ану Буссуй	Алжир, Джурджура	539
Гельдлох	Австрия	524
Флидермаус-Хеле	Австрия, Альпы	517
Шеврне	Швейцария	504

В настоящее время исследовано 50 карстовых шахт и полостей глубиной в 300 и более метров.

Наиболее редки провальные карстовые шахты. В известняках они насчитываются единицами. В Пермской области они иногда образуются в гипсах. В 1953 году образовалась шахта глубиной в 45 м в районе курорта Ключи. Однако такие шахты недолговечны. В результате обрушения стенок они быстро превращаются в карстовые воронки.

Карстовые воронки. В карстовых районах очень распространены воронки. Форма их различна. Чаще всего в плане они представляют окружность, однако бывают воронки

овальной и неправильной формы. Слияние двух воронок дает в плане восьмерку, а слияние нескольких воронок — сложную лопастную форму. Вертикальный разрез карстовой воронки бывает различной формы — блюдцеобразный, конусообразный, чашеобразный и колодецеобразный. Иногда в большой карстовой воронке развиваются малые.

Размеры воронок также весьма различны. Бывают небольшие воронки с поперечником в 1—5 м. Обычными считаются воронки с поперечником 5—25 м. Реже встречаются большие карстовые воронки с поперечником в 25—100 м, а также — 100—200 и более метров. Обычно карстовые воронки имеют глубину 5—10 м. Бывают также мелкие блюдца с глубиной 0,5—1 м и глубокие конусообразные воронки глубиной в 25 и более метров.

Карстовые воронки встречаются в самых разнообразных условиях. Если карстующиеся породы перекрыты некарстующимися, то наиболее благоприятные условия для образования карстовых воронок создаются там, где покров уничтожен или мощность его уменьшена, а карстующиеся породы наиболее трещиноваты (овраги и логи, речные долины и районы вблизи них). Большое количество карстовых воронок встречается, например, в Пермской области.

Количество карстовых воронок, приходящееся на 1 км² территории, дает величину плотности карстовых воронок. Эта плотность изменяется от 1 до 400. В Пермской области имеется около 200 тыс. карстовых воронок на площади 30 тыс. км². Это дает среднюю плотность 7. В США в штате Кентукки плотность составляет 2—3.

На участках, где карстующиеся породы выходят прямо на поверхность, различают три основных типа воронок.

Воронки выщелачивания, или коррозионные, образуются в местах, где породы сильно трещиноваты (рис. 2, I). Атмосферные осадки и талые снеговые воды поглощаются трещинами, разъедая поверхность карстующейся породы. Крупные трещины могут превратиться в поноры. Выщелачивание и механическое разрушение пород водой, стекающей в трещины и поноры, приводят к появлению вначале блюдцеобразного понижения, а затем конусообразной воронки.

Если в воронку впадает временный лоток, ручей или речка, размеры ее быстро увеличиваются не только за счет выщелачивания, но и за счет размывания водой (эрозии). Эти коррозионно-эрозионные воронки наблюдаются обычно в долинах, логах и на склонах. Под оврагами и логами, в зоне горизонтального движения воды, формируется сложная система подземных полостей.

Иного происхождения провальные воронки. Рост пустоты в зоне горизонтального движения карстовых вод приводит к

тому, что породы, находящиеся в ее своде, пересекаются трещинами, по которым затем происходит обрушение (рис. 2, II).

Форма этих трех основных типов карстовых воронок со временем меняется. Воронки выщелачивания, если они образовались на обнаженных карстующихся породах, вначале имеют вид конуса. Если же трещина на дне воронки, которая поглощала воду, заиливается, то рост воронки вглубь прекращается. Воронка начинает расти в ширину. Дно ее постепенно заполняется песком и глиной, и из конусообразной она превращается в блюдцеобразную.

Известняки и гипсы во многих районах перекрыты некарстующимися породами. Если покровные отложения пропускают воду, то возможны два случая развития воронок. Иногда покровные образования плавно проседают по мере выщелачивания карстующихся пород. Такие воронки называют коррозионно-просадочными (рис. 2, V). Они имеются в некоторых районах Пермской области. Строение таких воронок особенно хорошо видно, если они вскрыты железнодорожной выемкой, карьером или рекой.

В других случаях под некарстующимися породами растет пустота. Покровные отложения обрушиваются в нее, и появляется коррозионно-провальная воронка. Такие воронки широко развиты. Обычно они небольших размеров и не представляют такой опасности для зданий и инженерных сооружений, как провальные. Если провал свежий, то по хаосу обломков пород можно судить, что это коррозионно-провальная воронка (рис. 2, IV). Пройдет некоторое время, дожди снесут в воронку глинистые и песчаные частицы с окружающих участков. Воронка зарастет травой, и только буровые скважины смогут нам рассказать по обломкам, обнаруженным на некоторой глубине, что это древняя коррозионно-провальная воронка.

Провалы образуются в тех случаях, когда свод подземной пустоты в карстующихся породах, образовавшийся в зоне горизонтального движения вод, не в силах выдержать вес лежащих выше масс и обрушивается. Развитие провалов некарстующимися отложениями идет разными путями. При глубоком залегании полости может возникнуть провал с поперечником меньше глубины, а при неглубоком образуется воронка, глубина которой меньше диаметра (рис. 2, II). В первом случае образуется карстовая шахта или колодец. В результате расширения и уменьшения глубины они превращаются в воронку.

Примером провальных воронок, у которых поперечник больше глубины, могут служить провалы в селе Усть-Кишерть Пермской области. 28—29 августа 1949 года здесь почти одновременно образовалось три провала.

В некоторых районах над карстующимися гипсами или известняками залегают более прочные породы. Тогда стенки провала долго остаются почти вертикальными и разрушение их приводит только к уменьшению глубины.

Есть еще карстовые воронки, образовавшиеся в месте выхода на поверхность карстовых вод зон горизонтального и особенно сифонного движения. Эти воронкообразные расширения бывают различных размеров.

Как видно из сказанного, воронки довольно разнообразны не только по внешнему виду, но и по происхождению. Большую их часть составляют воронки выщелачивания (коррозионные), коррозионно-эрозионные, коррозионно-провальные, коррозионно-просадочные и некоторые другие. Такие воронки формируются в верхней части зоны вертикального нисходящего движения карстовых вод. Значительно реже, за счет обрушения кровли полостей зоны горизонтального движения вод, формируются провальные воронки. Наиболее редкими являются воронки в устьях восходящих источников, питающихся водами зоны сифонного, подруслового (реже горизонтального) движения карстовых вод.

Приведенные данные показывают, что далеко не все карстовые воронки можно называть провалами. Большая часть их относится к воронкам выщелачивания, которые менее опасны для зданий и инженерных сооружений, чем провальные.

Карстовые котловины. Замкнутые карстовые понижения, часто сложной формы, называют карстовыми котловинами. Поперечник их более 100—200 м. Образуются, они за счет роста отдельных карстовых воронок и чаще путем слияния нескольких. Они известны для карста известняков, гипса и каменной соли Урала, Крымских гор, Кавказа, Средней Азии.

Поля. Поля — это обширные продолговатые замкнутые впадины карстовых областей, обладающие ровным дном и крутыми, иногда совершенно отвесными стенками. Встречаются они главным образом в горных областях, где пласты известняков залегают со значительными углами наклона. По форме поля бывают округлые, овальные, сильно вытянутые в длину, неправильнлопастные. Последние произошли от слияния нескольких меньших полей. Длина полей не менее чем в 2—3 раза больше ширины. Размеры полей самые разные — от 2—3 до 400 км².

Отличительной особенностью полей является то, что они орошаются карстовыми источниками, которые, пройдя некоторое расстояние по дну, обычно исчезают в понорах. Ровное дно полей покрыто отложениями, принесенными реками и ручьями, а также красноземом, который остался как нерастворимый в воде остаток после выщелачивания известняков.

Над ровным дном полей иногда возвышаются холмы из известняков, или карстовые останцы.

Образуются поля различными путями. Одни представляют собой результат провала свода туннелей подземных карстовых рек, другие возникли путем слияния соседних карстовых котловин и воронок. Многие большие поля возникли вследствие опускания участков земной коры по разломам и последующего выщелачивания. Наконец, имеются и такие, которые образовались в результате выноса в поноры некарстующихся пород, залегающих среди карстующихся пород.

В СССР небольшие поля имеются в Крыму — Байдарская долина и Бештекне. К ним относят и Шоарскую котловину в Закавказье. За рубежом поля известны в Югославии, на островах Адриатического и Ионийского морей, на Апеннинском полуострове и в ряде других районов.

Карстовые останцы. В карстовых областях наряду с углублениями различных размеров, от понор и воронок до котловин и полей, имеются и выпуклые образования. Это не только карстовые гребешки и другие формы между карровыми углублениями, но и различные выступы, холмы. Рассмотрим только выпуклые формы, которые образуют своеобразный рельеф на некоторых участках карстовых областей. Большею частью такие останцы образуются в областях с теплым, влажным климатом. Их можно встретить и в районах, где в настоящее время уже не выпадает большого количества осадков. В таких случаях они сохранились от более влажного третичного времени.

Карстовые останцы имеются в полях и котловинах, например в Крыму в Байдарской долине, в Бештекне, на Кавказе в районе озера Эрцо и в Лечхуме, на правом берегу реки Риона.

В некоторых районах карстовые останцы составляют основную особенность рельефа. Особенно широко развит рельеф карстовых холмов в Китае. В Восточной Юньнани — это «каменные леса», в верхнем течении реки Хуншуйхэ — цилиндрические каменные башни, на границе с Вьетнамом — башнеобразные горы высотой 200—300 м, восточнее Яошаня, в бассейне рек Гуйцзян и Хэцзян, — башнеобразные холмы со срезанными вершинами общей высотой 60—150 м и т. д.

Холмы в виде сахарных голов издавна изображались в китайской классической живописи.

ПЕЩЕРЫ

В карстовых областях, кроме поверхностных форм, имеются пещеры, каверны и другие многочисленные подземные полости. Наиболее распространены пещеры

Пещеры бывают самого различного происхождения. Они могут быть выдуты ветром в скале или образованы в результате деятельности озерной, морской или речной воды. Подземные горные выработки, особенно заброшенные, являются искусственными пещерами. Потоки воды под гренландскими, антарктическими, горными ледниками также создают пещеры во льду. Все эти и другие пещеры изучает наука — спелеология, или пещероведение.

Рассмотрим карстовые пещеры, образованные деятельностью подземных вод в известняках, доломитах, мраморах и других карбонатных породах, в гипсах и ангидридах и различных солях.

Пещеры формируются в зонах вертикального нисходящего, горизонтального и сифонного движения карстовых вод. В зоне вертикального нисходящего движения карстовые колодцы или шахты с расширениями в виде гротов называют вертикальными пещерами. Они мало отличаются от рассмотренных уже карстовых колодцев и шахт.

Пещеры зоны горизонтального движения карстовых вод и переходной зоны образуются в результате растворяющей, размывающей и выносящей деятельности карстовых вод, при значительной роли подземных обвалов.

Вода, находящаяся в зоне горизонтального движения, перемещаясь по трещинам в карстующихся породах, расширяет их растворением и размыванием. Постепенно вместо трещин образуются щели различной ширины. По мере увеличения ширины трещин все большее количество карстовых вод устремляется в них. На разных участках щели растут с неодинаковой быстротой. Наибольший рост наблюдается там, где имеются самые чистые разновидности известняков, гипсов и других карстующихся пород и наиболее густа трещиноватость. Наличие нерастворимого осадка в виде частиц глины и песчинок замедляет карстование.

В широких щелях движение воды происходит более быстро, и большие массы ее устремляются в них из трещин меньших размеров. Так постепенно некоторые системы сообщающихся трещин, направление которых совпадает с направлением подземного стока карстовых вод, развиваются быстрее и стягивают все большее количество воды. Возникает вихревое движение карстовых вод, и трещины расширяются, превращаясь в каналы с различным поперечным сечением.

Вначале поток карстовых вод занимает все поперечное сечение каналов. Постепенно, по мере их роста, на отдельных участках, а затем и на большей части протяжения карстовых вод уже недостаточно, чтобы занять все поперечное сечение. В верхней части остается пространство, не заполненное водой. Здесь находится воздух. Это наблюдается в зимнее время и летом, когда карстовых вод мало. Весной, летом и

осенью во время дождей канал вновь полностью заполняется водой.

Стекающая по каналу вода попадает либо в подрусловые (поддолинные) пустоты, либо в отложения в русле реки. Когда район, где находятся такие подземные карстовые каналы, за счет движений земной коры начнет подниматься, текущие по каналу воды получают выход на дне реки или на берегу. Появится карстовый источник. Многоводные карстовые источники, дающие в одну секунду не литры, а кубические метры воды, называют исполинскими.

Подземный канал не все время занят исполинским источником. Если поднятие карстового района продолжается, то поток карстовых вод размывает дно подземного канала. Кроме того, все большее количество воды начинает уходить по трещинам вглубь, где постепенно, на более низком уровне, трещины превращаются в щели, а затем и в канал. Образуется вначале пещера с рекой, затем пещера с озерами и, наконец, сухая пещера, где только после дождей в некоторых местах со сводов капает вода.

Канал, по которому двигался подземный поток, на разных участках имеет различную ширину и высоту. В местах пересечения его вертикальными трещинами или каналами он шире и выше. Рост канала происходит не только за счет выщелачивания и размывания стенок, потолка и пола канала, но и путем обвалов сводов. Канал превращается в чередование узких проходов и широких гrotов.

Гроты иногда называют залами. Размеры проходов и гrotов самые различные. В одни проходы человеку нельзя пробраться, в другие проникают ползком, в третьих уже можно пройти согнувшись. Есть проходы, где можно ходить свободно, не наклоняя головы. Бывают небольшие гроты размером 2×3 и более метров. Один из наиболее крупных гrotов находится в Карлсбадской пещере в США. Длина его 1220 м, максимальная ширина 190 м, а наиболее высокая точка потолка от пола 91 м.

Пещеры весьма разнообразны. По берегам рек и в стенках оврагов встречаются небольшие углубления в 2—3 м, называемые нишами. Бывают пещеры, состоящие всего из одного грота. Обычно они имеют широко открытый вход и через несколько метров заканчиваются недоступной щелью или несколькими трещинами. Есть пещеры с двумя входами, часто находящимися на двух противоположных концах. Их обычно называют проходными. Небольшие, слепо оканчивающиеся пещеры, состоящие из одного или небольшого числа гrotов, именуют мешкообразными. Пещеры, состоящие из коридора с несколькими небольшими расширениями в виде гrotов, называют коридорными. Бывают пещеры с очень сложным планом. Примером может служить Кунгурская ледяная

пещера, гроты и проходы которой вытянуты в двух основных направлениях (рис. 3). Наиболее распространены одноэтажные пещеры, возникающие из пустот одной зоны горизонтального движения карстовых вод. Наряду с ними есть пещеры 2—3 и многоэтажные.

Подземные реки. Иногда удается проникнуть в пещеру, из которой вытекает поток. По подземной реке приходится идти вброд или плыть на резиновых надувных лодках. Подземные реки, а чаще небольшие речки имеются во многих пещерах.

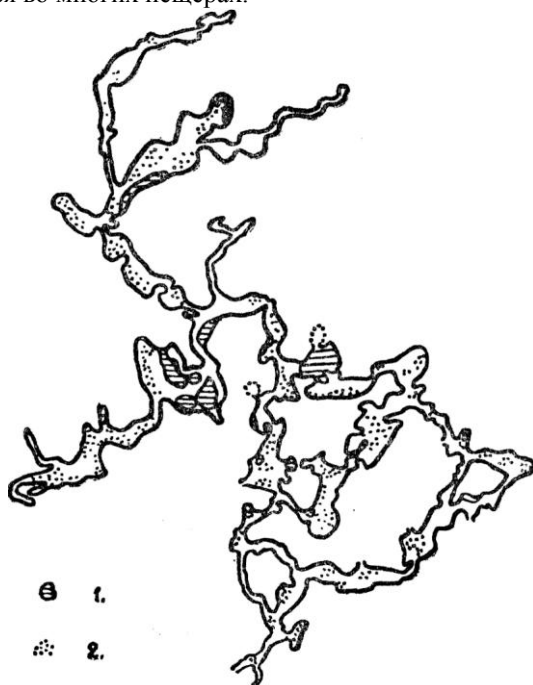


Рис. 3. План Кунгурской ледяной пещеры:
1 — озера; 2 — каменные и земляные осыпи.

Пещерные озера. В углублениях дна горизонтальных и наклонных пещер иногда наблюдаются скопления воды, которые обычно называют озерами.

Подземный поток в наклонных пещерах, обычно в районах с расчлененным рельефом, часто испытывающих поднятие, на пути от наивысшей точки к более низким может образовать несколько водопадов. В местах падения воды, у подошвы уступа, образуются котловины небольших проточных озер. Примером может служить река Комбет во Франции. Она образует 10 водопадов и только два озера.

В пещерах с более пологим дном проточные озера могут образовываться и другим путем. Обвалы известняков кровли, пещерная глина, а иногда песок и галька создают запруды на пути подземной реки. Образуются плотинные озера, число которых может быть велико. В Болгарии, например, известна Деветашская пещера с 12 плотинными озерами. Во Франции на подземной реке Падирак имеется более 30 плотин.

После того как подземный поток покинет пещеру, уйдя вглубь, в нижележащие пустоты, вода, задерживаемая в оставленных рекой заглиненных углублениях, может образовать несколько небольших озер. Подобное явление наблюдается в пещере Подпеч в Югославии, где на наклонном участке имеется девять озер различной формы.

В пещерах с более или менее горизонтальным дном неглубоко залегающие карстовые воды заполняют пониженные участки пола пещеры, создавая озера с подземными сообщениями. Они являются как бы окнами в потоке карстовых вод. В этой стадии находится Кунгурская ледяная пещера, где известно 36 озер.

При глубоком залегании основного потока карстовых вод под полом пещеры часть воды сохраняется только в небольших углублениях, дно которых сделалось водонепроницаемым из-за скопившейся пещерной глины. Озера, образовавшиеся подобным образом, характерны для Кизеловской пещеры. Если вода не задерживается в пещере, то образования озер не происходит.

Подземные озера вертикальных пещер и карстовых шахт. Озера можно встретить и в вертикальных пещерах, колодцах и шахтах. Они бывают двух типов. Одни озера приурочены к заглиненным углублениям на дне вертикальных карстовых пустот. Вода поступает в них сверху. В других случаях это выход подземных карстовых вод, вскрытый вертикальными пустотами. Через колодцы и шахты происходит питание карстовых вод. Данных об этих озерах мало и, по-видимому, они встречаются значительно реже.

Особую группу представляют подземные озера, питающиеся теплыми или углекислыми подземными водами. Примером является озеро с минеральной водой в Пятигорском провале.

Обрамление и пленки подземных озер. В карстовых пещерах в известняках и даже в гипсе иногда наблюдается известковая пленка, которая чаще всего дает кальцитовое обрамление озерных ванночек.

В СССР она установлена в Гумской пещере и пещере Абласкира. В Словакии весьма разнообразное обрамление пещерных водоемов и выступов на дне наблюдается в Деменовских пещерах

в Низких Татрах. Кальцитовое обрамление известно и в пещерах Северной Америки.

Иногда кальцитовая пленка затягивает все озеро. Такое весьма редкое явление было обнаружено в Кизеловской пещере в небольшом озере.

Пещерный жемчуг. Одним из довольно редких образований карстовых пещер является пещерный жемчуг. Это белые или желтоватые горошинки с поперечником от 5 до 18 мм. В разрезе некоторых пещерных жемчужин наблюдается чередование белых или желтоватых и более темных колец. Пещерный жемчуг по химическому составу не отличается от жемчуга раковин. Однако он не так красив, как жемчуг, состоящий из минерала арагонита, обладающего сильным блеском.

В СССР жемчуг найден пока только в трех пещерах. За рубежом пещерный жемчуг также встречается довольно редко. На земном шаре он известен пока в 58—60 пещерах и шахтах. Если учесть, что число пещер превышает 30 тыс., то ясно, что он представляет довольно редкое образование.

Пещерные капельники и другие натечные формы. Значительно чаще, чем жемчуг, в пещерах образуются капельники и другие формы. Вода, просачивающаяся в пещеру через трещину в своде, насыщена известью. Постепенно из просачивающейся воды образуется капля; кроме того, из воды выделяется углекислый газ. В результате, прежде чем капля упадет на пол, на своде пещеры осаждается небольшое количество извести.

Капля за каплей просачивается из трещин и падает вниз или стекает по потолку и стенам. От каждой такой капли на потолке и стенах пещеры остается ничтожная частица извести. Постепенно на потолке пещеры образуется бугорок, он растет и со временем превращается в маленькую трубочку — сталактит (рис. 4). Из трубочки образуется сосулька, которая становится все длиннее и длиннее. Часто длина таких трубок, напоминающих стебли, достигает 2—3 м.

Иногда канал трубок закупоривается выделившейся из воды известью. Тогда вода начинает капать из той же трещины, но уже вблизи первого сталактита. Так постепенно вдоль трещин образуется ряд сталактитов. В некоторых пещерах наблюдается целый лес таких вертикальных нитей-стеблей.

Известь выделяется и из капли, упавшей на пол пещеры. Здесь навстречу сталактитам растут вверх известковые конусы с приплюснутой вершиной, или сталагмиты. Если их разрезать, то в поперечном сечении мы увидим кольца, напоминающие годовичные кольца стволов деревьев. За год на сталагмите нарастает два слоя: темный и белый. Подсчитав в срезе число парных слоев, нетрудно определить его возраст. Возраст громадного сталагмита в Карлсбадской пещере в

США, имеющего высоту 18,9 м и поперечник 4,9 м, определяется в 60 млн. лет!

Высота сталагмитов изменяется в широких пределах — от едва заметных бугорков и конусов в несколько сантиметров до 30 м. Если сталагмиты, которые растут вверх, и сталактиты, опускающиеся книзу, сольются, то образуются колонны.

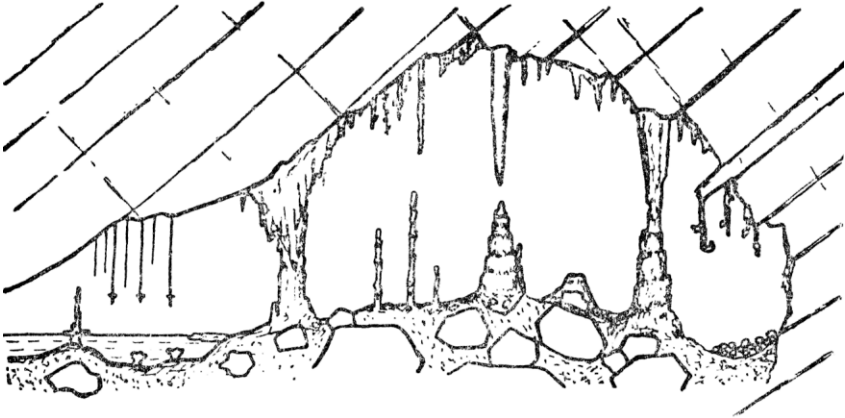


Рис. 4. Натечные, обвальные образования и озера в пещере.

Сталактиты и сталагмиты образуются и в соляных пещерах. В Средней Азии в Тигровой или Барсовой сталактитовой пещере эти трубчатые натёки даже издают звуки.

В пещерах встречаются разнообразные капельники. Иногда это целый лес сталактитов. В других местах по трещине образуется ряд сталактитов, напоминая фантастический занавес подземного театра. Обычно экскурсанты дают самые различные названия пещерным капельникам: «голова дракона», «минарет», «китайская пагода» и т. п. Натечные формы могут наблюдаться на стенках и на полу пещер.

Заполнение пещер. В развитии карстовых пещер часто различают два основных этапа. К первому относят формирование подземных пустот. Во втором этапе происходит заполнение их. Заполнение пещеры идет еще тогда, когда рост ее продолжается. В больших пещерах на одних участках происходит увеличение размера пустот, а на других — заполнение.

Пещеры заполняются материалом самого различного происхождения. Кроме известковых пещерных капельников, жемчуга и отложений озер, в пещерах скопляются глина, обломки со сводов, отложения, принесенные пещерными реками и с поверхности, растительные и животные остатки, материалы, доставленные человеком, пещерный снег, лед и т. п.

В некоторых пещерах из воды подземных потоков выпадает известь, которая образует туф, иногда даже закупоривающий вход. Из растворов образуются кристаллы гипса в гипсовых пещерах и кристаллы кальцита в известняковых пещерах. Иногда такой кальцит совершенно прозрачен; его используют в оптической промышленности.

Особую разновидность представляет пещерная глина. Обычно эта глина очень тонка и образует липкую грязь. Она особенно характерна для Центрального грота Кунгурской ледяной пещеры. Значительную роль в заполнении пещер играют продукты обрушения потолков сводов. Каменные осыпи имеются в ряде гротов Кунгурской пещеры, причем местами они образуют нагромождение в несколько метров высотой, а размер глыб достигает полуметра и более. Обрушения в пещерах, если они значительны, могут быть причиной местных землетрясений.

Среди материалов, заполняющих пещеры, имеются и принесенные извне. Песок, глина, галька и даже пни деревьев попадают с поверхности земли через карстовые воронки, поноры, трещины и другие пустоты. В Кунгурской ледяной пещере много таких «земляных конусов».

Температура воздуха в пещерах. Многолетние исследования показали, что по температурному режиму Кунгурская ледяная пещера состоит из трех частей: передней холодной, переходной и дальней теплой. В передней холодной части, где весь год сохраняется лед, зимой преобладают отрицательные температуры (холодный наружный воздух движется в пещеру), а весной, летом и осенью — низкие положительные температуры (воздух движется из пещеры).

В переходной части пещеры в зимнее время при отрицательных температурах образуется лед. В теплое время года он тает.

Влажность воздуха в пещерах. В пещерах наблюдается различная влажность воздуха. В сухих пещерах она меньше. В пещерах, куда просачивается вода, относительная влажность значительна и достигает даже 100 %.

Скорость движения воздуха в пещерах. Скорость движения воздуха в пещерах бывает различной. Например, в Пашийской пещере она составляет 0,3 м/сек; в Болгарии в Деветашской пещере 1,2—1,8 м/сек; в Кунгурской ледяной пещере скорость движения воздуха на входе изменяется от 2,2 до 5,1 м/сек.

Движение воздуха в подземных карстовых пустотах. Причин движения воздуха в подземных карстовых пустотах несколько. Наиболее просто обстоит дело в проходной горизонтальной теплой пещере, два устья которой выходят в разные стороны горного хребта. Важную

роль играют ветры в районе устьев пещеры. В зависимости от их направления воздух движется то в одном, то в другом направлении. Некоторое значение имеет и воздух, поступающий из других участков карстующегося массива вместе с водой, а также засасываемый из трещин при движении воздуха через пещеру (рис. 5).

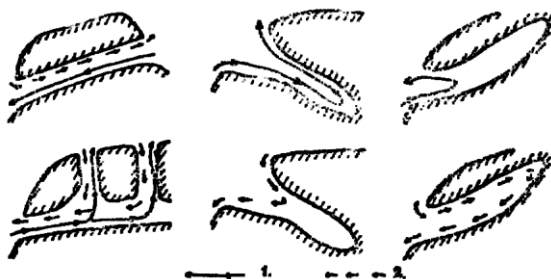


Рис. 5. Схемы движения воздуха в пещерах: 1 — зимой; 2 — летом.

Гораздо сложнее причины в карстовом массиве, где имеется система сообщающихся пустот и трещин, приуроченных к зонам вертикального и горизонтального движения карстовых вод.

Рассмотрим случай, который имеет место в Кунгурской ледяной пещере, когда гроты и проходы, расположенные примерно горизонтально, сообщаются с карстовыми воронками над пещерой через органичные трубы. В других районах путями сообщения могут быть карстовые шахты, переходящие в горизонтальную пещеру. В таком закарстованном массиве движение подземного воздуха определяется рядом моментов. Прежде всего вода, перемещающаяся вниз по пустотам зоны вертикального движения, увлекает с собой и воздух. Некоторую роль может играть и движение наружного воздуха, который, двигаясь над карстовыми пустотами, увлекает за собой подземный воздух и ускоряет его движение. При значительной разности высот входа в пещеру и устьев воронок в надпещерном пространстве известное значение может иметь и разность атмосферных давлений. Однако все эти причины лишь замедляют или ускоряют движение воздуха в карстовом массиве, обусловленное разностью плотности двух столбов воздуха: наружного и внутреннего.

Зимой температура наружного воздуха значительно ниже температуры подземного воздуха. Более плотный холодный воздух входит в пещеру и вытесняет более легкий теплый, который по трещинам и другим пустотам выходит над пещерой. Чем больше разность температур наружного и пещерного

воздуха, тем быстрее это движение. Так как в течение суток наружная температура меняется, то и скорость движения воздуха в пещере тоже имеет разную величину. Чем больше высота зоны вертикального движения, тем значительнее разность весов тяжелого холодного и более легкого теплого воздуха, следовательно, тем быстрее движение. Зимой нисходящее вертикальное движение карстовых вод незначительно, так как только небольшая часть воды оттаявшего в воронках снега стекает вниз в пещеру. Следовательно, вода почти не препятствует движению воздуха. Сильные наружные ветры и разность атмосферного давления у входа в пещеру и в устье воронки над пещерой будут, наоборот, ускорять движение воздуха вверх по карстовым пустотам.

В теплое время года движение воздуха в карстовом массиве происходит в обратном направлении. Более холодный пещерный воздух двигается из пещеры к выходу, а его место занимает поступающий по вертикальным пустотам более теплый наружный воздух. Как уже указывалось, в это время скорость движения воздуха у входа в Кунгурскую пещеру, изменяясь в течение суток, достигает 5,1 м в секунду.

В Кунгурской ледяной пещере в среднем 185—188 дней в году воздух движется в пещеру и 170—172 — из пещеры. Пещеры с таким движением подземного воздуха называются ветровыми.

В мешкообразных пещерах и карстовых колодцах-снежниках зимой, когда температура воздуха в пещере выше, более плотный холодный воздух входит в пещеру и вытесняет более легкий теплый. Температура в пещере понижается, и горные породы стенок переохлаждаются. В теплый период года движение воздуха прекращается, так как более легкий теплый воздух не может попасть в пещеру. Только токи внутреннего тепла земли и талые воды, приходящие с поверхности, несколько нагревают пещеру. Если запас холода, накопленного стенками пещеры, больше количества поступившего тепла, то в пещере из талых вод и снега образуется лед.

Имеются мешкообразные пещеры, у которых замкнутый конец выше устья. Зимой в них движение воздуха отсутствует, так как тяжелый холодный воздух не может подняться кверху и вытеснить теплый пещерный. В теплое время года легкий более теплый наружный воздух устремляется в пещеру и нагревает воздух и окружающие породы. Такие пещеры обычно называют теплыми.

Движение воздуха происходит во всех массивах карбонатных, сульфатных и других карстующихся пород, где имеются полости, сообщающиеся трещины и другие пустоты. Оно приводит к появлению дующих пещер, колодцев и трещин, звуков, напоминающих шум падающей воды, протаиванию

зимой снега над трещинами, понорами и воронками, а также образованию тумана.

Пещерные льды. В ряде пещер наблюдается лед, который сохраняется весь год. Такие пещеры называют ледяными, или пещерами-ледниками. На земном шаре известно более 200 ледяных пещер.

Пещерный лед представляет значительный интерес. Под землей, на сравнительно небольшом участке, обнаруживается лед самого различного происхождения. Здесь встречаются очень крупные кристаллы льда, ледяные сталактиты и сталагмиты, колонны, достигающие нескольких метров в высоту. В отличие от периодически появляющихся на земной поверхности ледяных сосулек некоторые ледяные сталактиты и сталагмиты пещер существуют до 100 и более лет.

В ветровых пещерах, расположенных в районах, где среднегодовая температура ниже нуля или близка к нему, зимой в пещеру поступает очень много холода. В холодной части пещеры из ледяных паров воздуха образуются ледяные кристаллы, а из воды, поступающей сверху, — ледяные сталактиты, сталагмиты, колонны. Вода на поверхности подземных озер может замерзнуть. Кора обледенения стен и потолка и покровный лед на полу пещеры образуются из воды и паров воздуха. В теплое время года, когда воздух с положительной температурой движется из ледяных пещер, часть льда тает, а остальная сохраняется до следующей зимы. Зависит это от соотношения между холодом, поступившим в пещеру в зимнее время, и теплом, накопившемся в теплое время года. Если холода приносится больше, чем тепла, то с каждым годом будет оставаться все большее количество льда, и обледенение в пещерах будет расти. Итак, для образования ледяных пещер необходима низкая среднегодовая температура. Поэтому они встречаются только в горных районах и в высоких северных широтах. В южном полушарии ледяные пещеры пока неизвестны.

Наиболее крупные карстовые пещеры. По протяженности карстовые пещеры делятся на громадные — длиной более 120 км, очень большие — 100—25 км, большие — 25—1 км, значительные — 1000—250 м, небольшие — 250—10 м и малые — менее 10 м.

Приведем краткие сведения о наиболее крупных карстовых пещерах земного шара.

В США, в штате Кентукки, находится самая большая из известных пещер — **Мамонтова**. Общее протяжение ее гротов, ходов, слепых шахт и подземных рек, присоединенных искусственными выработками небольших пещер, находившихся поблизости, составляет 160 км. В Мамонтовой пещере 225 проходов, 77 больших гротов, три реки с восемью водопадами,

три озера. Посетителям обычно показывают пещеру на протяжении всего 4,8 км.

Вторая по величине пещера США, Вайндотт в штате Индиана, изучена на протяжении 85 км.

Третья в мире по длине — швейцарская пещера Х е л ь - л о х . Она нанесена на карту на протяжении 61 км.

В 1955 году в штате Кентукки в США, в 161 км южнее Луисвилла, открыта новая пещерная система, изученная уже на протяжении 52 км.

Пятое место по длине занимает Карлсбадская пещера, в штате Нью-Мексико в США. Общая длина всех ее гротов и проходов — до 50 км.

Шестая по величине пещера Айсризенвелт в Австрии изучена на протяжении 40 км.

Протяжением от 25 до 10 км насчитывается шесть пещер: Постояйна в Югославии, Аггтелек-Домица на границе Венгрии и Чехословакии, Мамонтова в Австрии, Дан де-Кроль во Франции, Танталова в Австрии, Карлюкская в Средней Азии.

Семь известных пещер имеют длину от 10 до 5 км. Это пещера Мира в Венгрии, Брамбе во Франции, Поллнаголлум в Ирландии, Падирак во Франции, Лапа де-Брежо в Бразилии, Виммельбергская в Германии, Какаумаилпа в Мексике.

Более многочисленны пещеры с общей длиной гротов и проходов от 5 до 3 км — их 17, в том числе Воронцовская на Кавказе (5 км), Кунгурская ледяная пещера (4,6 км), Красная в Крыму (3 км).

Люди заселяли пещеры еще в каменном веке. Они использовали пещеры и как святилища, где происходили моления и другие культовые обряды. Некоторые пещеры служили местом погребения умерших.

На стенах пещер Франции, Испании и других стран найдены прекрасные изображения животных, частично уже вымерших: мамонтов, носорогов, слонов, бизонов, северных оленей, лошадей. В некоторых пещерах найдены скульптуры медведя, бизона, льва и лошадей из глины, отпечатки ног людей каменного века. Пещеры сохранили для нас орудия жителей каменного и более поздних веков, а также произведения древнейшего искусства.

Многие пещеры служат местом обитания различных животных. В них находят кости пещерных медведей, соболей, кротов, землероек, зайцев, водяных крыс, ласок, горностаев, волков и других. Пещеры и сейчас заселены летучими мышами. В них имеются растения. Свообразны в пещерах воздушный режим, климат, лед, воды.

Пещеры изучают археологи, искусствоведы, зоологи, ботаники, микробиологи, климатологи, метеорологи, гидрогеологи, геологи, минералогии и др. В СССР и странах народной демократии —

Чехословакии, Польше, Венгрии, Румынии и др. — развивается подземный туризм.

В последнее время на Урале, в Крыму и на Кавказе появились энтузиасты изучения пещер. Пещеры позволяют далеко проникнуть в чудесный подземный мир.

Природные мосты и арки. Пещеры заполняются обломками, обрушившимися со свода. Если горизонтальные ходы и гроты находятся не очень глубоко от земной поверхности, то потолок может обрушиться и на каком-то участке пещера будет вскрыта, в ней возникает окно. Дальнейшее обрушение приводит к появлению новых окон. Свод пещеры постепенно уничтожается, а уцелевшие участки остаются в виде мостов. Узкие мосты называются арками. Наконец, рушатся последние мосты, и на месте некогда бывшей пещеры мы видим долину в известняках.

Карстовые мосты обычно наблюдаются в предгорьях, где свод пещер имеет меньшую толщину. В высоких горах, где над пещерами залегают несколько сот метров карстующихся пород, нет условий для образования таких мостов. Реже они встречаются на поднимающихся равнинах.

Карстовые мосты и арки в известняках, гипсах и каменной соли, общим числом около 15, известны на Урале, Северном Кавказе, в Средней Азии и Эстонии. Имеются они за рубежом в Азии, Европе, Африке и Америке. Большой известностью пользуется естественный карстовый мост в Вирджинии. Длина его по потоку 27 м, толщина — 10 м, а общая высота моста над рекой 75 м, что равно зданию в 20 этажей.

ПОДЗЕМНЫЕ И ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДЫ КАРСТОВЫХ ОБЛАСТЕЙ

Большой интерес представляют воды карстовых областей. Родники здесь своеобразны. Часть из них действует только периодически. Другие временами резко меняют количество вытекающей воды. В прибрежных частях морей среди соленой воды местами можно найти источники пресной воды. Кроме обычных постоянных озер, встречаются периодически исчезающие. Имеются и реки, которые на некоторых участках уходят в землю.

Наземные карстовые источники. На окраине карстующегося массива или в прорезающих его долинах могут выходить разнообразные карстовые родники или источники.

В пределах зоны вертикального движения, в местах развития карстующихся или менее карстующихся пород, задерживаются подвешенные карстовые воды. В областях, где развиты пласты гипса и ангидрита с прослоями менее растворимых

известняков и доломитов, могут образоваться подвешенные источники. В Пермской области подобное явление наблюдается в среднем течении Ирени.

Более живописны источники подвешенных вод в горных районах. В толщах известняков над менее карстующимися или некарстующимися породами из горизонтальных каналов вытекают источники. Иногда они водопадом низвергаются в долину.

На Кавказе такой источник в районе озера Рица на реке Бзыпи ниспадает с высоты 360 м. У селения Андреевского в районе Сухуми источник падает с высоты не менее 100 м.

Источники подзоны подвешенных вод бывают как постоянные, так и периодические. Последние обычно действуют после дождей или во время таяния снега. В ряде районов, где родники вытекают на склонах гор, они являются единственным источником водоснабжения.

Источники переходной зоны (см. рис. 1, IIIa) действуют только при высоком стоянии уровня карстовых вод. Они имеются в ряде районов Пермской области и характерны для Эстонии.

Наиболее многочисленны источники зоны горизонтального движения вод. Иногда карстовые воды этой зоны вытекают в речные отложения или в подрусловые пустоты. Если количество карстовых вод, поступающих в речные отложения, значительно, то они могут дать и источники. Дебит их достигает 10 л в секунду.

Наиболее своеобразны источники зоны сифонного движения карстовых вод. Обычно эта зона дает напорные восходящие источники, которые иногда вытекают даже выше переходной зоны. Воды этой зоны могут поступать и в подрусловые пустоты. Места выхода источников часто представляют глубокие воронкообразные бассейны с прозрачной голубовато-зеленой водой, обладающие низкой постоянной температурой и дебитом.

Замечательным примером источника этой зоны является Голубое озеро на Северном Кавказе, в районе Нальчика. Оно имеет глубину 258 м. Из него вытекает ручей с расходом воды около 1 м³ в секунду, питающийся карстовыми водами. Другой известный источник находится также на Кавказе. Это Голубое озеро в Абхазии, по дороге на озеро Риду.

Источники зоны подруслового стока магистральных и других рек. Воды подрусловых и поддолинных потоков перемещаются до тех пор, пока не встретят некарстующиеся или слабо закарстованные породы. На таких участках подрусловой поток выходит на поверхность в виде источника. Примером, по-видимому, может служить Девий Ветлан на реке Колве с расходом 2,2 м³ в секунду.

Подводные карстовые источники. Карстовые

источники выходят не только на суше, но имеют место и на дне морей. В прибрежной зоне некоторых морей иногда обнаруживаются «острова» пресной воды, которую нередко используют для местного водоснабжения. Здесь со дна бьют пресные подводные источники. Они имеются в карстовых районах там, где берега и прилегающие участки дна сложены известняками.

В СССР подводные источники известны на Черном море в районе Гагр и Южного берега Крыма. Имеются они в Средиземном море, Персидском заливе, у берегов острова Ява, в Австралии, у берегов Флориды, Юкатана, Кубы и в других районах. Обычно они вытекают с глубины 18—20 м. Есть подводные источники, вытекающие с глубины 70—120 м.

Использование карстовых источников. Карстовые источники имеют немаловажное хозяйственное значение. В ряде районов источники с большим дебитом служат основным ресурсом водоснабжения. Воды карстовых источников, особенно в засушливых районах, используются для орошения в Средней Азии, Северной Африке (Алжире и Киренаике) и других областях.

Карстовыми являются многие минеральные источники: Сергиевские минеральные воды в Куйбышевской области, Мацестинские сероводородные воды около Сочи, кисловодский Нарзан и многие другие.

Воды карстовых источников используются и для энергетических целей. Дебит некоторых источников так значителен, что воды приводят в движение колеса водяных мельниц, сукновальных фабрик, турбины гидроэлектростанций. На юге Франции воды источника Воклюз приводят в движение машины двухсот заводов.

Карстовые озера и болота. В карстовых областях, расположенных в зоне избыточного увлажнения, можно часто видеть красивые, округлые в плане озера. Это наиболее обычная форма карстовых озер. Как и форма воронок и котловин, от заполнения которых водой они образовались, форма озер бывает также овальная, лопастная и сложная.

Карстовые озера питаются водами различных зон. В поверхностной зоне, чаще в воронках выщелачивания, образуются многочисленные, сравнительно неглубокие и весьма недолговечные карстовые озера. В зоне горизонтального движения карстовых вод имеется две группы озер: пещерные, которые мы уже рассмотрели, и провальные.

Своеобразны постоянные и периодически исчезающие озера польев. Первые из них находятся, по-видимому, в зоне горизонтального движения карстовых вод, а вторые — несколько выше.

Озера карстовых воронок выщелачивания. Если у воронки выщелачивания понор закупорен глиной

или другими водонепроницаемыми отложениями, то талые снеговые и дождевые воды будут задерживаться — образуется временное или постоянное озеро.

Озера провальных карстовых воронок. Котловина их образовалась путем провала. Озеро питается карстовыми водами и частично атмосферными осадками. В дальнейшем стенки его становятся более пологими, а глубина уменьшается. Постепенно в озере поселяется водная растительность, и оно превращается в болото.

Заболачивание карстовых озер протекает по-разному. У одних озер заполнение котловины отложениями сопровождается зарастанием его болотной растительностью от берегов к середине. Водная поверхность постепенно все более сокращается и, наконец, совсем исчезает. Другие озера, обычно более глубокие, превращаются в болота путем образования сплавнины на поверхности озера. Постепенно разрастаясь, сплавнина затягивает все озеро. Хождение по сплавине дает своеобразное ощущение — нога погружается в мягкий ковер, который колыхается.

Исчезающие озера. Среди озер, приуроченных к карстовым воронкам выщелачивания, встречаются и исчезающие. Вода в воронке сохраняется до тех пор, пока понор на дне закупорен пробкой из водонепроницаемых пород. Если пробка разрушена, вода из озера уходит.

Исчезающие карстовые озера имеются в Пермской области. Наибольшую известность получила область периодически исчезающих озер в районе Онежского и Белого озер.

Реки карстовых областей. В пределах карстовых массивов обычно нет больших постоянных рек, но они могут пересекаться многоводными транзитными реками, несущими воду из некарстованных районов. Есть реки, которые текут примерно по границе карстующихся и некарстующихся пород. Имеются и реки, начинающиеся исполиновым источником на окраине карстующегося массива. Наконец, часть небольших рек, дойдя до района развития карстующихся пород, исчезает в воронках, понорах и трещинах.

Удивительные долины. Долины рек карстовых районов очень своеобразны. У транзитных рек, пересекающих территории, сложенные известняками, они напоминают каньоны. Русло реки ограничено крутыми, высокими склонами, на которых выходят известняки в виде утесов, башен, зубцов. Если речка исчезает в русловых понорах, покрытых галькой, ниже места исчезновения тянется долина с сухим руслом, сток по которому происходит только весной или во время больших ливней.

Наряду с такими долинами карстовые области изобилуют карстовыми оврагами, слепыми, полуслепыми и мешкообразными долинами.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ КАРСТОВЫХ ЯВЛЕНИИ

В СССР карстующиеся известняки, доломиты, мраморы, гипс, ангидрит и каменная соль развиты в отложениях различного возраста — от древнейших до самых молодых.

Одними из древнейших являются складчатые сооружения, образующие жесткие щиты — Балтийский, Алданский и другие. Сложены они в основном некарстующимися кристаллическими породами. На поверхности мраморизованных известняков и доломитов в результате выщелачивания образовались углубления различного размера и формы. На Балтийском щите и, в частности, на Кольском полуострове они выполнены молодыми отложениями или заняты озерами и болотами.

В Енисейском кряже в карстовых воронках и котловинах обнаружены мезозойские отложения. В районе Байкала и Забайкалья известен современный и древний карст карбонатных отложений. Такой карст характерен и для Кузнецкого Ала-Тау, Западных и Восточных Саян, Сангилен и Минусинской впадины, Салаира, Кузнецкого бассейна, Урала, Донбасса.

В наиболее западной внешней складчатой зоне Урала, тянущейся с севера на юг, в известняках наблюдается сравнительно интенсивно развитый карст в виде воронок, больших пещер, иногда карстовых мостов. Характерны исчезающие реки и суходолы. Имеется и древний карст. Значительно слабее карст проявляется восточнее, где преобладают немногочисленные карстовые воронки, иногда слепые долины с исчезающими ручьями и пещеры. В Магнитогорском и Тагильском районах карст слабо развит, причем более значительную роль играет древний карст в виде карстовых воронок. В наиболее восточных Урало-Тобольском и Аятском районах карст также слабо развит. Выражен он главным образом карстовыми воронками, часто выполненными древними отложениями.

В Донецком бассейне карст карбонатных отложений в виде воронок, котловин и небольших пещер известен в Еленовских карьерах и прилегающих районах. Кроме современного карста, имеется и древний.

В Средней Азии карст довольно широко развит на хребте Кара-Тау, где, кроме современного карста, большую роль играет и древний. Сравнительно слабо развит карст в Казахской складчатой стране, Зеравшанском хребте, Тянь-Шане, Алтае, а на севере Сибири — в Таймырской складчатой зоне.

На Дальнем Востоке в Приамурье и Приморье карст слабо проявляется. Он приурочен к доломитам и главным образом к известнякам Хингано-Буреинского и Сихотэ-Алиньского

хребтов, Средне-Амурской, Ханкайской впадин и по реке Суйфун.

На юго-западе и юге СССР находятся горы альпийской складчатой зоны — Карпаты, Кавказ, Копет-Даг и Памир, закарстованные в различной степени. Наиболее закарстован Кавказ, где известен ряд карстовых областей и районов, а также Крымские горы. Здесь в известняках наблюдаются карры, коррозионные карстовые воронки, колодцы и шахты, пещеры и мощные источники.

На Северном Кавказе закарстованы и гипсы. Слабо развит карст в Закавказье и в горах Копет-Дага, где наибольшей известностью пользуется Бахарденская пещера.

На участках, переходных от равнин к горным складчатым сооружениям, наблюдается карст гипса, соли и в меньшей степени известняков и доломитов. Он имеется в Ангаро-Ленском, Предуральском, Предтаймырском, Хатангском, Предкарпатском и Предпамироком районах.

Карст карбонатных отложений довольно широко развит по южному берегу Финского залива и далее на запад на островах.

Современный и древний карст карбонатных отложений на Русской равнине находится во многих районах: на Валдайской возвышенности, Онего-Двинском водоразделе, в Подмосковье, на Средне-Русской возвышенности, Самарской луке, Уфимском плато и других.

Карст карбонатных отложений местами развит на Хатанго-Рыбнинском поднятии, на севере и юге Сибирской платформы и на Алданском щите.

Очень слабо выражен современный и древний карст в известняках в Причерноморье, на севере от Черного моря, на Тарханкутском полуострове в Крыму и в западной части Ставропольской возвышенности. Здесь наблюдаются доноры, небольшие карстовые воронки и реже малые пещеры. На глубине закарстованность выражена кавернами и небольшими полостями, которые обнаруживаются при бурении по провалу инструмента.

В Средней Азии для Южного Мангышлака поноры и небольшие карстовые воронки отмечены в известняках.

Карст гипса на Русской равнине развит в Прибалтике, в Пинего-Кулойском районе, в бассейне нижней Клязьмы, в Приказанском районе, а в азиатской части — в районе Чуйской впадины. Имеется он и в Средней Азии, во впадинах Карын-Ярык, Сарьжамышской и Ассакаудан.

Современный и древний карст гипса и соли характерен для Прикаспийской низменности, Бахмутской впадины Донбасса, Припятского и Ромненского районов, Вилуйской, Ферганской и некоторых участков Тунгусской впадины. Часто он приурочен к соляным структурам.

Карст имеется и в белом писчем меле. Развивается он лишь при наличии трещин, по которым происходит не только растворение, но и размывание мела. Здесь образуются и карстовые воронки, реже колодцы и пещеры. Наблюдаются также карстовые озера, источники и исчезающие реки. Карст мела обнаружен в районе Средне-Русской возвышенности и на Вольно-Подольском поднятии.

Приведенные краткие данные показывают, что современный и древний карст широко распространен в ряде районов Советского Союза.

Зарубежные страны также характеризуются наличием карста. В Европе он известен для Карпат, Альп, Апеннин, Пиренеев, гор Балканского полуострова, многих районов Франции, Британских островов, Германии, Скандинавии и других.

В Африке на севере наиболее закарстованы Киренаика, Атласские горы, на юге горы Отави, Трансвааль, плато Каап и Газаленд, а также остров Мадагаскар.

В зарубежной Азии карст известен в Малой Азии, горах Ирана, Индостана и Индокитая, в Сирии и Палестине, во многих областях Китая, на некоторых островах Индонезии, Филиппин и частично Японских.

В Австралии на севере карст наблюдается на плато Баркли, в районах Макдоннал, Кимберли, Дампиер, на западе в районе Суоленда. Наиболее значительная карстовая область Налларбор находится на юге. Здесь же имеется значительно меньшая карстовая область Муррей и район Лофти. В Восточно-Австралийских горах известны небольшие карстовые районы с пещерами. Карст наблюдается на островах Тасмания, Новая Зеландия, а также некоторых других в Тихом океане.

В Северной Америке карст довольно широко развит. Он имеется на Центральной равнине США, в Аппалачских горах, на полуострове Флорида, в штатах Нью-Мексико и Техас, в Скалистых горах.

В Центральной Америке карст известен в Мексике, особенно на полуострове Юкатан, в Гватемале и Гондурасе, на островах Кубы. Ямайке. Малых Антильских и других.

В Южной Америке карст развит слабо. Это небольшие районы, участки в Андах и в области провинции Минас-Жераи, Параны. Ранее уже указывалось, что обнаженные и погребенные карстующиеся отложения развиты на площади, составляющей несколько десятков миллионов квадратных километров.

ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ, СВЯЗАННЫЕ С КАРСТОМ

Карст имеет разное значение в нашей жизни. Горные породы, в которых он проявляется, сами являются полезными ископаемыми. Карст в известняках, доломитах, мраморах,

белом писчем меле, гипсах и ангидритах, а также каменной соли снижает качество и затрудняет разработку этих пород, используемых как строительные материалы, пищевое и химическое сырье и т. д. При разработке мрамора, например, приходится исключать зоны глубоких карстовых воронок и колодцев, заполненных песками и глинами. Пещеры также создают зоны загрязненных пород.

Какие полезные ископаемые можно встретить в карстовых понижениях и полостях?

В современных и древних речных долинах, там, где река пересекает известняки, доломиты или мраморы, в углублениях, образованные от растворения водой, скапливаются тяжелые минералы, принесенные потоком воды. Попав в такое углубление, как бильярдный шар в лузу, они не могут перемещаться дальше, пока их не найдут геологи и не добудут горнорабочие. В таких природных ловушках имеются промышленные скопления алмазов, золота, платины, оловянного камня и других россыпных полезных ископаемых. В Южной Африке в карстовых понижениях, в древних доломитах наблюдаются скопления алмазов. В некоторых воронках их находят до 20 каратов¹ в 1 м³. В районе Гротфонтей на (Оранжевая республика) из двух отводов размером 13,5 м×13,5 м было добыто алмазов на 80 тысяч фунтов стерлингов² (рис. 6, 1).

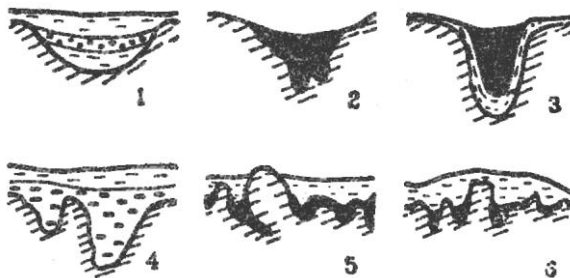


Рис. 6. Схема карстовых залежей полезных ископаемых:

1 — алмазоносный галечник; 2 — боксит; 3 — уголь; 4 — фосфориты в песке; 5 — железная руда; 6 — цинковая руда.

Скопления алмазов имеются в Бельгийском Конго, где концентрация их в отдельных карстовых воронках огромная — 1000 каратов в 1 м³. В карстовых понижениях Урала и Якутии имеются алмазы.

¹ Карат равен 0,2 г

² Фунт стерлингов по курсу около 11 рублей.

Россыпи с концентрацией золота в карстовых углублениях известны на Южном Урале, в Мариинской тайге, на Алтае. В Енисейском кряже была (ныне выработанная) карстовая котловина длиной 600 м, шириной 250 м и глубиной 50 м с мощной металлосодержащей толщей. Подобный характер имеют карстовые россыпи платины, олова и других полезных ископаемых.

В карстовых понижениях наблюдаются многочисленные месторождения огнеупорных глин. Они известны в карстовых котловинах в известняках, гипсах, меле и даже в соли (Подмосковный бассейн, Пермская, Свердловская, Воронежская области, Донбасс, Сибирь).

В древних карстовых понижениях, в известняках и доломитах наблюдаются многочисленные месторождения боксита, железной и марганцевой руды. Наибольшее значение имеют месторождения алюминиевой руды — бокситов. Большая часть таких месторождений связана с известняками. Это либо отложения в древних карстовых озерах (Среднее Зауралье, Северная Фергана), либо прибрежноморские отложения на закарстованной поверхности известняков (месторождения бокситов Северного и Южного Урала, Салаирского кряжа, Средней Азии, Румынии, Венгрии, Балканского и Пиренейского полуостровов, Италии, Франции, Малой Азии и других стран). Наиболее значительные из зарубежных месторождений находятся в Югославии и Франции (рис. 6, 2).

Тульские, Липецкие, Уральские и другие карстовые месторождения железных руд имеют меньшее значение. В карстовых углублениях находятся скопления руд в Башкирии, Кузнецком Ала-Тау, на западном берегу озера Байкал и в других районах.

Из месторождений полезных ископаемых, связанных с карстовыми образованиями, можно назвать торф, уголь, нефть, горючие газы, фосфориты и селитру.

Залежи торфа обычно небольшие, так как поперечник карстовых озер редко превышает 100—200 м. Торф в карстовых воронках известен на Урале. В Италии и Югославии он имеется и в полях. Торфяники в карстовых понижениях прежних геологических эпох превращаются в уголь. Небольшие скопления и месторождения угля этого типа известны в Прикаспийской низменности, в США и других странах (рис. 6, 3).

В закарстованных известняках и доломитах в пещерах, кавернах и других пустотах наблюдаются скопления нефти и газа. Особенно интересны древние рифы выработанного нефтяного месторождения Верхне-Чусовские городки в Пермской области, Ишимбая в Башкирии, Пермского бассейна в США. В последнем, в месторождениях Хендрик и Юнис, кроме пор и каверн, на глубине встречены полости с поперечником

от 3—5 до 10 м, в которые проваливался буровой инструмент. В одной из скважин месторождения Хоббз при фонтанировании был выброшен даже сталактит! Это указывает на наличие натечных образований в древних карстовых полостях в рифовых известняках. В этом же месторождении вместе с нефтью выделялось и много горючего газа.

Нефтеносны и газоносны не только известняки и доломиты древних рифов, но и пласты. Промышленная нефтеносность известна в карбонатных толщах Поволжья. В Арчедикском месторождении к таким пустотам приурочен газ. В штате Индиана (США) известняки и доломиты нефтеносны только там, где они подверглись закарстовыванию и переходу в доломит. По провалу инструмента во время бурения установлены в них карстовые пустоты с поперечником 2—3 м.

Все больше увеличивается количество нефти, извлекаемой не из песков к песчаников, а из известняков и доломитов. Сейчас оно достигает 40 % от всей добываемой в мире нефти. Это указывает на все возрастающую роль месторождений, где нефть и газ приурочены к карстовым пустотам.

Небольшие залежи фосфатных удобрений наблюдаются в карстовых пещерах — это скопления костей и экскрементов (гуано) летучих мышей и других животных. В СССР гуано имеется в Пашийской пещере в Пермской области, Бахарденской пещере в Туркмении и других. В Чехословакии гуано находят в пещерах Домица, Ясовской, Ардовской, Барсучья нора, Яворжичко, Темная скала, в пещерах Австрии, Румынии, Франции, Австралии и других стран. Они часто выработаны, так как используются в качестве удобрения.

Гораздо большее значение имеют месторождения островных фосфоритов. В результате выноса дождевой водой фосфатов из залежей птичьего гуано в подстилающие их известняки образуются значительные их скопления, особенно в карстовых углублениях. Такие месторождения высококачественных фосфоритов известны в тропической зоне на небольших коралловых островах, приподнятых над уровнем океана на 10—70 м. Наиболее крупные залежи известны на островах Науру, Макатеа и других в Тихом океане; Рождества, Жуан-де-Нова в Индийском океане; Кюрасао, Аруба в Караибском море.

Небольшие скопления селитры в пещерах в известняках, где имеются следы пребывания скота, автор обследовал на Северном Кавказе. Такие скопления находят и в пещерах Средней Азии, США. Крупнейшая пещера Вайндотт в штате Индиана в начале прошлого столетия называлась селитряной, так как в ней добывалась селитра для изготовления пороха.

Карстовые полости в карбонатных породах создают ослабленные участки в верхней части земной коры. Разломы

часто возникают именно там, где развиты эти пустоты. Из глубин по этим разломам растворы приносят в пустоты различные химические элементы, в том числе редкие.

Вблизи земной поверхности, там, где поступающие вглубь атмосферные воды приносят кислород и углекислоту, происходит преобразование Имеющихся и образование новых месторождений полезных ископаемых. Эта верхняя зона называется в геологии зоной выветривания. Здесь образуются карстовые месторождения полезных ископаемых: остаточные, инфильтрационные, рудный карст и другие.

Остаточные карстовые месторождения можно показать на примере фосфоритов. В некоторых известняках и белом писчем меле, которые образовались в морях прежних геологических эпох, наблюдается небольшое содержание фосфора. За время длительного пребывания на земной поверхности известь растворялась и выносилась водами. Менее растворимые соединения фосфора оставались. В результате на поверхности карстующихся пород происходило скопление фосфоритов, часто в виде зерен. Такие месторождения известны под названием остаточных. В Бельгии в районе Льежа, Бергена и в Северной Франции в районе Соммы и Па-де-Кале в белом писчем меле находились теперь уже выработанные небольшие месторождения высококачественных фосфоритов. Они находились в карстовых углублениях на поверхности содержащего фосфор мела (рис. 6, 4). В СССР в последнее время открыты месторождения этого типа в известняках Башкирии (Ашинское месторождение) и в Западной Сибири.

К группе остаточных принадлежат и месторождения фосфоритов, где длительное время происходило не только обогащение фосфором, но и взаимодействие его с карбонатом кальция — известняком. Фосфориты здесь залегают в карстовых воронках на поверхности известняков, благодаря чему толщина залежей колеблется от нескольких сантиметров до 6—9 м. Примером таких месторождений могут служить «твердые фосфориты» полуострова Флориды и «бурые фосфориты» штата Теннесси в США.

Весьма разнообразны инфильтрационные¹ карстовые месторождения. Образуются они обычно в зоне выветривания, когда воды растворяют различные химические элементы в других породах и переносят в карстовые понижения. Так образуются скопления боратов в древних карстовых понижениях (в гипсах), а также железа, марганца, свинца, меди, ванадия, никеля и других металлов в карбонатных породах. Академиком В. А. Обручевым выделен особый карстовый тип рудных месторождений зоны выветривания. Месторождения железных руд этого типа известны в Башкирии, на Западном

¹ Инфильтрация — просачивание.

и Восточном Урале, в Сибири, Чехословакии, Германии, США (рис. 6, 5). Марганцевые месторождения имеются на Урале, в Западной Сибири, Прибайкалье, Югославии, Германии, США.

Месторождения цинковых руд известны в штате Вирджиния США (рис. 6, 6). Месторождение свинцово-медных и ванадиевых руд Цумеб (в горах Отави, Южная Африка) находится в древнейших закарстованных известняках и доломитах. Ванадиевые руды имеются только в карстовых понижениях. В Северной Родезии в месторождении ванадиевых и свинцово-цинковых руд Брокен Хилл подземные выработки вскрыли в известняках пещеру с костями животных и признаками былого пребывания человека.

На костях были найдены кристаллы фосфористого цинка и ванадийсодержащего свинца.

В местах соприкосновения известняков с другими некарстующимися горными породами образуется контактно-карстовый тип месторождений никелевых руд. Это одна из разновидностей карстовых месторождений зоны выветривания. Если на контакте нет разрывов, то карст развивается слабо. По разрывам вода хорошо проникает вглубь, и образуется карстовая полость. Контактно-карстовые месторождения никелевых руд известны на Урале и в других районах.

Большой интерес представляет рудный карст. Если вблизи земной поверхности в зоне выветривания оказываются сернистые или сульфидные руды, то под влиянием воздействия воды и кислорода они окисляются с образованием окисленных руд и серной кислоты. Серная кислота очень сильно действует на известняки, растворяя их. Возникают огромные полости, объем которых иногда составляет десятки тысяч кубических метров. Кровля над пустотами обрушивается, и образуются сцементированные обломки или брекчия оседания. Эта брекчия и рудный карст являются признаками рудных месторождений. Свинцово-цинковые месторождения этого типа известны в Средней Азии в районе хребта Кара-Тау, в штатах Миссури, Канзас и Оклахома в Северной Америке.

Все рассмотренные типы месторождений, за исключением остаточных, образовались в результате привноса в карстовые пустоты извне различных полезных ископаемых. Небольшую роль играют полезные ископаемые, возникшие из вещества самих карстующихся пород. Сюда относятся оптический гипс и кальцит. Кристаллический гипс, применяемый в оптике, найден в некоторых пещерах Средней Азии. Двупреломляющий оптический известковый или исландский шпат имеется в пещерах Крыма, Кавказа, Донбасса, Средней Азии.

Не вполне выяснено происхождение месторождений серы в районах гипсовых залежей. Здесь происходит, по-видимому,

более сложный процесс, чем карстовый, так как на гипс воздействует не только вода, но и нефть. Многочисленные месторождения самородной серы среди гипса, в том числе крупнейшие, известны на берегу Мексиканского залива, в Польше, Поволжье, Средней Азии.

Мы уже указывали, что в карстовых полостях находят и важнейшие минеральные воды. В Италии, в провинции Тоскана, в кавернозных известняках и трещиноватых ангидритах бурением получены бороносные паровысокотемпературные воды, нагретые за счет вулканического тепла. Эти воды используются для выработки электроэнергии и извлечения бора.

Итак, карстовые явления имеют не только отрицательное значение. С ними связаны скопления разнообразных рудных, нерудных, горючих полезных ископаемых и минеральных вод. Некоторые из них, например бокситы, нефть, алмазы, а также минеральные воды, имеют большое значение.

КАРСТ И СТРОИТЕЛЬСТВО РАЗЛИЧНЫХ СООРУЖЕНИИ

Прежде чем проектировать и возводить гражданское или промышленное здание, необходимо изучить, нет ли на глубине подземных карстовых пустот. Если они имеются, то определяют размеры этих полостей, глубину их залегания и возможность образования провалов.

Наличие карстовых явлений, сопровождающихся провалами, может привести к повреждению и даже разрушению зданий. Такие явления имели место в городах Казани, Дзержинске.

В некоторых районах полезные ископаемые — уголь, боксит и другие — залегают под водоносными закарстованными известняками. Такие условия характерны для Кизеловского каменноугольного бассейна, 75 % площади которого сложено карстующимися известняками, и в Североуральских бокситовых рудниках. Вертикальные шахты, вскрывающие полезное ископаемое, пересекают обильные водой карстовые пустоты. Так, при проходке шахты № 1 «Капитальная» в Кизеловском каменноугольном бассейне, заложенной в 1926 году, были вскрыты полости и пещеры с водой. Приток воды в шахту достигал 300 м^3 в час. Для заполнения пройденных полостей до глубины 100 м было израсходовано 56 тыс. бочек цемента и 40 тыс. бочек глины. Проходка ствола шахты глубиной 300 м тянулась три года и стоила более 10 млн. рублей. Отдельные шахты имеют приток до 2800 м^3 ; всего по этому бассейну он составлял $10,5 \text{ тыс. м}^3$ в час, причем значительная часть приходится на карстовые воды. Питание рек этого района — Большой Кизел, Косьва, Усьва и Вильва — за счет подземных вод составляет 12 м^3 в секунду, или $0,4 \text{ км}^3$ в год;

одна четверть расхода обусловлена шахтными водами, сбрасываемыми в реки. На откачку этих вод из шахт приходится тратить огромное количество электроэнергии. Велики и притоки в бокситовые рудники. Весной, когда тает снег, талые воды через поноры, воронки, колодцы и трещины стекают вглубь, в шахты, в рудники, и там происходит подземный паводок.

С притоком воды с поверхности можно бороться путем цементирования понор, дна карстовых воронок, колодцев, а также трещин. В Африке, в Южном Трансваале, где золото добывается под закарстованными известняками, за 14 лет было пробурено 42 тыс. м скважин и израсходовано 65 тыс. т цемента, который закачен под давлением в скважины для заделки трещин и полостей на поверхности подземных выработок. В результате приток воды в шахты в Блейворейтсхите снизился до 5 %.

Наличие поддолинных (подрусловых) пустот, как водоносных, так и заполненных рыхлым материалом, явилось причиной многих неудач в гидротехническом строительстве. При недостаточной разведке в карстовых районах плотины, возведенные на участке с поддолинными пустотами, не приводили к накоплению воды в водохранилище или даже разрушались. Вода из водохранилища уходила в поддолинные пустоты. Если же они были даже заполнены рыхлым материалом, то вода, вынося под давлением песок и глину, текла под плотиной. Такие явления наблюдались во Франции на маленькой плотине Сен Гильем-ле-Дезер на реке Эро и в Испании на плотинах Камараза, Мария-Кристина и Монте-Хаке. Водохранилище плотины Монте-Хаке, имеющей высоту 72 м, никогда не было заполнено водой, так что почти всегда можно было подойти с верхней стороны к основанию плотины. В СССР при сооружении на речках и в логах Пермской и других областей небольших плотин некоторые колхозные водохранилища не были заполнены водой, так как вода через трещины, поноры и воронки уходила в подрусловые пустоты под плотину.

Однако возведение плотин в карстовых районах вполне возможно. Это показывает опыт строительства на реках Сызрань, Волхов и некоторых кавказских, а также на реке Теннесси в США. После тщательного геологического изучения закарстованности отложений в основании плотины применяют разнообразные противофильтрационные мероприятия. Пустоты и трещины под руслом цементируют или создают особые подземные плотины, и вода уже не может протекать под плотиной и тем более разрушить ее.

Широкое развитие карста приводит к тому, что при строительстве железных и автомобильных дорог неизбежно пересечение закарстованных участков. Как и при проектировании

других сооружений, необходимо предварительное изучение намеченных вариантов трассы дороги с точки зрения возможности образования провалов. В прошлом, когда железные дороги строили без достаточных предварительных исследований, эксплуатация их в карстовых районах нередко встречала различные затруднения и сопровождалась затратами больших средств.

В Самарском Заволжье пришлось перенести на другое место значительный участок железнодорожного полотна, причем на оставленном участке было два железнодорожных моста и станция. На Урале между станциями Усьва и Баская из-за оседания участка полотна пришлось перенести его в сторону. Значительные средства на борьбу с карстом затрачены на Уфимском косогоре около города Уфы, где железнодорожное полотно было построено в конце прошлого столетия в зоне закарстованных гипсов.

Перенос железнодорожных путей — это крайняя мера. На других участках карстовые пустоты под полотном, угрожающие проседанием или провалом, ликвидируют взрывом, путем закладки или цементации. Чтобы пустоты не возникали, что особенно опасно там, где находятся гипс или соль, которые быстро выщелачиваются, район железнодорожного полотна ограждают от проникновения атмосферных осадков и воздействия карстовых вод.

В горных районах при прокладке туннелей необходимо опасаться встречи заполненных водой карстовых пустот, прорыв воды из которых может вызвать несчастные случаи. Для предотвращения их при проходке туннелей ведут горизонтальное бурение. Если скважина вскрыет водоносную пустоту, то вода потечет через нее в небольшом количестве. В Италии, при проведении железнодорожного туннеля через гору Монто-Орсо между Римом и Неаполем, была встречена пещера в известняках длиной 72 м и до 10 м высотой. Пришлось провести туннель в обход этой пещеры.

Строительство железнодорожных мостов через реки с поддолинными карстовыми водоносными пустотами должно вестись с тщательной разведкой. Раньше не знали о существовании таких явлений. В 1897 году через реку Сылву был построен мост. Вскоре была обнаружена неравномерная просадка быка в низовую сторону. Образовались трещины между основным телом быка и ледорезом и в носовой части ледореза. Наблюдения, проводившиеся с 1931 по 1947 год, показали значительное увеличение наклона. Ширина трещины выросла с 65 до 97 мм. Для установления причин, вызвавших наклон быка, была пробурена скважина. На глубине 24,7 м в верхней части гипса буровой снаряд внезапно провалился на 0,8 м и из скважины стала изливаться напорная вода с илом. Сравнительно небольшая поддолинная пустота

привела к тому, что мост пришлось оставить. По счастливой случайности, это не привело к убыткам. В связи с образованием водохранилища была проведена железнодорожная линия и возведен новый, более высокий мост.

В другом случае под быками моста на глубине 20—27 м были обнаружены поддолинные карстовые пустоты с наибольшим поперечником 6—7 м. Для предотвращения просадок и провалов двух быков в карстовые полости под давлением 10 атм закачали 2600 м³ раствора, состоящего из цемента и суглинка. Контрольное бурение показало отсутствие незаполненных пустот под быками. Мост находится в эксплуатации.

Можно было бы привести и другие примеры того, какие осложнения вносит наличие карстовых явлений в изыскания, проектирование и возведение зданий и различных инженерных сооружений. При выборе места под строительство надо отдавать предпочтение тем участкам, где карста нет или он не опасен. Если же обстоятельства заставляют строить в карстовом районе, то современная техника обладает достаточным арсеналом инженерных средств, чтобы предотвратить возможные неприятные последствия наличия карста.

ИЗУЧЕНИЕ КАРСТА В СССР И ЗА РУБЕЖОМ

В нашей стране карст изучается с начала XVIII века. 200 лет назад, в 1760 году, П. И. Рычков опубликовал описание Каповой пещеры в Башкирии. С конца XIX века карст привлекает внимание в связи с железнодорожным строительством.

Особенно широко и всесторонне изучается карст в советское время. Мы не будем останавливаться на исследовании его при разведке и разработке карстовых месторождений полезных ископаемых, в горном деле, при транспортном, гидротехническом, гражданском и промышленном строительстве, разведке подземных карстовых вод для водоснабжения и лечебных целей.

Изучение карста в СССР происходит комплексно с применением современных научных методов. Большую роль играют карстовые конференции и совещания, где ученые, инженеры, практики, краеведы докладывают о результатах своих работ, намечают новые задачи.

Третье Всесоюзное совещание по карсту происходило в Москве в 1956 году. Было заслушано более 100 докладов. В результате при Академии наук СССР создана особая межведомственная комиссия по изучению карста, состоящая из 20 человек.

Имеются специальные станции по изучению карста и его вод в городах Кунгуре, Североуральске, Уфе, Дзержинске,

Адлере. В Симферополе и Тбилиси работают отделы и лаборатории карстоведения и карстологии в системах академий наук Украинской и Грузинской ССР. Изучение карста ведут Пермский, Московский, Киевский, Башкирский и другие университеты.

Готовятся кадры карстоведов. В Пермском университете с 1947 года студентам географам и геологам читается большой курс карстоведения. Недавно начато чтение небольших курсов карстоведения в Башкирском университете и в Симферополе. За рубежом курс спелеологии читается в университетах Праги и Брно в Чехословакии.

Большую работу по изучению карста и особенно пещер ведут туристы, краеведы, школьники. В последнее время Общество содействия охране природы также начало изучать пещеры в целях постановки вопроса об их охране. Подземные туристы Крыма и Москвы спустились в пропасть на Крымской яйле на глубину 160 м. Интенсивно изучает пещеры и пропасти Грузинский клуб альпинистов.

За рубежом изучение карста идет в основном по нескольким направлениям. Пещеры, пропасти и природные шахты изучают многочисленные добровольцы-спелеологи, объединенные в группы, клубы, общества. Во многих странах имеются центральные или национальные спелеологические организации, созданные как объединение территориальных обществ.

Они издают на ротаторе, реже типографским путем, сборники, а иногда даже журналы. Эти добровольные организации в капиталистических странах работают без финансовой помощи государства.

В странах народной демократии изучение пещер частично финансируется государством. Имеются и специальные научные учреждения, изучающие карст и пещеры: в Румынии — Институт спелеологии в городе Клуже, в Чехословакии — Музей словацкого карста в городе Липтовский Микулаш, группа карста при Геологическом институте Китайской академии наук и т. д.

Другое направление в изучении карста связано с практической деятельностью. Карст изучается для водоснабжения, при разработке полезных ископаемых, гидротехническом строительстве и для других целей.

Изучают карст и особенно пещеры и другие научные учреждения. В пещерах ведутся археологические раскопки, исследуются минералы, климат и т. д.

В результате за последние два-три десятилетия открыты и изучены тысячи пещер.

ЧТО ЧИТАТЬ О КАРСТЕ И ПЕЩЕРАХ

(книги и брошюры)

Популярная литература

Ф. Л. Бублейников. В пещерах Крыма. 20 стр. Госгеоллиздат. М.—Л. 1941.

Ф. Л. Бублейников. Пещеры. 112 стр. Госкульгпросветиздат. М. 1953. «Карст Горьковской области и маршруты туристских походов в районы его распространений». 58 стр. (автор А. И. Маркин). Горький. 1953.

Н. Кастере. Десять лет под землей. 200 стр. Географгиз. М. 1956.

Н. Кастере. Тридцать лет под землей. 166 стр. Географгиз. М. 1959. Кунгурский заповедник «Предуралье». 60 стр. Пермское обл. изд-во. 1950.

И. В. Ледомский. Путешествие по ледяной пещере на Урале (Кунгурская пещера). 80 стр. Всероссийское общество охраны природы. М. 1937.

В. С. Лукин, Д. Б. Рыжиков, А. В. Турышев. Кунгурская ледяная пещера. 48 стр. Свердловское книжное изд-во. 1955.

Г. А. Максимович, Н. А. Максимович. Ледяная пещера. 52 стр. Свердловское обл. изд-во. 1937.

Г. А. Максимович, Н. А. Максимович. Свидетели прошлого. О чем рассказывают камни. 32 стр. Гостехтеоретиздат. М. 1955.

М. А. Ротко. Бахарденская пещера (на туркменском языке). 25 стр. Ашхабад. 1958.

А. В. Ступнишин и Д. Х. Мухитдинова. Сюевские пещеры. 24 стр. Татгосиздат. Казань. 1950.

П. П. Хороших. По пещерам Прибайкалья. 72 стр. Иркутское книжное изд-во. 1955.

А. Ф. Якушева. Карст и его практическое значение. 64 стр. Географиздат. 1950.

Е. В. Ястребов. Дивья пещера. 52 стр. Пермское книжное изд-во. 1958.

Научная литература

«Вопросы карста на юге Европейской части СССР». 194 стр. Изд. АН УССР. 1956.

Н. А. Гвоздецкий. Карст. 352 стр. Географгиз. М. 1954. «Карстоведение». Вып. I. Труды Пермской карстовой конференции. 39 стр. Изд. Пермского университета. 1948.

«Карстоведение». Вып. 4. 47 стр. Изд. Пермского университета. 1948.

Г. А. Максимович и К. А. Горбунова. Карст Пермской области. 184 стр. Пермское книжное изд-во. 1958.

А. А. Огильви. Геоэлектрические методы изучения карста. 164 стр. Изд. Московского университета. 1956.

«Региональное карстоведение». 80 стр. Изд. Моек, об-ва испытат. природы. М. 1958.

Н. В. Родионов. Инженерно-геологические исследования в карстовых районах при устройстве малых водоемов, гражданском и Промышленном строительстве. 184 стр. Госгеолтехиздат. М. 1958.

Д. В. Рыжиков. Природа карста и основные закономерности его развития. Труды Горно-геол. ин-та Уральского филиала АН СССР. Вып. 21. 156 стр. Изд. АН СССР. М. 1954.

«Спелеологический бюллетень» № 1. 60 стр. Изд. Пермского университета. 1947.

«Спелеология и карстоведение». 200 стр. Изд. Моск. об-ва испытат. природы. М. 1959.

Тезисы докладов Пермской карстовой конференции. 134 стр. Изд. Пермского университета. 1947.

Тезисы докладов на научном совещании по изучению карста. Вып. 1—19. М. 1956.

СОДЕРЖАНИЕ

Как образуется карст	3
Пещеры.....	16
Подземные и поверхностные воды карстовых областей.....	28
Распространение карстовых явлений.....	32
Полезные ископаемые, связанные с карстом.....	34
Карст и строительство различных сооружений.....	40
Изучение карста в СССР и за рубежом.....	43
Литература.....	45

К ЧИТАТЕЛЯМ

Издательство «Знание» Всесоюзного общества по распространению политических и научных знаний просит присылать отзывы об этой брошюре по адресу: Москва, Новая площадь, д. 3/4.

Автор
Георгий Алексеевич Максимович

Редактор **И. Б. Файнбойм**
Техн. редактор **Л. Е. Атрощенко**
Корректор **З. С. Патеревская**
Обложка художника **И. А. Огурцова**

А 04476 Подписано к печати 15/IV 1960 г. Тираж 26000 экз. Изд. № 43.

Бумага 60×92¹/₁₆—1,5 бум. л.=3.0 печ. л. Уч.-изд. 2,88 л. Заказ № 775.

Цена 75 коп.

Типография изд-ва «Знание». Москва, центр. Новая пл., д. 3/4.