

## ОСНОВНЫЕ ТИПЫ И МОДУЛЬ ПОДЗЕМНОГО СТОКА КАРСТОВЫХ ОБЛАСТЕЙ

(Представлено академиком Д. В. Наливкиным 9 VI 1959)

В зависимости от геотектонических, геоморфологических условий и положения относительно морских берегов наблюдается различное размещение областей питания, направления перемещения и стока (разгрузки) карстовых вод. Намечается несколько гидрогеологических обстановок с различными типами стока карстовых вод.

В горно-складчатых районах, где карбонатные породы находятся 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. Зона разгрузки имеет в общем линейный характер (рис. 1). В приморских карстовых областях наблюдаются наземные и 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 (3, 4).

Карстовые воды покрова платформ на берегу морей также характеризуются односторонним стоком. Это открытые бассейны карстовых вод, называемые в Австралии полубассейнами. Одним из самых больших бассейнов карстовых вод является Юкла, на берегу Большого Австралийского залива, имеющий площадь около 180 тыс. км<sup>2</sup>. Гидродинамические зоны его были рассмотрены нами ранее (5). Подобная обстановка имеет место по восточному берегу п-о. Флорида и в других карстовых областях.

Более обычен двухсторонний поперечный сток с наличием водоразделов карстовых вод. Он наблюдается в обособленных карбонатных горных массивах, имеющих значительную протяженность. На платформах двухсторонний поперечный сток характерен для структур покрова, сложенных карстующимися породами (рис. 1 II, а). Он установлен автором для карстовой области Уфимского вала между рр. Иренью, Сылвой и Иргиной. Д. В. Рыжиков (11) для карстовой области Дунай – Аах в Швабской юре показал это по данным Лемана.

В узких полосах карстующихся пород, находящихся между некарстующимися, возможен двухсторонний продольный сток (рис. 1 II, б). На Северном Урале для междуречья Вагран – Калья на карте гидроизогипс показана одна южная ветвь стока в сторону р. Вагран (11). Региональный сток в этом районе по отношению к простираению полосы карстующихся известняков – поперечный. Шахтный водоотлив обусловил образование, значительной депрессионной воронки (12).

Двухсторонний продольный сток весьма частое явление на восточном склоне Урала, где палеозойские крутоставленные метаморфизированные известняки образуют узкие полосы среди некарстующихся пород.

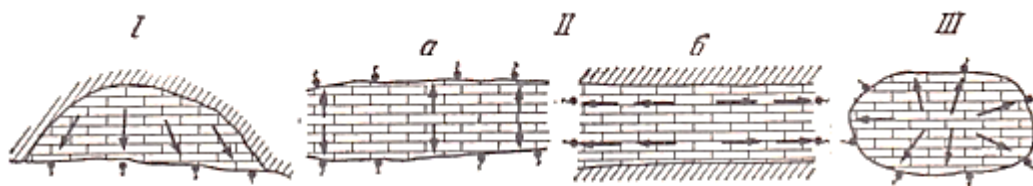


Рис. 1. Типы подземного стока краобласхстоветей. I — односторонний, II — двухсторонний (а — поперечный, б — продольный), III — центробежный

В небольших карстующихся массивах, как в горных районах, так и в покрове платформ, имеет место центробежный сток (рис. 1 III). Зона разгрузки на периферии массива имеет в этом случае вид овала. Подобное явление известно для небольшого известнякового массива в Восточной Сибири (1). Центробежный сток наблюдается в Крымской карстовой области для Чатырдага. Н. Ф. Погребов (8) для вод силурийских отложений восточной части Эстонско-Ленинградской карстовой провинции (6) составил карту гидроизогипс, показывающую тот же тип стока. В Италии небольшой карстовый район Фумайоло в Эмилианских Альпах в верховье р. Тибра, где по периферии и отчасти в центре имеется 12 источников (9), отличается таким же типом стока. В Восточных Альпах, на юго-запад от Вены, имеется другой подобный небольшой карстовый район, сложенный мультислойно залегающими верхнетриасовыми известняками, подстилаемыми водонепроницаемыми отложениями. Сток здесь центробежный к довольно многоводным карстовым источникам на периферии (2). Этот же тип стока, также из триасовых известняков, известен в Апулийских Альпах в Италии, в районе карстового источника Хизачия (9).

Рассмотренные основные типы подземного стока не исчерпывают всего их разнообразия. Возможны, конечно, и другие типы. Разработка этого вопроса — задача ближайшего будущего.

Количество воды, стекающей в 1 сек. с 1 км<sup>2</sup> площади карстового массива, называют модулем подземного стока (разгрузки). Один из первых подсчетов этого модуля кристаллических известняков Чешской карстовой области был опубликован в 1922 г. (14). Модуль здесь 7–7,5 л/сек. с 1 км<sup>2</sup>. В Ксенофонтско-Нырбском карстовом районе, в Пермской обл. (7), в долине р. Колвы на участке Девий — Ветлан, на протяжении более 5 км наблюдается 24 карстовых источника с дебитом 2–200 л/сек. Суммарный дебит их в межень около 2,7 м<sup>3</sup>/сек, а водосборная площадь составляет как минимум 172 км<sup>2</sup> (11). Модуль подземного стока 15,76 л/сек.

В упомянутом уже карстовом районе Фумайоло в Италии (9) суммарный дебит 12 источников составляет 91 л/сек. Площадь его всего 13 км<sup>2</sup>, а модуль стока 7 л/сек.

Известный источник Воклюз на юге Франции имеет площадь питания карстующегося массива 1450 км<sup>2</sup>, а дебит--изменяющийся от 4 до 150 м<sup>3</sup>/сек (9). По другим данным, дебит источника не бывает меньше 5,5 м<sup>3</sup>/сек, а годовой 450–680 млн. м<sup>3</sup> (1а) или в среднем 14 271–20 572 л/сек. Модуль подземного стока для карстового района Воклюз будет: средний 9,8–14,2 и минимальный 2,75–3,75 л/сек. Опыт примерного подсчета для карстового плато Мардина в Турции, где вытекает источник Рас-эль-Айн (исток р. Кхабур) с минимальным дебитом 40 м<sup>3</sup>/сек (13), дает при площади 2000 км<sup>2</sup> модуль подземного стока 20 л/сек.

Полученные цифры модуля подземного стока показывают изменение его от 7 до 20 л/сек при минимуме 3–4 л/сек. Они, конечно, изменяются в зависимости от климатических, геоморфологических и геологических условий карстовых районов. Подсчет их для карстовых районов, находящихся в различных условиях, позволит установить величины средних и минимальных модулей. Эти данные могут быть использованы при проектировании водоснабжения карстовыми водами. При этом важно организовать наблюдение за дебитом карстовых источников, чтобы пользоваться не случайными данными, а среднегодовыми. Среднегодовой дебит также не постоянен, а изменяется в довольно широких пределах. Это было показано на примере источника Воклюз.

Карстовые воды вытекают не только в виде источников. В горах они частично стекают в делювий склонов, а на равнинах – в поддолинные потоки (5). В приморских карстовых областях они безвозвратно теряются в виде субмаринных источников (3-4). Таким образом, во многих случаях учет дебита источников дает модуль стока, который меньше истинного.

В горных районах в небольших карстовых областях – там, где карстующиеся карбонатные отложения подстилаются высоко расположенным водоупором, канализацией карстовых вод в штольню можно предотвратить потерю вод в делювий склонов. Подобная обстановка имеет место в Горном Крыму. Это позволит улучшить водоснабжение южного берега Крыма. В небольших карстовых массивах с синклинальным залеганием проведение штолен в наиболее пониженную часть мульды приведет к прекращению функционирования переливающихся источников по периферии и потери воды в делювий. Вся карстовая вода пойдет по искусственной выработке, а центробежный тип стока сменится на центростремительный. Модуль стока увеличится.

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. П. Иованович. Сборн. радова посвечен И. Цвийичу, Београд, 1924, стр. 175.
2. К. Кейльгак. Подземные воды, М. – Л., 1935.
3. Г. А. Максимович, Природа, № 4, 89 (1956).
4. Г. А. Максимович, Уч. зап. Пермск. унив., 11, в. 2, 83 (1957).
5. Г. А. Максимович, ДАН, 112, № 3, 501 (1957).
6. Г. А. Максимович, Районированне карста СССР, Пермь, 1958.
7. Г. А. Максимович, К. А. Горбунова. Карст Пермской области, Пермь, 1958.
8. Н. Ф. Погребов, Тр. 2 съезда деят. ло прикл. геол. и развед. делу в 1911 г., СПб., 1913.
9. Е. Принц, Р. Кампе, Гидрогеология, 2, М., 1937.
10. Ф. Ратцель, Земля и жизнь, 2, СПб., 1908.
11. Д. В. Рыжиков, Тр. Горн.-геол. инст., Урал. фил. АН СССР, 21, М. (1954).
12. Д. В. Рыжиков. ДАН. 109, № 1, 183 (1958).
13. Р. Фюрон, Введение в геологию и гидрогеологию Турции, М., 1955.
14. U. Huber, Mitt. Dtsch. Ing. In Mahren, 19, № 3, 18 (1922).

ДОКЛАДЫ  
АКАДЕМИИ НАУК СССР

---

1959

Том 128, № 5

Г. А. МАКСИМОВИЧ

**ОСНОВНЫЕ ТИПЫ И МОДУЛЬ ПОДЗЕМНОГО СТОКА  
КАРСТОВЫХ ОБЛАСТЕЙ**

(Представлено академиком Д. В. Наливкиным 9 VI 1959)

В зависимости от геотектонических, геоморфологических условий и положения относительно морских берегов наблюдается различное размещение областей питания, направления перемещения и стока (разгрузки) карстовых вод. Намечается несколько гидрогеологических обстановок с различными типами стока карстовых вод.

В горно-складчатых районах, где карбонатные породы находятся 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. Зона разгрузки имеет в общем линейный характер (рис. 1). В приморских карстовых областях наблюдаются наземные и 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 (3, 4).

Карстовые воды покрова платформ на берегу морей также характеризуются односторонним стоком. Это открытые бассейны карстовых вод, называемые в Австралии полубассейнами. Одним из самых больших бассейнов карстовых вод является Юкла, на берегу Большого Австралийского залива, имеющий площадь около 180 тыс. км<sup>2</sup>. Гидродинамические зоны его были рассмотрены нами ранее (5). Подобная обстановка имеет место по восточному берегу п-о. Флорида и в других карстовых областях.

Более обычен двухсторонний поперечный сток с наличием водоразделов карстовых вод. Он наблюдается в обособленных карбонатных горных массивах, имеющих значительную протяженность. На платформах двухсторонний поперечный сток характерен для структур покрова, сложенных карстующимися породами (рис. 1 II, а). Он установлен автором для карстовой области Уфимского вала между рр. Иренью, Сылвой и Иргинью. Д. В. Рыжиков (11) для карстовой области Дунай — Аах в Швабской юге показал это по данным Лемана.

В узких полосах карстующихся пород, находящихся между некарстующимися, возможен двухсторонний продольный сток (рис. 1 II, б). На Северном Урале для междуречья Вагран — Калья на карте гидроизогипс показана одна южная ветвь стока в сторону р. Вагран (11). Региональный сток в этом районе по отношению к простиранию полосы карстующихся известняков — поперечный. Шахтный водоотлив обусловил образование значительной депрессионной воронки (12).

Двухсторонний продольный сток весьма частое явление на восточном склоне Урала, где палеозойские крутоставленные метаморфизированные известняки образуют узкие полосы среди некарстующихся пород.

В небольших карстующихся массивах, как в горных районах, так и в покрове платформ, имеет место центробежный сток (рис. 1 III). Зона раз-

грузки на периферии массива имеет в этом случае вид овала. Подобное явление известно для небольшого известнякового массива в Восточной Сибири (2). Центробежный сток наблюдается в Крымской карстовой области для Чатырдага. Н. Ф. Погребов (6) для вод силурийских отложений восточной части Эстонско-Ленинградской карстовой провинции (6) составил карту гидроизогипс, показывающую тот же тип стока. В Италии небольшой карстовый район Фумайоло в Эмилианских Альпах в верховье р. Тибра, где

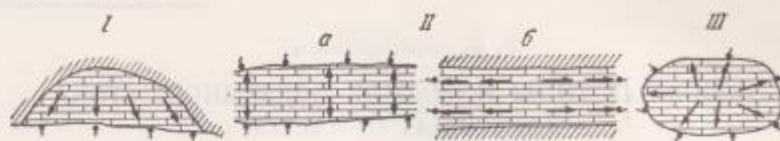


Рис. 1. Типы подземного стока краобластности. I — односторонний, II — двухсторонний (а — поперечный, б — продольный), III — центробежный

по периферии и отчасти в центре имеется 12 источников (9), отличается таким же типом стока. В Восточных Альпах, на юго-запад от Вены, имеется другой подобный небольшой карстовый район, сложенный мульдобразно залегающими верхнетриасовыми известняками, подстилаемыми водонепроницаемыми отложениями. Сток здесь центробежный к довольно многоводным карстовым источникам на периферии (2). Этот же тип стока, также из триасовых известняков, известен в Апулийских Альпах в Италии, в районе карстового источника Хизачия (9).

Рассмотренные основные типы подземного стока не исчерпывают всего их разнообразия. Возможны, конечно, и другие типы. Разработка этого вопроса — задача ближайшего будущего.

Количество воды, стекающей в 1 сек. с 1 км<sup>2</sup> площади карстового массива, называют модулем подземного стока (разгрузки). Один из первых подсчетов этого модуля кристаллических известняков Чешской карстовой области был опубликован в 1922 г. (14). Модуль здесь 7—7,5 л/сек. с 1 км<sup>2</sup>. В Ксенофонтовско-Нырбском карстовом районе, в Пермской обл. (7), в долине р. Колвы на участке Девий — Ветлан, на протяжении более 5 км наблюдается 24 карстовых источника с дебитом 2—200 л/сек. Суммарный дебит их в межень около 2,7 м<sup>3</sup>/сек, а водосборная площадь составляет как минимум 172 км<sup>2</sup> (11). Модуль подземного стока 15,76 л/сек.

В упомянутом уже карстовом районе Фумайоло в Италии (9) суммарный дебит 12 источников составляет 91 л/сек. Площадь его всего 13 км<sup>2</sup>, а модуль стока 7 л/сек.

Известный источник Воклюз на юге Франции имеет площадь питания карстующегося массива 1450 км<sup>2</sup>, а дебит — изменяющийся от 4 до 150 м<sup>3</sup>/сек (9). По другим данным, дебит источника не бывает меньше 5,5 м<sup>3</sup>/сек, а годовой 450—680 млн. м<sup>3</sup> (14) или в среднем 14 271—20 572 л/сек. Модуль подземного стока для карстового района Воклюз будет: средний 9,8—14,2 и минимальный 2,75—3,75 л/сек. Опыт примерного подсчета для карстового плато Мардина в Турции, где вытекает источник Рас-эль-Айн (исток р. Кхабур) с минимальным дебитом 40 м<sup>3</sup>/сек (13), дает при площади 2000 км<sup>2</sup> модуль подземного стока 20 л/сек.

Полученные цифры модуля подземного стока показывают изменение его от 7 до 20 л/сек при минимуме 3—4 л/сек. Они, конечно, изменяются в зависимости от климатических, геоморфологических и геологических условий карстовых районов. Подсчет их для карстовых районов, находящихся в различных условиях, позволит установить величины средних и минимальных модулей. Эти данные могут быть использованы при проектировании водоснабжения карстовыми водами. При этом важно организовать наблюдение за дебитом карстовых источников, чтобы пользоваться не случайными данными, а среднегодовыми. Среднегодовой дебит также не постоянен, а изме-

няется в довольно широких пределах. Это было показано на примере источника Воклюз.

Карстовые воды вытекают не только в виде источников. В горах они частично стекают в делювий склонов, а на равнинах — в поддолинные потоки<sup>(5)</sup>. В приморских карстовых областях они безвозвратно теряются в виде субмаринных источников<sup>(3,4)</sup>. Таким образом, во многих случаях учет дебита источников дает модуль стока, который меньше истинного.

В горных районах и небольших карстовых областях — там, где карстующиеся карбонатные отложения подстилаются высоко расположенным водопором, канализацией карстовых вод в штольню можно предотвратить потерю вод в делювий склонов. Подобная обстановка имеет место в Горном Крыму. Это позволит улучшить водоснабжение южного берега Крыма. В небольших карстовых массивах с синклиналим залеганием проведение штолен в наиболее пониженную часть мульды приведет к прекращению функционирования переливающихся источников по периферии и потери воды в делювий. Вся карстовая вода пойдет по искусственной выработке, а центробежный тип стока сменится на центростремительный. Модуль стока увеличится.

Пермский государственный университет  
им. А. М. Горького

Поступило  
5 VI 1959

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> П. Иванович. Сборн. радова посвечен И. Цвиичу, Београд, 1924, стр. 175.  
<sup>2</sup> К. Кейдльгак. Подземные воды, М.—Л., 1935. <sup>3</sup> Г. А. Максимович, Природа, № 4, 89 (1956). <sup>4</sup> Г. А. Максимович, Уч. зап. Пермск. ун-ва, 11, в. 2, 83 (1957). <sup>5</sup> Г. А. Максимович, ДАН, 112, № 3, 501 (1957). <sup>6</sup> Г. А. Максимович, Районирование карста СССР, Пермь, 1958. <sup>7</sup> Г. А. Максимович, К. А. Горбунова, Карст Пермской области, Пермь, 1958. <sup>8</sup> Н. Ф. Погребов, Тр. 2-го съезда деят. по прикл. геол. и развед. делу в 1911 г., СПб., 1913. <sup>9</sup> Е. Принц, Р. Кампе, Гидрогеология, 2, М., 1937. <sup>10</sup> Ф. Ратцель, Земля и жизнь, 2, СПб., 1908. <sup>11</sup> Д. В. Рыжиков, Тр. Горн.-геол. инст., Урал. фил. АН СССР, 21, М. (1954). <sup>12</sup> Д. В. Рыжиков, ДАН, 109, № 1, 183 (1958). <sup>13</sup> Р. Фюрон, Введение в геологию и гидрогеологию Турции, М., 1955. <sup>14</sup> U. Huber, Mitt. Dtsch. Ing. in Mähren, 19, № 3, 18 (1922).