

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ КАРСТОВЫХ ВОРОНОК

Г. А. Максимович и Л. В. Голубева

Карстовые воронки являются наиболее распространенными формами карстового рельефа. Они известны для карста известняков, доломитизированных известняков, доломитов, мела, мрамора, гипсов и ангидритов, солей (17).

Форма карстовых воронок весьма разнообразна. Наиболее общепринята морфологическая классификация, приводимая И. С. Щукиным (27). Он выделяет блюдцеобразные, чашеобразные, конусообразные и колодцеобразные воронки.

Карстовые воронки приурочены к различным гидродинамическим зонам карста. В настоящее время принято выделять следующие гидродинамические зоны карста для районов, характеризующихся наличием магистральных речных артерий (см. таблицу 1).

Таблица 1

Гидродинамические зоны карста

Гидродинамические зоны	Преобладающее направление движения карстовых вод	Водный режим	Напор
Зона вертикальной циркуляции (азрации)	Нисходящее вертикальное движение	Периодическое увлажнение	Отсутствует
Зона вертикальной и горизонтальной циркуляции (переходная)	При низком стоянии уровня карстовых вод – вертикальное; при высоком – горизонтальное	Периодическое увлажнение или заполнение	Отсутствует
Зона горизонтальной циркуляции	Горизонтальное нисходящее	Постоянная циркуляция	Отсутствует
Зона сифонной циркуляции	На водоразделах карстовых вод нисходящее, а в зоне дрены – восходящее	Постоянная циркуляция	Имеется
Зона глубинной циркуляции	Замедленное движение карстовых вод, обусловленное тектонической структурой	Постоянное, весьма медленное движение	Имеется

В зависимости от того, обнажены или покрыты (карстующиеся породы, принято различать голый, или средиземноморский, покрытый, или средневропейский, типы карста, М. А. Зубаченко (11) выделил третий тип закрытого, или восточноевропейского карста. Г. А. Максимович (18) назвал его русским, а И. В. Попов (22) – среднерусским. Авторы выделяют как особую разновидность закрытого карста камский тип. В бассейне р. Камы, там, где доколом речных террас являются карстующиеся породы, карст развивается под покровом аллювиальных отложений. Здесь преобладают чашеобразные карстовые воронки, нередко заболоченные. Они широко развиты в долинах рек Чусовой, Сылвы, Ирени и др.

Таким образом, по наличию или отсутствию покровных образований можно выделить следующие типы карста (см. таблицу 2).

Таблица 2

Типы карста

Типы карста		Характер покрывающей толщи
Голый (открытый)	Средиземноморский	Покровные отложения отсутствуют или незначительны
Покрытый	Средневропейский	Элювий карстующихся пород
Закрытый	Русский (восточноевропейский)	Коренные отложения
Перекрытый	Камский	Отложения террас

Карстовые воронки зоны вертикальной циркуляции карстовых вод

Генетическая классификация карстовых воронок разрабатывалась в основном для средиземноморского типа карста. Отсутствие покрова позволяло здесь довольно легко установить происхождение карстовых воронок. Большая часть их образуется в зоне вертикальной циркуляции из поноры. Это воронки выщелачивания, или коррозионные. Они имеют большей частью конусообразную форму и в зависимости от наклона поверхности или элементов залегания карстующихся пород могут быть симметричными или асимметричными.

В литературе коническая форма коррозионных воронок обычно объясняется таким образом: в месте выхода на дневную поверхность одной или двух пересекающихся трещин, через которые просачиваются вглубь дождевые или талые воды, образуется углубление. Это углубление, стягивая атмосферные осадки, растет как в глубину, так и в ширину. Вместе с процессом растворения увеличивается и механическое выветривание породы. Продукты выветривания смываются в трещины. Рост воронки одновременно в глубину и ширину продолжается до тех пор, пока трещины не заполнятся нерастворимыми продуктами. С момента заполнения трещины воронка растет быстрее в горизонтальном направлении. Форма ее из колодцеобразной превращается в конусообразную. В случае, когда воронка формируется путем роста поноры, стадия воронкообразования начинается с момента образования слабо водопроницаемой перемычки на дне. С этого времени понора растет в горизонтальном направлении, ширина ее увеличивается, склоны постепенно выполаживаются. Иногда рост колодцеобразной воронки или поноры в горизонтальном направлении объясняют тем, что на некоторой глубине залегают менее карстующиеся породы.

Не отрицая роли закупоривания водоотводящих каналов и трещин и литологического состава (различие в растворимости), необходимо указать, что главней причиной является характер действия воды. Атмосферные

осадки обладают наибольшей растворяющей способностью тогда, когда они еще не представляют собой насыщенного раствора. Естественно, что они будут наиболее агрессивны в начале своего пути по поверхности карстующихся пород и на первых десятках сантиметров движения вглубь по вертикали (14).

Кроме химического воздействия, вода механически разрушает карстующуюся породу. Наибольшее механическое разрушение будет в месте перехода горизонтального движения по поверхности в вертикальное – по поноре или трещине. Образуется своеобразный «водопад». Отсюда происходит выполаживание уступа (подобно выполаживанию по схеме водопад – порог – быстрина). С этим связан переход колодцеобразной поноры или воронки в конусообразную и далее в блюдцеобразную.

Необходимо учесть еще одно обстоятельство. Химическое растворение и механическое разрушение карстующейся толщи при прочих равных условиях пропорционально количеству протекающей воды. Следовательно, для колодцеобразной поноры диаметром в 1 м, имеющей радиус питания стекающими по поверхности осадками 50 м, при равномерном поступлении со всех сторон мы будем иметь на 1 см края воронки в 100 раз большее количество осадков, чем на окраине питающего «бассейна».

Образование конических воронок за счет растворяющего и механического воздействия воды было экспериментально подтверждено А. М. Кузнецовым (14).

Коррозионно-просадочные воронки. В русском, камском (и среднеевропейском) типах карста выщелачивание происходит под толщей покровных образований. В карстующихся породах, на границе их с покровными отложениями, образуются карстовые воронки. При этом в зависимости от местных условий покров либо постепенно оседает по мере роста воронки, либо внезапно проваливается в образовавшуюся ранее пустоту. В первом случае образуются коррозионно-просадочные воронки, а во втором, когда проваливаются не сами карстующиеся породы, а покровные (более молодые осадочные, речные и элювиальные) отложения – коррозионно-провальные.

Коррозионно-просадочные воронки были изучены Л. В. Голубевой бурением в Кунгурском районе Молотовской области для среднеевропейского типа карста. Выполняющие карстовую воронку покровные образования залегают слоями, в нижней части примерно параллельными карстующимся породам. Это указывает на постепенное проседание покровных отложений по мере роста воронки. В верхней части, где накопились более молодые отложения, слои менее отражают подземный карстовый рельеф (рис. 1).

Коррозионно-просадочные воронки в русском типе карста наблюдались авторами в гипсовом карьере в с. Кылосово, Молотовской области. Коррозионная карстовая воронка в гипсах кунгурских отложений здесь выполнена плотными глинами и мергелями, которые залегают параллельно стенкам карстовой воронки. Подобные явления наблюдаются и в низовье р. Чусовой.

Коррозионно-провальные воронки. А. М. Зубашенко (11) считает, что для закрытого (русского) типа карста характерны провальные воронки. При этом он базируется на том, что в литературе имеется большое число описаний провалов, а местное население называет карстовые воронки провалами. Он различает только два генетических типа карстовых воронок: выщелачивания и провальные. А. А. Крубер (13) считал, что воронки «в равнинной части Европейской России... представляют из себя провал, но провал, распространяющийся только на вышележащие, прикрывающие известняк отложения». Эти воронки авторы и называют коррозионно-провальными. Впервые наличие этого типа воронок было доказано в 1854 году Г. А. Абигом, изучавшим тульские провалы.

Наблюдения показывают, что при наличии покровных некарстующихся образований следует различать минимум два типа провальных воронок: провальные и коррозионно-провальные. Провальные воронки, которые будут рассмотрены ниже, формируются в зоне горизонтальной циркуляции путем провала кровли подземных карстовых пустот. Коррозионно-провальные воронки – это поверхностные образования, относящиеся к зоне вертикальной циркуляции.

Коррозионно-провальные воронки наблюдались Л. В. Голубевой в Кунгурском районе, Молотовской области. Для среднеевропейского типа карста на территории бывшего заповедника «Предуралье» (7, 8, 9) за последние годы отмечено несколько свежих провалов покровных отложений.

Летом 1948 года на высокой равнине правобережья р. Сылвы, около Среднекаменного лога, был обнаружен небольшой провал покровных образований. Провал первоначально имел вид поноры – щели. Вглубь и в стороны он расширялся. Около провала наблюдалась просадка почвы. В дальнейшем провал несколько увеличился в размерах, стенки его продолжают обваливаться. В 1949 году вблизи Камайских зубцов произошел второй провал покровных отложений. Образовавшаяся коррозионно-провальная воронка имеет диаметр 0,9 м и глубину 1 м. Стенки ее обрывисты. Вглубь провал несколько расширяется.

Кроме свежих коррозионно-провальных воронок, наблюдаются и более старые. Две воронки, расположенные в 150–200 м от Камайских зубцов, имеют обрывистые стенки со следами обрушения покровных образований, но уже приобретают конусообразную форму. Другие две воронки, находящиеся вблизи предыдущих, имеют конусообразную форму и поросли молодыми деревьями и кустарником. Верхние части стенок этих воронок крутые, местами обрывистые и несут следы обрушения покровных образований. Всего вблизи р. Сылвы, в области развития пермских известняков, обнаружено более 20 коррозионно-провальных воронок, большая часть которых встречена в логах.

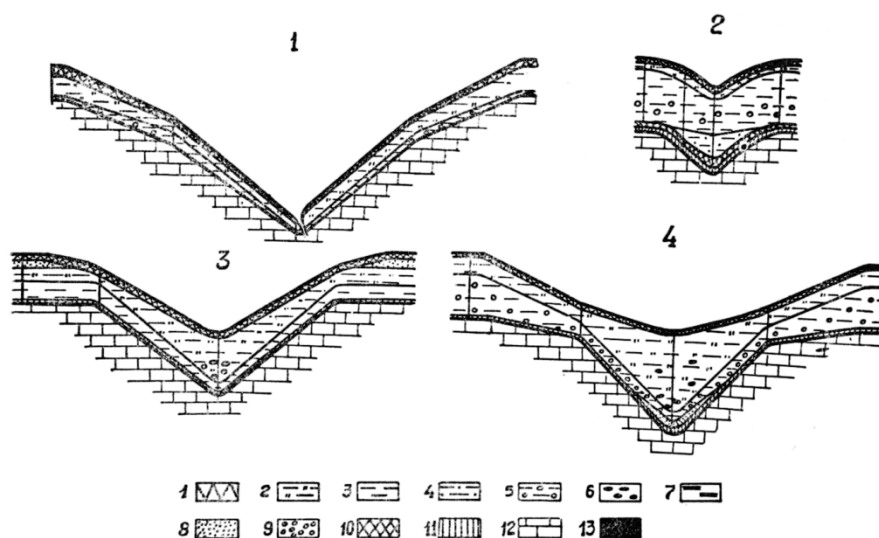


Рис. 1. Профили карстовых воронок

1 – Растительный слой, 2 – Суглинок, 3 – Глина коричневая и красновато-бурая, 4 – Глина песчанистая, 5 – Глина с галькой, 6 – Углистые включения; 7 – Глина серая, 8 – Песок, 9 – Галечник, 10 – Глина пестрая, 11 – Глина белая известняковая, 12 – Карстующийся известняк, 13 – Пустоты

Коррозионно-провальные воронки установлены также бурением. В ряде воронок разрез показал у края последовательную смену отложений, а в центральной части, в месте провала покровных отложений, – беспорядочные нагромождения бурого и серого суглинка, коричневой и известковой глины, песка и гальки.

Таким образом, в районе наблюдается несколько стадий развития коррозионно-провальных воронок от молодых форм к более древним. Коррозионно-провальный характер более старых воронок можно установить лишь по данным бурения.

Коррозионно-провальные воронки для камского типа карста установлены на первой террасе р. Ирени (бассейн р. Камы). В июне 1951 года произошел провал делювиальных и аллювиальных отложений в деревне Колпашники, у тракта. Он представлял собою сложную, сдвоенную воронку неправильной формы с обрывистыми стенками. Длина воронки 10,6 м, ширина – 8,2 м, наибольшая глубина – 2 м. Кроме того, около воронки, в почве, наблюдались трещины шириной до 5 см и глубиной до 1 м.

Для русского типа карста коррозионно-провальные воронки изучены С. В. Альбовым (1) в низовьях р. Оки.

Коррозионно-суффозионные воронки. А. П. Павлов (21) среди геологических процессов выделил подкапывающую, или суффозионную деятельность подземных вод. Подкапывание мы понимаем здесь менее широко, чем А. П. Павлов, а именно, как химический и механический вынос подземной водой некарстующихся отложений.

Наблюдая карстовые воронки русского, камского (и средневропейского) типов карста, Ф. П. Саваренский (24), а затем Н. А. Гвоздецкий (6) при наличии на дне понор выделяют их в особый тип воронок «просасывания». При этом они исходили из предположения, что формирование этих воронок сводится к простому выносу в понору покровных образований. Разбуривание карстовых воронок показало, что дело обстоит гораздо сложнее, чем это можно было предполагать на основании наблюдений на земной поверхности.

Изучение карстовых воронок этого типа на территории бывшего заповедника «Предуралье» (среднеевропейский тип карста) позволило установить картину их образования.

Воронки «просасывания» образуются не только путем *поверхностного* смыва и выноса водою рыхлых отложений в понору, но и за счет *подземного* вымывания и выноса материала покровных отложений через трещину или понору в карстующихся породах. Необходимо различать две стадии развития коррозионно-суффозионных воронок. В первой стадии преобладает механический вынос водою рыхлого материала в понору или трещины. Аккумуляция в воронке незначительна. В этой стадии находятся воронки 5, 6 (рис. 2). На дне этих воронок вынесены водой в понору песок, галечник и глина с галькой, развитые по краям воронок. Коррозионно-суффозионные воронки, находящиеся в первой стадии развития, имеют на поверхности в рыхлых отложениях значительно больший объем, чем в коренных породах. Видимые объемы воронок 5 и 6 в 3,5 и 2,5 раза больше, чем объем их в карстующихся породах. На поверхности профиль этих воронок более резкий, чем на глубине, в карстующихся породах. Вторая стадия – аккумуляция – характеризуется тем, что вследствие закупоривания поноры или трещины в карстующихся породах вынос, материала либо прекращается, либо становится незначительным. На дне воронки происходит аккумуляция рыхлого материала. Второй стадией характеризуются воронки 7 и 8 (рис. 2). В этих воронках в первую стадию происходил вынос водою коричневой глины, а во вторую – накопление серых глин и суглинков.

Повидимому, существует несколько разновидностей коррозионно-суффозионных воронок. В начальной стадии в карстующихся породах имеются поноры или система трещин, в которые вносится материал покровных отложений. Карстовая воронка (подземная) отсутствует. В дальнейшем подземное выщелачивание карстующихся пород стекающими по их поверхности водами приводит к образованию вокруг поноры карстовой воронки. Эти две разновидности коррозионно-суффозионных воронок отмечены и изображены Б. В. Васильевым (5). В стадию аккумуляции рост подземной коррозионной воронки почти прекращается.

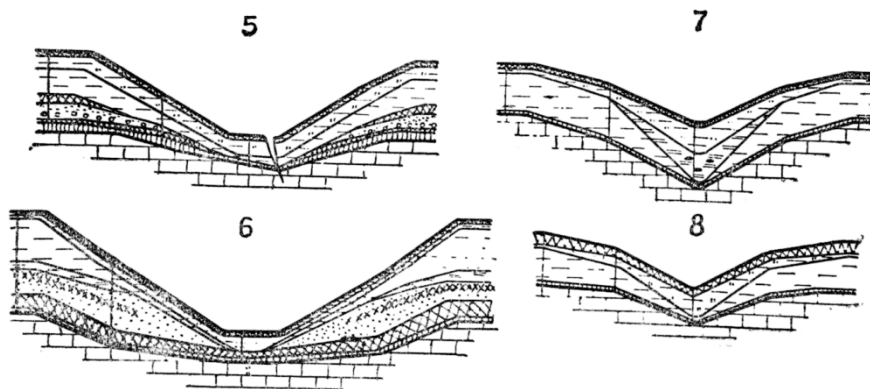


Рис. 2. Профили карстовых воронок

Коррозионно-суффозионные воронки для русского типа карста установлены в юго-восточной Татарии (5), в Казанском Поволжье (12), в Восточной Сибири – для карста известняково-доломитовой толщи среднего кембрия Приангарья (6), в валанжинских известняках – в южной части Минераловодского района (6).

Для камского типа карста они известны на левобережной террасе р. Белой (Хипсты), в районе Гудаут. Здесь наблюдаются пещеры с конусами выноса покровных образований из воронок, расположенных цепочками (6).

Коррозионно-эрозионные воронки чаще всего встречаются в карстовых оврагах и логах. Временные потоки, протекающие по этим долинам, поглощаются понорами, которые превращаются в коррозионно-эрозионные карстовые воронки. Помимо выщелачивания – коррозии, – здесь значительную роль играют процессы эрозии. Коррозионно-эрозионные воронки имеют место во всех типах карста. А. С. Барков (3) отмечал такие воронки для Самарской Луки, где развит русский тип карста. Л. В. Голубевой установлено широкое развитие их в оврагах Кунгурского и Кишертского районов, Молотовской области, для покрытого типа карста. Здесь они имеют неправильную форму и характеризуются различным наклоном и высотой стенок. Стенки этих воронок размыты временными потоками.

Коррозионно-оползневые (и обвальные) воронки. При подмывании отложений, выполняющих карстовую воронку, водами, стекающими в понору, иногда наблюдаются оползневые (и обвальные) явления.

В Кизеловском каменноугольном бассейне оползни с саблевидными деревьями развиты в карстовых воронках, которыми слепо заканчиваются небольшие овраги, длиной 25–100 м.

Коррозионно-оползневые воронки представляют «разновидность не только коррозионно-эрозионных. В низовье р. Чусовой оползни наблюдаются в расположенных на склоне асимметричных каррозионно-суффозионных воронках, относящихся к камскому типу карста.

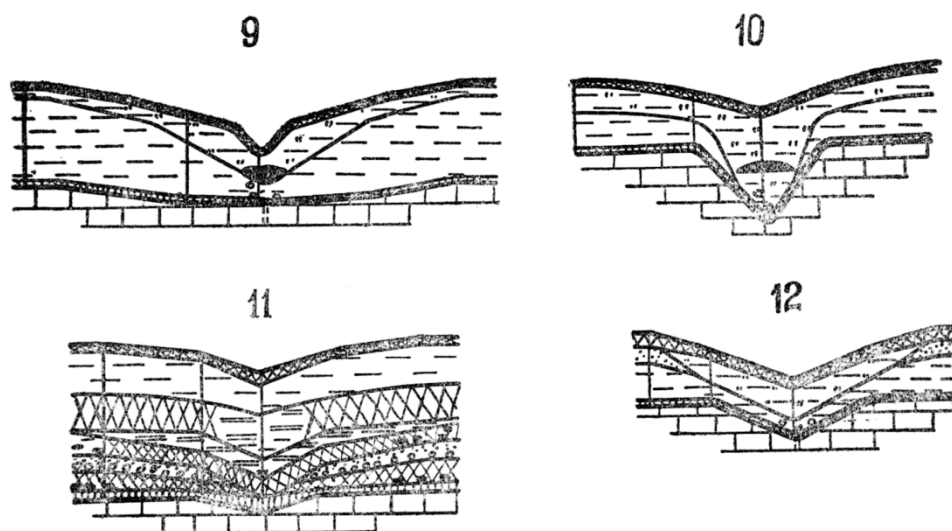


Рис. 3. Профили карстовых воронок.

Оползневые явления покровных образований могут осложнять и воронки других типов. Необходимо учитывать наличие этого типа карстовых воронок. При разбуривании этих воронок, находящихся в стадии блюдца, оползшие и обвалившиеся массы можно принять за провалившиеся покровные образования и ошибочно отнести эти воронки к коррозионно-провальным.

Роль оползней в формировании карста рассматривает К. С. Оводов (20).

Воронки смешанного происхождения. Выше были рассмотрены основные генетические типы карстовых воронок. Кроме них имеются полигенетические карстовые воронки. В настоящей работе мы не будем рассматривать всего их разнообразия и ограничимся теми группами, которые в результате буровых работ удалось выделить на территории бывшего заповедника «Предуралье». Здесь, по степени участия тех или иных процессов

в формировании воронок смешанного происхождения, было выделено три группы: 1) коррозионно-провально-суффозионные, 2) коррозионно-провально-эрозионные и 3) коррозионно-суффозионно-эрозионные.

Примером первой группы является воронка 9 (рис. 3). Здесь имеют место химическое растворение, обрушение покровных образований и механический вынос их водою.

Карстовые воронки зоны горизонтальной циркуляции карстовых вод

Провальные карстовые воронки. Карстовые воды, циркулирующие в переходной зоне и зоне горизонтальной циркуляции, при расширении каналов и пустот могут вызвать обрушение сводов. Образуется провальная воронка. Провальные воронки, как это показал А. А. Крубер (13), весьма редки для голого типа карста. А. М. Зубашенко (11) считает, что провальные воронки типичны для закрытого, или русского типа карста. Отличие провальных воронок русского типа карста от воронок средиземноморского типа заключается в том, что кроме карстующихся пород, здесь обрушиваются перекрывающие их некарстующиеся коренные отложения. Провалы иногда сопровождаются землетрясениями (16). Авторами совместно с К. А. Горбуновой (19) было описано образование провальной воронки для камского типа карста в с. Усть-Кишерть.

Карстовые воронки зоны сифонной циркуляции

Коррозионные воронки восходящих источников. В зоне сифонной циркуляции, в месте выхода восходящих источников, расширенные коррозией каналы образуют особый тип карстовых воронок. Такие воронки известны в условиях голого карста. Это воронка Голубого озера в долине р. Бзыби, воронка озера Харис-Твали на дне Шаорской котловины (6). Подобное же происхождение, повидимому, имеет и озеро Церик-Кель (15). Для русского типа карста примером может явиться Голубое озеро в Татарии (25), на дне которого находятся две карстовые воронки, называемые Большой и Малой Пучиной. Большая Пучина имеет диаметр до 50 м и глубину до 15 м. В наиболее глубокой части ее наблюдается вертикальный канал – «труба», глубиной 4 м или до 20 м от поверхности озера. Из Большой Пучины вытекает восходящий карстовый источник с дебитом 250 л/сек. Другим примером является Кипучая Криница в Донбассе.

Озеро Кислое в долине р. Сылвы в Молотовской области (камский тип карста), по наблюдениям первого из авторов в 1943 году, имело расход около 40 л/сек., значительная часть которого связана с восходящим источником в виде карстовой воронки на дне.

Необходимо отметить, что этот тип карстовых воронок был впервые выделен Н. А. Гвоздецким (6).

Выделенные генетические типы карстовых воронок и их распределение по гидродинамическим зонам и типам карста приведены в таблице 3.

ВЫВОДЫ

В настоящей работе сделана попытка показать, что наиболее распространенная карстовая форма – карстовые воронки – весьма разнообразны по своему происхождению. Вместо четырех генетических типов, которые выделялись Н. А. Гвоздецким, авторы установили наличие восьми типов. Указанные генетические типы не исчерпывают всего разнообразия карстовых воронок. Карстовые воронки рассматриваются для четырех основных типов карста. Наименьшее число генетических типов карстовых воронок имеет место для средиземноморского типа карста.

Три основных гидродинамических зоны карста характеризуются различным числом генетических типов карстовых воронок. Наибольшее их число имеет место в зоне вертикальной циркуляции, где атмосферные осадки поглощаются и уводятся вглубь. Зоны горизонтальной и сифонной циркуляции имеют по одному генетическому типу карстовых воронок. При этом наиболее редкой разновидностью являются коррозионные воронки восходящих источников, связанные с зоной сифонной циркуляции. Таким образом, наблюдается вполне естественное уменьшение числа типов карстовых воронок от верхней зоны вертикальной циркуляции к нижней зоне сифонной циркуляции.

Настоящая работа показывает, что не всегда можно судить о происхождении карстовой воронки по ее внешним очертаниям. Блюдцеобразная воронка в русском, камском и среднеевропейском типах карста может быть начальной или конечной стадией развития ряда генетических типов карстовых воронок. Для установления происхождения большинства карстовых воронок необходимо разбуривание их до карстующихся пород.

При подсчете возраста карстовых воронок по растворимости (4) необходимо учитывать объем карстовой воронки в карстующихся породах, а также ее генетический тип. Подсчет применим главным образом для коррозионных и коррозионно-просадочных воронок. В коррозионно-суффозионных воронках, когда имеется открытая понора, значительная часть воды стекает прямо в нее, почти не увеличивая объема подземной карстовой воронки.

Определение происхождения карстовых воронок имеет большое практическое значение. В районах, сложенных слаборастворимыми известняками и доломитами, где зона горизонтальной циркуляции находится глубоко, провальные карстовые воронки почти не образуются. Следовательно, условия строительства здесь более благоприятны, чем в районах с неглубоким залеганием зоны горизонтальной циркуляции, где развиты провальные воронки.

Необходимо дальнейшее изучение генетических типов карстовых воронок и их эволюции.

Гидродинамические зоны карста	Типы карста	Генетические типы карстовых воронок					
Зона вертикальной циркуляции (аэрации)	среди земноморский	коррозионные			коррозионно-эрозионные		
		Образуются из понор за счет растворяющей (и механической) деятельности вод нисходящих атмосферных осадков			Образуются в долинах из понор за счет расширения их растворением и эрозией вод поверхностных потоков		
	русский, камский, средневропейский	коррозионно-просадочные	коррозионно-провальные	коррозионно-суффозионные	коррозионно-эрозионные	коррозионно-оползневые (и обвальные)	полигенетические
		Образуются путем постепенного проседания покровных отложений по мере роста воронки в карстующихся породах	Образуются путем обрушения покровных образований в подземную карстовую воронку, находящуюся непосредственно под покровом	Образуются путем поверхностного и подземного вымывания и выноса материала покровных отложений через понору или трещину в карстующихся породах	Образуются при наличии покровных образований так же, как и в средиземноморском типе карста, причем размываются не только карстующиеся породы, но и покровные образования	Представляют разновидность коррозионно-эрозионных, коррозионно-суффозионных и других типов воронок. В воронках наблюдаются оползни и обвалы покровных образований	Воронки смешанного происхождения, в формировании которых принимают участие, кроме коррозии, еще несколько факторов
Зона горизонтальной циркуляции (и переходная)	среди земноморский	Провальные воронки. Образование горизонтальных (и наклонных) пустот, расширение их в виде гротов. Обрушение сводов гротов, состоящих из карстующихся пород, и образование провальных воронок. В начальной стадии стенки их отвесны, на дне обломки карстующихся пород.					
	русский, камский, средневропейский	Провальные воронки. Образуются так же, как и при средиземноморском типе карста. Отличие в том, что карстующиеся породы перекрыты более молодыми (русский тип), речными (камский тип), элювиальными (среднеевропейский тип) некарстующимися отложениями. Они обрушиваются вместе с карстующимися породами. При неглубоком залегании подземных вод возможно образование карстовых озер.					
Зона сифонной циркуляции	средиземноморский, русский, камский	Коррозионные воронки восходящих источников. В месте выхода каналов восходящих карстовых источников, в зоне сифонной циркуляции, растворяющим и механическим действием воды образуются карстовые воронки. При медленном движении воды обломочные частицы не уносятся, и восходящий источник может фильтроваться сквозь отложения на дне карстового озера.					

Кафедра динамической геологии и гидрогеологии.

ЛИТЕРАТУРА

- Альбов С. В. Объяснение теорией гор ноте давления происхождения провалов и просадок (на материале карста низовьев левобережья р. Оки). «Карстоведение» № 4, стр. 23–36, 1948.
- Апродов В. А. О некоторых вопросах теории карста. Известия АН СССР, серия географ, и геофиз., т. 12, № 3, стр. 271–282, 1948.
- Барков А. С. Карст Самарской луки. «Землеведение», т. 34, вып. 1–2, стр. 1–33, 1932.
- Борисова Е. А. Опыт подсчета возраста карстовых форм по растворимости. Тезисы докладов Молотовской карстовой конференции, 1947.
- Васильев Б. В. О некоторых закономерностях карстопроявлений в бассейне р. Ик (на юго-востоке Татарской АССР). ДАН СССР, т. 65, в. 4, стр. 531–534, 1949.
- Гвоздецкий Н. А. Карст, Географгиз, стр. 187, 1950.
- Голубева Л. В. Геоморфология заповедника «Предуралье». Известия Естеств. научн. ин-та при Молотовском университете, т. 12, вып. 7, стр. 282–292, 1948.
- Голубева Л. В. Карстово-спелеологическая станция заповедника «Предуралье». «Природа» № 7, стр. 87–88, 1949.
- Голубева Л. В. Некоторые наблюдения над карстовыми воронками в заповеднике «Предуралье». Бюлл. Комиссии по изучению четвертичного периода АН СССР № 16, стр. 63–72, 1951.
- Зайцев И. К. Вопросы изучения карста СССР. Труды Спецгео, вып. 2, стр. 88, 1940.
- Зубашенко М. А. Закрытый или восточноевропейский тип карста. Тезисы докладов на научной конференции географического факультета Воронежского педагогического ин-та, стр. 19–23, 1947.
- Каштанов С. Г. Карстовые явления в районе Казанского Поволжья. ДАН СССР, т. 40, № 2, 1943.
- Крубер А. А. Карстовая область горного Крыма. Приложение к «Землеведению», стр. 319, 1915.
- Кузнецов А. М. О выщелачивании тиса и ангидрита. Известия Естеств. научн. ин-та при Молотовском университете, т. 12, вып. 4, стр. 127–134, 1947.
- Кузнецов И. Г. Озеро Церик-Кель и другие формы карста в известняках Скалистого хребта на Северном Кавказе. Известия Гос. русского географ. об-ва, т. 60, вып. 2, стр. 277–288, 1928.
- Максимович Г. А. К характеристике сейсмических явлений в Молотовской области. Известия Всесоюзного географ. об-ва, т. 75, вып. 4, стр. 8–15, 1943.
- Максимович Г. А. Типы карстовых явлений. Тезисы докладов Молотовской карстовой конференции, 1947.
- Максимович Г. А. Задачи карстовой конференции. «Карстоведение» № 1, стр. 5–10, 1948.
- Максимович Г. А., Голубева Л. В., Горбунова К. А. Карстовые провалы в с. Усть-Кишерть, Молотовской области. «Природа» № 4, стр. 47–51, 1950.
- Оводов К. С. О взаимосвязи карстовых и оползневых явлений при формировании рельефа. Тезисы докл. Молотовской карстовой конференции, 1947.
- Павлов А. П. О рельефе равнин и его изменениях под влиянием работы подземных и поверхностных вод. «Землеведение», т. 5, стр. 91–147, 1899.
- Попов И. В. Карст. Инженерная геология. Госгеоллиздат, стр. 1151–165, 1951.
- Рыжиков Д. В. О гидрогеологическом характере карстовых процессов. Записки Уральского геологического общества, вып. 1, стр. 76–86, 1948.
- Саваренский Ф. П. Карстовые воды. Гидрогеология, гл. 20, стр. 178–194, 1935.
- Сементовский В. Н. Голубое озеро. Природа Татарии, стр. 210–213, 1947.
- Соколов Д. С. Основные условия развития карста. Бюлл. М., об-ва исп. природы, отд. геологии, т. 26, вып. 2, стр. 25–49, 1951.
- Щукин И. С. Общая морфология суши, гл. 7, Морфология карста, т. I, стр. 327–366, 1933.

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ КАРСТОВЫХ ВОРОНОК

Г. А. Максимович и Л. В. Голубева

Карстовые воронки являются наиболее распространенными формами карстового рельефа. Они известны для карста известняков, доломитизированных известняков, доломитов, мела, мрамора, гипсов и ангидритов, солей (17).

Форма карстовых воронок весьма разнообразна. Наиболее общепринята морфологическая классификация, приводимая И. С. Щукиным (27). Он выделяет блюдцеобразные, чашеобразные, конусообразные и колодцеобразные воронки.

Карстовые воронки приурочены к различным гидродинамическим зонам карста. В настоящее время принято выделять следующие гидродинамические зоны карста для районов, характеризующихся наличием магистральных речных артерий (см. таблицу 1).

Гидродинамические зоны карста

Таблица 1

Гидродинамические зоны	Преобладающее направление движения карстовых вод	Водный режим	Напор
Зона вертикальной циркуляции (аэрации)	Нисходящее вертикальное движение	Периодическое увлажнение	Отсутствует
Зона вертикальной и горизонтальной циркуляции (переходная)	При низком стоянии уровня карстовых вод — вертикальное; при высоком — горизонтальное	Периодическое увлажнение или заполнение	Отсутствует
Зона горизонтальной циркуляции	Горизонтальное нисходящее	Постоянная циркуляция	Отсутствует
Зона сифонной циркуляции	На водоразделах карстовых вод нисходящее, а в зоне дрены — восходящее	Постоянная циркуляция	Имеется
Зона глубинной циркуляции	Замедленное движение карстовых вод, обусловленное тектонической структурой	Постоянное, весьма медленное движение	Имеется

В зависимости от того, обнажены или покрыты карстующиеся породы, принято различать голый, или средиземноморский, покрытый, или среднеевропейский, типы карста. М. А. Зубащенко (11) выделил третий

тип закрытого, или восточноевропейского карста. Г. А. Максимович (18) назвал его русским, а И. В. Попов (22) — среднерусским. Авторы выделяют как особую разновидность закрытого карста камский тип. В бассейне р. Камы, там, где цоколем речных террас являются карстующиеся породы, карст развивается под покровом аллювиальных отложений. Здесь преобладают чашеобразные карстовые воронки, нередко заболоченные. Они широко развиты в долинах рек Чусовой, Сылвы, Ирени и др.

Таким образом, по наличию или отсутствию покровных образований можно выделить следующие типы карста (см. таблицу 2).

Таблица 2

Типы карста

Типы карста		Характер покрывающей толщи
Голый (открытый)	Средиземноморский	Покровные отложения отсутствуют или незначительны
Покрытый	Среднеевропейский	Элювий карстующихся пород
Закрытый	Русский (восточноевропейский)	Коренные отложения
Перекрытый	Камский	Отложения террас

Карстовые воронки зоны вертикальной циркуляции карстовых вод

Генетическая классификация карстовых воронок разрабатывалась в основном для средиземноморского типа карста. Отсутствие покрова позволяло здесь довольно легко установить происхождение карстовых воронок. Большая часть их образуется в зоне вертикальной циркуляции из поноры. Это воронки выщелачивания, или коррозионные. Они имеют большей частью конусообразную форму и в зависимости от наклона поверхности или элементов залегания карстующихся пород могут быть симметричными или асимметричными.

В литературе коническая форма коррозионных воронок обычно объясняется таким образом: в месте выхода на дневную поверхность одной или двух пересекающихся трещин, через которые просачиваются вглубь дождевые или талые воды, образуется углубление. Это углубление, стягивая атмосферные осадки, растет как в глубину, так и в ширину. Вместе с процессом растворения увеличивается и механическое выветривание породы. Продукты выветривания смываются в трещины. Рост воронок одновременно в глубину и ширину продолжается до тех пор, пока трещины не заполнятся нерастворимыми продуктами. С момента заполнения трещины воронка растет быстрее в горизонтальном направлении. Форма ее из колодцеобразной превращается в конусообразную. В случае, когда воронка формируется путем роста поноры, стадия воронкообразования начинается с момента образования слабо водопроницаемой перемычки на дне. С этого времени понора растет в горизонтальном направлении, ширина ее увеличивается, склоны постепенно выполаживаются. Иногда рост колодцеобразной воронки или поноры в горизонтальном направлении объясняют тем, что на некоторой глубине залегают менее карстующиеся породы.

Не отрицая роли закупоривания водоотводящих каналов и трещин и литологического состава (различие в растворимости), необходимо указать, что главной причиной является характер действия воды. Атмосфер-

ные осадки обладают наибольшей растворяющей способностью тогда, когда они еще не представляют собой насыщенного раствора. Естественно, что они будут наиболее агрессивны в начале своего пути по поверхности карстующихся пород и на первых десятках сантиметров движения вглубь по вертикали (14).

Кроме химического воздействия, вода механически разрушает карстующуюся породу. Наибольшее механическое разрушение будет в месте перехода горизонтального движения по поверхности в вертикальное — по поноре или трещине. Образуется своеобразный «водопад». Отсюда происходит выполаживание уступа (подобно выполаживанию по схеме водопад—порог—быстрина). С этим связан переход колодцеобразной поноры или воронки в конусообразную и далее в блюдцеобразную.

Необходимо учесть еще одно обстоятельство. Химическое растворение и механическое разрушение карстующейся толщи при прочих равных условиях пропорционально количеству протекающей воды. Следовательно, для колодцеобразной поноры диаметром в 1 м, имеющей радиус питания стекающими по поверхности осадками 50 м, при равномерном поступлении со всех сторон мы будем иметь на 1 см края воронки в 100 раз большее количество осадков, чем на окраине питающего «бассейна».

Образование конических воронок за счет растворяющего и механического воздействия воды было экспериментально подтверждено А. М. Кузнецовым (14).

Коррозионно-просадочные воронки. В русском, камском (и среднеевропейском) типах карста выщелачивание происходит под толщей покровных образований. В карстующихся породах, на границе их с покровными отложениями, образуются карстовые воронки. При этом в зависимости от местных условий покров либо постепенно оседает по мере роста воронки, либо внезапно проваливается в образовавшуюся ранее пустоту. В первом случае образуются коррозионно-просадочные воронки, а во втором, когда проваливаются не сами карстующиеся породы, а покровные (более молодые осадочные, речные и элювиальные) отложения — коррозионно-провальные.

Коррозионно-просадочные воронки были изучены Л. В. Голубевой бурением в Кунгурском районе Молотовской области для среднеевропейского типа карста. Выполняющие карстовую воронку покровные образования залегают слоями, в нижней части примерно параллельными карстующимся породам. Это указывает на постепенное проседание покровных отложений по мере роста воронки. В верхней части, где накопились более молодые отложения, слои менее отражают подземный карстовый рельеф (рис. 1).

Коррозионно-просадочные воронки в русском типе карста наблюдались авторами в гипсовом карьере в с. Кылово, Молотовской области. Коррозионная карстовая воронка в гипсах кунгурских отложений здесь выполнена плотными глинами и мергелями, которые залегают параллельно стенкам карстовой воронки. Подобные явления наблюдаются и в низовье р. Чусовой.

Коррозионно-провальные воронки. А. М. Зубашенко (11) считает, что для закрытого (русского) типа карста характерны провальные воронки. При этом он базируется на том, что в литературе имеется большое число описаний провалов, а местное население называет карстовые воронки провалами. Он различает только два генетических типа карстовых воронок: выщелачивания и провальные. А. А. Крубер (13) считал, что воронки «в равнинной части Европейской России... представляют из себя провал, но провал, распространяющийся только на вышележащие,

прикрывающие известняк отложения». Эти воронки авторы и называют коррозионно-провальными. Впервые наличие этого типа воронок было доказано в 1854 году Г. А. Абихом, изучавшим тульские провалы.

Наблюдения показывают, что при наличии покровных некарстующихся образований следует различать минимум два типа провальных воронок: провальные и коррозионно-провальные. Провальные воронки, которые будут рассмотрены ниже, формируются в зоне горизонтальной

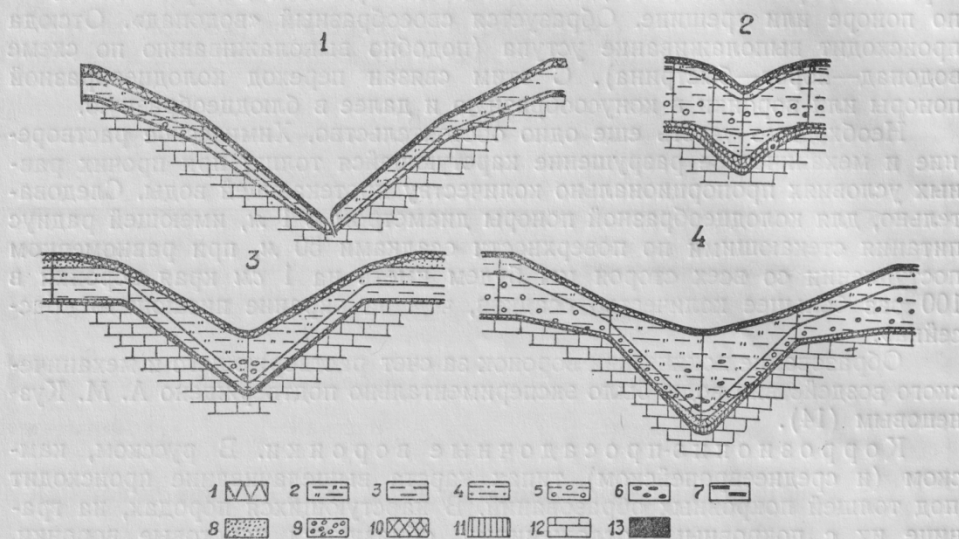


Рис. 1. Профили карстовых воронок

1 — Растительный слой, 2 — Суглинок, 3 — Глина коричневая и красновато-бурая, 4 — Глина песчаная, 5 — Глина с галькой, 6 — Углистые включения; 7 — Глина серая, 8 — Песок, 9 — Галечник, 10 — Глина пестрая, 11 — Глина белая известняковая, 12 — Карстующийся известняк, 13 — Пустоты.

циркуляции путем провала кровли подземных карстовых пустот. Коррозионно-провальные воронки — это поверхностные образования, относящиеся к зоне вертикальной циркуляции.

Коррозионно-провальные воронки наблюдались Л. В. Голубевой в Кунгурском районе, Молотовской области. Для среднеевропейского типа карста на территории бывшего заповедника «Предуралье» (7, 8, 9) за последние годы отмечено несколько свежих провалов покровных отложений.

Летом 1948 года на высокой равнине правобережья р. Сылвы, около Среднекаменного лога, был обнаружен небольшой провал покровных образований. Провал первоначально имел вид поноры — щели. Вглубь и в стороны он расширялся. Около провала наблюдалась просадка почвы. В дальнейшем провал несколько увеличился в размерах, стенки его продолжают обваливаться. В 1949 году вблизи Камайских зубцов произошел второй провал покровных отложений. Образовавшаяся коррозионно-провальная воронка имеет диаметр 0,9 м и глубину 1 м. Стенки ее обрывисты. Вглубь провал несколько расширяется.

Кроме свежих коррозионно-провальных воронок, наблюдаются и более старые. Две воронки, расположенные в 150—200 м от Камайских зубцов, имеют обрывистые стенки со следами обрушения покровных образований, но уже приобретают конусообразную форму. Другие две воронки, находящиеся вблизи предыдущих, имеют конусообразную форму и по-

росли молодыми деревьями и кустарником. Верхние части стенок этих воронок крутые, местами обрывистые и несут следы обрушения покровных образований. Всего вблизи р. Сылвы, в области развития пермских известняков, обнаружено более 20 коррозионно-провальных воронок, большая часть которых встречена в логах.

Коррозионно-провальные воронки установлены также бурением. В ряде воронок разрез показал у края последовательную смену отложений, а в центральной части, в месте провала покровных отложений, — беспорядочные нагромождения бурого и серого суглинка, коричневой и известковой глины, песка и гальки.

Таким образом, в районе наблюдается несколько стадий развития коррозионно-провальных воронок от молодых форм к более древним. Коррозионно-провальный характер более старых воронок можно установить лишь по данным бурения.

Коррозионно-провальные воронки для камского типа карста установлены на первой террасе р. Ирени (бассейн р. Камы). В июне 1951 года произошел провал делювиальных и аллювиальных отложений в деревне Колпашники, у тракта. Он представлял собою сложную, сдвоенную воронку неправильной формы с обрывистыми стенками. Длина воронки 10,6 м, ширина — 8,2 м, наибольшая глубина — 2 м. Кроме того, около воронки, в почве, наблюдались трещины шириной до 5 см и глубиной до 1 м.

Для русского типа карста коррозионно-провальные воронки изучены С. В. Альбовым (1) в низовьях р. Оки.

Коррозионно-суффозионные воронки. А. П. Павлов (21) среди геологических процессов выделил подкапывающую, или суффозионную деятельность подземных вод. Подкапывание мы понимаем здесь менее широко, чем А. П. Павлов, а именно, как химический и механический вынос подземной водой некарстующихся отложений.

Наблюдая карстовые воронки русского, камского (и средневропейского) типов карста, Ф. П. Саваренский (24), а затем Н. А. Гвоздецкий (6) при наличии на дне понор выделяют их в особый тип воронок «просасывания». При этом они исходили из предположения, что формирование этих воронок сводится к простому выносу в понору покровных образований. Разбуривание карстовых воронок показало, что дело обстоит гораздо сложнее, чем это можно было предполагать на основании наблюдений на земной поверхности.

Изучение карстовых воронок этого типа на территории бывшего заповедника «Предуралье» (среднеевропейский тип карста) позволило установить картину их образования.

Воронки «просасывания» образуются не только путем *поверхностного* смыва и выноса водою рыхлых отложений в понору, но и за счет *подземного* вымывания и выноса материала покровных отложений через трещину или понору в карстующихся породах. Необходимо различать две стадии развития коррозионно-суффозионных воронок. В первой стадии преобладает механический вынос водою рыхлого материала в понору или трещины. Аккумуляция в воронке незначительна. В этой стадии находятся воронки 5, 6 (рис. 2). На дне этих воронок вынесены водой в понору песок, галечник и глина с галькой, развитые по краям воронок. Коррозионно-суффозионные воронки, находящиеся в первой стадии развития, имеют на поверхности в рыхлых отложениях значительно больший объем, чем в коренных породах. Видимые объемы воронок 5 и 6 в 3,5 и 2,5 раза больше, чем объем их в карстующихся породах. На поверхности профиль этих воронок более резкий, чем на глубине, в карстующихся поро-

дах. Вторая стадия — аккумуляции — характеризуется тем, что вследствие закупоривания поноры или трещины в карстующихся породах вынос материала либо прекращается, либо становится незначительным. На дне воронки происходит аккумуляция рыхлого материала. Второй стадией характеризуются воронки 7 и 8 (рис. 2). В этих воронках в первую стадию происходил вынос водою коричневой глины, а во вторую — накопление серых глин и суглинков.

Повидимому, существует несколько разновидностей коррозионно-суффозионных воронок. В начальной стадии в карстующихся породах имеются поноры или система трещин, в которые вносится материал покровных отложений. Карстовая воронка (подземная) отсутствует. В дальнейшем подземное выщелачивание карстующихся пород стекающими по

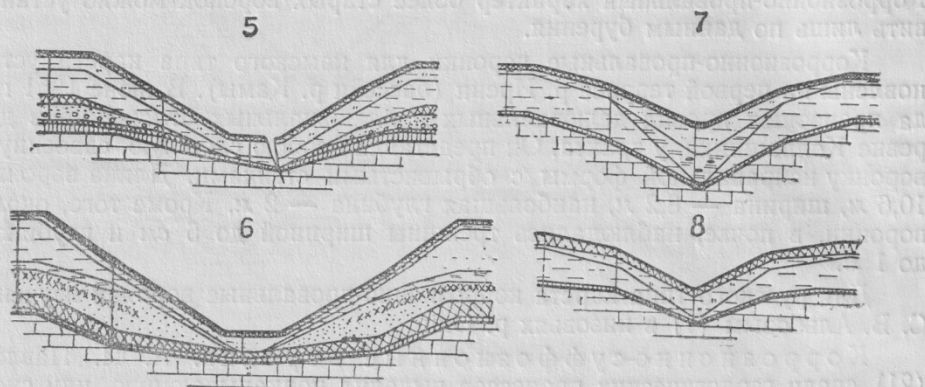


Рис. 2. Профили карстовых воронок

их поверхности водами приводит к образованию вокруг поноры карстовой воронки. Эти две разновидности коррозионно-суффозионных воронок отмечены и изображены Б. В. Васильевым (5). В стадию аккумуляции рост подземной коррозионной воронки почти прекращается.

Коррозионно-суффозионные воронки для русского типа карста установлены в юго-восточной Татарии (5), в Казанском Поволжье (12), в Восточной Сибири — для карста известняково-доломитовой толщи среднего кембрия Приангарья (6), в валанжинских известняках — в южной части Минераловодского района (6).

Для камского типа карста они известны на левобережной террасе р. Белой (Хипсты), в районе Гудаут. Здесь наблюдаются пещеры с конусами выноса покровных образований из воронок, расположенных цепочками (6).

Коррозионно-эрозионные воронки чаще всего встречаются в карстовых оврагах и логах. Временные потоки, протекающие по этим долинам, поглощаются понорами, которые превращаются в коррозионно-эрозионные карстовые воронки. Помимо выщелачивания — коррозии, — здесь значительную роль играют процессы эрозии. Коррозионно-эрозионные воронки имеют место во всех типах карста. А. С. Барков (3) отмечал такие воронки для Самарской Луки, где развит русский тип карста. Л. В. Голубевой установлено широкое развитие их в оврагах Кунгурского и Кишертского районов, Молотовской области, для покрытого типа карста. Здесь они имеют неправильную форму и характеризуются различным наклоном и высотой стенок. Стенки этих воронок размыты временными потоками.

Коррозионно-оползневые (и обвальные) воронки. При подмывании отложений, выполняющих карстовую воронку, водами, стекающими в понору, иногда наблюдаются оползневые (и обвальные) явления.

В Кизеловском каменноугольном бассейне оползни с саблевидными деревьями развиты в карстовых воронках, которыми слепо заканчиваются небольшие овраги, длиной 25—100 м.

Коррозионно-оползневые воронки представляют разновидность не только коррозионно-эрозионных. В низовье р. Чусовой оползни наблюдаются в расположенных на склоне асимметричных коррозионно-суффозионных воронках, относящихся к камскому типу карста.

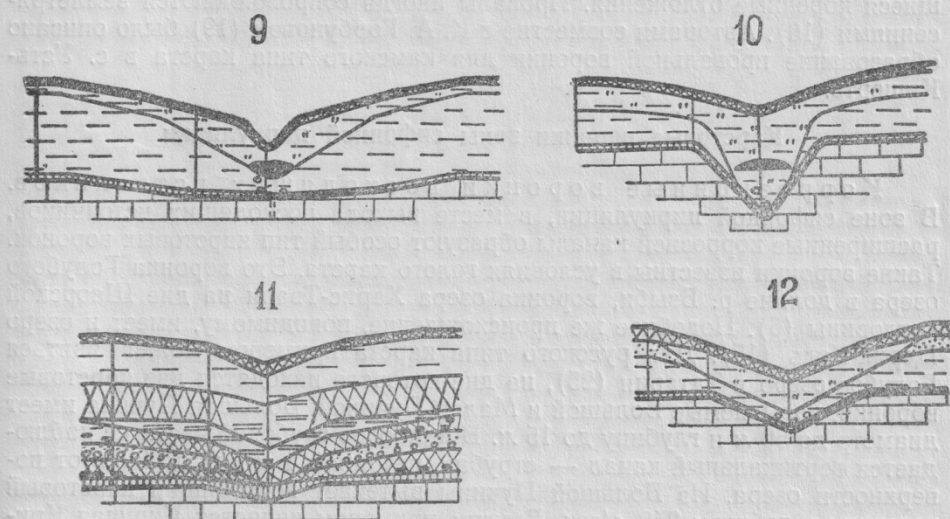


Рис. 3. Профили карстовых воронок.

Оползневые явления покровных образований могут осложнять и воронки других типов. Необходимо учитывать наличие этого типа карстовых воронок. При разбуривании этих воронок, находящихся в стадии блюдца, оползшие и обвалившиеся массы можно принять за провалившиеся покровные образования и ошибочно отнести эти воронки к коррозионно-провальным.

Роль оползней в формировании карста рассматривает К. С. Овдов (20).

Воронки смешанного происхождения. Выше были рассмотрены основные генетические типы карстовых воронок. Кроме них имеются полигенетические карстовые воронки. В настоящей работе мы не будем рассматривать всего их разнообразия и ограничимся теми группами, которые в результате буровых работ удалось выделить на территории бывшего заповедника «Предуралье». Здесь, по степени участия тех или иных процессов в формировании воронок смешанного происхождения, было выделено три группы: 1) коррозионно-провально-суффозионные, 2) коррозионно-провально-эрозионные и 3) коррозионно-суффозионно-эрозионные.

Примером первой группы является воронка 9 (рис. 3). Здесь имеют место химическое растворение, обрушение покровных образований и механический вынос их водой.

Карстовые воронки зоны горизонтальной циркуляции карстовых вод

Провальные карстовые воронки. Карстовые воды, циркулирующие в переходной зоне и зоне горизонтальной циркуляции, при расширении каналов и пустот могут вызвать обрушение сводов. Образуется провальная воронка. Провальные воронки, как это показал А. А. Крубер (13), весьма редки для голого типа карста. А. М. Зубашенко (11) считает, что провальные воронки типичны для закрытого, или русского типа карста. Отличие провальных воронок русского типа карста от воронок средиземноморского типа заключается в том, что кроме карстующихся пород, здесь обрушиваются перекрывающие их некарстующиеся коренные отложения. Провалы иногда сопровождаются землетрясениями (16). Авторами совместно с К. А. Горбуновой (19) было описано образование провальной воронки для камского типа карста в с. Усть-Кишерть.

Карстовые воронки зоны сифонной циркуляции

Коррозионные воронки восходящих источников. В зоне сифонной циркуляции, в месте выхода восходящих источников, расширенные коррозией каналы образуют особый тип карстовых воронок. Такие воронки известны в условиях голого карста. Это воронка Голубого озера в долине р. Бзыби, воронка озера Харис-Твали на дне Шаорской котловины (6). Подобное же происхождение, повидимому, имеет и озеро Церик-Кель (15). Для русского типа карста примером может явиться Голубое озеро в Татарии (25), на дне которого находятся две карстовые воронки, называемые Большой и Малой Пучиной. Большая Пучина имеет диаметр до 50 м и глубину до 15 м. В наиболее глубокой части ее наблюдается вертикальный канал — «труба», глубиной 4 м или до 20 м от поверхности озера. Из Большой Пучины вытекает восходящий карстовый источник с дебитом 250 л/сек. Другим примером является Кипучая Криница в Донбассе.

Озеро Кислое в долине р. Сылвы в Молотовской области (камский тип карста), по наблюдениям первого из авторов в 1943 году, имело расход около 40 л/сек., значительная часть которого связана с восходящим источником в виде карстовой воронки на дне.

Необходимо отметить, что этот тип карстовых воронок был впервые выделен Н. А. Гвоздецким (6).

Выделенные генетические типы карстовых воронок и их распределение по гидродинамическим зонам и типам карста приведены в таблице 3.

ВЫВОДЫ

В настоящей работе сделана попытка показать, что наиболее распространенная карстовая форма — карстовые воронки — весьма разнообразны по своему происхождению. Вместо четырех генетических типов, которые выделялись Н. А. Гвоздецким, авторы установили наличие восьми типов. Указанные генетические типы не исчерпывают всего разнообразия карстовых воронок. Карстовые воронки рассматриваются для четырех основных типов карста. Наименьшее число генетических типов карстовых воронок имеет место для средиземноморского типа карста.

Три основных гидродинамических зоны карста характеризуются различным числом генетических типов карстовых воронок. Наибольшее их число имеет место в зоне вертикальной циркуляции, где атмосферные осадки поглощаются и уводятся вглубь. Зоны горизонтальной и сифон-

Генетическая классификация карстовых воронок

Гидродинамические зоны карста	Типы карста	Генетические типы карстовых воронок				
		коррозионные		коррозионно-эрозионные		
		Образуются из понор за счет растворяющей (и механической) деятельности вод нисходящих атмосферных осадков		Образуются в долинах из понор за счет расширения их растворением и эрозией вод поверхностных потоков		
Зона вертикальной циркуляции (аэрации)	среди-земноморский	коррозионно-просадочные	коррозионно-провальные	коррозионно-суффозионные	коррозионно-эрозионные	коррозионно-оползневые (и обвальные)
	русский, камский, средневропейский	Образуются путем постепенного проседания покровных отложений по мере роста воронок в карстовых породах	Образуются путем обрушения покровных образований в подземную карстовую воронку, находящуюся непосредственно под покровом	Образуются путем поверхностного и подземного вымывания и выноса материала покровных отложений через пору или трещину в карстовых породах	Образуются при наличии покровных образований так же, как и в средиземноморском типе карста, причем размываются не только карстовые породы, но и покровные образования	Представляют разновидность коррозионно-эрозионных, коррозионно-суффозионных и других типов воронок. В воронках наблюдаются оползни и обвалы покровных образований
		Воронки сформированы из понор за счет расширения их растворением и эрозией вод поверхностных потоков	Воронки сформированы из понор за счет расширения их растворением и эрозией вод поверхностных потоков	Воронки сформированы из понор за счет расширения их растворением и эрозией вод поверхностных потоков	Воронки сформированы из понор за счет расширения их растворением и эрозией вод поверхностных потоков	Воронки сформированы из понор за счет расширения их растворением и эрозией вод поверхностных потоков
Зона горизонтальной циркуляции (и переходная)	среди-земноморский	Образуются в долинах из понор за счет расширения их растворением и эрозией вод поверхностных потоков	Образуются в долинах из понор за счет расширения их растворением и эрозией вод поверхностных потоков	Образуются в долинах из понор за счет расширения их растворением и эрозией вод поверхностных потоков	Образуются в долинах из понор за счет расширения их растворением и эрозией вод поверхностных потоков	Образуются в долинах из понор за счет расширения их растворением и эрозией вод поверхностных потоков
	русский, камский, средневропейский	Образуются в долинах из понор за счет расширения их растворением и эрозией вод поверхностных потоков	Образуются в долинах из понор за счет расширения их растворением и эрозией вод поверхностных потоков	Образуются в долинах из понор за счет расширения их растворением и эрозией вод поверхностных потоков	Образуются в долинах из понор за счет расширения их растворением и эрозией вод поверхностных потоков	Образуются в долинах из понор за счет расширения их растворением и эрозией вод поверхностных потоков
Зона сифонной циркуляции	среди-земноморский	Образуются в долинах из понор за счет расширения их растворением и эрозией вод поверхностных потоков	Образуются в долинах из понор за счет расширения их растворением и эрозией вод поверхностных потоков	Образуются в долинах из понор за счет расширения их растворением и эрозией вод поверхностных потоков	Образуются в долинах из понор за счет расширения их растворением и эрозией вод поверхностных потоков	Образуются в долинах из понор за счет расширения их растворением и эрозией вод поверхностных потоков
	русский, камский, средневропейский	Образуются в долинах из понор за счет расширения их растворением и эрозией вод поверхностных потоков	Образуются в долинах из понор за счет расширения их растворением и эрозией вод поверхностных потоков	Образуются в долинах из понор за счет расширения их растворением и эрозией вод поверхностных потоков	Образуются в долинах из понор за счет расширения их растворением и эрозией вод поверхностных потоков	Образуются в долинах из понор за счет расширения их растворением и эрозией вод поверхностных потоков

Провальные воронки. Образование горизонтальных (и наклонных) пустот, расширение их в виде гротов. Обрушение сводов гротов, состоящих из карстующихся пород, и образование провальных воронок. В начальной стадии стенки их отвесны, на дне обломки карстующихся пород.

Провальные воронки. Образуются так же, как и при средиземноморском типе карста. Отличие в том, что карстующиеся породы перекрыты более молодыми (русский тип), речными (камский тип), элювиальными (среднеевропейский тип) некарстующимися отложениями. Они обрушиваются вместе с карстующимися породами. При неглубоком залегании подземных вод возможно образование карстовых озер.

Коррозионные воронки восходящих источников. В месте выхода каналов восходящих карстовых источников, в зоне сифонной циркуляции, растворяющим и механическим действием воды образуются карстовые воронки. При медленном движении воды обломочные частицы не уносятся, и восходящий источник может фильтроваться сквозь отложения на дне карстового озера.

ной циркуляции имеют по одному генетическому типу карстовых воронок. При этом наиболее редкой разновидностью являются коррозионные воронки восходящих источников, связанные с зоной сифонной циркуляции. Таким образом, наблюдается вполне естественное уменьшение числа типов карстовых воронок от верхней зоны вертикальной циркуляции к нижней зоне сифонной циркуляции.

Настоящая работа показывает, что не всегда можно судить о происхождении карстовой воронки по ее внешним очертаниям. Блюдцеобразная воронка в русском, камском и средневропейском типах карста может быть начальной или конечной стадией развития ряда генетических типов карстовых воронок. Для установления происхождения большинства карстовых воронок необходимо разбуривание их до карстующихся пород.

При подсчете возраста карстовых воронок по растворимости (4) необходимо учитывать объем карстовой воронки в карстующихся породах, а также ее генетический тип. Подсчет применим главным образом для коррозионных и коррозионно-просадочных воронок. В коррозионно-суффозионных воронках, когда имеется открытая понора, значительная часть воды стекает прямо в нее, почти не увеличивая объема подземной карстовой воронки.

Определение происхождения карстовых воронок имеет большое практическое значение. В районах, сложенных слабо растворимыми известняками и доломитами, где зона горизонтальной циркуляции находится глубоко, провальные карстовые воронки почти не образуются. Следовательно, условия строительства здесь более благоприятны, чем в районах с неглубоким залеганием зоны горизонтальной циркуляции, где развиты провальные воронки.

Необходимо дальнейшее изучение генетических типов карстовых воронок и их эволюции.

Кафедра динамической геологии и гидрогеологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Альбов С. В. Объяснение теорией горного давления происхождения провалов и просадок (на материале карста низовьев левобережья р. Оки). «Карстоведение» № 4, стр. 23—36, 1948.
2. Апродов В. А. О некоторых вопросах теории карста. Известия АН СССР, серия географ. и геофиз., т. 12, № 3, стр. 271—282, 1948.
3. Барков А. С. Карст Самарской луки. «Землеведение», т. 34, вып. 1—2, стр. 1—33, 1932.
4. Борисова Е. А. Опыт подсчета возраста карстовых форм по растворимости. Тезисы докладов Молотовской карстовой конференции, 1947.
5. Васильев Б. В. О некоторых закономерностях карстопроявлений в бассейне р. Ик (на юго-востоке Татарской АССР). ДАН СССР, т. 65, в. 4, стр. 531—534, 1949.
6. Гвоздецкий Н. А. Карст, Географиз, стр. 187, 1950.
7. Голубева Л. В. Геоморфология заповедника «Предуралье». Известия Естеств. научн. ин-та при Молотовском университете, т. 12, вып. 7, стр. 282—292, 1948.
8. Голубева Л. В. Карстово-спелеологическая станция заповедника «Предуралье». «Природа» № 7, стр. 87—88, 1949.
9. Голубева Л. В. Некоторые наблюдения над карстовыми воронками в заповеднике «Предуралье». Бюлл. Комиссии по изучению четвертичного периода АН СССР № 16, стр. 63—72, 1951.
10. Зайцев И. К. Вопросы изучения карста СССР. Труды Спецгео, вып. 2, стр. 88, 1940.
11. Зубашенко М. А. Закрытый или восточноевропейский тип карста. Тезисы докладов на научной конференции географического факультета Воронежского педагогического ин-та, стр. 19—23, 1947.
12. Каштанов С. Г. Карстовые явления в районе Казанского Поволжья. ДАН СССР, т. 40, № 2, 1943.
13. Крубер А. А. Карстовая область горного Крыма. Приложение к «Землеведению», стр. 319, 1915.

14. Кузнецов А. М. О выщелачивании гипса и ангидрита. Известия Естеств. научн. ин-та при Молотовском университете, т. 12, вып. 4, стр. 127—134, 1947.
 15. Кузнецов И. Г. Озеро Церик-Кель и другие формы карста в известняках Скалистого хребта на Северном Кавказе. Известия Гос. русского географ. об-ва, т. 60, вып. 2, стр. 277—288, 1928.
 16. Максимович Г. А. К характеристике сейсмических явлений в Молотовской области. Известия Всесоюзного географ. об-ва, т. 75, вып. 4, стр. 8—15, 1943.
 17. Максимович Г. А. Типы карстовых явлений. Тезисы докладов Молотовской карстовой конференции, 1947.
 18. Максимович Г. А. Задачи карстовой конференции. «Карстование» № 1, стр. 5—10, 1948.
 19. Максимович Г. А., Голубева Л. В., Горбунова К. А. Карстовые провалы в с. Усть-Кишерть, Молотовской области. «Природа» № 4, стр. 47—51, 1950.
 20. Оводов К. С. О взаимосвязи карстовых и оползневых явлений при формировании рельефа. Тезисы докл. Молотовской карстовой конференции, 1947.
 21. Павлов А. П. О рельефе равнин и его изменениях под влиянием работы подземных и поверхностных вод. «Землеведение», т. 5, стр. 91—147, 1899.
 22. Попов И. В. Карст. Инженерная геология. Госгеолиздат, стр. 151—165, 1951.
 23. Рыжиков Д. В. О гидрогеологическом характере карстовых процессов. Записки Уральского геологического общества, вып. 1, стр. 76—86, 1948.
 24. Саваренский Ф. П. Карстовые воды. Гидрогеология, гл. 20, стр. 178—194, 1935.
 25. Сементовский В. Н. Голубое озеро. Природа Татарии, стр. 210—213, 1947.
 26. Соколов Д. С. Основные условия развития карста. Бюлл. М., об-ва исп. природы, отд. геологии, т. 26, вып. 2, стр. 25—49, 1951.
 27. Шукин И. С. Общая морфология суши, гл. 7, Морфология карста, т. I, стр. 327—366, 1933.
-