

Г. А. Максимович

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ЗОНЫ КАРСТОВЫХ ВОД И ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ПОДЗЕМНОГО СТОКА

Одним из условий образования карста является наличие движущейся и растворяющей воды. В начале текущего столетия возникла дискуссия о характере подземных вод карстовых областей, их распространении, движении, зональности. В отечественной литературе этот вопрос разрабатывался А. А. Крубером (1913), В. А. Варсанофьевой (1915), Ф. П. Саваренкиным (1935) и другими.

В последнее время предложено несколько схем гидродинамических зон карстовых вод для случая наличия магистральной речной артерии: И. К. Зайцевым (1940), В. А. Апродовым (1948), Д. В. Рыжиковым (1948), Д. С. Соколовым (1951), Н. А. Гвоздецким (1954), Г. А. Максимовичем (1954). Ф. А. Макаренко (1948) рассмотрел зоны циркуляции приморского месторождения сероводородных вод. З. А. Макеев (1948) дал общую схему стока карстовых вод. А. Г. Лыкошин на Совещании по проблемам карста, организованном Географической секцией Московского общества испытателей природы в марте 1955 г., выделил три типа карста: 1) связанный с дренирующим влиянием близких эрозионных врезов; 2) связанный с влиянием удаленных эрозионных врезов; 3) связанный с влиянием зон тектонических нарушений. В последней зоне в зависимости от условий может быть нисходящее или восходящее движение подземных вод. К сожалению, эта интересная идея подробно не освещена и данные о ней исчерпываются сказанным (Николаев, 1955).

В карстовых районах может быть несколько гидродинамических зон.

Зона поверхностной циркуляции. Вода здесь стекает по поверхности карстового массива, образуя в условиях средиземноморского типа карста карры, ложбины, а для всех других типов конусообразные расширения понор и карстовых воронок, коррозионно-эрозионные воронки. Эти же воды расширяют устья карстовых шахт, превращая их в «пропасти». В карстовых воронках, где поноры заилены, стекающие по поверхности воды образуют постоянные или временные озера, питающиеся атмосферными и талыми снеговыми водами.

Зона вертикальной (нисходящей) циркуляции. Это зона периодической циркуляции И. К. Зайцева (1940) или зона аэрации Д. С. Соколова (1951). Здесь периодически после выпадения осадков или таяния снега происходит движение воды вниз по вертикальным трещинам и пустотам. Мощность зоны определяется толщиной карстующихся пород, рельефом и климатом. На слабо расчлененных возвышенных участках с равнинным рельефом она составляет от 30 до 100 м и более, а в горных районах, в зависимости от мощности карстующейся толщи, обычно сотни метров и иногда достигает 1–2 км.

В пределах зоны вертикальной циркуляции возможны подвешенные карстовые воды на участках развития местных водоупоров в виде менее карстующихся или некарстующихся пород. Часто это прослой кремнистых известняков. Этим обусловлено наличие источников, вытекающих на склонах значительно выше уровня воды транзитных рек или дна карстовых котловин и полей. Они наблюдаются в Абхазии, на Балканах, в Киренаике и во многих других карстовых областях. Вместо эффектных водопадов Кавказа, Динарид и Триполитании, когда воды подвешенного горизонта низвергаются в долины из канала, находящегося на высоте десятков метров, при менее расчлененном рельефе имеет место более скромное проявление. Так, например, в долине р. Ирени, левого притока р. Сылвы, в бассейне р. Камы, в среднем течении наблюдается подрусовая циркуляция в демидковской (3-й) гипсово-ангидритовой пачке кунгурского яруса. Однако местами по правому берегу Сылвы (район с. Павлово и выше по течению) р. Тураевка и другие реки текут еще над вышележащей десятиметровой туюской пачкой известняков. Эти исчезающие несколько раз карстовые реки текут по поверхности на тех участках, где местный водоупор еще не полностью нарушен коррозией. В горных странах при отмирании подвешенного горизонта наблюдаются весьма малобитные источники. Нам приходилось наблюдать их в районе Гагры при подъеме на Мамздышку.

Зона переходная – с чередованием вертикальной и горизонтальной циркуляции за счет сезонных колебаний уровня карстовых вод. При подъеме уровня здесь, как и в нижележащей зоне, с которой она сливается, наблюдается горизонтальное движение в направлении дрены. При спаде она включается в вышележащую зону вертикальной циркуляции.

Амплитуда колебаний уровня карстовых вод или мощность переходной зоны в разных карстовых областях различна. По данным А. А. Крубера (1913) для источника Биюк-Карасу в Крыму она составляет 12–15 м, источника Воклюз – 24 м, колодцев Шампани (карст мела) – 19 м, некоторых других карстовых районов Франции – 30–60 м, а в Требичском гроте – 80–100 и даже до 109 м. Величина амплитуды зависит от климатических условий, от количества выпадающих осадков, рельефа и степени закарстованности. Мощность переходной зоны уменьшается по мере увеличения закарстованности и роста объема подземных карстовых пустот. Нижняя граница переходной зоны изменяется по многолетним (брюкнеровским и другим) периодам.

Ниже переходной зоны находится ряд зон, характеризующихся в основном полным насыщением трещин и пустот карстовыми водами.

Зона горизонтальной циркуляции отличается свободным стоком безнапорных вод к магистральным речным артериям или окраине карстующегося массива.

Зона сифонной циркуляции, имеющая каналы в виде перевернутого сифона, уже характеризуется напорными водами. Движение происходит по каналам от водораздельных пространств к магистральным рекам в их подрусовые каналы, находящиеся на глубине 15–40 м ниже дна речной долины. В условиях русского и средневропейского типов карста воды несут из понор, карстовых воронок и каналов обломочный материал,

который заполняет подрусловые пустоты, а из трещин путем растворения породы в стенках их образуются новые карстовые пустоты. В горных районах с отсутствием магистральных речных долин воды каналов зоны сифонной циркуляции разгружаются на окраине карстующегося массива в виде наземных, а на морских берегах – частично в виде подземных источников.

При наличии магистральных речных артерий зоны вертикальной циркуляции (переходная), горизонтальной и сифонной составляют поперечный сток З. А. Макеева (1948). В продольном профиле магистральной речной артерии подрусловые пустоты образуют *зону подрусловой циркуляции*. Она составляет одну из важных особенностей циркуляции подземных вод в карстовых районах.

Когда карстующаяся толща имеет значительную мощность и распространена значительно ниже дренирующей район транзитной магистральной речной артерии, при несколько замедленной глубинной эрозии и преобладании боковой по обоим берегам таких рек будут наблюдаться только долины временных потоков (овраги, балки, лога). Дно долин этих временных потоков обычно усеяно карстовыми воронками с открытыми и несколько заиленными понорами, в которые стекают или фильтруются талые и дождевые воды. Временные потоки только в весеннее время и при сильных ливнях достигают речной долины. Вода, которая стекла в поноры или профильтровалась в них, по большей части не дает источников на берегу реки. Таким характером отличается долина р. Сылвы на территории бывшего заповедника Предуралье, ниже дер. Частые. Источники в большинстве случаев появляются только тогда, когда местность испытывает поднятие и глубинная эрозия вскрывает расширенные карстовыми водами трещины и карстовые пустоты, или за счет наличия рассмотренных ранее местных водоупоров.

Первоначально предполагалось, что карстовые воды, стекающие по долинам временных потоков, фильтруются в аллювий поймы и русла и потому не обнаруживаются на поверхности в виде источников. Затем необходимо было объяснить наличие карстовых воронок на поймах рек. Они наблюдаются в области гипсового карста вблизи устья Чусовой, на пойме Чусовой и Камы, на Сылве в Кишертском районе, на Уфе у с. Охлебинино и во многих других районах. Подсчет показывал, что карстование происходило под толщей пойменного аллювия в карстующейся толще, ниже руслового аллювия.

В результате разбуривания речных долин при проектировании плотин и железнодорожных мостов, а также для водоснабжения, было установлено, что многие реки в области гипсового и известнякового карста обладают подрусловыми пустотами, часто с карстовым потоком (табл. 1).

Кроме конкретных данных, приведенных в табл., в литературе имеются и более общие сведения. Так, например, Ю. П. Пармузин (1954) для Сибири указывает, что в русле и на островах р. Ангары в кембрийских доломитах имеются провалы, заполненные аллювием и обломочным материалом. Подрусловой карст известен и в кембрийских известняках Алдана.

Э. Ог (1933) упоминает, что русло подземных рек может опускаться ниже уровня речной эрозии. Р. Жоли еще в 1936 г., приводя данные о наличии пустот на 59 м ниже р. Неске, на 18 м под р. Иби и на 36 м под р. Ироль (Ардеш), указывал, что не может объяснить это явление. Вначале, когда обнаружили эти подрусловые пустоты, которые либо были заполнены аллювием, либо содержали только карстовые воды, предполагали, что это явление древнего карста. Постепенно было установлено, что наряду с древним карстом в ряде случаев имеет место подрусловой поток современного карста. Иногда древние карстовые пустоты используются современным карстом.

Подрусловые карстовые пустоты не только растут и расширяются, но и заполняются обломочным материалом и цементируются. Из карстовых воронок на водоразделе, речных террасах и в русле, через поноры и далее через горизонтальные каналы в подрусловой поток поступают глинистые, алевритовые и песчаные частицы, а также гравий и галечник. На Чусовой в подрусловых пустотах была обнаружена галька

Таблица 1

Подрусловые (и поддолинные) пустоты некоторых рек в карстовых районах

Река, возраст пород	Глубина пустот, м	Вертикальные размеры пустот, м	Заполненные или незаполненные пустоты	Наличие подруслового потока	Источник
Известняковый карст					
Уфа (г. Белорецк), силурийские отложения	20–50 ниже поверхности террасе или 0–40 ниже аллювия	1–2 и более	Частично заполненные глиной, щебнем, песком и галькой	Имеется	Соколов, 1948
Уфа (с. Павлово), артинские отложения	44–46 ниже уреза реки	До 2	Заполненные частично песком и галечником	Нет данных	Маков, 1946
То же	27–32	0,3	Незаполненные (провал инструмента)	То же	То же
» »	–	1	Заполненные суглинком	» »	» »
Клязьма (ниже г. Коврова), верхнекаменноугольные отложения	Ниже аллювия в 26 случаях – 7–20, в 10 – 20–30, в 4 – 30–38	Нет данных	Незаполненные и заполненные	» »	Якушова, 1949
Ай у Златоуста	9,1–9,25 13,7–13,8 25,8–25,9	0,1–0,15	Незаполненные	Имеется	Булатов,

Малый Кизил, C_1	До 70	Нет данных	То же	То же	Маков, 1946
Губашка	20	То же	» »	» »	Васильев и Шейн, 1932
Кипучая Криница	Более 50	» »	» »	» »	Краснопевцев, 1934
Кастильон де ля Плана (Испания), мел	Неизвестны	» »	» »	» »	Люжон, 1936
Монте-Хаке (Испания, Андалузия), юра	То же	» »	» »	» »	То же
Камараза (Испания), средняя юра	» »	» »	» »	» »	» »
Эро (Франция), юра	» »	» »	» »	» »	» »
Домодоссоло (Италия)	» »	» »	» »	» »	» »
Гипсовый карст кунгурских отложений					
Уфа, район г. Уфы	Ниже уреза реки 41–42	1,73	Незаполненные	Нет данных	Маков, 1946
То же	45–50	3,86	То же	То же	То же
» »	42–43	0,4	» »	» »	» »
с. Богородское	Ниже базиса эрозии в данном сечении	Нет данных	Незаполненные	Имеется	Макеев, 1948
Белая, с Охлебинино	Свыше 30	То же	То же	Пустоты водоносные	Маков, 1946
Чусовая, район устья	Ниже уреза реки 18–32	7,65, площадь 50 м ²	» »	Имеется	Максимович
То же	То же	5, площадь 65 м ²	Заполненные	Нет	Максимович
» »	23–38	Площадь 84 м ²	Незаполненные	Имеется	То же
» »	То же	Площадь 100 м ²	Заполненные	Нет	» »
Сылва	Ниже уреза реки 3–14 Кровля гипса	0,7	Незаполненные	Напорная вода	» »
» »	16–16,6 и 20,5–21,5	0,6 и 1	Заполненные	Нет	» »
» »	23,2–24,4	1,4–1,9	Незаполненные	Поглощение воды	» »
» »	19,3–25,4	5,7	Заполненные	Водонасыщенный песок	» »

уральской породы, песок и гравий, которые попали указанным выше путем в водораздела. Этот пластический материал постепенно заполняет действующие карстовые пустоты. Количество воды, поступающее в них, постепенно уменьшается и прекращается рост пустот. Образуются заполненные карстовые пустоты. В гипсовом карсте за счет пересыщения раствора начинает образовываться кристаллический гипс, который цементирует глинистый материал. В некоторых пустотах образуется селенит. Заполненные подрусловые карстовые пустоты встречены на Сылве, Чусовой и других реках.

По мере заполнения подрусловых карстовых пустот в зависимости от местных геологических и других условий, подрусловой поток либо исчезает, либо перемещается на другой участок поперечного профиля в новые пустоты, образовавшиеся за счет выщелачивания. Так как подземный поток перемещается в горизонтальном направлении более медленно, чем меандрирующая река, то он может быть не только под стержнем реки, но и под поймой и террасами. При сооружении плотин значительная часть аварий произошла именно потому, что воды водохранилища, устремившись в заполненные подрусловые карстовые пустоты, вымывали обломочный материал. При этом водохранилище либо оставалось сухим, либо даже происходило разрушение плотины (Якушова, 1949).

Подрусловой поток имеет место не по всему протяжению рек. В местах, где за счет фациальных изменений, особенностей строения или наличия разрывных нарушений карстующиеся породы под руслом замещаются некарстующимися, подрусловой поток выходит в реке или вблизи ее русла в виде восходящего источника. Этим обусловлены карстовые источники на реках Столбовке, Моховатке (левые притоки Усьвы в Кизеловском бассейне), Кипучей Кринице в Донбассе. Выход в руслах при большом расходе реки и малом в подрусловом потоке может остаться и незаметным. Над местом выхода более теплых подрусловых вод зимой иногда не образуется лед.

Зона глубинной циркуляции ниже речных долин и подрусловых пустот характеризуется движением карстовых вод по структурам в направлении базисов разгрузки континентов, морей и океанов. Движение это обычно происходит весьма медленно и зависит от разности гидростатических уровней подземных вод в области питания и области разгрузки, проницаемости и других факторов. Как минимум скорость его 1,5–2 км в миллионлетие (Максимович, 1954, 1955).

Гидродинамические зоны для карстовых областей с наличием магистральных транзитных рек приведены в табл. 2.

Зона глубинных восходящих термальных, минеральных вод. Имеется еще одна разность подземных вод, которая в карстоведении недостаточно учитывалась. В области горных складчатых сооружений и современного или недавнего вулканизма карстовые явления обусловлены также выщелачивающим действием восходящих глубинных вод – термальных, углекислых и других, поступающих главным образом по разломам. В качестве примера можно привести образование пустоты, вскрытой в известном провале у Пятигорска. Находящееся на дне провала озеро и сейчас имеет связь с минеральными водами. Бахарденская пещера в районе Копетдага с подземным озером Коу образована действием восходящих сернистых вод по разлому (Гвоздецкий, 1954). В результате действия гидротермальных растворов в зоне тектонического разлома образовались пещеры в верхнесилурийских известняках в верховьях р. Магиан, левого притока Зеравшана (Гвоздецкий, 1954; Левен,

1940).

Зброшовская «арагонитовая» пещера в Чехословакии в районе Границкого карста на берегу р. Бечвы образована как холодными карстовыми, так и теплыми углекислыми минеральными водами. Кроме главных ходов пещеры, которые близки к горизонтальным, от них отделяются вверх трубообразные ходы типа слепых понор или органических труб. Снизу, достигая уровня р. Бечвы, идут косые мешковидные каналы. Трещины, наблюдающиеся в карстующемся массиве и уходящие далеко вглубь, местами пересекают ходы пещеры. По ним поднимаются теплые пары и углекислые минеральные воды, которые расширили эти трещины.

Таблица 2

Гидродинамические зоны карста при наличии магистральных транзитных рек

Характер подземного стока	Зона	Напор	Водный режим
Поперечный сток от водоразделов к магистральным речным артериям	Поверхностной циркуляции	Отсутствие	Сток в карстовые понижения и речные долины после выпадения осадков и снеготаяния
То же	Вертикальной (нисходящей) циркуляции	То же	Нисходящее вертикальное движение. Периодическое свободное
» »	Подзона висячих водотоков на местных водоупорах или менее карстующихся породах	» »	Горизонтальное движение. Циркуляция после дождей и таяния снегов. Реже постоянная
» »	Переходная	» »	Периодическая смена вертикального движения при низком уровне карстовых вод, на горизонтальное – при высоком
	Горизонтальной циркуляции	» »	Постоянное горизонтально-нисходящее движение
» »	Сифонной циркуляции	Имеется	Постоянное движение по обособленным каналам. На водоразделе – нисходящее, а в зоне дрены – восходящее
Продольный сток в подруловых пустотах под магистральными артериями	Подруловой циркуляции	То же	Постоянное движение от более высоких точек к более низким по слабо наклонным пустотам
Глубинный сток ниже речных долин и подруловых пустот	Глубинной циркуляции	» »	Постоянное весьма медленное движение карстовых вод по структурам в направлении базисов разгрузки континентов, морей и океанов

В мешковидных ходах и глубоких коридорах образуются восемь газированных подземных озер, глубиной до 15 м. Уровень воды в них изменяется в зависимости от барометрического давления, а температура воды на дне достигает 20–24° при температуре воздуха 13°. Благодаря выделению из воды углекислоты содержание CO₂ в воздухе 36 %.

В местах, где прекратилось поступление глубинных вод, наблюдаются арагонитовые сталагмитообразные «гейзерные капельники». В отличие от обычных сталагмитов воды здесь поступают не сверху, а снизу. Таким образом, это скорее своеобразные перевернутые сталактиты, представляющие конусы высотой 0,1–2 м, имеющие внутри каналы и кратеры диаметром до 16 см. Иногда по бокам развиваются меньшего размера «паразитические» конусы, которые могут быть и на дне кратерных пустот, и тогда образуется гейзерный сталагмит новой генерации. В одном случае, в так называемой Пещере смерти, которая заполнена углекислым газом, на дне углекислого озера находятся гейзерные капельники. Изучение родниковых валов или кратеров на месте источников, уже прекративших существование, показало, что из воды, происходит выпадение минералов со следующей последовательностью: лимонит, вад, арагонит и силико-карбонат (Кригер, 1953).

Глубинные, термальные и другие воды играют сравнительно небольшую роль в современном карстообразовании, но за длительную геологическую историю нашей планеты их приходится учитывать. Глубинные растворы обуславливают скопление в карстовых пустотах различных полезных ископаемых.

В последнее время выяснилась роль верхнетриасовых кавернозных известняков и трещиноватых ангидритов, как коллектора Тосканских бороносных паро-гидросольфатермальных месторождений в Италии. Выделяющиеся здесь, на глубине 200–300 м, пар и паро-жидкие струи с максимальной температурой до 240° и давлением до 6 атм. двигаются со скоростью от 175 до 470 м/сек. Горячий пар находится в смеси с углекислым газом и сероводородом. Горячая вода, находящаяся в перегретом состоянии, называется паро-жидкой (Влодавец, 1955). Она не только находится в трещинно-карстовых коллекторах, но и, вероятно, расширяет их за счет выщелачивания.

Своеобразна и мало изучена циркуляция вод в рудном карсте. Сульфидные залежи, попавшие в обстановку выветривания, окисляются. Просачивающиеся с поверхности дождевые и талые воды, обогащенные серной кислотой, интенсивно закарстовывают известняки, которые вмещают руду. Образуется рудный карст, который иногда характеризуется весьма большими масштабами. Так, по В. М. Крейтеру, в районе Каратау, Таласского Алатау и Карамазара наблюдаются пещеры, имеющие объем, достигающий десятков тысяч кубических метров. Рудный карст известен и в США, в штатах Миссури, Канзас, Оклахома, в районе месторождения свинца и цинка Джоуплин (Линдгрэн, 1934). Часто мы имеем дело со следами древнего третичного и даже палеозойского рудного карста, и речь может идти о зонах циркуляции далекого прошлого.

В зависимости от мощностей и площади карстующегося массива, однородности карстующихся пород, наличия или отсутствия некарстующихся пластов, движений земной коры, расчлененности или нерасчлененности массива транзитными магистральными реками, элементов залегания карстующихся пород,

геоморфологических, климатических и ряда других факторов, – во всех этих условиях наблюдается различное количество гидродинамических зон карстовых вод, изменяется их характер и распределение. Из перечисленных факторов наиболее важное значение имеют мощность, пространственное распространение карстующейся толщи, геотектонические и геоморфологические условия, степень расчлененности рельефа, наличие или отсутствие речных долин, эпейрогенические движения и их направления, положение карстовой области относительно морского берега, климатические условия – современные и недавнего прошлого и некоторые другие.

Многообразие обстановок в земной коре и соотношений перечисленных ранее факторов обуславливает не только разное количество зон циркуляции, но и различные их комбинации. Приведем некоторые основные типы гидродинамических профилей карстовых областей. Зона поверхностной циркуляции, а также переходная зона, находящаяся над зоной горизонтальной циркуляции, особенно не рассматриваются, но подразумеваются.

Тип I – *имеется только одна зона вертикальной (нисходящей) циркуляции карстовых вод*. Этот тип наблюдается в карстующихся массивах, подстилаемых водопроницаемыми некарстующимися породами, подошва которых находится выше уровня подземных вод района. А. А. Крубер (1913, стр. 55) указывает, что для средиземноморского типа карста крымских яйл там, где известняки подстилаются конгломератами и песчаниками, лежащими на водоупорных сланцах, имеется только одна зона вертикальной циркуляции карстовых вод (рис. 1, IA). Из базальных песчаников вытекает источник Аян – исток р. Салгира, р. Альма, а из базальных конгломератов берет начало р. Тунас.

Второй вариант этого типа гидродинамического разреза имеет место для русского типа карста, когда карстующиеся почти горизонтальные породы залегают среди водопроницаемых толщ. Вода, просачивающаяся через верхнюю толщу песчаников или конгломератов, попадает в карстующиеся породы и, растворяя их, по трещинам проникает далее вглубь, в подстилающие некарстующиеся водопроницаемые породы. Чаще всего этот вариант имеет место для карста в гипсе. Возможен он и при наличии маломощной толщи растворимых карбонатных пород, но менее вероятен (рис. 1, IB).

Пример подобных условий наблюдается в Предуральском прогибе в Пермской области, где в Соликамской депрессий пласт трещиноватого гипса мощностью 20 м залегают в кунгурских песчаниках. Растворение гипса обуславливает развитие провальных явлений.

Тип II – *наблюдается только одна зона горизонтальной циркуляции карстовых вод*. При небольшой мощности карстующейся толщи, заключенной в водонепроницаемых некарстующихся отложениях, возможна только горизонтальная циркуляция карстовых вод (рис. 1, IIB). Примеры такого примитивного гидродинамического профиля, который свойственен только русскому типу карста, известны также в Предуральском прогибе. Еще В. А. Варсанофьева (1916) приводила их для западного крыла его в области развития кунгурских гипсов, заключенных в водонепроницаемой толще. Попавшая в месте выходов гипса вода перемещается по трещинам, выщелачивает сульфатную толщу и стекает в направлении наклона пластов. В результате образования больших пустот своды над ними обрушиваются, и карст гипса получает питание поверхностными водами через провалы. Однако и в этом случае циркуляция в карстующейся толще сохраняет горизонтальное направление.

Возможен и другой вариант этого типа гидродинамического профиля, когда покрывающая некарстующаяся толща водопроницаема (рис. 1, IIA). Подобный случай имеет место в истоках р. Тибра, в районе г. Фумайоло в Эмилианских Апеннинах в Италии (Принц и Кампе, 1937).

Тип III – *имеются зоны вертикальной (нисходящей) и горизонтальной циркуляций*. Этот тип широко развит в известняках и доломитах, гипсах и ангидритах, а также в толщах мела. Он имеет место при сравнительно малой мощности карстующейся толщи, которая подстилается водонепроницаемыми некарстующимися породами. Последние служат препятствием для развития зоны сифонной циркуляции (рис. 1, IIIA). Этот тип гидродинамического разреза развит в весьма разнообразных геоморфологических и геотектонических обстановках. Примером горных районов могут служить Крым и Средний Атлас в Марокко.

В Крыму, где карстующиеся юрские известняки подстилаются водоупорными сланцами, в нижней части карбонатной толщи развивается зона горизонтальной циркуляции (Крубер, 1913). Средний Атлас представляет карстовое плато, сложенное нижнеюрскими известняками, высота которых составляет более 1200 м. Поглощенные трещинами, понорами, карстовыми воронками и шахтами, атмосферные осадки вначале перемещаются почти вертикально, а затем, дойдя до некарстующихся пород, стекают горизонтально. У северного края известнякового плато вытекают источники Сефру, Мекнес, Эль-Хажеба воклюзского типа, а среди массива Азру – сорок источников Ум-эр-Рбиа воклюзского типа с дебитом до 1000–1500 л/сек. Самая длинная из марокканских рек – Ум-эр-Рбиа – благодаря карстовому питанию имеет расход не менее 30–40 м³/сек, а в половодье до 1000 м³/сек (Бернар, 1949).

Аналогичные условия известны для многих других карстовых плато. Например, в Восточной Италии вблизи берега Адриатического моря находится безводное карстовое плато Гаргано площадью около 1000 км², сложенное меловыми и, в меньшей степени, юрскими известняками и доломитами. Это третичная поверхность выравнивания высотой 800–900 м, которая в недавнее время куполовидно приподнята и окаймлена ограниченными сбросами-ступенями, с высотами 100–150 м и 50 м. Поглощенные на плато воды, пройдя через зоны вертикальной и горизонтальной циркуляции, вытекают внизу склонов обильными карстовыми источниками (Добрынин, 1948). Подобная обстановка, по-видимому, имеет место и для карстового плато Ле-Мурдже, высотой 400–500 м, сложенного массивными, частично доломитизированными верхне-меловыми известняками.

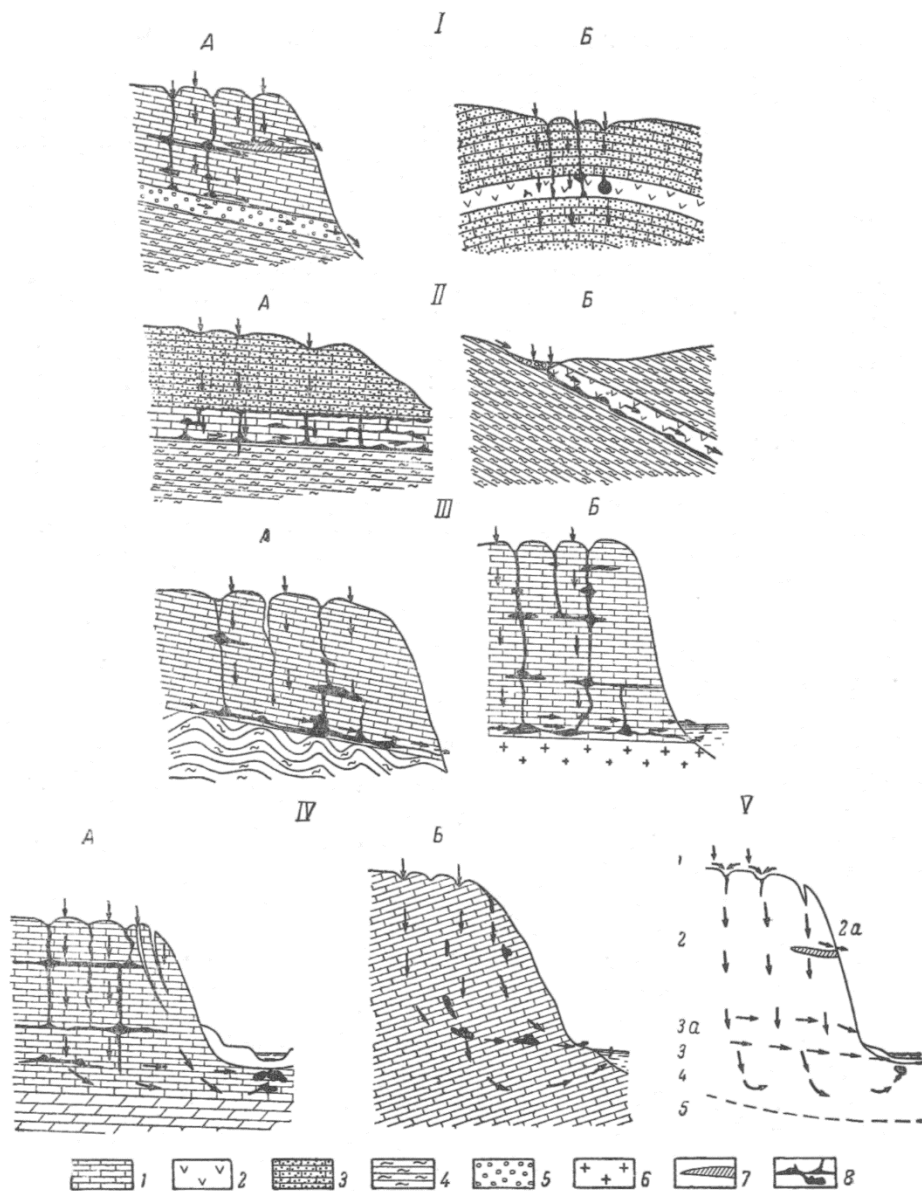


Рис. 1. Типы гидродинамических профилей карстовых областей

I – зона вертикальной (нисходящей) циркуляции: *A* – подстилающие породы водоупорные; *B* – карстующиеся гипсы находятся в свите водопроницаемых пород; *II* – зона горизонтальной циркуляции: *A* – карстуются карбонатные породы; *B* – карстуются гипсы и ангидриты; *III* – зоны вертикальной (нисходящей) и горизонтальной циркуляций: *A* – разгрузка на суше; *B* – разгрузка на берегу и на дне моря; *IV* – зоны вертикальной (нисходящей) и сифонной циркуляций: *A* – в речной долине карстовые воды разгружаются в подрусловые пустоты; *B* – на берегу моря карстовые воды разгружаются в виде субмаринных и субаэральных источников: *V* – полный гидродинамический профиль с зонами циркуляции: 1 – поверхностной; 2 – вертикальной (нисходящей); 2а – подвешенные воды на местном водоупоре; 3а – переходной; 3 – горизонтальной; 4 – сифонной; 5 – глубинной
1 – карбонатные породы 2 – сульфатные породы (гипс и ангидрит); 3 – песчаники; 4 – глины; 5 – галечники и конгломераты; 6 – изверженные породы; 7 – местный водоупор; 8 – карстовые пустоты

Примером прибрежной карстовой равнины может служить находящаяся на юге Австралии и окаймляющая Большой Австралийский залив равнина Налларбор (бездревесная). Она сложена почти горизонтально залегающими третичными в разной степени кавернозными известняками юкла, характеризующимися однообразным литологическим составом. Мощность их изменяется от 147 до 275 м. Подстилают их песчаники, сланцы и глауконитовые известняки мелового возраста, которые залегают на кристаллическом докембрийском основании (рис. 1, *IIIБ*). Равнина представляет плоское плато, обрывающееся к морю уступом, высотой 100–150 м. Далее в глубь страны плато постепенно повышается до 400–450 м, образуя плоскую немного наклонную равнину. Поглощенные атмосферные осадки, пройдя зону вертикальной циркуляции, стекают горизонтально в третичных известняках на границе с водоупором или в подстилающих меловых песчаниках к морю. Здесь, в основании обнажения известняков по берегу моря, выходят многочисленные источники. Часть из них выходит на дне Большого Австралийского залива, где в таких местах от потоков восходящей пресной воды море как бы кипит (Потемкин, 1950).

Тип *IV* – имеются зоны вертикальной, горизонтальной и сифонной циркуляций. Весьма распространенный тип, характерный для мощных карстующихся толщ, развитых ниже дна рек, а также морей в прибрежной части. Воды зоны сифонной циркуляции при наличии магистральных артерий разгружаются в подрусловые пустоты

продольного стока (рис. 1, *IVА*). Образованию этой зоны в некоторой степени способствуют и трещины отседания по берегам рек, установленные Е. В. Милановским и Н. И. Соколовым в 1934 г. (Соколов, 1957), названные впоследствии А. Г. Лыкошиным (1953) трещинами бортового отпора. При отсутствии долинного расчленения разгрузка карстовых вод происходит на окраине карстующегося массива. Если карстовая область находится на берегу моря, то воды сифонной циркуляции питают субмаринные источники (рис. 1, *IVБ*). Подобные условия имеются как в условиях карста горных складчатых областей (район Гагры на Черном море, средиземноморские карстовые области), так и для платформ (Флорида, Юкатан и другие).

Тип *V* – развиты все основные зоны. Здесь, кроме зон вертикальной нисходящей, горизонтальной и сифонной циркуляций, имеется зона глубинной циркуляции (рис. 1, *V*). Выше этот наиболее полный гидродинамический профиль карстовых областей был охарактеризован в табл. 2. Отдельные зоны более подробно рассмотрены также ранее.

Рассмотренными пятью типами, конечно, не исчерпывается все разнообразие гидродинамических профилей карстовых вод. Нами указаны только основные, которые установлены в результате изучения гидрогеологии карстовых областей. При этом в одной области может быть два и более типов профилей. Так, для Крыма, по данным А. А. Крубера (1913), на участках, где известняки подстилаются конгломератами, имеется только вертикальная зона нисходящих карстовых вод, а там, где внизу лежат водоупорные таврические сланцы, две – вертикальной и горизонтальной циркуляций. И. К. Зайцев (1940), ссылаясь на В. Ф. Пчелинцева, указывает наличие субмаринных карстовых источников вблизи Южного берега Крыма, западнее Байдарских ворот. Возможно, что в этом районе гидродинамический профиль осложнен зоной сифонной циркуляции.

В зависимости от геотектонических, геоморфологических условий и положения относительно морских берегов наблюдается различное размещение областей питания, направления перемещения и разгрузки карстовых вод. Намечается несколько типов гидрогеологических обстановок карстовых вод.

В горноскладчатых районах, где карбонатные породы расположены на периферии и образуют массивы значительной мощности, питание происходит через трещины, поноры, воронки, колодцы и шахты, расположенные на поверхности выравнивания. Перемещение карстовых вод по большей части одностороннее в направлении предгорий. Область разгрузки имеет в общем линейный характер (рис. 2, *I*). В приморских карстовых областях наблюдаются субмаринные источники. Подобные условия имеются на Кавказе, в Сочинско-Гагринском карстовом районе, в Динарской карстовой области по восточному берегу Адриатического моря и во многих других местах.

Карстовые воды покрова платформ на берегу морей также характеризуются односторонним стоком. Это открытые бассейны карстовых вод, называемые в Австралии полубассейнами. Одним из самых больших таких полубассейнов карстовых вод является Юкла на берегу Большого Австралийского залива, имеющий площадь около 170 тыс. км². Гидродинамические зоны его были рассмотрены нами ранее (рис. 1, *IIIБ*). Подобная обстановка имеет место по восточному берегу полуострова Флорида и в других карстовых областях.

Более обычен двусторонний сток с наличием водоразделов карстовых вод. Он наблюдается в обособленных карбонатных горных массивах, имеющих значительную протяженность. На платформах двусторонний поперечный сток характерен для структур покрова, сложенных карстующимися породами (рис. 2, *IIа*). Он установлен для карстового района Уфимского вала между реками Иренью, Сылвой и Иргинью. Ранее Д. В. Рыжиков (1948) для карстовой области Дунай-Аах в Швабской Юре показал это по данным Лемана.

В случае наличия узких полос карстующихся пород, находящихся между некарстующимися, также возможен двусторонний сток, но уже продольный (рис. 2, *IIб*). Этот случай для Северного Урала на междуречье Вагран-Калья Д. В. Рыжиков показал путем карты гидроизогипс на 20 марта 1940 г. Подобные явления весьма часты на восточном склоне Урала, где палеозойские крутоставленные известняки образуют узкие полосы среди некарстующихся пород.

При небольшой протяженности карстующихся массивов как в горных районах, так и в покрове платформ имеет место центробежный сток (рис. 2, *III*). Область разгрузки на периферии массива имеет в

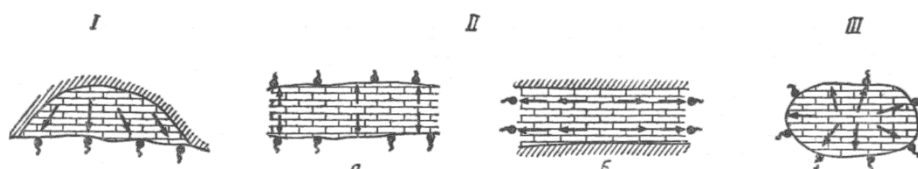


Рис. 2. Типы подземного стока карстовых областей:
I – односторонний; *II* – двусторонний; *a* – поперечный, *б* – продольный; *III* – центробежный.
 Условные обозначения пород те же, что на рис. 1

этом случае вид овала. Пример подобного явления приводит П. Иованович для небольшого известнякового массива в Восточной Сербии. Переливающиеся источники из закарстованных мульдообразно залегающих верхнетриасовых известняков в восточных Альпах, подстилаемые водонепроницаемыми отложениями, также относятся к центробежному типу стока (Кейльгак, 1935). Подобный сток наблюдается в крымской карстовой области для Чатырдага и в Италии – для упоминавшейся уже горы Фумайрю у истоков р. Тибр.

Конечно, кроме рассмотренных трех основных типов подземного стока возможны и другие. Разработка этого вопроса – задача ближайшего будущего.

Карстовые воды используются для водоснабжения и орошения, а также с энергетическими целями. Не

только мельницы, но и электростанции, иногда помещаемые в карстовом массиве, работают на малых и исполиновых карстовых источниках.

ЛИТЕРАТУРА

- Апродов В. А. О некоторых вопросах теории карста. Известия АН СССР, серия геогр. и геофиз., 1948, № 3.
- Бернар О. Северная и Западная Африка. Перевод с французск. М., Изд-во ин. лит-ры, 1949.
- Варсанюфьева В. Карстовые явления в северной части Уфимского плоскогорья. Землеведение, 1915, кн. 4.
- Варсанюфьева В. А. В южной части Уфимского плоскогорья. Землеведение, 1916, кн. 3–4.
- Васильев А. А. и Шейн П. С. Карстовые явления в Кизеловском районе, Угленосные отложения западного склона Урала. М.– Л., 1932.
- Влодавец В. И. О паро-гидросольфатермальных месторождениях в вулканических областях Италии. Известия АН СССР, серия геол., 1955, № 5.
- Гвоздецкий Н. А. Карст. Вопросы общего и регионального карстования. Изд. 2-е, переработ. М., Географгиз, 1954.
- Добрынин Б. Ф. Физическая география Западной Европы. М., Учпедгиз, 1948. Зайцев И. К. Вопросы изучения карста СССР. М.– Л., Госгеолгиздат, 1940.
- Кейльгак К. Подземные воды. Перевод со 2-го переработ. и доп. издания. Л.– М., Глав. ред. геол.-разв. и геодез. лит-ры, 1935.
- Краснопевцев Н. Д. К вопросу гидрогеологии карста юго-западной части Донецкого бассейна. Материалы ЦНИГРИ, сб. 3, Гидрогеология, 1934.
- Кригер Н. И. Карстовые явления в Чехословакии. Известия Всесоюз. геогр. об-ва, 1953, т. 85, вып. 2.
- Крубер А. А. Гидрография карста. Сборник в честь 70-летия Дмитрия Николаевича Анучина. М., 1913.
- Левен Я. А. Пещеры верховья реки Магиан. Известия Всесоюз. геогр. об-ва, 1940, т. 72, вып. 2.
- Линдгрэн В. Минеральные месторождения, вып. II. Перевод с англ. 1924. М.– Грозный– Л.– Новосибирск, Гос. научно-техн. горно-геол.-нефт. изд-во, 1934.
- Лыкошин А. Г. Трещины бортового отпора. Бюллетень Моск. об-ва испытателей природы, отд. геологии, 1953, т. 28, вып. 4.
- Люжон М. Плотины и геология. Перевод с французск. М.– Л., ОНТИ, 1936.
- Макаренко Ф. А. Некоторые результаты изучения подземного стока. Труды Лаборатории гидрогеол. проблем им. Ф. П. Саваренского АН СССР, 1948, т. 1.
- Макеев З. А. О глубинном распределении и передвижении подземных вод. Труды Лаборатории гидрогеол. проблем, 1948, т. 3.
- Маков К. И. Подземные воды Башкирской АССР, ч. 1. М.– Киев. Изд-во АН УССР, 1946.
- Максимович Г. А. О скорости миграции воды на Земле. Доклады АН СССР, 1954, т. 96, № 4.
- Максимович Г. А. Химическая география вод суши. М., Географгиз, 1955.
- Николаев Н. И. Проблемы изучения карста. Известия СССР, серия геогр., 1955, № 4.
- Ог, Э. Геология, т. 1. Перевод с французск. Изд. 5-е с доп. М.– Л.– Новосибирск, Гос. научно-техн. горно-геол.-нефт. изд-во, 1933.
- Пармузин Ю. П. Вопросы карстования Сибири. Известия Всесоюз. геогр. об-ва, 1954, т. 86, вып. 1.
- Потемкин М. П. Австралия. Физико-геогр. обзор. М., Учпедгиз, 1950.
- Принц Е. и Кампе Р. Гидрогеология, т. 2. Источники (пресные и минеральные источники). М., Сельхозгиз, 1937.
- Рыжиков Д. В. О гидрогеологическом характере карстовых процессов. Зап. Урал., геол. об-во, 1948, вып. 2.
- Саваренский Ф. П. Гидрогеология. Изд. 2-е, испр. М.– Л., ОНТИ, 1935.
- Соколов Д. С. Условия фильтрации через закарстованные известняки Белорецкого водохранилища. Карстование, 1948, вып. 4.
- Соколов Д. С. Основные условия развития карста. Бюллетень Моск. об-ва испытателей природы, 1951, т. 26, вып. 2.
- Соколов Н. И. Явление «отседания» склонов. Труды Лаборатории гидрогеологических проблем им. акад. Ф. П. Саваренского АН СССР, 1957, т. 14.
- Якушева А. Ф. Карст палеозойских карбонатных пород на Русской платформе. Ученые записки МГУ, 1949, вып. 136, Геология, т. 3.

6. Таким образом, в условиях закарстованных водосборов применение существующих формул без учета потерь на фильтрацию в карсте дает завышенные результаты, что ведет к удорожанию стоимости гидротехнических сооружений.

Г. А. Максимович

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ЗОНЫ КАРСТОВЫХ ВОД И ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ПОДЗЕМНОГО СТОКА

Одним из условий образования карста является наличие движущейся и растворяющей воды. В начале текущего столетия возникла дискуссия о характере подземных вод карстовых областей, их распространении, движении, зональности. В отечественной литературе этот вопрос разрабатывался А. А. Крубером (1913), В. А. Варсанюфьевой (1915), Ф. П. Саваренским (1935) и другими.

В последнее время предложено несколько схем гидродинамических зон карстовых вод для случая наличия магистральной речной артерии: И. К. Зайцевым (1940), В. А. Апродовым (1948), Д. В. Рыжиковым (1948), Д. С. Соколовым (1951), Н. А. Гвоздецким (1954), Г. А. Максимовичем (1954). Ф. А. Макаренко (1948) рассмотрел зоны циркуляции приморского месторождения сероводородных вод. З. А. Макеев (1948) дал общую схему стока карстовых вод. А. Г. Лыкошин на Совещании по проблемам карста, организованном Географической секцией Московского общества испытателей природы в марте 1955 г., выделил три типа карста: 1) связанный с дренирующим влиянием близких эрозионных врезов; 2) связанный с влиянием удаленных эрозионных врезов; 3) связанный с влиянием зон тектонических нарушений. В последней зоне в зависимости от условий может быть нисходящее или восходящее движение подземных вод. К сожалению, эта интересная идея подробно не освещена и данные о ней исчерпываются сказанным (Николаев, 1955).

В карстовых районах может быть несколько гидродинамических зон.

Зона поверхностной циркуляции. Вода здесь стекает по поверхности карстового массива, образуя в условиях средиземноморского типа карста карры, ложбины, а для всех других типов конусообразные расширения понор и карстовых воронок, коррозионно-эрозионные воронки. Эти же воды расширяют устья карстовых шахт, превращая их в «пропасти». В карстовых воронках, где поноры заилены, стекающие по поверхности воды образуют постоянные или временные озера, питающиеся атмосферными и талыми снеговыми водами.

Зона вертикальной (нисходящей) циркуляции. Это зона периодической циркуляции И. К. Зайцева (1940) или зона аэрации Д. С. Соколова (1951). Здесь периодически после выпадения осадков или таяния снега происходит движение воды вниз по вертикальным трещинам и пустотам. Мощность зоны определяется толщиной карстующихся пород, рельефом и климатом. На слабо расчлененных возвышенных участках с равнинным рельефом она составляет от 30 до 100 м и более, а в горных районах, в зависимости от мощности карстующейся толщи, обычно сотни метров и иногда достигает 1—2 км.

В пределах зоны вертикальной циркуляции возможны подвешенные карстовые воды на участках развития местных водоупоров в виде менее

карстующихся или некарстующихся пород. Часто это прослой кремнистых известняков. Этим обусловлено наличие источников, вытекающих на склонах значительно выше уровня воды транзитных рек или дна карстовых котловин и полей. Они наблюдаются в Абхазии, на Балканах, в Киренаике и во многих других карстовых областях. Вместо эффектных водопадов Кавказа, Динариды и Триполитании, когда воды подвешенного горизонта низвергаются в долины из канала, находящегося на высоте десятков метров, при менее расчлененном рельефе имеет место более скромное проявление. Так, например, в долине р. Ирени, левого притока р. Сылвы, в бассейне р. Камы, в среднем течении наблюдается подрусовая циркуляция в демидковской (3-й) гипсово-ангидритовой пачке кунгурского яруса. Однако местами по правому берегу Сылвы (район с. Павлово и выше по течению) р. Тураевка и другие реки текут еще над вышележащей десятиметровой туюской пачкой известняков. Эти исчезающие несколько раз карстовые реки текут по поверхности на тех участках, где местный водоупор еще не полностью нарушен коррозией. В горных странах при отмирании подвешенного горизонта наблюдаются весьма малодобитные источники. Нам приходилось наблюдать их в районе Гагры при подъеме на Мамздышку.

Зона переходная — с чередованием вертикальной и горизонтальной циркуляции за счет сезонных колебаний уровня карстовых вод. При подъеме уровня здесь, как и в нижележащей зоне, с которой она сливается, наблюдается горизонтальное движение в направлении дрены. При спаде она включается в вышележащую зону вертикальной циркуляции.

Амплитуда колебаний уровня карстовых вод или мощность переходной зоны в разных карстовых областях различна. По данным А. А. Крубера (1913) для источника Бюк-Карасу в Крыму она составляет 12 — 15 м, источника Воклюз — 24 м, колодцев Шампани (карст мела) — 19 м, некоторых других карстовых районов Франции — 30—60 м, а в Требичском гроте — 80—100 и даже до 109 м. Величина амплитуды зависит от климатических условий, от количества выпадающих осадков, рельефа и степени закарстованности. Мощность переходной зоны уменьшается по мере увеличения закарстованности и роста объема подземных карстовых пустот. Нижняя граница переходной зоны изменяется по многолетним (брюкнеровским и другим) периодам.

Ниже переходной зоны находится ряд зон, характеризующихся в основном полным насыщением трещин и пустот карстовыми водами.

Зона горизонтальной циркуляции отличается свободным стоком безнапорных вод к магистральным речным артериям или окраине карстующегося массива.

Зона сифонной циркуляции, имеющая каналы в виде перевернутого сифона, уже характеризуется напорными водами. Движение происходит по каналам от водораздельных пространств к магистральным рекам в их подрусовые каналы, находящиеся на глубине 15—40 м ниже дна речной долины. В условиях русского и средневропейского типов карста воды несут из понор, карстовых воронок и каналов обломочный материал, который заполняет подрусовые пустоты, а из трещин путем растворения породы в стенках их образуются новые карстовые пустоты. В горных районах с отсутствием магистральных речных долин воды каналов зоны сифонной циркуляции разгружаются на окраине карстующегося массива в виде наземных, а на морских берегах — частично в виде подземных источников.

При наличии магистральных речных артерий зоны вертикальной циркуляции (переходная), горизонтальной и сифонной составляют попе-

речной сток З. А. Макеева (1948). В продольном профиле магистральной речной артерии подрусловые пустоты образуют *зону подрусловой циркуляции*. Она составляет одну из важных особенностей циркуляции подземных вод в карстовых районах.

Когда карстующаяся толща имеет значительную мощность и распространена значительно ниже дренирующей район транзитной магистральной речной артерии, при несколько замедленной глубинной эрозии и преобладании боковой по обоим берегам таких рек будут наблюдаться только долины временных потоков (овраги, балки, лога). Дно долин этих временных потоков обычно усеяно карстовыми воронками с открытыми и несколько заиленными понорами, в которые стекают или фильтруются талые и дождевые воды. Временные потоки только в весеннее время и при сильных ливнях достигают речной долины. Вода, которая стекла в поноры или профильтровалась в них, по большей части не дает источников на берегу реки. Таким характером отличается долина р. Сылвы на территории бывшего заповедника Предуралья, ниже дер. Частые. Источники в большинстве случаев появляются только тогда, когда местность испытывает поднятие и глубинная эрозия вскрывает расширенные карстовыми водами трещины и карстовые пустоты, или за счет наличия рассмотренных ранее местных водоупоров.

Первоначально предполагалось, что карстовые воды, стекающие по долинам временных потоков, фильтруются в аллювий поймы и русла и потому не обнаруживаются на поверхности в виде источников. Затем необходимо было объяснить наличие карстовых воронок на поймах рек. Они наблюдаются в области гипсового карста вблизи устья Чусовой, на пойме Чусовой и Камы, на Сылве в Кишертском районе, на Уфе у с. Охлебинино и во многих других районах. Подсчет показывал, что карстование происходило под толщей пойменного аллювия в карстующейся толще, ниже руслового аллювия.

В результате разбуривания речных долин при проектировании плотин и железнодорожных мостов, а также для водоснабжения, было установлено, что многие реки в области гипсового и известнякового карста обладают подрусловыми пустотами, часто с карстовым потоком (табл. 1).

Кроме конкретных данных, приведенных в табл., в литературе имеются и более общие сведения. Так, например, Ю. П. Пармузин (1954) для Сибири указывает, что в русле и на островах р. Ангары в кембрийских доломитах имеются провалы, заполненные аллювием и обломочным материалом. Подрусловой карст известен и в кембрийских известняках Алдана.

Э. Ог (1933) упоминает, что русло подземных рек может опускаться ниже уровня речной эрозии. Р. Жоли еще в 1936 г., приводя данные о наличии пустот на 59 м ниже р. Неске, на 18 м под р. Иби и на 36 м под р. Ироль (Ардеш), указывал, что не может объяснить это явление. Вначале, когда обнаружили эти подрусловые пустоты, которые либо были заполнены аллювием, либо содержали только карстовые воды, предполагали, что это явление древнего карста. Постепенно было установлено, что наряду с древним карстом в ряде случаев имеет место подрусловой поток современного карста. Иногда древние карстовые пустоты используются современным карстом.

Подрусловые карстовые пустоты не только растут и расширяются, но и заполняются обломочным материалом и цементируются. Из карстовых воронок на водоразделе, речных террасах и в русле, через поноры и далее через горизонтальные каналы в подрусловой поток поступают глинистые, алевроитовые и песчаные частицы, а также гравий и галечник. На Чусовой в подрусловых пустотах была обнаружена галька

Таблица 1

Подрусловые (и поддолинные) пустоты некоторых рек в карстовых районах

Река, возраст пород	Глубина пустот, м	Вертикальные размеры пустот, м	Заполненные или незаполненные пустоты	Наличие подруслового потока	Источник
Известняковый карст					
Уфа (г. Белорецк), силурийские отложения	20—50 ниже поверхности террас или 0—40 ниже аллювия	1—2 и более	Частично заполненные глиной, щебнем, песком и галькой	Имеется	Соколов, 1948
Уфа (с. Павлово), артинские отложения	44—46 ниже уреза реки	До 2	Заполненные частично песком и галечником	Нет данных	Маков, 1946
То же	27—32	0,3	Незаполненные (провал инструмента)	То же	То же
» »	—	1	Заполненные суглинком	» »	» »
Клязьма (ниже г. Коврова), верхнекаменноугольные отложения	Ниже аллювия в 26 случаях — 7—20, в 10 — 20—30, в 4—30—38	Нет данных	Незаполненные и заполненные	» »	Якушова, 1949
Ай у Златоуста	9,1—9,25 13,7—13,8 25,8—25,9	0,1—0,15	Незаполненные	Имеется	Булатов,
Малый Кизил, С ₁	До 70	Нет данных	То же	То же	Маков, 1946
Губашка	20	То же	» »	» »	Васильев и Шейн, 1932
Кипучая Криница	Более 50	» »	» »	» »	Краснопевцев, 1934
Кастильон де ля Плана (Испания), мел	Неизвестны	» »	» »	» »	Люжон, 1936
Монте-Хаке (Испания, Андалузия), юра	То же	» »	» »	» »	То же
Камараза (Испания), средняя юра	» »	» »	» »	» »	» »
Эро (Франция), юра	» »	» »	» »	» »	» »
Домодоссола (Италия)	» »	» »	» »	» »	» »

Таблица 1 (продолжение)

Река, возраст пород	Глубина пустот, м	Вертикальные размеры пустот, м	Заполненные или незаполненные пустоты	Наличие подруслового потока	Источник
Гипсовый карст кунгурских отложений					
Уфа, район г. Уфы	Ниже уреза реки 41—42	1,73	Незаполненные	Нет данных	Маков, 1946
То же	45—50	3,86	То же	То же	То же
» »	42—43	0,4	» »	» »	» »
с. Богородское	Ниже базиса эрозии в данном сечении	Нет данных	Незаполненные	Имеется	Макеев, 1948
Белая, с Охлебинино	Свыше 30	То же	То же	Пустоты водоносные	Маков, 1946
Чусовая, район устья	Ниже уреза реки 18—32	7,65, площадь 50 м ²	» »	Имеется	Максимович
То же	То же	5, площадь 65 м ²	Заполненные	Нет	Максимович
» »	23—38	Площадь 84 м ²	Незаполненные	Имеется	То же
» »	То же	Площадь 100 м ²	Заполненные	Нет	» »
Сылва	Ниже уреза реки 3—14 Кровля гипса	0,7	Незаполненные	Напорная вода	» »
» »	16—16,6 и 20,5—21,5	0,6 и 1	Заполненные	Нет	» »
» »	23,2—24,4	1,4—1,9	Незаполненные	Поглощение воды	» »
» »	19,3—25,4	5,7	Заполненные	Водонасыщенный песок	» »

уральской породы, песок и гравий, которые попали указанным выше путем с водораздела. Этот кластический материал постепенно заполняет действующие карстовые пустоты. Количество воды, поступающее в них, постепенно уменьшается и прекращается рост пустот. Образуются заполненные карстовые пустоты. В гипсовом карсте за счет пересыщения раствора начинает образовываться кристаллический гипс, который цементирует глинистый материал. В некоторых пустотах образуется селенит. Заполненные подрусловые карстовые пустоты встречены на Сылве, Чусовой и других реках.

По мере заполнения подрусловых карстовых пустот в зависимости от местных геологических и других условий, подрусловой поток либо исчезает, либо перемещается на другой участок поперечного профиля в новые пустоты, образовавшиеся за счет выщелачивания. Так как подземный поток перемещается в горизонтальном направлении более медленно, чем меандрирующая река, то он может быть не только под стержнем реки, но и под поймой и террасами. При сооружении плотин значительная часть аварий произошла именно потому, что воды водохранилища, устремившись в заполненные подрусловые карстовые пустоты, вымывали обломочный материал. При этом водохранилище либо оставалось сухим, либо даже происходило разрушение плотины (Якушова, 1949).

Подрусловой поток имеет место не по всему протяжению рек. В местах, где за счет фациальных изменений, особенностей строения или наличия разрывных нарушений карстующиеся породы под руслом замещаются некарстующимися, подрусловой поток выходит в реку или вблизи ее русла в виде восходящего источника. Этим обусловлены карстовые источники на реках Столбовке, Моховатке (левые притоки Усьвы в Кизеловском бассейне), Кипучей Кринице в Донбассе. Выход в руслах при большом расходе реки и малом в подрусловом потоке может остаться и незаметным. Над местом выхода более теплых подрусловых вод зимой иногда не образуется лед.

Зона глубинной циркуляции ниже речных долин и подрусловых пустот характеризуется движением карстовых вод по структурам в направлении базисов разгрузки континентов, морей и океанов. Движение это обычно происходит весьма медленно и зависит от разности гидростатических уровней подземных вод в области питания и области разгрузки, проницаемости и других факторов. Как минимум скорость его 1,5—2 км в миллионлетие (Максимович, 1954, 1955).

Гидродинамические зоны для карстовых областей с наличием магистральных транзитных рек приведены в табл. 2.

Зона глубинных восходящих термальных, минеральных вод. Имеется еще одна разность подземных вод, которая в карстоведении недостаточно учитывалась. В области горных складчатых сооружений и современного или недавнего вулканизма карстовые явления обусловлены также выщелачивающим действием восходящих глубинных вод — термальных, углекислых и других, поступающих главным образом по разломам. В качестве примера можно привести образование пустоты, вскрытой в известном провале у Пятигорска. Находящееся на дне провала озеро и сейчас имеет связь с минеральными водами. Бахарденская пещера в районе Копетдага с подземным озером Коу образована действием восходящих сернистых вод по разлому (Гвоздецкий, 1954). В результате действия гидротермальных растворов в зоне тектонического разлома образовались пещеры в верхнесилурийских известняках в верховьях р. Магиан, левого притока Зеравшана (Гвоздецкий, 1954; Левен, 1940).

Зброшовская «арагонитовая» пещера в Чехословакии в районе Гранничского карста на берегу р. Бечвы образована как холодными карстовыми, так и теплыми углекислыми минеральными водами. Кроме главных ходов пещеры, которые близки к горизонтальным, от них отделяются вверх трубообразные ходы типа слепых понор или органных труб. Снизу, достигая уровня р. Бечвы, идут косые мешковидные каналы. Трещины, наблюдающиеся в карстующемся массиве и уходящие далеко вглубь, местами пересекают ходы пещеры. По ним поднимаются теплые пары и углекислые минеральные воды, которые расширили эти трещи-

Таблица 2

Гидродинамические зоны карста при наличии магистральных транзитных рек

Характер подземного стока	Зона	Напор	Водный режим
Поперечный сток от водоразделов к магистральным речным артериям	Поверхностной циркуляции	Отсутствие	Сток в карстовые понижения и речные долины после выпадения осадков и снеготаяния
То же	Вертикальной (нисходящей) циркуляции	То же	Нисходящее вертикальное движение. Периодическое свободное движение
» »	Подзона висячих водотоков на местных водупорах или менее карстующихся породах	» »	Горизонтальное движение. Циркуляция после дождей и таяния снегов. Реже постоянная
» »	Переходная	» »	Периодическая смена вертикального движения при низком уровне карстовых вод, на горизонтальное — при высоком
» »	Горизонтальной циркуляции	» »	Постоянное горизонтально-нисходящее движение
» »	Сифонной циркуляции	Имеется	Постоянное движение по обособленным каналам. На водоразделе — нисходящее, а в зоне дрены — восходящее
Продольный сток в подруслевых пустотах под магистральными артериями	Подруслевой циркуляции	То же	Постоянное движение от более высоких точек к более низким по слабо наклонным пустотам
Глубинный сток ниже речных долин и подруслевых пустот	Глубинной циркуляции	» »	Постоянное весьма медленное движение карстовых вод по структурам в направлении базисов разгрузки континентов, морей и океанов

ны. В мешковидных ходах и глубоких коридорах образуются восемь газированных подземных озер, глубиной до 15 м. Уровень воды в них изменяется в зависимости от барометрического давления, а температура воды на дне достигает 20—24° при температуре воздуха 13°. Благодаря выделению из воды углекислоты содержание CO₂ в воздухе 36%.

В местах, где прекратилось поступление глубинных вод, наблюдаются арагонитовые сталагмитообразные «гейзерные капельники». В отличие от обычных сталагмитов воды здесь поступают не сверху, а книзу. Таким образом, это скорее своеобразные перевернутые сталактиты, представляющие конусы высотой 0,1—2 м, имеющие внутри каналы и кратеры диаметром до 16 см. Иногда по бокам развиваются меньшего размера «паразитические» конусы, которые могут быть и на дне кратерных пустот, и тогда образуется гейзерный сталагмит новой генерации. В одном случае, в так называемой Пещере смерти, которая заполнена углекислым газом, на дне углекислого озера находятся гей-

зерные капельники. Изучение родниковых валов или кратеров на месте источников, уже прекративших существование, показало, что из воды, происходит выпадение минералов со следующей последовательностью: лимонит, вад, арагонит и силико-карбонат (Кригер, 1953).

Глубинные, термальные и другие воды играют сравнительно небольшую роль в современном карстообразовании, но за длительную геологическую историю нашей планеты их приходится учитывать. Глубинные растворы обуславливают скопление в карстовых пустотах различных полезных ископаемых.

В последнее время выяснилась роль верхнетриасовых кавернозных известняков и трещиноватых ангидритов, как коллектора Тосканских бороносных паро-гидросольфатермальных месторождений в Италии. Выделяющиеся здесь, на глубине 200—300 м, пар и паро-жидкие струи с максимальной температурой до 240° и давлением до 6 атм. двигаются со скоростью от 175 до 470 м/сек. Горячий пар находится в смеси с углекислым газом и сероводородом. Горячая вода, находящаяся в перегретом состоянии, называется паро-жидкой (Влодавец, 1955). Она не только находится в трещинно-карстовых коллекторах, но и, вероятно, расширяет их за счет выщелачивания.

Своеобразна и мало изучена циркуляция вод в рудном карсте. Сульфидные залежи, попавшие в обстановку выветривания, окисляются. Просачивающиеся с поверхности дождевые и талые воды, обогащенные серной кислотой, интенсивно закарстовывают известняки, которые вмещают руду. Образуется рудный карст, который иногда характеризуется весьма большими масштабами. Так, по В. М. Крейтеру, в районе Каратау, Таласского Алатау и Карамазара наблюдаются пещеры, имеющие объем, достигающий десятков тысяч кубических метров. Рудный карст известен и в США, в штатах Миссури, Канзас, Оклахома, в районе месторождения свинца и цинка Джоплин (Линдгрэн, 1934). Часто мы имеем дело со следами древнего третичного и даже палеозойского рудного карста, и речь может идти о зонах циркуляции далекого прошлого.

В зависимости от мощностей и площади карстующегося массива, однородности карстующихся пород, наличия или отсутствия некарстующихся пластов, движений земной коры, расчлененности или нерасчлененности массива транзитными магистральными реками, элементов залегания карстующихся пород, геоморфологических, климатических и ряда других факторов, — во всех этих условиях наблюдается различное количество гидродинамических зон карстовых вод, изменяется их характер и распределение. Из перечисленных факторов наиболее важное значение имеют мощность, пространственное распространение карстующейся толщи, геотектонические и геоморфологические условия, степень расчлененности рельефа, наличие или отсутствие речных долин, эпейрогенические движения и их направления, положение карстовой области относительно морского берега, климатические условия — современные и недавнего прошлого и некоторые другие.

Многообразие обстановок в земной коре и соотношений перечисленных ранее факторов обуславливает не только разное количество зон циркуляции, но и различные их комбинации. Приведем некоторые основные типы гидродинамических профилей карстовых областей. Зона поверхностной циркуляции, а также переходная зона, находящаяся над зоной горизонтальной циркуляции, особенно не рассматриваются, но подразумеваются.

Тип I — *имеется только одна зона вертикальной (нисходящей) циркуляции карстовых вод.* Этот тип наблюдается в карстующихся

массивах, подстилаемых водопроницаемыми некарстующимися породами, подошва которых находится выше уровня подземных вод района. А. А. Крубер (1913, стр. 55) указывает, что для средиземноморского типа карста крымских яйл там, где известняки подстилаются конгломератами и песчаниками, лежащими на водоупорных сланцах, имеется только одна зона вертикальной циркуляции карстовых вод (рис. 1, *IA*). Из базальных песчаников вытекает источник Аян — исток р. Салгира, р. Альма, а из базальных конгломератов берет начало р. Тунас.

Второй вариант этого типа гидродинамического разреза имеет место для русского типа карста, когда карстующиеся почти горизонтальные породы залегают среди водопроницаемых толщ. Вода, просачивающаяся через верхнюю толщу песчаников или конгломератов, попадает в карстующиеся породы и, растворяя их, по трещинам проникает далее вглубь, в подстилающие некарстующиеся водопроницаемые породы. Чаще всего этот вариант имеет место для карста в гипсе. Возможен он и при наличии маломощной толщи растворимых карбонатных пород, но менее вероятен (рис. 1, *IB*).

Пример подобных условий наблюдается в Предуральском прогибе в Пермской области, где в Соликамской депрессии пласт трещиноватого гипса мощностью 20 м залегают в кунгурских песчаниках. Растворение гипса обуславливает развитие провалных явлений.

Тип II — *наблюдается только одна зона горизонтальной циркуляции карстовых вод*. При небольшой мощности карстующейся толщи, заключенной в водонепроницаемых некарстующихся отложениях, возможна только горизонтальная циркуляция карстовых вод (рис. 1, *IIБ*). Примеры такого примитивного гидродинамического профиля, который свойственен только русскому типу карста, известны также в Предуральском прогибе. Еще В. А. Варсанюфьева (1916) приводила их для западного крыла его в области развития кунгурских гипсов, заключенных в водонепроницаемой толще. Попавшая в месте выходов гипса вода перемещается по трещинам, выщелачивает сульфатную толщу и стекает в направлении наклона пластов. В результате образования больших пустот своды над ними обрушиваются, и карст гипса получает питание поверхностными водами через провалы. Однако и в этом случае циркуляция в карстующейся толще сохраняет горизонтальное направление.

Возможен и другой вариант этого типа гидродинамического профиля, когда покрывающая некарстующаяся толща водопроницаема (рис. 1, *IIА*). Подобный случай имеет место в истоках р. Тибра, в районе г. Фумайоло в Эмилианских Апеннинах в Италии (Принц и Кампе, 1937).

Тип III — *имеются зоны вертикальной (нисходящей) и горизонтальной циркуляций*. Этот тип широко развит в известняках и доломитах, гипсах и ангидритах, а также в толщах мела. Он имеет место при сравнительно малой мощности карстующейся толщи, которая подстилается водонепроницаемыми некарстующимися породами. Последние служат препятствием для развития зоны сифонной циркуляции (рис. 1, *IIIА*). Этот тип гидродинамического разреза развит в весьма разнообразных геоморфологических и геотектонических обстановках. Примером горных районов могут служить Крым и Средний Атлас в Марокко.

В Крыму, где карстующиеся юрские известняки подстилаются водоупорными сланцами, в нижней части карбонатной толщи развивается зона горизонтальной циркуляции (Крубер, 1913). Средний Атлас представляет карстовое плато, сложенное нижнеюрскими известняками, высота которых составляет более 1200 м. Поглощенные трещинами, понорами, карстовыми воронками и шахтами, атмосферные осадки вначале

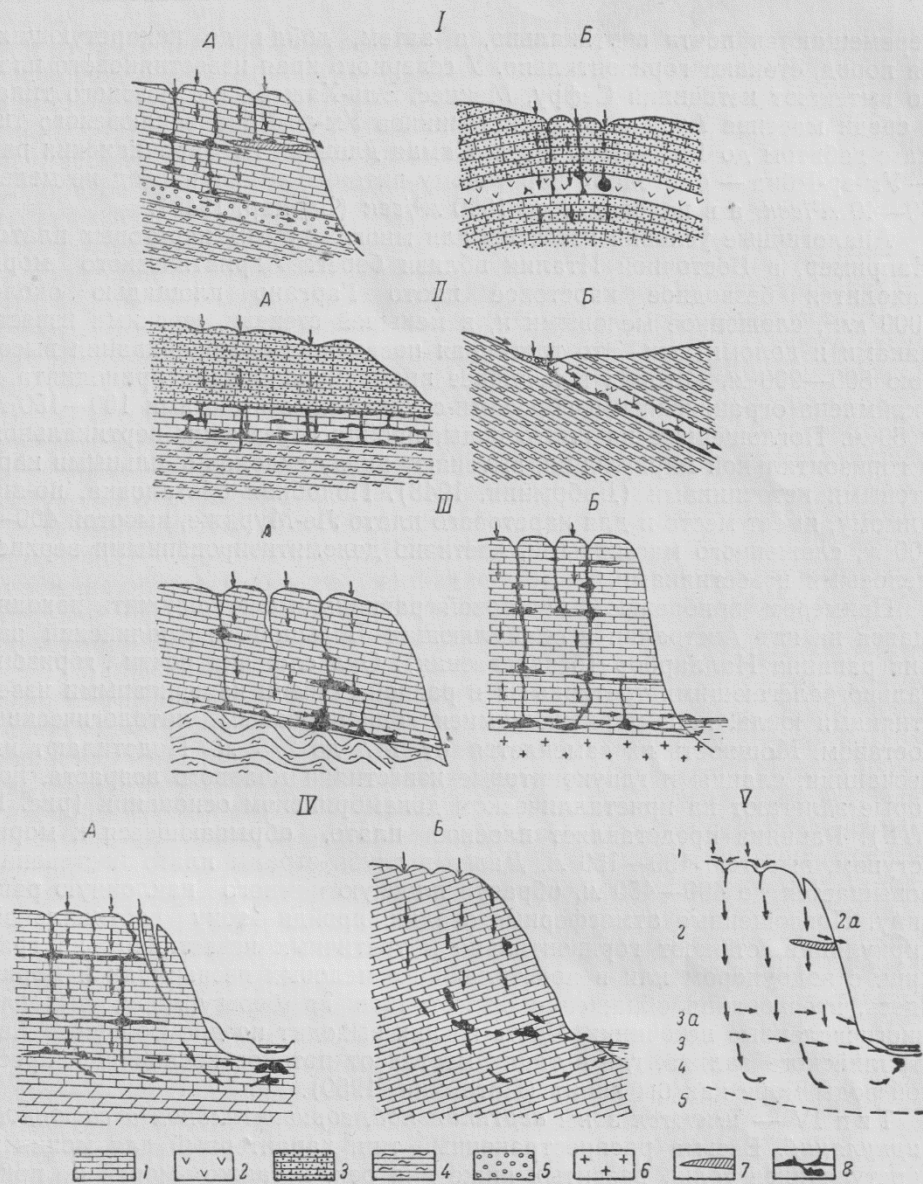


Рис. 1. Типы гидродинамических профилей карстовых областей

I — зона вертикальной (нисходящей) циркуляции: А — подстилающие породы водоупорные; Б — карстующиеся гипсы находятся в свите водопроницаемых пород; II — зона горизонтальной циркуляции: А — карстуются карбонатные породы; Б — карстуются гипсы и ангидриты; III — зоны вертикальной (нисходящей) и горизонтальной циркуляций: А — разгрузка на суше; Б — разгрузка на берегу и на дне моря; IV — зоны вертикальной (нисходящей), горизонтальной и сифонной циркуляций: А — в речной долине карстовые воды разгружаются в подрусловые пустоты; Б — на берегу моря карстовые воды разгружаются в виде субмаринных и субаэральных источников; V — полный гидродинамический профиль с зонами циркуляции: 1 — поверхностной; 2 — вертикальной (нисходящей); 2а — подвешенные воды на местном водоупоре; 3а — переходной; 3 — горизонтальной; 4 — сифонной; 5 — глубинной

1 — карбонатные породы 2 — сульфатные породы (гипс и ангидрит); 3 — песчаники; 4 — глины; 5 — галечники и конгломераты; 6 — изверженные породы; 7 — местный водоупор; 8 — карстовые пустоты

перемещаются почти вертикально, а затем, дойдя до некарстующихся пород, стекают горизонтально. У северного края известнякового плато вытекают источники Сефру, Мекнес, Эль-Хажеба воклюзского типа, а среди массива Азру — сорок источников Ум-эр-Рбиа воклюзского типа с дебитом до 1000—1500 л/сек. Самая длинная из марокканских рек — Ум-эр-Рбиа — благодаря карстовому питанию имеет расход не менее 30—40 м³/сек, а в половодье до 1000 м³/сек (Бернар, 1949).

Аналогичные условия известны для многих других карстовых плато. Например, в Восточной Италии вблизи берега Адриатического моря находится безводное карстовое плато Гаргано площадью около 1000 км², сложенное меловыми и, в меньшей степени, юрскими известняками и доломитами. Это третичная поверхность выравнивания высотой 800—900 м, которая в недавнее время куполовидно приподнята и окаймлена ограниченными сбросами-ступенями, с высотами 100—150 м и 50 м. Поглощенные на плато воды, пройдя через зоны вертикальной и горизонтальной циркуляции, вытекают внизу склонов обильными карстовыми источниками (Добрынин, 1948). Подобная обстановка, по-видимому, имеет место и для карстового плато Ле-Мурдже, высотой 400—500 м, сложенного массивными, частично доломитизированными верхнемеловыми известняками.

Примером прибрежной карстовой равнины может служить находящаяся на юге Австралии и окаймляющая Большой Австралийский залив равнина Налларбор (бездревесная). Она сложена почти горизонтально залегающими третичными в разной степени кавернозными известняками юкла, характеризующимися однообразным литологическим составом. Мощность их изменяется от 147 до 275 м. Подстилают их песчаники, сланцы и глауконитовые известняки мелового возраста, которые залегают на кристаллическом докембрийском основании (рис. 1, IIIБ). Равнина представляет плоское плато, обрывающееся к морю уступом, высотой 100—150 м. Далее в глубь страны плато постепенно повышается до 400—450 м, образуя плоскую немного наклонную равнину. Поглощенные атмосферные осадки, пройдя зону вертикальной циркуляции, стекают горизонтально в третичных известняках на границе с водоупором или в подстилающих меловых песчаниках к морю. Здесь, в основании обнажения известняков по берегу моря, выходят многочисленные источники. Часть из них выходит на дне Большого Австралийского залива, где в таких местах от потоков восходящей пресной воды море как бы кипит (Потемкин, 1950).

Тип IV — *имеются зоны вертикальной, горизонтальной и сифонной циркуляций*. Весьма распространенный тип, характерный для мощных карстующихся толщ, развитых ниже дна рек, а также морей в прибрежной части. Воды зоны сифонной циркуляции при наличии магистральных артерий разгружаются в подрусовые пустоты продольного стока (рис. 1, IVA). Образованию этой зоны в некоторой степени способствуют и трещины отседания по берегам рек, установленные Е. В. Милановским и Н. И. Соколовым в 1934 г. (Соколов, 1957), названные впоследствии А. Г. Лыкошиным (1953) трещинами бортового отпора. При отсутствии долинного расчленения разгрузка карстовых вод происходит на окраине карстующегося массива. Если карстовая область находится на берегу моря, то воды сифонной циркуляции питают субмаринные источники (рис. 1, IVБ). Подобные условия имеются как в условиях карста горных складчатых областей (район Гагры на Черном море, средиземноморские карстовые области), так и для платформ (Флорида, Юкатан и другие).

Тип V — *развиты все основные зоны*. Здесь, кроме зон вертикаль-

ной нисходящей, горизонтальной и сифонной циркуляций, имеется зона глубинной циркуляции (рис. 1, V). Выше этот наиболее полный гидродинамический профиль карстовых областей был охарактеризован в табл. 2. Отдельные зоны более подробно рассмотрены также ранее.

Рассмотренными пятью типами, конечно, не исчерпывается все разнообразие гидродинамических профилей карстовых вод. Нами указаны только основные, которые установлены в результате изучения гидрогеологии карстовых областей. При этом в одной области может быть два и более типов профилей. Так, для Крыма, по данным А. А. Крубера (1913), на участках, где известняки подстилаются конгломератами, имеется только вертикальная зона нисходящих карстовых вод, а там, где внизу лежат водоупорные таврические сланцы, две — вертикальной и горизонтальной циркуляций. И. К. Зайцев (1940), ссылаясь на В. Ф. Пчелинцева, указывает наличие субмаринных карстовых источников вблизи Южного берега Крыма, западнее Байдарских ворот. Возможно, что в этом районе гидродинамический профиль осложнен зоной сифонной циркуляции.

В зависимости от геотектонических, геоморфологических условий и положения относительно морских берегов наблюдается различное размещение областей питания, направления перемещения и разгрузки карстовых вод. Намечается несколько типов гидрогеологических обстановок карстовых вод.

В горноскладчатых районах, где карбонатные породы расположены на периферии и образуют массивы значительной мощности, питание происходит через трещины, поноры, воронки, колодцы и шахты, расположенные на поверхности выравнивания. Перемещение карстовых вод по большей части одностороннее в направлении предгорий. Область разгрузки имеет в общем линейный характер (рис. 2, I). В приморских карстовых областях наблюдаются субмаринные источники. Подобные условия имеются на Кавказе, в Сочинско-Гагринском карстовом районе, в Динарской карстовой области по восточному берегу Адриатического моря и во многих других местах.

Карстовые воды покрова платформ на берегу морей также характеризуются односторонним стоком. Это открытые бассейны карстовых вод, называемые в Австралии полубассейнами. Одним из самых больших таких полубассейнов карстовых вод является Юкла на берегу Большого Австралийского залива, имеющий площадь около 170 тыс. км². Гидродинамические зоны его были рассмотрены нами ранее (рис. 1, III Б). Подобная обстановка имеет место по восточному берегу полуострова Флорида и в других карстовых областях.

Более обычен двусторонний сток с наличием водоразделов карстовых вод. Он наблюдается в обособленных карбонатных горных массивах, имеющих значительную протяженность. На платформах двусторонний поперечный сток характерен для структур покрова, сложенных карстующимися породами (рис. 2, II а). Он установлен для карстового района Уфимского вала между реками Иренью, Сылвой и Иргиной. Ранее Д. В. Рыжиков (1948) для карстовой области Дунай-Аах в Швабской Юре показал это по данным Лемана.

В случае наличия узких полос карстующихся пород, находящихся между некарстующимися, также возможен двусторонний сток, но уже продольный (рис. 2, II б). Этот случай для Северного Урала на междуречье Вагран-Калья Д. В. Рыжиков показал путем карты гидроизогипс на 20 марта 1940 г. Подобные явления весьма часты на восточном склоне Урала, где палеозойские крутопоставленные известняки образуют узкие полосы среди некарстующихся пород.

При небольшой протяженности карстующихся массивов как в горных районах, так и в покрове платформ имеет место центробежный сток (рис. 2, III). Область разгрузки на периферии массива имеет в

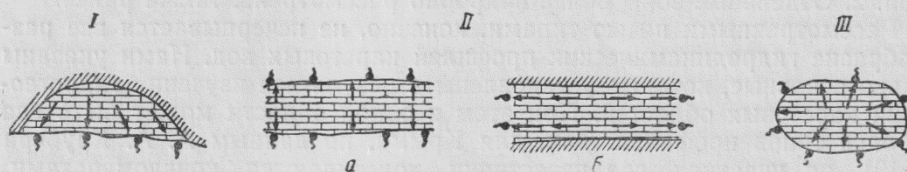


Рис. 2. Типы подземного стока карстовых областей:

I — односторонний; II — двусторонний; а — поперечный, б — продольный; III — центробежный
Условные обозначения пород те же, что на рис. 1

этом случае вид овала. Пример подобного явления приводит П. Иованович для небольшого известнякового массива в Восточной Сербии. Переливающиеся источники из закарстованных мульдообразно залегающих верхнетриасовых известняков в восточных Альпах, подстилаемые водонепроницаемыми отложениями, также относятся к центробежному типу стока (Кейльгак, 1935). Подобный сток наблюдается в крымской карстовой области для Чатырдага и в Италии — для упоминавшейся уже горы Фумайло у истоков р. Тибр.

Конечно, кроме рассмотренных трех основных типов подземного стока возможны и другие. Разработка этого вопроса — задача ближайшего будущего.

Карстовые воды используются для водоснабжения и орошения, а также с энергетическими целями. Не только мельницы, но и электростанции, иногда помещаемые в карстовом массиве, работают на малых и исполиновых карстовых источниках.

ЛИТЕРАТУРА

- Апродов В. А. О некоторых вопросах теории карста. Известия АН СССР, серия геогр. и геофиз., 1948, № 3.
- Бернар О. Северная и Западная Африка. Перевод с французск. М., Изд-во ин. лит-ры, 1949.
- Варсанофьева В. Карстовые явления в северной части Уфимского плоскогорья. Землеведение, 1915, кн. 4.
- Варсанофьева В. А. В южной части Уфимского плоскогорья. Землеведение, 1916, кн. 3—4.
- Васильев А. А. и Шейн П. С. Карстовые явления в Кизеловском районе, Угленосные отложения западного склона Урала. М.—Л., 1932.
- Влодавец В. И. О паро-гидросольфатермальных месторождениях в вулканических областях Италии. Известия АН СССР, серия геол., 1955, № 5.
- Гвоздецкий Н. А. Карст. Вопросы общего и регионального карстования. Изд. 2-е, переработ. М., Географгиз, 1954.
- Добринин Б. Ф. Физическая география Западной Европы. М., Учпедгиз, 1948.
- Зайцев И. К. Вопросы изучения карста СССР. М.—Л., Госгеолиздат, 1940.
- Кейльгак К. Подземные воды. Перевод со 2-го переработ. и доп. издания. Л.—М., Глав. ред. геол.-разв. и геодез. лит-ры, 1935.
- Краснопевцев Н. Д. К вопросу гидрогеологии карста юго-западной части Донецкого бассейна. Материалы ЦНИГРИ, сб. 3, Гидрогеология, 1934.
- Кригер Н. И. Карстовые явления в Чехословакии. Известия Всесоюз. геогр. об-ва, 1953, т. 85, вып. 2.
- Крубер А. А. Гидрография карста. Сборник в честь 70-летия Дмитрия Николаевича Анучина. М., 1913.
- Левен Я. А. Пещеры верховья реки Магиан. Известия Всесоюз. геогр. об-ва, 1940, т. 72, вып. 2.
- Линдгрэн В. Минеральные месторождения, вып. II. Перевод с англ. 1924. М.—Грозный—Л.—Новосибирск, Гос. научно-техн. горно-геол.-нефт. изд-во, 1934.

- Лыкошин А. Г. Трещины бортового отпора. Бюллетень Моск. об-ва испытателей природы, отд. геологии, 1953, т. 28, вып. 4.
- Люжон М. Плотины и геология. Перевод с французск. М.—Л., ОНТИ, 1936.
- Макаренко Ф. А. Некоторые результаты изучения подземного стока. Труды Лаборатории гидрогеол. проблем им. Ф. П. Саваренского АН СССР, 1948, т. 1.
- Макеев З. А. О глубинном распределении и передвижении подземных вод. Труды Лаборатории гидрогеол. проблем, 1948, т. 3.
- Маков К. И. Подземные воды Башкирской АССР, ч. 1. М.—Киев. Изд-во АН УССР, 1946.
- Максимович Г. А. О скорости миграции воды на Земле. Доклады АН СССР, 1954, т. 96, № 4.
- Максимович Г. А. Химическая география вод суши. М., Географгиз, 1955.
- Николаев Н. И. Проблемы изучения карста. Известия СССР, серия геогр., 1955, № 4.
- Ог, Э. Геология, т. 1. Перевод с французск. Изд. 5-е с доп. М.—Л.—Новосибирск, Гос. научно-техн. горно-геол.-нефт. изд-во, 1933.
- Пармузин Ю. П. Вопросы карстования Сибири. Известия Всесоюз. геогр. об-ва, 1954, т. 86, вып. 1.
- Потемкин М. П. Австралия. Физико-геогр. обзор. М., Учпедгиз, 1950.
- Принц Е. и Кампе Р. Гидрогеология, т. 2. Источники (пресные и минеральные источники). М., Сельхозгиз, 1937.
- Рыжиков Д. В. О гидрогеологическом характере карстовых процессов. Зап. Урал., геол. об-во, 1948, вып. 2.
- Саваренский Ф. П. Гидрогеология. Изд. 2-е, испр. М.—Л., ОНТИ, 1935.
- Соколов Д. С. Условия фильтрации через закарстованные известняки Белорецкого водохранилища. Карстование, 1948, вып. 4.
- Соколов Д. С. Основные условия развития карста. Бюллетень Моск. об-ва испытателей природы, 1951, т. 26, вып. 2.
- Соколов Н. И. Явление «отседания» склонов. Труды Лаборатории гидрогеологических проблем им. акад. Ф. П. Саваренского АН СССР, 1957, т. 14.
- Якушева А. Ф. Карст палеозойских карбонатных пород на Русской платформе. Ученые записки МГУ, 1949, вып. 136, Геология, т. 3.

В. К. Колотильщикова

РЕЖИМ КАРСТОВЫХ ВОД «СИЛУРИЙСКОГО» ПЛАТО

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ

Наблюдения за режимом карстовых вод на «силурийском» плато производились в период 1932—1941 гг. и с 1946 г. по настоящее время. Территория работ Силурийской гидрогеологической станции расположена в пределах силурийского плато, ограниченного на севере Балтийско-Ладожским глинтотом, а на юге контуром распространения девонских отложений.

Силурийское плато представляет собой приподнятую равнину с типично карстовым ландшафтом, осложненную также ледниковыми формами рельефа. Поверхностный сток в этом районе отсутствует. Источники, выходящие по глинтоту, формируют небольшие речки, впадающие непосредственно в Финский залив. Источники, выходящие по южной, восточной и западной частям плато, формируют притоки р. Луги, также впадающей в Финский залив.

Палеозойские породы залегают на архейском кристаллическом фундаменте и перекрыты толщей четвертичных отложений незначительной мощности, от 0 до 5 м. В основании этого комплекса лежат кембрийские отложения, на которых залегают осадки ордовика. Последние представлены снизу оболовыми песками и песчаниками, затем диктионемовыми