

## **ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ЗОНЫ КАРСТОВЫХ ВОД И ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД КАРСТА**

1. 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) и Ф. П. Саваренским (1935).

2. 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), Н. А. Гвоздецким (1950), Д. С. Соколовым (1951), Г. А. Максимовичем (1952). Ф. А. Макаренко (1948), рассмотрел зоны циркуляции приморского месторождения сероводородных вод. З. А. Макеев (1947) дал общую схему подземного стока карстовых вод.

3. В карстовых районах имеются следующие гидродинамические зоны: зона поверхностной циркуляции. Воды здесь стекают по поверхности карстового массива, образуя в условиях средиземноморского типа карста карры, ложбины, конусообразные расширения понор и карстовых воронок, коррозионно-эрозионные воронки. Эти же воды расширяют устья карстовых шахт, превращая их в «пропасти». В карстовых воронках, где понор заилен, 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 30–50–100 и более метров, а в горных районах в зависимости от мощности карстующейся толщи обычно сотни метров и иногда достигает 1–2 км.

В пределах этой зоны возможны подвешенные карстовые воды на участках развития местных водоупоров в виде менее карстующихся или некарстующихся пород. Часто это прослои 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.

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. Она зависит от климатических условий и при дождевом питании 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 подрусловые 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 образуются новые карстовые полости. 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 подводных источников.

4. При наличии магистральных речных артерий зоны вертикальной циркуляции, переходная, горизонтальной и сифонной циркуляции составляют поперечный сток З. А. Макеева (1947). В продольном профиле магистральной речной артерии подрусловые пустоты образуют зону подрусловой циркуляции. Здесь, в области развития карстующихся пород, образуется подрусловой поток, текущий от более высоких точек к более низким.

При заполнении одних пустот обломочным материалом подрусловой поток перемещается 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. В местах, где за счет фациальных изменений, строения или разрывных нарушений карстующиеся породы под руслом замещаются некарстующимися, подрусловой поток выходит в реку или вблизи ее русла в виде восходящего источника.

5. Зона глубинной циркуляции ниже речных долин и подрусловых пустот характеризуется движением карстовых вод по структурам в направлении базисов разгрузки континентов, морей и океанов.

6. В областях 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 (Пятигорск, Бахарден, Зброшевская, «арагонитовая» пещера на берегу р. Бечвы в Чехословакии и другие).

7. Глубинные 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.

8. В последнее время выяснилась роль верхнетриасовых кавернозных известняков и трещиноватых ангидритов как коллектора Тосканских бороносных парогидросольфатермальных месторождений в Италии. Выделяющиеся здесь на глубине 200–300 м пар и парожидкие струи с максимальной температурой в 158–240° 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 парожидкой. Она не только находится в трещинно-карстовых коллекторах, но и, вероятно, расширяет их за счет выщелачивания.

9. Своеобразна и мало изучена циркуляция вод в рудном карсте. Сульфидные залежи, попавшие в обстановку выветривания, окисляются. Просачивающиеся воды, обогащенные серной кислотой, интенсивно закарстовывают вмещающие известняки.

10. Характер, количество и развитие гидродинамических зон карста зависят от ряда факторов. Наиболее важными являются мощность, пространственное распространение карстующейся толщи, геотектонические и геоморфологические условия, степень расчлененности рельефа и, в частности, 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.

11. Многообразие обстановок Земной коры 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, особо не рассматриваются, но подразумеваются.

12. Тип. I. Имеется только одна зона вертикальной нисходящей циркуляции карстовых вод. Этот тип наблюдается в карстующихся массивах, подстилаемых водопроницаемыми некарстующимися породами.

Тип. II. Наблюдается только одна зона горизонтальной циркуляции карстовых вод. Известен главным образом для пластов гипса с пологим падением, залегающих на водоупорном ложе и перекрытых некарстующимися породами.

Тип III. Отличается наличием зон вертикальной нисходящей и горизонтальной циркуляции. 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. Для мела при значительной мощности пределом развития может быть глубина зоны трещиноватости.

Тип IV. Имеются зоны вертикальной, горизонтальной и сифонной циркуляции. Тоже весьма распространенный тип, характерный для мощных карстующихся толщ. Воды зоны сифонной циркуляции при наличии магистральных артерий разгружаются в подруловые пустоты продольного стока, а при отсутствия долинного расчленения разгрузка происходит на окраине карстующегося массива.

Тип V. Развиты все основные зоны. Здесь кроме зон вертикальной, горизонтальной и сифонной циркуляции имеется зона глубинной циркуляции.

13. 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 горно-складчатых районах, где карбонатные породы расположены на периферии и образуют массивы значительной мощности, питание происходит через трещины, поноры, воронки, колодцы и шахты, расположенные на поверхностях выравнивания. Перемещение карстовых вод по большей части одностороннее в направлении предгорий. Область разгрузки имеет в общем линейный характер. В приморских карстовых областях наблюдаются субмаринные источники. Карстовые воды покрова платформ на берегу морей также характеризуются односторонним стоком. Это открытые бассейны карстовых вод, называемые в Австралии полубассейнами.

14. Более обычен двухсторонний сток с наличием водоразделов карстовых вод. Он наблюдается в обособленных карбонатных горных массивах, имеющих значительную протяженность. На платформах этот сток характерен для структур покрова, сложенных карстующимися породами. В случае наличия узких полос карстующихся пород, находящихся между некарстующимися, также возможен двусторонний сток.

15. При небольшой протяженности карстующихся массивов, как в горных районах, так и на платформе возможен центробежный сток. Здесь область разгрузки по периферии массива имеет вид овала.

16. Карстовые воды в ряде районов являются единственными источниками водоснабжения.

17. В карстовых районах энергия исполиновых источников используется для энергетических целей.

ОТДЕЛЕНИЕ ГЕОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ НАУК  
АКАДЕМИИ НАУК СССР

Лаборатория Гидрогеологических проблем им. Ф. П. Саваренского  
Институт Географии

Географическое Общество Союза ССР

---

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ И ОХРАНЫ НЕДР СССР

---

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ УНИВЕРСИТЕТОВ МИНИСТЕРСТВА ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ

Московский и Молотовский Государственные Университеты

---

# **ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ НА НАУЧНОМ СОВЕЩАНИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ КАРСТА**

**30 января — 3 февраля 1956 г.**

**ВЫПУСК V**

---

**МОСКВА**

ОТДЕЛЕНИЕ ГЕОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ НАУК  
АКАДЕМИИ НАУК СССР

Лаборатория Гидрогеологических проблем им. Ф. П. Саваренского  
Институт Географии

Географическое Общество Союза ССР

---

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ И ОХРАНЫ НЕДР СССР

---

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ УНИВЕРСИТЕТОВ МИНИСТЕРСТВА ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ

Московский \* и Молотовский Государственные Университеты

---

# ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ НА НАУЧНОМ СОВЕЩАНИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ КАРСТА

*30 января — 3 февраля 1956 г.*

*ВЫПУСК V*

---

МОСКВА

## ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ЗОНЫ КАРСТОВЫХ ВОД И ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД КАРСТА

1. 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) и Ф. П. Саваренским (1935).

2. В последнее время предложено несколько схем гидродинамических зон карстовых вод для случая наличия магистральной речной артерии: И. К. Зайцевым (1940), В. А. Алпродовым (1948), Д. В. Рыжиковым (1948), Н. А. Гвоздецким (1950), Д. С. Соколовым (1951), Г. А. Максимовичем (1952). Ф. А. Макаренко (1948), рассмотрел зоны циркуляции приморского месторождения сероводородных вод. З. А. Макеев (1947) дал общую схему подземного стока карстовых вод.

3. В карстовых районах имеются следующие гидродинамические зоны: **зона поверхностной циркуляции.** Воды здесь стекают по поверхности карстового массива, образуя в условиях средиземноморского типа карста карры, ложбины, конусообразные расширения понор и карстовых воронок, коррозионно-эрозионные воронки. Эти же воды расширяют устья карстовых шахт, превращая их в «пропасти». В карстовых воронках, где понор заилен, 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 30—50—100 и более метров, а в горных районах в зависимости от мощности карстующейся толщи обычно сотни метров и иногда достигает 1—2 км.

В пределах этой зоны возможны подвешенные карстовые воды на участках развития местных водоупоров в виде менее карстующихся или некарстующихся пород. Часто это прослойки 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.

**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. Она зависит от климатических условий и при дождевом питании 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 подрусловые каналы, находящиеся на глубине 15—40 м ниже дна речной долины. В условиях русского и средне-европейского типов карста воды несут из понор, карстовых воронок и каналов обломочный материал, который заполняет подрусловые пустоты, а из трещин путем растворения образуются новые карстовые полости. 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 подводных источников.

4. При наличии магистральных речных артерий зоны вертикальной циркуляции, переходная, горизонтальной и сифонной циркуляции составляют поперечный сток З. А. Макеева (1947). В продольном профиле магистральной речной артерии подрусловые пустоты образуют **зону подрусловой циркуляции**. Здесь, в области развития карстующихся пород, образуется подрусловой поток, текущий от более высоких точек к более низким.

При заполнении одних пустот обломочным материалом подрусловой поток перемещается 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.

В местах, где за счет фациальных изменений, строения или разрывных нарушений карстующиеся породы под руслом замещаются некарстующимися, подрусловой поток выходит в реку или вблизи ее русла в виде восходящего источника.

5. Зона глубинной циркуляции ниже речных долин и подрусло-  
вых пустот характеризуется движением карстовых вод по структу-  
рам в направлении базисов разгрузки континентов, морей и океанов.

6. В областях горных складчатых сооружений и современного  
или недавнего вулканизма карстовые явления обусловлены также  
выщелачивающим действием восходящих глубинных вод — термаль-  
ных, углекислых и других, поступающих главным образом по раз-  
ломам (Пятигорск, Бахарден, Зброшевская, «арагонитовая» пещера  
на берегу р. Бечвы в Чехословакии и другие).

7. Глубинные воды играют сравнительно небольшую роль в совре-  
менном карстообразовании, но за длительную геологическую исто-  
рию нашей планеты их приходится учитывать. Глубинные растворы  
обуславливают скопление в карстовых пустотах различных полезных  
ископаемых.

8. В последнее время выяснилась роль верхнетриасовых каверноз-  
ных известняков и трещиноватых ангидритов как коллектора Тоскан-  
ских бороносных паро-гидросольфатермальных месторождений в  
Италии. Выделяющиеся здесь на глубине 200—300 м пар и паро-  
жидкие струи с максимальной температурой в 158—240° и давле-  
нием 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.  
Она не только находится в трещинно-карстовых коллекторах, но и,  
вероятно, расширяет их за счет выщелачивания.

9. Своеобразна и мало изучена циркуляция вод в рудном карсте.  
Сульфидные залежи, попавшие в обстановку выветривания, окис-  
ляются. Просачивающиеся воды, обогащенные серной кислотой,  
интенсивно закарстовывают вмещающие известняки.

10. Характер, количество и развитие гидродинамических зон  
карста зависят от ряда факторов. Наиболее важными являются  
мощность, пространственное распространение карстующейся толщи,  
геотектонические и геоморфологические условия, степень расчленен-  
ности рельефа и в частности 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.

11. Многообразие обстановок Земной коры и соотношений пере-  
численных ранее факторов обуславливает не только разное количест-  
во зон циркуляции, но и различные их комбинации. Приведем неко-  
торые основные типы гидродинамических профилей карстовых обла-  
стей. Зона поверхностной циркуляции, а также переходная зона,  
находящаяся над зоной горизонтальной циркуляции, особо не рас-  
сматриваются, но подразумеваются.

12. Тип 1. Имеется только одна зона вертикаль-  
ной нисходящей циркуляции карстовых вод. Этот  
тип наблюдается в карстующихся массивах, подстилаемых водопроницаемыми некарстующимися породами.

Тип II. Наблюдается только одна зона горизонтальной циркуляции карстовых вод. Известен главным образом для пластов гипса с пологим падением, залегающих на водоупорном ложе и перекрытых некарстующимися породами.

Тип III. Отличается наличием зон вертикальной нисходящей и горизонтальной циркуляции. 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. Для мела при значительной мощности пределом развития может быть глубина зоны трещиноватости.

Тип IV. Имеются зоны вертикальной, горизонтальной и сифонной циркуляции. Тоже весьма распространенный тип, характерный для мощных карстующихся толщ. Воды зоны сифонной циркуляции при наличии магистральных артерий разгружаются в подрусловые пустоты продольного стока, а при отсутствии долинного расчленения разгрузка происходит на окраине карстующегося массива.

Тип V. Развита все основные зоны. Здесь кроме зон вертикальной, горизонтальной и сифонной циркуляции имеется зона глубинной циркуляции.

13. 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 горно-складчатых районах, где карбонатные породы расположены на периферии и образуют массивы значительной мощности, питание происходит через трещины, поноры, воронки, колодцы и шахты, расположенные на поверхностях выравнивания. Перемещение карстовых вод по большей части одностороннее в направлении предгорий. Область разгрузки имеет в общем линейный характер. В приморских карстовых областях наблюдаются субмаринные источники.

Карстовые воды покрова платформ на берегу морей также характеризуются односторонним стоком. Это открытые бассейны карстовых вод, называемые в Австралии полубассейнами.

14. Более обычен двухсторонний сток с наличием водоразделов карстовых вод. Он наблюдается в обособленных карбонатных горных массивах, имеющих значительную протяженность. На платформах этот сток характерен для структур покрова, сложенных карстующимися породами.

В случае наличия узких полос карстующихся пород, находящихся между некарстующимися, также возможен двусторонний сток.

15. При небольшой протяженности карстующихся массивов, как в горных районах, так и на платформе возможен центробежный

сток. Здесь область разгрузки по периферии массива имеет вид овала.

16. Карстовые воды в ряде районов являются единственными источниками водоснабжения.

17. В карстовых районах энергия исполинских источников используется для энергетических целей.