

## НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ГИДРОЛОГИИ КАРСТОВЫХ ОБЛАСТЕЙ

Гидрология карстовых областей отличается значительным своеобразием. Наличие на поверхности большого количества трещин, понор, воронок, колодцев, шахт, вертикальных пещер приводит к тому, что дождевые и талые снеговые воды текут только короткие расстояния до ближайшего понижения и здесь поглощаются. В типичных карстовых областях имеет место только внерусловый сток в эти понижения. В условиях голого карста при этом образуются карры. Около некоторых больших воронок и карстовых котловин наблюдаются короткие сухие долины, по которым после дождей и во время снеготаяния наблюдаются временные потоки. Постоянных водотоков здесь нет, а в зависимости от климатических условий и стадии развития карста могут быть постоянные или периодически появляющиеся озера. Отсутствие рек и редкие озера – отличительная черта голых каменных пустынь карстовых районов. Вследствие этого подземный сток преобладает над поверхностным.

Сильная закарстованность сказывается прежде всего в том, что густота речной сети здесь наименьшая. Иногда десятки и даже сотни тысяч квадратных километров совершенно лишены речных потоков. Примером такой обширной карстовой области может служить Налларбор или Юкла площадью 170 тыс. км<sup>2</sup> в Южной Австралии. Здесь густота речной сети равна нулю. В. А. Балков (1960) указывает, что в карстовых районах Пермской области густота речной сети наименьшая, но не приводит цифровых данных. Л. А. Шимановский (1961) для юга этой области в некарстовых районах определил густоту 0,2–0,3, а в карстовых 0,09–0,12 км на 1 км<sup>2</sup>. Т. Морариу, А. Саву и Ф. Думбравэ (1956, 1957), давая характеристику плотности гидрографической сети Румынии, освещают и карстовые районы.

Гидрология карстовых областей слабо изучена. Можно отметить работы Н. Ф. Погребова (1913), Я. Н. Иванова (1933), П. Покровского (1940), Р. А. Филенко (1949), Н. П. Чеботарева (1953), Р. Пантле (1953), В. Р. Зверева (1956), В. К. Колотильщикова (1956), П. В. Молитвина (1956, 1959, 1960, 1962\*), А. М. Гаврилова (1956, 1960), А. М. Гаврилова и И. В. Кузнецова (1957), В. А. Балкова (1958, 1960), А. О. Кеммерих (1959), В. М. Широкова (1957), Л. А. Владимирова (1955, 1959), Н. П. Торсуева (1961).

В. А. Балков (1958, 1960), на примере двух рек юга Пермской области Ирени и Б. Сарса, протекающих в карстовых районах, показывает отличие их режима от рек некарстовых территорий. Одной из особенностей этих рек является резкое снижение значений среднесуточных расходов воды в период весеннего половодья, а также отсутствие резко выраженных дождевых паводков летом и осенью.

Наибольшее влияние карста проявляется в уменьшении величины весеннего стока и его доли от годового. Для указанных рек, вследствие просачивания талых снеговых вод в поноры, карстовые воронки и проникновения их в карстовые воды, объем весеннего стока уменьшается на 20–30 % по сравнению со стоком смежных бассейнов рек, где нет карста, и составляет всего 30–35 % от годового. Средний коэффициент весеннего стока для бассейнов рек карстовых районов равен 0,31–0,34 и 0,50–0,58 для некарстовых.

Карст является естественным регулятором стока. Он уменьшает поверхностный сток весной и увеличивает подземный сток в межень. Это наглядно показывает таблица 1, где дано среднее распределение месячного стока в долях от годового, принятого за единицу. Для рек карстовых районов Ирени и Б. Сарса сток (в долях от среднегодового) в апреле – мае меньше, а в остальные месяцы больше, чем в соседних незакарстованных бассейнах.

Таблица 1

Распределение месячного стока в долях от годового

Бассейны рек	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Годовой
<b>Среднее за 1933–1937 гг.</b>													
Ирень	0,58	0,58	0,53	2,70	2,50	1,00	0,83	0,77	0,67	0,59	0,66	0,46	1,0
Сылва	0,25	0,25	0,25	2,90	3,90	1,00	0,77	0,78	0,49	0,45	0,61	0,29	1,0
Бабка	0,26	0,24	0,24	4,30	4,00	0,71	0,29	0,33	0,42	0,41	0,35	0,25	1,0
Обва	0,26	0,28	0,29	6,00	2,30	0,66	0,46	0,37	0,39	0,45	0,33	0,19	1,0
<b>Среднее за 1936–1942 гг.</b>													
Б. Сарс	0,45	0,47	0,50	2,58	2,41	0,94	0,92	0,83	0,69	0,77	0,90	0,53	1,0
Тюй	0,37	0,36	0,45	3,60	3,32	0,67	0,54	0,46	0,50	0,64	0,62	0,39	1,0
Тульва	0,26	0,21	0,24	5,64	2,89	0,65	0,39	0,23	0,26	0,48	0,42	0,31	1,0

Роль карста в перераспределении поверхностного и подземного стока была определена путем подсчета среднего годового подземного стока в процентах от среднего объема годового стока. Расчленение гидрографов по источникам питания позволило установить, что средняя величина подземного стока в закарстованных бассейнах рек Ирени и Б. Сарса больше на 20–30 %, чем в соседних бассейнах с отсутствием карста.

Карст обуславливает быстрый перевод значительной части поверхностного стока в подземный. Это способствует сохранению части влаги от испарения. Следовательно общий стаж за год несколько увеличивается. Подсчеты В. А. Балкова (1960) показали, что при равных суммах годовых осадков и приблизительно одинаковых

\* Последняя работа, опубликованная после сдачи рукописи в печать, не использована.

снегозапасах величина среднего годового стока в бассейнах рек Ирени и Б. Сарса только на 2–3 % превышает годовой сток соседних некарстовых бассейнов. В. А. Балков не учитывает, что по нашим наблюдениям на р. Ирени имеется значительный сток в поддолинных и подруловых карстовых пустотах. Наличие подруловых каналов, заполненных текущей карстовой водой, было причиной неудачи с сооружением гидростанции в районе д. Неволينو. Подруловые пустоты с потоком вод имеются и на других участках р. Ирени. Гидрометрический створ на р. Ирени, данные по которому использовал В. А. Балков для своих выводов, находится у д. Шубино. Поддолинный сток констатирован в 3–4 км ниже по течению у д. Неволينو. Так как поддолинные карстовые воды в конце концов поступают в речные, то фактический средний годовой сток в бассейне р. Ирени превышает сток соседних некарстовых бассейнов не на 2–3 %, а несколько больше. При современной редкой сети гидрометрических створов это нельзя определить.

Необходимо также учесть, что в бассейне р. Ирени закарстована только правобережная часть. В левобережной же развиты песчано-глинистые толщи, мергели, и хорошо выражен поверхностный сток. Следовательно, при развитии карста на всей территории бассейна мы имели бы еще большие цифры. Бассейн р. Б. Сарса также закарстован не на всей площади.

В. А. Балков (1960) делает следующие выводы о режиме стока рек Ирени и Б. Сарс, в бассейне которых развиты карстовые явления.

1. Карстовые явления обуславливают повышение подомного стока на 20–30 % по сравнению с бассейнами соседних рек с отсутствием карста.

2. В карстовых районах наблюдается плавный ход стока, который выравнен в течение года за счет перевода значительной части поверхностного стока весной в подземный.

3. Объем весеннего стока рек карстовых районов уменьшен, а доля его в годовом стоке на 20–30 % меньше, чем в соседних некарстовых бассейнах. Это сказывается и на коэффициенте весеннего стока, который для бассейнов рек Ирени и Б. Сарс достигает 0,31–0,34, что является наименьшей величиной в Пермской области.

Как следствие, при расчете стока бассейнов малых рек методом аналогии нельзя пользоваться, если один бассейн закарстован, а другой нет. Об этом предупреждают В. А. Балков (1960) и А. М. Гаврилов (1960).

А. М. Гаврилов (1960) отмечает, что в карстовых районах фактические водосборы малых рек не совпадают с поверхностными. Осадки питают в основном подземный сток. Отсюда зарегулирование стока в году в значительной степени определяется емкостью подземных коллекторов карстовых вод. Изменение стока по долине реки, вплоть до перехода ее на отдельных участках в подземный поток, зависит от расположения и чередования карстующихся и некарстующихся пород, от характера закарстованных толщ, древности карстообразования, колебательных движений земной коры, климатических условий и многих других факторов.

В карстовых районах с особой осторожностью следует пользоваться картами изолиний стока. Они обычно строятся по данным стока крупных и отчасти средних рек, у которых влияние местных условий сглажено. Пользоваться ими для карстовых рек в большинстве случаев нельзя.

А. М. Гаврилов приводит некоторые данные о гидрологических особенностях малых рек карстовых районов Горьковской и Ленинградской областей и Урала. Судя по приводимому им списку литературы (1960), работы Я. П. Иванова (1933), П. Покровского (1940) ему неизвестны.

В Горьковской области А. М. Гаврилов (1960) рассматривает средние модули стока для рек Сережи (приток Теши, впадающей в Оку), Пьяны (приток Суры), бассейны которых закарстованы, и р. Алатырь, некарстовой реки с более значительным водосбором. Питание ее смешанное, близкое к зональному. Данные о средних модулях стока приведены в таблице 2.

Таблица 2

Приведенные средние модули стока

Река	Пост	Площадь водосбора (в км <sup>2</sup> )	Период приведения	M <sub>ср</sub> (л/сек. 1 закм <sup>2</sup> )		
				По данным А. М. Гаврилова	По карте Зайкова	По карте Росгипроводхоза
Сережа	Лесуново	1810	1931–1956	2,5	4,9	4,1
Пьяна	Гагино	2070	1934–1956	5,3	4,7	3,6
Пьяна	Камкино	6310	1934–1956	3,9	4,8	3,8
Алатырь	Тургенево	10800	–	3,6	4,6	3,4

По данным таблицы 2, средние модули стока двух соседних рек Сережи и Пьяны различны. Средний модуль стока в бассейне р. Сережи не определяется ни по одной из карт изолиний среднего стока даже приближенно. А. М. Гаврилов указывает, что ошибка определения составляет для карты Зайкова 96 % и для карты Росгипроводхоза 64 %, что совершенно недопустимо. Низкий модуль стока в бассейнах Сережи и Теши А. М. Гаврилов объясняет несоответствием фактического и поверхностного водосбора реки. Он считает, что вода уходит подземным путем за пределы поверхностного водосбора. В данном случае подтверждается наше замечание, что карстовые реки часто характеризуются несколько уменьшенным модулем стока (Г. А. Максимович, 1958), которое А. М. Гаврилов (1960) оспаривал. Ведь теоретическая часть книги «Карст Пермской области» была написана на мировом материале, конечно с преобладанием примеров Пермской области.

В бассейнах Сережи и Пьяны нет и естественной зарегулированности стока, характерной для рек карстовых областей. В качестве одного из показателей зарегулированности стока А. М. Гаврилов берет отношение средних

меженных (летних)  $Q_m$  и средних зимних  $Q_z$  расходов воды к среднему годовому  $Q_r$ , полученное за более или менее продолжительный период. Сток считается слабо зарегулированным, если отношение величин меженных и зимних расходов к годовому менее 30–40 %.

Таблица 3

**Естественная зарегулированность стока**  
(по А. М. Гаврилову, 1960)

Река	Пункт	Период	$\frac{Q_m}{Q_r}$ (в %)	$\frac{Q_z}{Q_r}$ (в %)
Сережа	Лесуново	1952–1957	26,2	18,7
Пьяна	Гагино	1948–1956	13,3	11,0
Пьяна	Камкино	1952–1957	40,0	37,0
		1948–1957	48,0	38,0
Алатырь	Тургенева	1952–1956	22,5	21,7
		1948–1956	21,3	19,8
		1934–1956	25,4	16,5

В результате подсчетов (таблица 3) оказалось, что Пьяна в верховьях у Гагина имеет крайне малую естественную зарегулированность стока, Пьяна у Камкина близкую к умеренной, а Алатырь у Тургенева и Сережа у Лесунова – слабую. В данном районе карст не влияет на зарегулирование годового стока.

А. М. Гаврилов объясняет эту особо слабую зарегулированность Пьяны у Гагина, быстрым стоком весенних вод по мерзлomu грунту в условиях местности, сильно расчлененной оврагами. Это сказывается в виде высоких величин годовых модулей максимального стока (таблица 4).

Таблица 4

**Годовые модули максимального стока**  
(в л. сек. с 1 км<sup>2</sup>)

Река	Пункт	Годы				
		1952	1953	1954	1955	1956
Пьяна	Гагино	172	216	67	214	255
Пьяна	Камкино	44	79	25	69	66
Сережа	Лесуново	26	43	7	83	77
Алатырь	Тургенева	65	97	18	130	91

Пьяна у Камкина и Сережа у Лесунова имеют малые модули максимального стока. Это связывается с влиянием карста, а для р. Сережи и с озерностью.

В Ленинградской карстовой области (Г. А. Максимович, 1958) в районе Силурийского плато имеется несколько рек, берущих начало у южной границы этого плато. Здесь с 1952 г. ведутся специальные регулярные наблюдения за стоком карстовой реки Оредеж, ее некарстовых притоков Черной, Орлинка, а также за некарстовой р. Лугой (А. М. Гаврилов, 1960).

Оказалось, что средний модуль стока р. Оредежи в ее верховьях в 2–1,5 раза выше зонального модуля стока – 7 л/сек с 1 км<sup>2</sup>. Это связано с притоком карстовых вод из-за пределов поверхностного водосбора. Сток Оредежи в течение года зарегулирован запасами карстовых вод. Это видно из таблицы 5.

Таблица 5

**Средние модули стока ( $M_{cp}$ ) в 1952–1958 гг. в л. сек. с 1 км<sup>2</sup>**  
(по А. М. Гаврилову, 1960)

Река		Поверхностный водосбор в км <sup>2</sup>	$M_{cp}$
Оредеж	1	230	16,2
	2	350	13,5
	3	740	11,0
Черная		28	8,0
Орлинка		183	9,2
Луга		839	7,4

Запасы карстовых вод образуются в весенний период почти ежегодно, а осенью в 50 % случаев. Коэффициент весеннего стока в бассейне Оредежи и ее некарстовых притоков, рек Черной и Орлинка, показан в таблице 6.

Регулирующее влияние карстового питания сказывается и на колебаниях годового стока. На верхней Оредежи оно 78–120 % от среднего, тогда как в верхнем течении Луги, где нет карстовых явлений, 57–151 %.

Карст сказывается и на максимальном стоке. Модуль максимального стока для Оредежи 100 л/сек, тогда как для некарстовой реки Луги он 200 л/сек с 1 км<sup>2</sup>. Величина модуля на верхней Оредежи возрастает по длине реки.

**Коэффициент весеннего стока по годам**  
(по А. М. Гаврилову, 1960)

Река	Пункт	Площадь водосбора (в км <sup>2</sup> )	Годы					
			1953	1954	1955	1956	1957	1958
Оредеж	Заречье	113	0,29	0,31	0,44	0,27	0,47	0,59
	Даймище	230	0,54	0,48	0,55	0,55	0,69	0,53
	Вырица	734	0,54	0,30	0,56	0,42	0,82	0,58
Черпая	Кордон	28	–	–	0,85	0,82	–	0,80
Орлинка	Орлинка	183	0,79	0,83	0,84	–	–	0,93

А. М. Гаврилов делает вывод, что в бассейне верхней Оредежи, где карст сосредоточен в одном массиве, а его воды перехватываются рекою, регулирующее влияние закарстованности представляет положительный фактор. В Онего-Двинской карстовой области, где в районе р. Емцы наблюдается сосредоточенность карста, имеет место его регулирующее влияние на сток в целом.

На Урале А. М. Гаврилов (1960) сделал попытку проанализировать данные и по бассейнам рек Сосьвы и Лозьвы, находящихся в Североуральском карстовом районе (Г. А. Максимович, 1958). Он приходит к выводу, что степень и знак влияния карста на средний сток установить нельзя. На р. Сосьве, по данным трех створов, модуль стока резко уменьшается вниз по течению реки. Это он считает вполне закономерным, ввиду перехода от возвышенной местности к равнине и уменьшения осадков. Для малых карстовых рек Урала, как и других районов, определение нормы стока по картам изолиний стока ненадежно. Резюмируя, А. М. Гаврилов указывает, что влияние карста на внутригодовое распределение стока и величину максимальных и минимальных расходов на малых реках Урала, как правило, почти не чувствуется. Как мы уже выше показали, по данным В. А. Балкова, для рр. Ирени и Б. Сарса для карстовых районов Предуралья этот вывод неверен.

Влияние карста на поверхностный сток изучалось и в Вюртемберге (ФРГ). По многолетним наблюдениям изучался ход стока в бассейнах рек, находящихся в областях распространения закарстованных и некарстовых пород. Реки Бренц и Линнингер-Лаутер протекают в области значительного распространения карста. Их максимальный многолетний среднемесячный сток на 35–40 % больше многолетней среднемесячной нормы, а минимальный на 20–25 % меньше. Для рек Ягст и Кохер, бассейны которых приурочены к области слабого развития карста, эти цифры составят соответственно 60–70 и 50 %.

По данным Р. Пантле (1953), карст уменьшает амплитуду колебания стока. Многолетний среднемесячный сток рек Ягста и Кохер в апреле и ноябре, два раза в течение года, бывает равен их многолетней среднемесячной норме. Для рек Бренцы и Линнингер-Лаутера подобное равенство наступает в июне и январе. Такое запаздывание связывается с наличием карста. Изучение запаздывания позволяет судить о величине запасов карстовых вод, оказывающих влияние на сток. Это влияние проявляется не сразу, а через несколько месяцев и даже лет.

Река Лейна, протекающая в некарстовом районе, в засушливый 1949 г. характеризовалась наименьшим стоком, который был для нее известен до настоящего времени. В следующем 1950 г. величина стока уже приблизилась к норме. В районе развития карста влияние засухи 1949 г. сказалось только в 1950 г., когда сток р. Лаухерт упал до минимума. Подобное явление наблюдалось и на других реках Вюртемберга.

#### Гидрологическая классификация рек карстовых районов

П. В. Молитвин (1956) на основании изучения 18 малых рек в бассейне р. Сосьвы в Североуральском карстовом районе с 1941 по 1948 г. выделил четыре типа карстовых рек по их гидрологическим особенностям. «Климатическая» норма стока в этом районе 7,3–7,7 л/сек с 1 км<sup>2</sup>.

I тип – с преобладанием потерь стока в карстовые пустоты. Сюда относятся реки: Сарайская со среднегодовым модулем стока 0,4 л/сек с 1 км<sup>2</sup> и Черемушка – 3,8.

II тип – с частичной потерей стока: рр. Калья, Мегултон и др. Модуль стока 4,4–5,9.

III тип – с преобладанием дренажа подземных вод: Студеная – 10,8 и Холодная – 22,5 л/сек с 1 км<sup>2</sup>.

IV тип – нейтральные, у которых поглощение стока на одних участках компенсируется притоком подземных вод на других. Сюда относятся более крупные реки: Сосьва и Вагран.

Наиболее характерными особенностями карстовых рек П. В. Молитвин считает образование прогибов и провалов льда в местах поглощения стока. На реках и их участках, где преобладает дренаж карстовых вод, наблюдаются термические и гидрохимические аномалии. Вода имеет летом температуру не более 5–6°, а зимой – не менее 1–2°. В связи с этим на участках подтока сравнительно теплых карстовых вод нет сплошного ледостава. Минерализация речных вод повышена.

На Южном Урале в бассейне среднего течения р. Ай исследования в 1951–1955 гг. показали наличие только трех гидрологических типов карстовых рек. Третий тип с преобладанием дренажа подземных вод не был обнаружен. Было также установлено, что значительная часть потеряннного стока в конце концов возвращается в р. Ай.

Климатическая норма стока в этом районе 7,8 л/сек с 1 км<sup>2</sup>. Реки первого типа обладали модулем стока 0,4–1,5, а второго 3–5,7 л/сек.

Л. А. Владимиров (1955) дал более простую гидрологическую классификацию рек карстовых районов,

которую он иллюстрирует примерами из Западной Грузии, но без цифровых данных.

I тип. Транзитные, сравнительно крупные (нейтральные) реки, пересекающие карстовую зону, на которые подземный водообмен не оказывает существенного влияния. У некоторых из них вниз по течению усиливается тенденция подземного питания.

Небольшие реки, пересекающие карстовую зону, делятся на два типа.

II тип. Реки с отрицательным подземным водообменом, с очень низкой водностью – Окуми, Западная Гумиста до впадения мощных карстовых источников вблизи устья, и другие.

III тип. Реки с положительным подземным водообменом и значительной относительной водностью – Техури.

Для рек карстовых районов Западной Грузии Л. А. Владимиров также отмечает увеличение стока в связи с уменьшением потерь на испарение при интенсивной инфильтрации атмосферных осадков в трещины и полости. Карстовые реки, которые исчезли в понорах, а затем вновь вышли на поверхность, по большей части приобретают более сглаженный режим в паводок.

В результате можно дать следующую гидрологическую классификацию рек карстовых районов.

I тип. Транзитные нейтральные реки с значительным расходом. Пересекая карстовую область, они частично уходят в поддолинные и подрусловые пустоты, но, благодаря значительному объему стока, не исчезают. Это – Сылва, Сосьва, Вагран, Ай, реки Западной Грузии.

II тип. Развитые только в пределах закарстованной зоны или внутрикарстовые малые реки с резко выраженным отрицательным подземным водообменом. Значительная потеря стока. Норма стока менее 50 % «климатической». Эти реки часто исчезают на отдельных участках или в маловодные периоды года. Это – Сарайная, Черемушка, некоторые в бассейне р. Ай, Окуми (З. Грузия) и другие.

III тип. Внутрикарстовые или транзитные реки с отрицательным подземным водообменом, частичная потеря стока [норма стока 50–90 %]. Исчезающие реки здесь реже. Может быть переход на подземный сток в шейках излучин. Это – Калья, Мегултон, бассейн р. Ай, реки Западной Грузии.

IV тип. Внутрикарстовые или транзитные реки с положительным подземным водообменом. Преобладает дренаж подземных вод. Норма стока более 100 % «климатической». Это реки Студеная, Холодная (бас. р. Сосьвы) и многие другие.

### Химическая денудация

Химическая денудация или вынос реками растворенных веществ в океан выражается в микронах в год. Это вынесенные реками растворенные вещества, отнесенные ко всей поверхности бассейна. Для вычисления химической денудации обычно предварительно подсчитывают химический сток в тоннах с квадратного километра. Химическая денудация по географическим зонам приведена в таблице 7.

Таблица 7

**Химическая денудация по географическим зонам Земли**  
(по Г. А. Максимовичу, 1953, 1955)

Зоны	Площади зон в млн. км <sup>2</sup>	Годовой сток в мм слоя	Средняя минерализация в мг/л	Сток воды в км <sup>3</sup> в год	Химический сток в млн. т	Химический сток в т км <sup>3</sup>	Химическая денудация в микронах в год
Тундра	5,9	150	70	887	62	10	4
Лесная и лесост.	33,9	200	160	6780	1083	32	13
Степная	17,1	120	320	2150	690	40	16
Пустыня	27,2	20	800	940*	750*	27*	11*
Тропики и субтропики	21,1	650	45	13720	617	29	12
Горная	22,6	500	50	11130	556	25	10
	127,8***			34667**	3008**	30	12

Величина химической денудации в зависимости от географической зоны изменяется от 4 до 16 микронов в год и составляет в среднем 12 микронов. По континентам – по подсчетам химического стока Г. В. Лопатина (1950) – нами вычислена химическая денудация (таблица 8).

В СССР ионный сток, по О. А. Алекину, составляет 337 млн. т, а химическая денудация – 7 микронов в год.

В карстовых районах химическая денудация значительная. Наименьшая она в районах карста известняков и доломитов. В Пермской области (Г. А. Максимович, 1958; Г. А. Максимович и М. С. Абрамов, 1957) она составляет 10–20 микронов в год. В районах развития гипсового карста химическая денудация составляет 53–87, а соляного до 145 микронов в год. В Башкирии, в районах гипсового карста, она достигает 100 микронов в год. Нами (Г. А. Максимович, 1955) было введено понятие о коэффициенте химической денудации, представляющем химическую денудацию в микронах в год, деленную на модуль стока в л/сек с 1 км<sup>2</sup>.

\* Условно. Перемещение водой растворенных веществ в депрессии. \*\* Без пустынь и полупустынь.

\*\*\* Остальная площадь занята полярными льдами, внутренними водоемами и т. д.

**Химическая денудация Земли**  
(по Г. В. Лопатину, 1950 и Г. А. Максимовичу, 1953)

Материки	Площадь в млн. км <sup>2</sup>	Химич. сток в млн. т в год		Смыв с поверхн. суши в год в т/км <sup>3</sup>	Химич. денудац. в микронах в год
		общий	без бессточных областей		
Европа	9,67	263	203	27	11
Азия	44,89	1172	817	26	10
Африка	29,81	618	385	21	8
Сев.Сред. Америка	20,44	659	632	32	13
Южная Америка	17,98	825	780	46	18
Австралия	7,96	63	33	8	3
Вся суша	130,75	3600	2850	27	11

Для карстовых районов Пермской области коэффициент химической денудации оказался равным:

в районах карста	известняков	1,5–2,3
«	гипсов	7,5–12,4
«	соли	до 16,1

В последнее время П. Ф. Бочкарев (1959) подсчитал химическую денудацию в Восточной Сибири для рек Сибирской платформы, протекающих среди закарстованных кембрийских отложений, где большую роль играет карст гипса. Химическая денудация р. Унги составляет 13, а р. Осы 21 микронов в год. По бассейну р. Ангары химическая денудация составляет в среднем 4, а для горных районов без карста 9–14 микронов в год. Таким образом, в районах гипсового карста Восточной Сибири химическая денудация значительно меньше, чем в Пермской области, но в 3–5 раз больше, чем в среднем для бассейна Ангары. Необходимо дальнейшее изучение химической денудации карстовых районов и ее зависимости от климатических и других условий

#### Реки карстовых районов

Как уже указывалось, в типичных карстовых областях нет постоянных рек. В СССР примером может служить карстовая область горного Крыма. Мы уже упоминали австралийскую карстовую область Налларбор. Примеры подобных областей можно было бы умножить.

Поглощенные карстовыми плато атмосферные осадки, пройдя подземный путь, разгружаются по окраинам в виде карстовых источников, которые и дают начало рекам.

А. А. Крубер (1915) различал три типа рек карстовых областей.

Первый тип – прорезающие карстовый массив, многоводные постоянные реки, которые в известняковой области лишены притоков и питаются только источниками на дне долины или в русле. В каньонообразной долине на разных уровнях, соответствующих террасам, выходят устья пещер. Мы этот тип сокращенно назвали транзитным (Г. А. Максимович, 1958).

Второй тип – это реки, образующиеся на окраине карстующегося массива из мощных источников. Сокращенно – это окраинные реки.

Третий тип, наиболее многочисленный, – это реки, которые текут на поверхности только на ограниченном протяжении, а затем поглощаются понорами. Они большей частью берут начало в области некарстующихся пород, а вступая в область известняков, теряют воду в понорах и трещинах. Это – исчезающие реки.

К этому же типу А. А. Крубер относит исчезающие потоки, текущие на границе распространения известняков и непроницаемых пород, а также реки польев.

Классификация А. А. Крубера была нами дополнена постоянными пограничными реками и исчезающими среди карстового массива, но не в полях (Г. А. Максимович, 1958).

В результате классификацию карстовых рек можно выразить так:

- I. Постоянные водотоки
  1. Транзитные реки
  2. Окраинные реки
  3. Пограничные реки
- II. Исчезающие реки и ручьи
  4. Исчезающие при вступлении в закарстованную зону
  5. Пограничные
  6. Внутри карстового массива
  7. Внутри польев

Вероятно будут найдены еще и другие типы рек карстовых районов.

Приведем некоторые примеры рек карстовых районов. Транзитные реки особенно многочисленны там, где карстующиеся толщи вытянуты в виде сравнительно узких полос среди некарстующихся. Большие реки,

пересекая закарстованную зону, благодаря многоводию, теряют в поддолинном (подрусловом) потоке только часть расхода и потому сохраняются в виде постоянного водотока. В Пермской области в Кизеловско-Яйвинском карстовом районе – это реки Косьва и Усьва. В Пашийско-Чусовском карстовом районе – р. Чусовая и некоторые ее притоки. Река Сылва, начинаясь в Предуральском прогибе, где карст соли и гипса сравнительно слабо развит и преобладают песчано-глинистые отложения, пересекает карстовую область Уфимского вала, а далее до самого устья течет в пределах Кунгурско-Иренского и Сылвенско-Сергинского карстовых районов. Если под рекой в карстующихся породах есть подрусловые пустоты, часть воды уходит в них. Это доказано измерением количества воды в реке до вступления в карстовую зону и в этой зоне. Однако, воды в транзитной реке так много, что она не может вся уйти в подрусловые пустоты, и поглощение устанавливается только замерами в двух створах. Это было подтверждено в Кизеловском каменноугольном районе и на реке Сылве. В низовой части рек Чусовой и Сылвы поддолинные (подрусловые) пустоты были обнаружены буровыми скважинами.

Значительное поглощение в поддолинные потоки показал А. М. Гаврилов (1960) для р. Сылвы на участке Подкаменное – Троица (таблица 9).

В карстовых районах, особенно в известняках, магистральные речные долины часто имеют крутые склоны и представляют сравнительно узкие расселины. Примером

Таблица 9

**Средние месячные расходы воды (в м<sup>3</sup> сек.) и приращения расхода воды р. Сылвы на участке Подкаменное (19 700 км<sup>2</sup>) и Троица (23 000 км<sup>2</sup>) (по А. М. Гаврилову, 1960)**

Годы	Участок	Месяцы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1948	П	60,9	62,6	55,3	213	853	143	122	180	102	127	85,8	55,7
	Т	70,0	64,1	62,8	182	963	171	126	173	111	129	94,2	86,0
	м <sup>3</sup> /сек.	+9,1	+1,5	+7,5	-31	+110	+28	+4	-7	+9	+2	+8,4	+30,3
	%	+15	+2,4	+13,6	-14,5	+12,9	+19,6	+3,3	-3,9	+8,8	+1,6	+9,8	+54,5
1949	П	61,7	61,4	57,4	187	735	246	98,4	83,4	77,3	113	84,4	48,4
	Т	83,3	68,9	66,0	169	914	241	116	98,5	81,2	91,4	78,0	56,1
	м <sup>3</sup> /сек.	+22,1	+7,5	+8,6	-18	+179	-5	+17,6	+15,1	+3,9	-21,6	-6,4	+7,7
	%	+35,8	+12	+1,5	-9,6	+24,4	-2	+17,9	+18,1	+5,5	-19,1	-7,6	+16,0
1950	П	46,7	50,3	51,0	569	286	135	223	113	111	171	70,7	68,1
	Т	53,8	51,6	54,8	532	420	131	218	115	114	149	77,7	69,9
	м <sup>3</sup> /сек.	+7,1	+1,3	+3,8	-37	+134	-4	-5	+2	4-3	-22	+7,0	+1,8
	%	+15	+2,6	+7,4	+6,5	+47,0	-2,9	-2,2	+17	+2,7	-12,9	+9,9	+2,6
	П	58,8	52,5	48,5	484	272	121	69,4	66,7	66,1	75,7	50,5	45,0
	Т	63,9	58,6	51,4	530	271	143	85,6	80,0	68,4	68,4	47,4	38,6
	м <sup>3</sup> сек.	+5,1	+6,1	+2,9	+46	-1	+22	+16,2	+13,3	+2,3	-7,3	-3,1	-7,4
	%	+8,7	+11,6	+6,0	+9,5	+0,4	+18,2	+23,4	+19,9	+3,5	-9,6	-6,5	-16,4

Обозначения: П – Подкаменное, Т – Троица.

может служить район Чикалей на реке Сылве, на восток от города Кунгура. Учебно-опытное хозяйство Пермского университета «Предуралье» расположено в этом живописном уголке. Подобных каньонообразных долин много в Кизеловско-Яйвинском и Пашийско-Чусовском карстовых районах. Транзитные магистральные реки в пределах карстующегося массива обычно не имеют постоянных притоков. Вместо них здесь часто наблюдаются долины суходолов.

Окраинные реки, начинающиеся в виде мощного карстового источника, – обычное явление в карстовых районах. На Кавказе на Черноморском побережье – это короткие реки – источники Репроа и другие в районе Гагр. Имеются они и на северном склоне Крымских гор. В Пермской области – это правые притоки р. Ирени, такие как Кунгур, Тураевка, Телес и другие.

Примером пограничной реки, текущей почти по границе карстующихся и некарстующихся пород, является Ирень, левый приток р. Сылвы. Левые притоки, питающиеся источниками из песчано-глинистых отложений, более многочисленны. Своеобразны правые притоки, питающиеся карстовыми источниками. Некоторые из них, как например р. Тураевка, несколько раз уходит в карстовые воронки и потом вновь появляются. Полному ее исчезновению препятствует наличие под гипсами лунежской пачки иренской свиты туйских известняков и доломитов, которые не закарстованы на всю мощность и представляют водоупор. На некоторых участках подземный поток уходит под гипсы правого берега, а в сухой долине нет даже карстовых воронок.

Река Ирень на многих участках характеризуется подрусловым потоком и выходами вод из него, которые отмечаются зимой на льду в виде незамерзающих участков.

Примером рек, которые исчезают, когда вступают в область развития карстующихся пород, могут служить четыре речки Самовольные в Александровской лесной даче в Кизеловско-Яйвинском районе. Стекая с западного склона Белого Споя, они исчезают в карстовых воронках и текут под землей семь километров, выходя на поверхность в устье реки Коспаша.

О пограничных исчезающих реках писал А. А. Крубер (1915). Он указывал, что это слабые, имеющие

незначительное падение потоки, начинающиеся на границе распространения известняков и непроницаемых пород. К сожалению, примеров он не приводит.

Очень многочисленны реки, исчезающие среди карстового массива. При малом количестве воды они могут совсем уйти в подрусловые пустоты. В Кизеловско-Яйвинском карстовом районе р. Сухой Кизел при общей длине 18 км текла четыре км подземно. У р. Губашки из 30 км 16 сухого русла. Бурением в четырех километрах от ее устья на глубине 20 м было обнаружено подземное русло. Речка Столбовка из 35 км – 7–8 км течет подземно, а Сухая Левиха – 20 из 25. Часть долин представляет суходолы. Примером может служить долина Опаленная и многие другие. В настоящее время по некоторым, некогда сухим участкам карстовых исчезающих рек в суходолов, текут воды шахтных водоотливов.

Своеобразным типом исчезающих потоков карстовых областей являются ручьи и реки полей. Выходя у подножья одного из склонов в виде карстового источника, такая река течет некоторое расстояние по дну и затем исчезает в поноре. Ручьи и реки вместе с плодородным красноземом делают поля пригодными для обитания и сельского хозяйства. Однако, есть и периодически затопляемые поля. В результате увеличения дебита карстовых исполиновых родников понор не в состоянии поглотить всю воду, и поле затопляется. И. Цвийич в одной из своих работ описывал, что в таких полях урожай кукурузы приходилось убирать стоя по пояс в воде. В настоящее время в некоторых затопляемых полях в результате расчистки понор удалось предотвратить наводнения.

На крупных меандрирующих реках карстовых районов наблюдается спрямление излучин поддолинными потоками. На р. Сылве, в Предуральском прогибе, около д. Пеньки в 1956 г. нам удалось косвенным путем установить подобное явление. В шейке излучины еще в 1917 г. были нанесены на план карстовые воронки, выгнанные по одной линии. В 1956 г. почти на продолжении той линии ранней весной образовалось четыре новых воронки, часть из которых провального типа. По шейке излучины, где под речными отложениями находятся гипсы, карстовые воды образовали подземный поток. Он поглощает только часть речных вод. Дальнейшую стадию этого явления можно наблюдать на р. Вижай. Она только весной, когда воды много, течет по всей излучине. В остальное время Вижай полностью исчезает и течет подземно через шейку излучины. Подобные явления известны и для рек Башкирии.

Реки карстовых районов могут служить источником питьевого водоснабжения. Исключение составляют районы карста гипсов и ангидритов, воды которых, ввиду большого содержания сульфатов кальция, для питья непригодны. Только скот может пить ее. В таких районах течет карстовая река, внешне ничем не отличающаяся от обычных, а воды напиться негде. Селения, стоящие на берегу такой реки, страдают от отсутствия воды.

### **Долины карстовых областей**

Долины рек карстовых районов очень своеобразны и часто отличаются от обычных. У транзитных рек, пересекающих территории, сложенные известняками, они напоминают каньоны. Русло реки ограничено крутыми, высокими склонами, в которых выходят известняки в виде утесов, башен, зубцов. Такова долина р. Сылвы между г. Кунгуром и с. Усть-Кишерть. Если речка исчезает в русловых понорах, покрытых галькой, ниже места исчезновения тянется долина с сухим руслом, сток по которому происходит только весной или во время больших ливней.

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

Дно обычного эрозионного оврага, выработанного в некарстующихся породах, плавно понижается к устью. В карстовых районах за счет возникновения понор и воронок на дне вешние и дождевые воды отводятся в глубину. Поверхностный сток заменяется подземным. Возникает карстовый суходол, дно которого усеяно карстовыми воронками (рис. 1).

В слепых долинах, двигаясь по направлению от верховьев к устью, подходим к высокой стене, в основании которой в понорах теряется водоток. Сток из такой долины только подземный. Слепые долины обычны у потоков, берущих начало в некарстовой зоне и исчезающих при вступлении на территорию развития закарстованных пород.

Иногда бывают полуслепые долины, у которых уступ значительно ниже, чем у слепых. Вода во время дождей доходит до уступа и исчезает здесь, в горизонтальной пещере. Весной, во время таяния снега, когда водный поток значительно больше, пещера не успевает поглощать всю воду, и она переливает через уступ. Такой полуслепой карстовый овраг, длиной 1700 м имеется около г. Кунгура, вблизи Заиренской пещеры.

Своеобразны мешкообразные долины. У них замкнуто не устье, а верховье. В обычных долинах верховье заканчивается полого, и они постепенно переходят в водораздельное пространство. В мешкообразных долинах идешь вверх по дну постоянно или периодически текущего ручья и вдруг подходишь к отвесной стене высотой в несколько десятков метров, у подножья которой вытекает поток. Такие долины обычны для верховьев окраинных рек.

Имеются также карстовые долины, у которых верховье мешкообразно, а устье заканчивается слепо. Образуются они различными путями. Иногда это результат слияния нескольких линейно расположенных карстовых воронок. В других случаях, при неглубоком расположении пустот зоны горизонтальной циркуляции карстовых вод, такая долина может образоваться в результате обрушения свода пещеры. Эти долины известны в Кунгурском и Кишертском районах, в области развития известняков и гипсов.



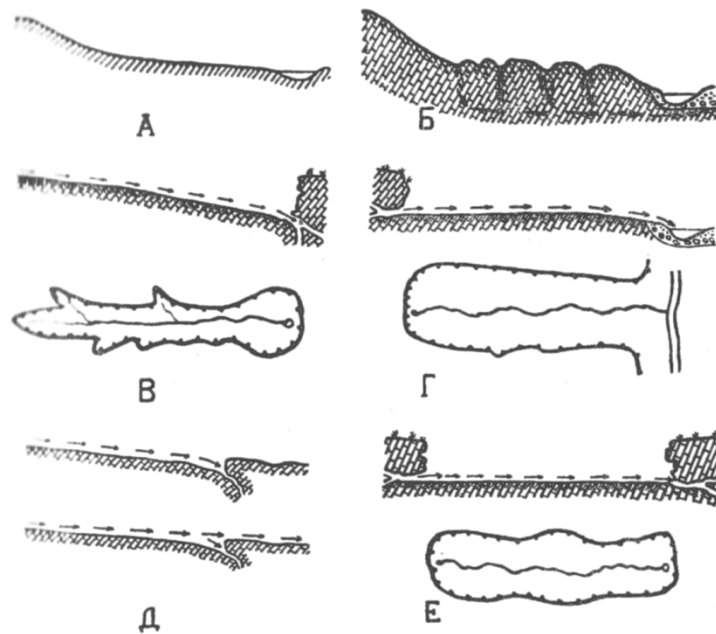


Рис. 1. Карстовые долины.

А – профиль эрозийного оврага; Б – профиль карстового оврага; В – профиль и план слепой долины; Г – профиль и план мешкообразной долины; Д – профиль полуслепой долины. Вверху сток при малом количестве воды, внизу – при большом; Е – профиль и план мешкообразной долины со слепым устьем.

### Карстовые озера и болота

В карстовых областях, расположенных в зоне избыточного увлажнения, можно часто видеть красивые, округлые в плане, озера (рис. 2). Это наиболее обычная форма карстовых озер. Как у воронок, котловин и полей, от заполнения которых водой они образовались, форма озер бывает также овальная, сдвоенная, лопастная и сложная.

Карстовые озера питаются водами различных гидродинамических зон. В зоне поверхностной циркуляции, чаще в воронках выщелачивания и реже других, в самой верхней части зоны вертикальной нисходящей циркуляции образуются многочисленные, сравнительно неглубокие и весьма недолговечные карстовые озера.

В зоне горизонтальной циркуляции карстовых вод имеется две группы озер – пещерные и провальные.

Своеобразны постоянные и периодически появляющиеся озера полей. Первые из них находятся, по-видимому, в зоне горизонтальной циркуляции карстовых вод, а вторые несколько выше. О периодически затопляемых полях мы говорили ранее в разделе «Реки карстовых районов».

Зона сифонной циркуляции дает источники типа «ключевых горшков». Иногда воронкообразно расширенные устья их образуют озера, из которых вытекают ручьи и реки. Таковы озера Церик-Кель и Голубое на р. Бзыпи на Кавказе. Рассмотрим озера в коррозионных и провальных карстовых воронках.

Озера карстовых воронок выщелачивания. Если у воронки выщелачивания понор закупорен глиной или другими водонепроницаемыми отложениями, то талые снеговые и дождевые воды будут задерживаться. Образуется временное или постоянное озеро.

Стекающие в это карстовое озеро воды размывают его берега, смывают с вышерасположенных участков глинистые и песчаные частицы. Площадь озера увеличивается, а глубина уменьшается. В нем поселяются водные растения, и происходит постепенное прекращение его в болото.

Озера провальных карстовых воронок. Котловина их образовалась путем провала (рис. 3). Обычно провальные воронки более глубоки, чем коррозионные. Это связано с тем, что пустоты зоны горизонтальной циркуляции вод, от обрушения кровли которых они образованы, находятся на глубине. Вначале стенки воронки отвесны, а дно усеяно грудой обломков кровли свода. При неглубоком залегании зоны горизонтальной циркуляции карстовые воды устремятся в провал, и образуется провальное карстовое озеро. В первое время озеро питается, в основном, карстовыми водами и частично атмосферными осадками. Если это район гипсового карста, то воды будут жесткими сульфатно-кальциевыми, непригодными для питья. В карсте известняков они будут менее жестки и годны для питьевого

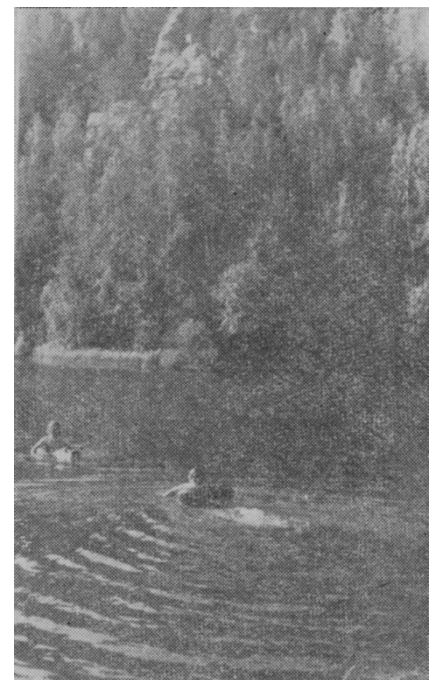


Рис. 2. Большое Мазуевское карстовое озеро (Урал).

водоснабжения.

Во время дождей и таяния снега в озеро будет сноситься песчано-глинистый материал со стенок и с поверхности окружающего пространства. Стенки его будут становиться все более пологими, а глубина уменьшаться. Заполнение котловины осадками уменьшит доступ карстовых вод со дна в озеро. Все большую роль будут играть дождевые и талые снеговые воды. Если озеро находится на низкой речной террасе, то в питании его могут принять участие и грунтовые воды. О питании и провальных карстовых озерах можно судить по химическому составу озерных вод и придонной температуре. Карстовые воды более минерализованы, чем дождевые и талые, и более холодны.

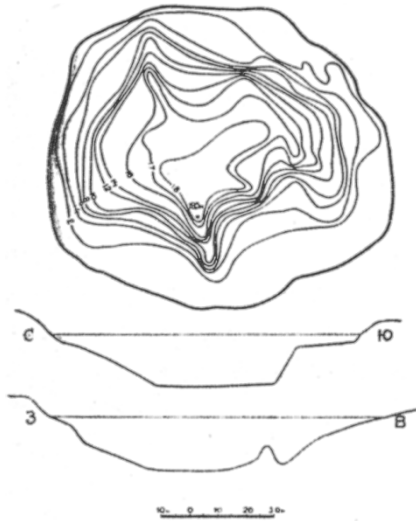


Рис. 3. План в изобатах и профили провального озера Молебное (Урал).

Постепенно в озере поселяется водная растительность, и оно превращается в болото.

Заболачивание коррозионных, провальных и других карстовых озерах идет двумя путями. У одних озерах заполнение котловины отложениями сопровождается зарастанием его болотной растительностью от берегов к середине. Водная поверхность постепенно все более и более сокращается и, наконец, совсем исчезает. Озеро превращается в болото. Между Камским и Чусовским отрогами Камского водохранилища на Чусовском мысе можно наблюдать все стадии этого зарастания. Здесь, в районе деревень Бабки, Кулигино и Городище, есть озера без следов заболачивания, с заросшими берегами, мелкие, заросшие, с окнами воды по середине и, наконец, превратившиеся в болото.

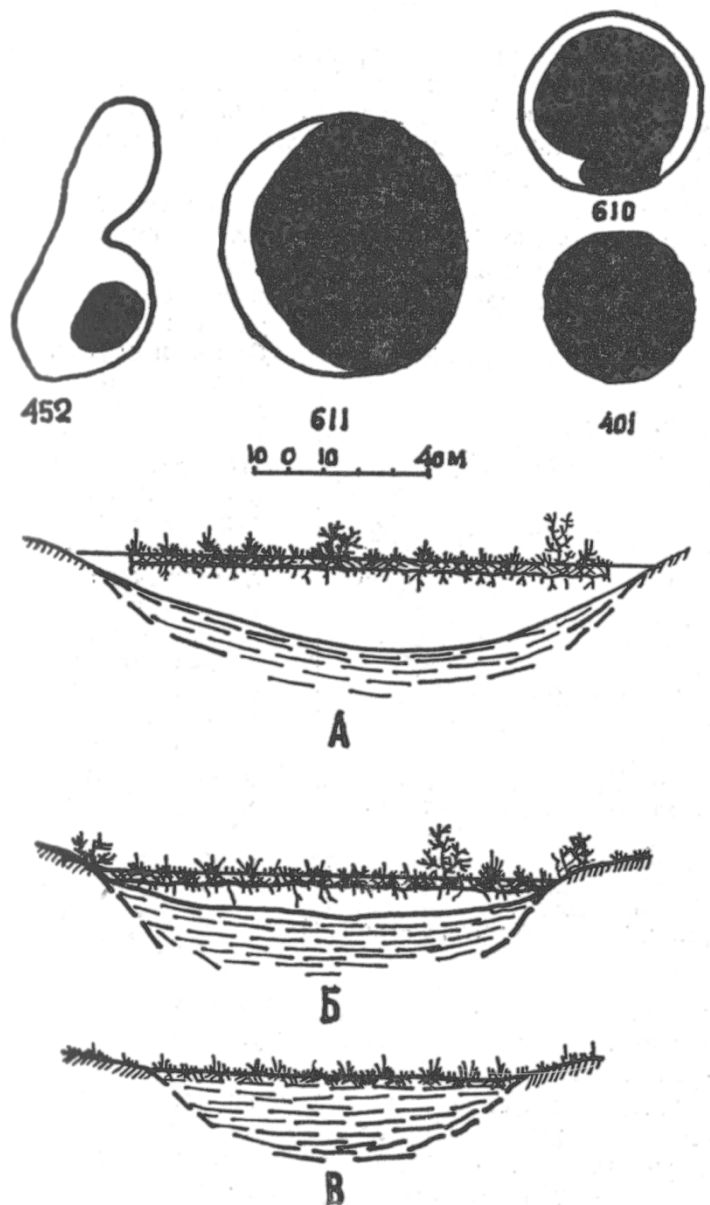


Рис. 4. Стадия зарастания карстовых озерах сплавиной (Чусовской мыс Камского водохранилища). А – сплавина покрывает часть озера, Б – все озеро, В – блюдце на месте озера.



Рис. 5. Карстовые озера западнее д. Мазуевки в Пермской области, находящиеся в различных стадиях заболачивания. 1 – озеро, 2 – озеро, частично затянутое сплавниной, 3 – озеро, сплошь покрытое сплавниной, 4 – сухие воронки, 5 – крутой уступ, 6 – пологий склон.

Многие карстовые озера, обычно более глубокие, превращаются в болота путем образования сплавнины или травянистого покрова на поверхности озера (рис. 4). Когда сплавнина утолщается, на ней поселяется древесная растительность – ива, береза и другие. Постепенно, разрастаясь, сплавнина затягивает все озеро. На рисунке показаны планы четырех озер того же Полазненско-Шалашнинского карстового района, которые находятся в разных стадиях зарастания сплавниной. В вертикальном разрезе они показаны в нижней части рисунка 4. На нижнем озере болото исчезло и образовалось карстовое блюдце с идеально ровной поверхностью. Когда идешь по нему, то чувствуешь твердую почву под ногами. Хождение по сплавнине дает другое ощущение – нога погружается в мягкий ковер, который колыхается (рис. 5).

Население Полазненско-Шалашнинского карстового района в Пермской области, где карстовые воды в гипсах непригодны для питья, делает окна в сплавнине и берет озерную воду из этого своеобразного колодца со стенками из растительности.

### Исчезающие озера

Среди озер, приуроченных к карстовым воронкам выщелачивания, встречаются и исчезающие. Сохранение воды в воронке возможно, если понор на дне ее не поглощает воду. Это бывает тогда, когда имеется пробка из водонепроницаемых пород. Если эта пробка будет разрушена, понор будет откупорен, и вода из озера уйдет.

В Пермской области известно несколько таких исчезающих озер. В Полазненско-Шалашнинском карстовом районе из озера, находящегося в деревне Бобки, вода уходила в 1946 г. и потом вновь появилась. В озере, в деревне Залесной, вода исчезала более 20 лет назад.

В Кунгурско-Иренском карстовом районе наиболее известно так называемое Поваренное озеро, находящееся за городом Кунгуром, недалеко от Сибирского тракта. Оно было озером с 1915 до 1925 г. В июне 1925 г. вода в нем исчезла. Вода промыла глину, которая закупоривала понор на дне озера, и хлынула в него. На дне большой сухой карстовой воронки зияло двухметровое отверстие, которое можно было наблюдать до весны 1928 г. Весной 1928 г. вешние воды принесли в карстовую воронку много глины и образовалось озеро, которое существовало до октября, когда вода вновь ушла из него в понор. Другое исчезающее озеро – Кружковское – находится около станции Кунгур.

В карстовых районах Пермской области на водораздельных пространствах, где нет ни рек, ни колодцев, скот весьма плохо обеспечен водой. Приходится либо гонять его к реке, либо к карстовым озерам, часто находящимся в нескольких десятках километров. Местное население нашло выход в виде создания искусственных карстовых озер. В карстовых воронках, имеющих в изобилии, на дне делается водонепроницаемый пластырь из чередования слоев глины и рогожи. Весной и после дождей воронки заполняются водой и получают карстовые озера.

В Динарской карстовой области, в Югославии, где голые каменистые горы также безводны, озера создают путем цементирования скалистого дна карстовых воронок.

Исчезающие карстовые озера имеются во многих районах СССР. Наибольшую известность получила Прионежская область периодически исчезающих озер в районе Онежского и Белого озер. Исчезающие озера наблюдаются и в зарубежных карстовых областях.

Пермский государственный университет

### ЛИТЕРАТУРА

- Азанова Р. В. Некоторые гидрохимические фации карстовых рек. Доклады Пермской конференции по химической географии вод Пермь, 1949.
- Балков В. А. Исследование весеннего стока рек водосбора Пермского водохранилища для целей прогноза. Ученые записки Пермского университета, т. 14, в. 2, стр. 47, 1958.
- Балков В. А. Влияние карста на режим стока рек юго-восточной части Пермской области. Записки Пермского отд. Географии, общества СССР, в. 1, стр. 63–70, 1960.
- Боброва В. Н. К химической географии карстовых озер междуречья Сылвы и Шаквы. География Пермской области, в 1, стр. 67–68, Пермь, 1962.
- Бочкарев П. Ф. Гидрохимия рек Восточной Сибири. Автореферат докторской диссертации, стр. 22, 1955.
- Бочкарев П. Ф. Гидрохимия рек Восточной Сибири, стр. 90–96, 110, Иркутск, 1959.
- Владимиров Л. А. О влиянии карстовых вод на режим стока рек южного склона Главного Кавказского хребта в пределах Западной Грузии. Труды ин-та географии АН Грузинской ССР, т. VI, физ.-геогр. серия, стр. 151–154, 1955.
- Владимиров Л. А. О режиме карстовых вод Западной Грузии. Изв. Всес. географии, общества, т. 89, № 1, стр. 65–67, 1957.
- Владимиров Л. А. О карстовых водах Грузии и влиянии их на режим стока рек. Труды Географии, о-ва Груз. ССР, т. IV, стр. 161–180, 1959.
- Гаврилов А. М. К вопросу об учете влияния природных факторов на сток. Изв. Всесоюз. геогр. общества, т. 88, № 2, стр. 138–146, 1956.
- Гаврилов А. М. Изучение стока в карстовых районах. Тезисы докладов III Всесоюзного гидрологического съезда, Л., 1957.
- Гаврилов А. М. О влиянии карста на сток малых рек. Изв. ВГО, т. 92, № 3, стр. 251–262, 1960.
- Гаврилов А. М. и Кузнецов И. В. Условия стока в своеобразном речном бассейне на примере одной весны. Изв. ВГО, т. 89, № 5, стр. 468–473, 1957.
- Голубева Л. В. Химический состав некоторых карстовых озер Пермской области. Гидрохимические материалы, т. 21, стр. 81–85, 1953.
- Горбунова К. А. Карстовые озера окрестностей Мазуевки в Пермской области. Доклады Пятого Всеуральского совещания по вопросам географии и охраны природы Урала, стр. 1–6, Пермь, 1960.

- Горбунова К. А. Химическая география рек Пермской области, р. Кишертка. Доклады Пятого Всеуральского совещания по вопросам географии и охраны природы Урала, стр. 1–5, 1960.
- Горбунова К. А. Сплавина на карстовых озерах. Записки Пермского отд. географии, о-ва СССР, в. 1, 1960.
- Горбунова К. А. Химическая география рек Пермской области. Реки Мазуевка и Советянка. Химическая география, вып. 1, стр. 93–98, Пермь, 1961.
- Горбунова К. А. Карстовые озера окрестностей деревни Дикое Озеро. География Пермской области, вып. 1, стр. 123–128, Пермь, 1962.
- Гусева А. Н. К характеристике гидрохимических фаций карстовых озер. Доклады Пермской конференции по химической географии вод. Пермь, 1949.
- Зверев В. Р. Учет явлений карста в расчетах снеговых паводков. Тез. докл. на совещ. по изуч. карста, в. 19, стр. 11–12, М., 1956.
- Иванов Я. Н. Гидрология бассейна карстовой реки Пярдомли. Исследование рек СССР, вып. 6, стр. 85–91, 1933.
- Кеммерих А. О. Сток рек Северного, Приполярного и Полярного Урала. Изв. АН СССР, сер. географии., № 1, стр. 85–90, 1959.
- Колотильщикова В. К. Режим карстовых вод Силурийского плато. Тез. докл. на совещ. по изуч. карста, в. 19, стр. 15, М., 1956.
- Крубер А. А. Карстовая область горного Крыма. Гидрография карста, стр. 160–168, 1915.
- Максимович Г. А. Гидрохимические фации вод озер (и морей). Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз. № 4, стр. 212–227, 1944.
- Максимович Г. А. Гидрохимические фации вод озер (и морей). ДАН СССР, т. 47, № 8, стр. 582–585, 1945.
- Максимович Г. А. Химическая денудация Земли. ДАН СССР, т. 93, № 4, стр. 698, 1953.
- Максимович Г. А. Химическая география вод Суши. Географгиз, М., 1955.
- Максимович Г. А. Озеро Кислое в Кишертском районе Пермской области и его происхождение. Уч. зап. Пермского ун-та, т. 7, вып. 4, стр. 69–86, 1956.
- Максимович Г. А. Карст, стр. 30–39, М., 1960.
- Максимович Г. А. и Абрамов М. С. Химическая денудация в верховье р. Камы. Ученые записки Перм. ун-та, т. 11, в. 2, стр. 96, 1957.
- Максимович Г. А. и Горбунова К. А. Карст Пермской области, стр. 84–94, Пермь, 1958.
- Молитвин П. В. О методике гидрологических исследований, проведенных институтом «Гипроникель» в период с 1941 по 1955 гг. карстовых районах Урала и Онего-Северодвинского водораздела, тез. докл. на совещ. по изуч. карста, вып. 19, стр. 20–22, М., 1956.
- Молитвин П. В. Особенности режима карстовых рек Северного и Южного Урала. Труды III Всесоюзного гидрологического съезда, т. 7; стр. 198–207, Гидрометеоиздат, Л., 1959.
- Молитвин П. В. Изучение особенностей водного режима закарстованных рек. Изв. АН СССР, сер. геогр., № 6, стр. 74–79, 1960.
- Молитвин П. В. Гидрологические исследования в условиях карста. Изв. Всес. геогр. о-ва, т. 94, № 2, 125–138, 1962.
- Погребов Н. Ф. О результатах гидрогеологических исследований, произведенных с целью выяснения вопроса о возможности снабжения Петербурга ключевой водой, СПб, 1913.
- Покровский П. О максимальных расходах с малых водосборов в карстовом Чусовском районе Свердловской области. Метеор. и гидрол., № 11, стр. 102–104, 1940.
- Селивановский Б. В., Макаров Н. Е. и Батыр В. В. Гидрохимические фации подземных вод нижней Перми на южном окончании Вятского вала, ДАН СССР, т. 68, № 2, стр. 369–372, 1949.
- Таусон А. К., Биология карстовых озер Кишертского района Пермской области и изменение их населения в зависимости от химического состава. Ученые записки Пермского ун-та, т. 3, в. 4, 1954.
- Торсуев Н. П. Карст, особенности гидрографической сети и режим рек Онего-Северодвинского междуречья. Вестник ЛГУ, № 24, стр. 100–111, 1961.
- Филенко Р. А. Влияние метеорологических факторов и карста на сток рек Крымской области, Вестник ЛГУ, № 8, 1949.
- Чеботарев Н. П. К методу определения подземного стока по разности расхода двух створов. Метеорол. и гидрол. № 8, стр. 38, 1953.
- Шимановский Л. А. Экспозиция склонов и густота речной сети юга Пермской области, Материалы VI Всеуральского совещания по вопросам географии и охраны природы. Физико-географическое районирование, стр. 221–222, Уфа, 1961.
- Широков В. М. Особенности формирования стока в бассейне р. Сок. Изв. Казанского фил. АН СССР, серия энерг. и вод. хоз., в. 1, Казань, 1957.
- Яшенко Р. В. Химическая география карстовых озер Чусовской стрелки Камского водохранилища. Химическая география, в. 1, стр. 66–69, Пермь, 1961.
- Морариу Т., Саву А. и Думбравэ Ф. Плотность гидрографической сети в РНР. Revue de Geol. et de Geographie, t. I. p. 27–59, Bucarest, 1957.
- Pantie R. Karsterscheinungen in den Gewässern Wiirtembergs. Gas-und Wasserfach, 94, N 14, s. 420–422, 1953.

Г. А. Максимович

## НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ГИДРОЛОГИИ КАРСТОВЫХ ОБЛАСТЕЙ

Гидрология карстовых областей отличается значительным своеобразием. Наличие на поверхности большого количества трещин, понор, воронок, колодцев, шахт, вертикальных пещер приводит к тому, что дождевые и талые снеговые воды текут только короткие расстояния до ближайшего понижения и здесь поглощаются. В типичных карстовых областях имеет место только внерусловый сток в эти понижения. В условиях голого карста при этом образуются карры. Около некоторых больших воронок и карстовых котловин наблюдаются короткие сухие долины, по которым после дождей и во время снеготаяния наблюдаются временные потоки. Постоянных водотоков здесь нет, а в зависимости от климатических условий и стадии развития карста могут быть постоянные или периодически появляющиеся озера. Отсутствие рек и редкие озера — отличительная черта голых каменных пустынь карстовых районов. Вследствие этого подземный сток преобладает над поверхностным.

Сильная закарстованность сказывается прежде всего в том, что густота речной сети здесь наименьшая. Иногда десятки и даже сотни тысяч квадратных километров совершенно лишены речных потоков. Примером такой обширной карстовой области может служить Налларбор или Юкла площадью 170 тыс. км<sup>2</sup> в Южной Австралии. Здесь густота речной сети равна нулю. В. А. Балков (1960) указывает, что в карстовых районах Пермской области густота речной сети наименьшая, но не приводит цифровых данных. Л. А. Шимановский (1961) для юга этой области в некарстовых районах определил гу-

стоту 0,2—0,3, а в карстовых 0,09—0,12 км на 1 км<sup>2</sup>. Т. Морариу, А. Саву и Ф. Думбравэ (1956, 1957), давая характеристику плотности гидрографической сети Румынии, освещают и карстовые районы.

Гидрология карстовых областей слабо изучена. Можно отметить работы Н. Ф. Погребова (1913), Я. Н. Иванова (1933), П. Покровского (1940), Р. А. Филенко (1949), Н. П. Чеботарева (1953), Р. Пантле (1953), В. Р. Зверева (1956), В. К. Колотильщикова (1956), П. В. Молитвина (1956, 1959, 1960, 1962\*), А. М. Гаврилова (1956, 1960), А. М. Гаврилова и И. В. Кузнецова (1957), В. А. Балкова (1958, 1960), А. О. Кеммерих (1959), В. М. Широкова (1957), Л. А. Владимирова (1955, 1959), Н. П. Торсуева (1961).

В. А. Балков (1958, 1960), на примере двух рек юга Пермской области Ирени и Б. Сарса, протекающих в карстовых районах, показывает отличие их режима от рек некарстовых территорий. Одной из особенностей этих рек является резкое снижение значений среднесуточных расходов воды в период весеннего половодья, а также отсутствие резко выраженных дождевых паводков летом и осенью.

Наибольшее влияние карста проявляется в уменьшении величины весеннего стока и его доли от годового. Для указанных рек, вследствие просачивания талых снеговых вод в поноры, карстовые воронки и проникновения их в карстовые воды, объем весеннего стока уменьшается на 20—30% по сравнению со стоком смежных бассейнов рек, где нет карста, и составляет всего 30—35% от годового. Средний коэффициент весеннего стока для бассейнов рек карстовых районов равен 0,31—0,34 и 0,50—0,58 для некарстовых.

Карст является естественным регулятором стока. Он уменьшает поверхностный сток весной и увеличивает подземный сток в межень. Это наглядно показывает таблица 1, где дано среднее распределение месячного стока в долях от годового, принятого за единицу. Для рек карстовых районов Ирени и Б. Сарса сток (в долях от среднегодового) в апреле — мае меньше, а в остальные месяцы больше, чем в соседних незакарстованных бассейнах.

\* Последняя работа, опубликованная после сдачи рукописи в печать, не использована.

Таблица I

## Распределение месячного стока в долях от годового

Бассейны рек	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Годо- вой
	Среднее за 1933—1937 гг.												
Ирень	0,58	0,58	0,53	2,70	2,50	1,00	0,83	0,77	0,67	0,59	0,66	0,46	1,0
Сытва	0,25	0,25	0,25	2,90	3,90	1,00	0,77	0,78	0,49	0,45	0,61	0,29	1,0
Бабка	0,26	0,24	0,24	4,30	4,00	0,71	0,29	0,33	0,42	0,41	0,35	0,25	1,0
Обва	0,26	0,28	0,29	6,00	2,30	0,66	0,46	0,37	0,39	0,45	0,33	0,19	1,0
	Среднее за 1936—1942 гг.												
Б. Сарс	0,45	0,47	0,50	2,58	2,41	0,94	0,92	0,83	0,69	0,77	0,90	0,53	1,0
Тюй	0,37	0,36	0,45	3,60	3,32	0,67	0,54	0,46	0,50	0,64	0,62	0,39	1,0
Тулта	0,26	0,21	0,24	5,64	2,89	0,65	0,39	0,23	0,26	0,48	0,42	0,31	1,0

Роль карста в перераспределении поверхностного и подземного стока была определена путем подсчета среднего годового подземного стока в процентах от среднего объема годового стока. Расчленение гидрографов по источникам питания позволило установить, что средняя величина подземного стока в закарстованных бассейнах рек Ирени и Б. Сарса больше на 20—30%, чем в соседних бассейнах с отсутствием карста.

Карст обуславливает быстрый перевод значительной части поверхностного стока в подземный. Это способствует сохранению части влаги от испарения. Следовательно общий стаж за год несколько увеличивается. Подсчеты В. А. Балкова (1960) показали, что при равных суммах годовых осадков и приблизительно одинаковых снегозапасах величина среднего годового стока в бассейнах рек Ирени и Б. Сарса только на 2—3% превышает годовой сток соседних некарстовых бассейнов. В. А. Балков не учитывает, что по нашим наблюдениям на р. Ирени имеется значительный сток в поддолинных и подрусловых карстовых пустотах. Наличие подрусловых каналов, заполненных текущей карстовой водой, было причиной неудачи с сооружением гидростанции в районе д. Неволينو. Подрусловые пустоты с потоком вод имеются и на других участках р. Ирени. Гидрометрический створ на р. Ирени, данные по которому использовал В. А. Балков для своих выводов, находится у д. Шубино. Поддолинный сток констатирован в 3—4 кв ниже по течению у д. Неволينو. Так как поддолинные карстовые воды в конце концов поступают в речные, то фактический средний годовой сток в бассейне р. Ирени превышает сток соседних некарстовых бассейнов не на 2—3%, а несколько больше. При современной редкой сети гидрометрических створов это нельзя определить.

Необходимо также учесть, что в бассейне р. Ирени закарстована только правобережная часть. В левобережной же развиты песчачо-глинистые толщи, мергели, и хорошо выражен поверхностный сток. Следовательно, при развитии карста на всей территории бассейна мы имели бы еще большие цифры. Бассейн р. Б. Сарса также закарстован не на всей площади.

В. А. Балков (1960) делает следующие выводы о режиме стока рек Ирени и Б. Сарс, в бассейне которых развиты карстовые явления.



1. Карстовые явления обуславливают повышение подземного стока на 20—30% по сравнению с бассейнами соседних рек с отсутствием карста.

2. В карстовых районах наблюдается плавный ход стока, который выравнен в течение года за счет перевода значительной части поверхностного стока весной в подземный.

3. Объем весеннего стока рек карстовых районов уменьшен, а доля его в годовом стоке на 20—30% меньше, чем в соседних некарстовых бассейнах. Это сказывается и на коэффициенте весеннего стока, который для бассейнов рек Ирени и Б. Сарс достигает 0,31—0,34, что является наименьшей величиной в Пермской области.

Как следствие, при расчете стока бассейнов малых рек методом аналогии нельзя пользоваться, если один бассейн закарстован, а другой нет. Об этом предупреждают В. А. Балков (1960) и А. М. Гаврилов (1960).

А. М. Гаврилов (1960) отмечает, что в карстовых районах фактические водосборы малых рек не совпадают с поверхностными. Осадки питают в основном подземный сток. Отсюда зарегулирование стока в году в значительной степени определяется емкостью подземных коллекторов карстовых вод. Изменение стока по долине реки, вплоть до перехода ее на отдельных участках в подземный поток, зависит от расположения и чередования карстующихся и некарстующихся пород, от характера закарстованных толщ, древности карстообразования, колебательных движений земной коры, климатических условий и многих других факторов.

В карстовых районах с особой осторожностью следует пользоваться картами изолиний стока. Они обычно строятся по данным стока крупных и отчасти средних рек, у которых влияние местных условий сглажено. Пользоваться ими для карстовых рек в большинстве случаев нельзя.

А. М. Гаврилов приводит некоторые данные о гидрологических особенностях малых рек карстовых районов Горьковской и Ленинградской областей и Урала. Судя по приводимому им списку литературы (1960), работы Я. Н. Иванова (1933), П. Покровского (1940) ему неизвестны.

В Горьковской области А. М. Гаврилов (1960) рассматривает средние модули стока для рек Сережи (при-

ток Теши, впадающей в Оку), Пьяны (приток Суры), бассейны которых закарстованы, и р. Алатырь, некарстовой реки с более значительным водосбором. Питание ее смешанное, близкое к зональному. Данные о средних модулях стока приведены в таблице 2.

Таблица 2

Приведенные средние модули стока

Река	Пост	Площадь водосбора (в км <sup>2</sup> )	Период приведения	Мер(л/сек. 1 закм <sup>2</sup> )		
				По данным А. М. Гаврилова	По карте Зайкова	По карте Росгипроводхоза
Сережа	Лесуново	1810	1934—1956	2,5	4,9	4,1
Пьяна	Гагино	2070	1934—1956	5,3	4,7	3,6
Пьяна	Камкино	6310	1934—1956	3,9	4,8	3,8
Алатырь	Тургенево	10800	—	3,6	4,6	3,4

По данным таблицы 2, средние модули стока двух соседних рек — Сережи и Пьяны различны. Средний модуль стока в бассейне р. Сережи не определяется ни по одной из карт изолиний среднего стока даже приближенно. А. М. Гаврилов указывает, что ошибка определения составляет для карты Зайкова 96% и для карты Росгипроводхоза 64%, что совершенно недопустимо. Низкий модуль стока в бассейнах Сережи и Теши А. М. Гаврилов объясняет несоответствием фактического и поверхностного водосбора реки. Он считает, что вода уходит подземным путем за пределы поверхностного водосбора. В данном случае подтверждается наше замечание, что карстовые реки часто характеризуются несколько уменьшенным модулем стока (Г. А. Максимович, 1958), которое А. М. Гаврилов (1960) оспаривал. Ведь теоретическая часть книги «Карст Пермской области» была написана на мировом материале, конечно с преобладанием примеров Пермской области.

В бассейнах Сережи и Пьяны нет и естественной зарегулированности стока, характерной для рек карстовых областей. В качестве одного из показателей зарегулированности стока А. М. Гаврилов берет отношение средних меженных (летних)  $Q_m$  и средних зимних  $Q_z$  расхо-

дов воды к среднему годовому  $Q_g$ , полученное за более или менее продолжительный период. Сток считается слабо зарегулированным, если отношение величин межженных и зимних расходов к годовому менее 30—40%.

Таблица 3

**Естественная зарегулированность стока**  
(по А. М. Гаврилову, 1960)

Река	Пункт	Период	$\frac{Q_M}{Q_g}$ (в %)	$\frac{Q_z}{Q_g}$ (в %)
Сережа	Лесуново	1952—1957	26,2	18,7
Пьяна	Гагино	1948—1956	13,3	11,0
Пьяна	Камкино	1952—1957	40,0	37,0
		1948—1957	48,0	38,0
Алатырь	Тургенево	1952—1956	22,5	21,7
		1948—1956	21,3	19,8
		1934—1956	25,4	16,5

В результате подсчетов (таблица 3) оказалось, что Пьяна в верховьях у Гагина имеет крайне малую естественную зарегулированность стока, Пьяна у Камкино — близкую к умеренной, а Алатырь у Тургенева и Сережа у Лесунова — слабую. В данном районе карст не влияет на зарегулирование годового стока.

А. М. Гаврилов объясняет эту особо слабую зарегулированность Пьяны у Гагина, быстрым стоком весенних вод по мерзлomu грунту в условиях местности, сильно расчлененной оврагами. Это сказывается в виде высоких величин годовых модулей максимального стока (таблица 4).

Таблица 4

**Годовые модули максимального стока**  
(в л. сек. с 1 км<sup>2</sup>)

Река	Пункт	Годы				
		1952	1953	1954	1955	1956
Пьяна	Гагино	172	216	67	214	255
Пьяна	Камкино	44	79	25	69	66
Сережа	Лесуново	26	43	7	83	77
Алатырь	Тургенево	65	97	18	130	91

Пьяна у Камкина и Сережа у Лесунова имеют малые модули максимального стока. Это связывается с влиянием карста, а для р. Сережи и с озерностью.

В Ленинградской карстовой области (Г. А. Максимович, 1958) в районе Силурийского плато имеется несколько рек, берущих начало у южной границы этого плато. Здесь с 1952 г. ведутся специальные регулярные наблюдения за стоком карстовой реки Оредеж, ее некарстовых притоков Черной, Орлинка, а также за некарстовой р. Лугой (А. М. Гаврилов, 1960).

Оказалось, что средний модуль стока р. Оредежи в ее верховьях в 2—1,5 раза выше зонального модуля стока—7 л/сек с 1 км<sup>2</sup>. Это связано с притоком карстовых вод из-за пределов поверхностного водосбора. Сток Оредежи в течение года зарегулирован запасами карстовых вод. Это видно из таблицы 5.

Таблица 5

Средние модули стока (Мср) в 1952—1958 гг. в л/сек. с 1 км<sup>2</sup>  
(по А. М. Гаврилову, 1960)

Река		Поверхностный водосбор в км <sup>2</sup>	Мср
Оредеж	1	230	16,2
	2	350	13,5
	3	740	11,0
Черная		28	8,0
Орлинка		183	9,2
Луга		839	7,4

Запасы карстовых вод образуются в весенний период почти ежегодно, а осенью в 50% случаев. Коэффициент весеннего стока в бассейне Оредежи и ее некарстовых притоков, рек Черной и Орлинка, показан в таблице 6.

Регулирующее влияние карстового питания сказывается и на колебаниях годового стока. На верхней Оредежи оно 78—120% от среднего, тогда как в верхнем течении Луги, где нет карстовых явлений, 57—151%.

Карст сказывается и на максимальном стоке. Модуль максимального стока для Оредежи 100 л/сек, тогда как для некарстовой реки Луги он 200 л/сек с 1 км<sup>2</sup>. Величина модуля на верхней Оредежи возрастает по длине реки.

Таблица 6

Коэффициент весеннего стока по годам  
(по А. М. Гаврилову, 1960)

Река	Пункт	Площадь водосбора (в км <sup>2</sup> )	Г о д ы					
			1953	1954	1955	1956	1957	1958
Оредеж	Заречье	118	0,29	0,31	0,44	0,27	0,47	0,59
	Даймище	230	0,54	0,48	0,55	0,55	0,69	0,53
	Вырица	734	0,54	0,30	0,56	0,42	0,82	0,58
Черная	Кордон	28	—	—	0,85	0,82	—	0,80
Орлинка	Орлинка	183	0,79	0,83	0,84	—	—	0,93

А. М. Гаврилов делает вывод, что в бассейне верхней Оредежи, где карст сосредоточен в одном массиве, а его воды перехватываются рекою, регулирующее влияние закарстованности представляет положительный фактор. В Онего-Двинской карстовой области, где в районе р. Емцы наблюдается сосредоточенность карста, имеет место его регулирующее влияние на сток в целом.

На Урале А. М. Гаврилов (1960) сделал попытку проанализировать данные и по бассейнам рек Сосьвы и Лозьвы, находящихся в Североуральском карстовом районе (Г. А. Максимович, 1958). Он приходит к выводу, что степень и знак влияния карста на средний сток установить нельзя. На р. Сосьве, по данным трех створов, модуль стока резко уменьшается вниз по течению реки. Это он считает вполне закономерным, ввиду перехода от возвышенной местности к равнине и уменьшения осадков. Для малых карстовых рек Урала, как и других районов, определение нормы стока по картам изолиний стока ненадежно. Резюмируя, А. М. Гаврилов указывает, что влияние карста на внутригодовое распределение стока и величину максимальных и минимальных расходов на малых реках Урала, как правило, почти не чувствуется. Как мы уже выше показали, по данным В. А. Балкова, для рр. Ирени и Б. Сарса для карстовых районов Предуралья этот вывод неверен.

Влияние карста на поверхностный сток изучалось и в Вюртемберге (ФРГ). По многолетним наблюдениям изучался ход стока в бассейнах рек, находящихся в об-

лостях распространения закарстованных и некарстующихся пород. Реки Бренц и Линнингер-Лаутер протекают в области значительного распространения карста. Их максимальный многолетний среднемесячный сток на 35—40% больше многолетней среднемесячной нормы, а минимальный на 20—25% меньше. Для рек Ягст и Кохер, бассейны которых приурочены к области слабого развития карста, эти цифры составят соответственно 60—70 и 50%.

По данным Р. Пантле (1953), карст уменьшает амплитуду колебания стока. Многолетний среднемесячный сток рек Ягста и Кохер в апреле и ноябре, два раза в течение года, бывает равен их многолетней среднемесячной норме. Для рек Бренцы и Линнингер-Лаутера подобное равенство наступает в июне и январе. Такое запаздывание связывается с наличием карста. Изучение запаздывания позволяет судить о величине запасов карстовых вод, оказывающих влияние на сток. Это влияние проявляется не сразу, а через несколько месяцев и даже лет.

Река Лейна, протекающая в некарстовом районе, в засушливый 1949 г. характеризовалась наименьшим стоком, который был для нее известен до настоящего времени. В следующем 1950 г. величина стока уже приблизилась к норме. В районе развития карста влияние засухи 1949 г. сказалось только в 1950 г., когда сток р. Лаухерт упал до минимума. Подобное явление наблюдалось и на других реках Вюртемберга.

#### Гидрологическая классификация рек карстовых районов

П. В. Молитвин (1956) на основании изучения 18 малых рек в бассейне р. Сосьвы в Североуральском карстовом районе с 1941 по 1948 г. выделил четыре типа карстовых рек по их гидрологическим особенностям. «Климатическая» норма стока в этом районе 7,3—7,7 л/сек с 1 км<sup>2</sup>.

I тип — с преобладанием потерь стока в карстовые пустоты. Сюда относятся реки: Сарайская со среднегодовым модулем стока 0,4 л/сек с 1 км<sup>2</sup> и Черемушка — 3,8.

II тип — с частичной потерей стока: рр. Калья, Мегултон и др. Модуль стока 4,4—5,9.

III тип — с преобладанием дренажа подземных вод: Студеная — 10,8 и Холодная — 22,5 л/сек с 1 км<sup>2</sup>.

IV тип — нейтральные, у которых поглощение стока на одних участках компенсируется притоком подземных вод на других. Сюда относятся более крупные реки: Сосьва и Вагран.

Наиболее характерными особенностями карстовых рек П. В. Молитвин считает образование прогибов и провалов льда в местах поглощения стока. На реках и их участках, где преобладает дренаж карстовых вод, наблюдаются термические и гидрохимические аномалии. Вода имеет летом температуру не более 5—6°, а зимой — не менее 1—2°. В связи с этим на участках подтока сравнительно теплых карстовых вод нет сплошного ледостава. Минерализация речных вод повышена.

На Южном Урале в бассейне среднего течения р. Ай исследования в 1951—1955 гг. показали наличие только трех гидрологических типов карстовых рек. Третий тип с преобладанием дренажа подземных вод не был обнаружен. Было также установлено, что значительная часть потерянного стока в конце концов возвращается в р. Ай.

Климатическая норма стока в этом районе 7,8 л/сек с 1 км<sup>2</sup>. Реки первого типа обладали модулем стока 0,4—1,5, а второго 3—5,7 л/сек.

Л. А. Владимиров (1955) дал более простую гидрологическую классификацию рек карстовых районов, которую он иллюстрирует примерами из Западной Грузии, но без цифровых данных.

I тип. Транзитные, сравнительно крупные (нейтральные) реки, пересекающие карстовую зону, на которые подземный водообмен не оказывает существенного влияния. У некоторых из них вниз по течению усиливается тенденция подземного питания.

Небольшие реки, пересекающие карстовую зону, делятся на два типа.

II тип. Реки с отрицательным подземным водообменом, с очень низкой водностью — Окуми, Западная Гумиста до впадения мощных карстовых источников вблизи устья, и другие.

III тип. Реки с положительным подземным водообменом и значительной относительной водностью — Техури.

режим вод

Для рек карстовых районов Западной Грузии Л. А. Владимиров также отмечает увеличение стока в связи с уменьшением потерь на испарение при интенсивной инфильтрации атмосферных осадков в трещины и полости. Карстовые реки, которые исчезли в понорах, а затем вновь вышли на поверхность, по большей части приобретают более сглаженный режим в паводок.

В результате можно дать следующую гидрологическую классификацию рек карстовых районов.

I тип. Транзитные нейтральные реки с значительным расходом. Пересекая карстовую область, ~~они~~ частично уходят в поддолинные и подруловые пустоты, но, благодаря значительному объему стока, не исчезают. Это — Сылва, Сосьва, Вагран, Ай, реки Западной Грузии.

II тип. Развитые только в пределах закарстованной зоны или внутрикарстовые малые реки с резко выраженным отрицательным подземным водообменом. Значительная потеря стока. Норма стока менее 50% «климатической». Эти реки часто исчезают на отдельных участках или в маловодные периоды года. Это — Сарайная, Черемушка, некоторые в бассейне р. Ай, Окуми (З. Грузия) и другие.

III тип. Внутрикарстовые или транзитные реки с отрицательным подземным водообменом, частичная потеря стока [норма стока 50—90%]. Исчезающие реки здесь реже. Может быть переход на подземный сток в шейках излучин. Это — Калья, Мегултон, бассейн р. Ай, реки Западной Грузии.

IV тип. Внутрикарстовые или транзитные реки с положительным подземным водообменом. Преобладает дренаж подземных вод. Норма стока более 100% «климатической». Это реки Студеная, Холодная (бас. р. Сосьвы) и многие другие.

#### Химическая денудация

Химическая денудация или вынос реками растворенных веществ в океан выражается в микронах в год. Это вынесенные реками растворенные вещества, отнесенные ко всей поверхности бассейна. Для вычисления химической денудации обычно предварительно подсчитывают химический сток в тоннах с квадратного километра. Хи-



мическая денудация по географическим зонам приведена в таблице 7.

Таблица 7

Химическая денудация по географическим зонам Земли  
(по Г. А. Максимовичу, 1953, 1955)

Зоны	Площади зон в млн. км <sup>2</sup>	Годовой сток в мм слоя	Средняя минера- лизация в мг/л	Сток воды в км <sup>3</sup> в год.	Химический сток в млн. т	Химический сток в т км <sup>2</sup>	Химическая дену- дация в микро- нах в год
Тундра	5,9	150	70	887	62	10	4
Лесная и лесост.	33,9	200	160	6780	1083	32	13
Степная	17,1	120	320	2150	690	40	16
Пустыня	27,2	20	800	940*	750*	27*	11*
Тропики и субтро- пики	21,1	650	45	13720	617	29	12
Горная	22,6	500	50	11130	556	25	10
	127,8***			34667**	3008**	30	12

Величина химической денудации в зависимости от географической зоны изменяется от 4 до 16 микронов в год и составляет в среднем 12 микронов. По континентам — по подсчетам химического стока Г. В. Лопатина (1950) — нами вычислена химическая денудация (таблица 8).

В СССР ионный сток, по О. А. Алекину, составляет 337 млн. т, а химическая денудация — 7 микронов в год.

В карстовых районах химическая денудация значительная. Наименьшая она в районах карста известняков и доломитов. В Пермской области (Г. А. Максимович, 1958; Г. А. Максимович и М. С. Абрамов, 1957) она составляет 10—20 микронов в год. В районах развития гипсового карста химическая денудация составляет 53—87, а соляного до 145 микронов в год. В Башкирии, в

\* Условно. Перемещение водой растворенных веществ в депрессии.

\*\* Без пустынь и полупустынь.

\*\*\* Остальная площадь занята полярными льдами, внутренними водоемами и т. д.

районах гипсового карста, она достигает 100 микронов в год. Нами (Г. А. Максимович, 1955) было введено понятие о коэффициенте химической денудации, пред-

Таблица 8

Химическая денудация Земли  
(по Г. В. Лопатину, 1950 и Г. А. Максимовичу, 1953)

Материки	Площадь в млн. км <sup>2</sup>	Химич. сток в млн. т в год		Смыв с поверхн. суши в год в т/км <sup>2</sup>	Химич. денудац. в микро- нах в год
		общий	без бес- сточных областей		
Европа	9,67	263	203	27	11
Азия	44,89	1172	817	26	10
Африка	29,81	618	385	21	8
Сев.Сред. Америка	20,44	659	632	32	13
Южная Америка	17,98	825	780	46	18
Австралия	7,96	63	33	8	3
Вся суша	130,75	3600	2850	27	11

ставляющем химическую денудацию в микронах в год, деленную на модуль стока в л/сек с 1 км<sup>2</sup>. Для карстовых районов Пермской области коэффициент химической денудации оказался равным:

в районах карста известняков	1,5 — 2,3
« гипсов	7,5 — 12,4
« соли	до 16,1

В последнее время П. Ф. Бочкарев (1959) подсчитал химическую денудацию в Восточной Сибири для рек Сибирской платформы, протекающих среди закарстованных кембрийских отложений, где большую роль играет карст гипса. Химическая денудация р. Унги составляет 13, а р. Осы 21 микронов в год. По бассейну р. Ангары химическая денудация составляет в среднем 4, а для горных районов без карста 9—14 микронов в год. Таким образом, в районах гипсового карста Восточной Сибири химическая денудация значительно меньше, чем в Пермской области, но в 3—5 раз больше, чем в среднем для бассейна Ангары. Необходимо дальнейшее изучение химической денудации карстовых районов и ее зависимости от климатических и других условий.

## Реки карстовых районов

Как уже указывалось, в типичных карстовых областях нет постоянных рек. В СССР примером может служить карстовая область горного Крыма. Мы уже упоминали австралийскую карстовую область Налларбор. Примеры подобных областей можно было бы умножить.

Поглощенные карстовыми плато атмосферные осадки, пройдя подземный путь, разгружаются по окраинам в виде карстовых источников, которые и дают начало рекам.

А. А. Крубер (1915) различал три типа рек карстовых областей.

Первый тип — прорезающие карстовый массив, многоводные постоянные реки, которые в известняковой области лишены притоков и питаются только источниками на дне долины или в русле. В каньонообразной долине на разных уровнях, соответствующих террасам, выходят устья пещер. Мы этот тип сокращенно назвали транзитным (Г. А. Максимович, 1958).

Второй тип — это реки, образующиеся на окраине карстующегося массива из мощных источников. Сокращенно — это окраинные реки.

Третий тип, наиболее многочисленный, — это реки, которые текут на поверхности только на ограниченном протяжении, а затем поглощаются понорами. Они большей частью берут начало в области некарстующихся пород, а вступая в область известняков, теряют воду в понорах и трещинах. Это — исчезающие реки.

К этому же типу А. А. Крубер относит исчезающие потоки, текущие на границе распространения известняков и непроницаемых пород, а также реки полей.

Классификация А. А. Крубера была нами дополнена постоянными пограничными реками и исчезающими среди карстового массива, но не в полях (Г. А. Максимович, 1958).

В результате классификацию карстовых рек можно выразить так:

### 1. Постоянные водотоки

1. Транзитные реки
2. Окраинные реки
3. Пограничные реки

## II. Исчезающие реки и ручьи

4. Исчезающие при вступлении в закарстованную зону

5. Пограничные

6. Внутри карстового массива

7. Внутри полейев

Вероятно будут найдены еще и другие типы рек карстовых районов.

Приведем некоторые примеры рек карстовых районов. Транзитные реки особенно многочисленны там, где карстующиеся толщи вытянуты в виде сравнительно узких полос среди некарстующихся. Большие реки, пересекая закарстованную зону, благодаря многоводию, теряют в поддолинном (подрусловом) потоке только часть расхода и потому сохраняются в виде постоянного водотока. В Пермской области в Кизеловско-Яйвинском карстовом районе — это реки Косьва и Усьва. В Пашийско-Чусовском карстовом районе — р. Чусовая и некоторые ее притоки. Река Сылва, начинаясь в Предуральском прогибе, где карст соли и гипса сравнительно слабо развит и преобладают песчано-глинистые отложения, пересекает карстовую область Уфимского вала, а далее до самого устья течет в пределах Кунгурско-Иренского и Сылвенско-Сергинского карстовых районов. Если под рекой в карстующихся породах есть подрусловые пустоты, часть воды уходит в них. Это доказано измерением количества воды в реке до вступления в карстовую зону и в этой зоне. Однако, воды в транзитной реке так много, что она не может вся уйти в подрусловые пустоты, и поглощение устанавливается только за мерами в двух створах. Это было подтверждено в Кизеловском каменноугольном районе и на реке Сылве. В низовой части рек Чусовой и Сылвы поддолинные (подрусловые) пустоты были обнаружены буровыми скважинами.

Значительное поглощение в поддолинные потоки показал А. М. Гаврилов (1960) для р. Сылвы на участке Подкаменное — Троица (таблица 9).

В карстовых районах, особенно в известняках, магистральные речные долины часто имеют крутые склоны и представляют сравнительно узкие расселины. Примером

Таблица 9

Средние месячные расходы воды (в м<sup>3</sup>/сек.) и приращения расхода воды р. Сылвы на участке  
Подкаменное (19 700 км<sup>2</sup>) и Троица (23 000 км<sup>2</sup>)  
(по А. М. Гаврилову, 1960)

Годы	Участок	М е с я ц ы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1948	П*)	60,9	62,6	55,3	213	853	143	122	180	102	127	85,8	55,7
	Т*)	70,0	64,1	62,8	182	963	171	126	173	111	129	94,2	86,0
	м <sup>3</sup> /сек.	+9,1	+1,5	+7,5	-31	+110	+28	+4	-7	+9	+2	+8,4	+30,3
	%	+15	+2,4	+13,6	-14,5	+12,9	+19,6	+3,3	-3,9	+8,8	+1,6	+9,8	+54,5
1949	П	61,7	61,4	57,4	187	735	246	98,4	83,4	77,3	113	84,4	48,4
	Т	83,3	68,9	66,0	169	914	241	116	98,5	81,2	91,4	78,0	56,1
	м <sup>3</sup> /сек.	+22,1	+7,5	+8,6	-18	+17,9	-5	+17,6	+15,1	+3,9	-21,6	-6,4	+7,7
	%	+35,8	+12	+1,5	-9,6	+24,4	-2	+17,9	+18,1	+5,5	-19,1	-7,6	+16,0
1950	П	46,7	50,3	51,0	569	286	135	223	113	111	171	70,7	68,1
	Т	53,8	51,6	54,8	532	420	131	218	115	114	149	77,7	69,9
	м <sup>3</sup> /сек.	+7,1	+1,3	+3,8	-37	+134	-4	-5	+2	+3	-22	+7,0	+1,8
	%	+15	+2,6	+7,4	+6,5	+47,0	-2,9	-2,2	+1,7	+2,7	-12,9	+9,9	+2,6
	П	58,8	52,5	48,5	484	272	121	69,4	66,7	66,1	75,7	50,5	45,0
	Т	63,9	58,6	51,4	530	271	143	85,6	80,0	68,4	68,4	47,4	38,6
	м <sup>3</sup> /сек.	+5,1	+6,1	+2,9	+46	-1	+22	+16,2	+13,3	+2,3	-7,3	-3,1	-7,4
	%	+8,7	+11,6	+6,0	+9,5	+0,4	+18,2	+23,4	+19,9	+3,5	-9,6	-6,5	-16,4

\*) Обозначения: П — Подкаменное, Т — Троица.

может служить район Чикалей на реке Сылве, на восток от города Кунгура. Учебно-опытное хозяйство Пермского университета «Предуралье» расположено в этом живописном уголке. Подобных каньонообразных долин много в Кизеловско-Яйвинском и Пашийско-Чусовском карстовых районах. Транзитные магистральные реки в пределах карстующегося массива обычно не имеют постоянных притоков. Вместо них здесь часто наблюдаются долины суходолов.

Окраинные реки, начинающиеся в виде мощного карстового источника, — обычное явление в карстовых районах. На Кавказе на Черноморском побережье — это короткие реки — источники Репроа и другие в районе Гагр. Имеются они и на северном склоне Крымских гор. В Пермской области — это правые притоки р. Ирени, такие как Кунгур, Тураевка, Телес и другие.

Примером пограничной реки, текущей почти по границе карстующихся и некарстующихся пород, является Ирень, левый приток р. Сылвы. Левые притоки, питающиеся источниками из песчано-глинистых отложений, более многочисленны. Своеобразны правые притоки, питающиеся карстовыми источниками. Некоторые из них, как например р. Тураевка, несколько раз уходят в карстовые воронки и потом вновь появляются. Полному ее исчезновению препятствует наличие под гипсами лунежской пачки иренской свиты тюйских известняков и доломитов, которые не закарстованы на всю мощность и представляют водоупор. На некоторых участках подземный поток уходит под гипсы правого берега, а в сухой долине нет даже карстовых воронок.

Река Ирень на многих участках характеризуется подрусловым потоком и выходами вод из него, которые отмечаются зимой на льду в виде незамерзающих участков.

Примером рек, которые исчезают, когда вступают в область развития карстующихся пород, могут служить четыре речки Самовольные в Александровской лесной даче в Кизеловско-Яйвинском районе. Стекая с западного склона Белого Споя, они исчезают в карстовых воронках и текут под землей семь километров, выходя на поверхность в устье реки Коспаша.

О пограничных исчезающих реках писал А. А. Крубер (1915). Он указывал, что это слабые, имеющие незначи-

тельное падение потока, начинающиеся на границе распространения известняков и непроницаемых пород. К сожалению, примеров он не приводит.

Очень многочисленны реки, исчезающие среди карстового массива. При малом количестве воды они могут совсем уйти в подрусловые пустоты. В Кизеловско-Яйвинском карстовом районе р. Сухой Кизел при общей длине 18 км текла четыре км подземно. У р. Губашки из 30 км — 16 сухого русла. Бурением в четырех километрах от ее устья на глубине 20 м было обнаружено подземное русло. Речка Столбовка из 35 км — 7—8 км течет подземно, а Сухая Левиха — 20 из 25. Часть долин представляет суходолы. Примером может служить долина Опаленная и многие другие. В настоящее время по некоторым, некогда сухим участкам карстовых исчезающих рек и суходолов, текут воды шахтных водоотливов.

Своеобразным типом исчезающих потоков карстовых областей являются ручьи и реки польев. Выходя у подножья одного из склонов в виде карстового источника, такая река течет некоторое расстояние по дну и затем исчезает в поноре. Ручьи и реки вместе с плодородным красноземом делают поля пригодными для обитания и сельского хозяйства. Однако, есть и периодически затопляемые поля. В результате увеличения дебита карстовых исполиновых родников понор не в состоянии поглотить всю воду, и поле затопляется. И. Цвийич в одной из своих работ описывал, что в таких полях урожаем кукурузы приходилось убирать стоя по пояс в воде. В настоящее время в некоторых затопляемых полях в результате расчистки понор удалось предотвратить наводнения.

На крупных меандрирующих реках карстовых районов наблюдается спрямление излучин поддолинными потоками. На р. Сылве, в Предуральском прогибе, около д. Пеньки в 1956 г. нам удалось косвенным путем установить подобное явление. В шейке излучины еще в 1947 г. были нанесены на план карстовые воронки, вытянутые по одной линии. В 1956 г. почти на продолжении этой линии ранней весной образовалось четыре новых воронки, часть из которых провального типа. По шейке излучины, где под речными отложениями находятся гипсы, карстовые воды образовали подземный поток. Он поглощает только часть речных вод. Дальнейшую ста-

дию этого явления можно наблюдать на р. Вижай. Она только весной, когда воды много, течет по всей излучине. В остальное время Вижай полностью исчезает и течет подземно через шейку излучины. Подобные явления известны и для рек Башкирии.

Реки карстовых районов могут служить источником питьевого водоснабжения. Исключение составляют районы карста гипсов и ангидритов, воды которых, ввиду большого содержания сульфатов кальция, для питья непригодны. Только скот может пить ее. В таких районах течет карстовая река, внешне ничем не отличающаяся от обычных, а воды напиться негде. Селения, стоящие на берегу такой реки, страдают от отсутствия воды.

### Долины карстовых областей

Долины рек карстовых районов очень своеобразны и часто отличаются от обычных. У транзитных рек, пересекающих территории, сложенные известняками, они напоминают каньоны. Русло реки ограничено крутыми, высокими склонами, в которых выходят известняки в виде утесов, башен, зубцов. Такова долина р. Сылвы между г. Кунгуром и с. Усть-Кишерть. Если речка исчезает в русловых понорах, покрытых галькой, ниже места исчезновения тянется долина с сухим руслом, сток по которому происходит только весной или во время больших ливней.

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

Дно обычного эрозионного оврага, выработанного в некарстующихся породах, плавно понижается к устью. В карстовых районах за счет возникновения понор и воронок на дне вешние и дождевые воды отводятся в глубину. Поверхностный сток заменяется подземным. Возникает карстовый суходол, дно которого усеяно карстовыми воронками (рис. 1).

В слепых долинах, двигаясь по направлению от верховьев к устью, подходим к высокой стене, в основании которой в понорах теряется водоток. Сток из такой долины только подземный. Слепые долины обычны у потоков, берущих начало в некарстовой зоне и исчезаю-



щих при вступлении на территорию развития закарстованных пород.

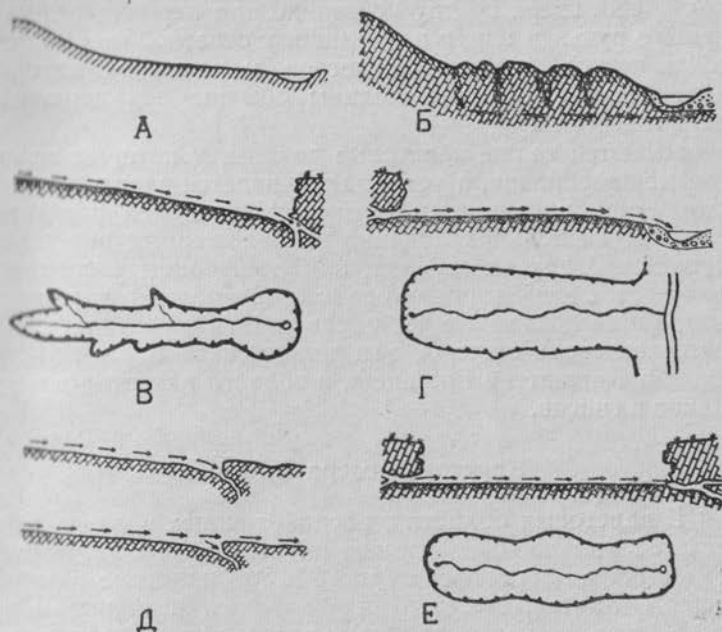


Рис. 1. Карстовые долины.

А — профиль эрозионного оврага; Б — профиль карстового оврага; В — профиль и план слепой долины; Г — профиль и план мешкообразной долины; Д — профиль полуслепой долины. Вверху сток при малом количестве воды, внизу — при большом; Е — профиль и план мешкообразной долины со слепым устьем.

Иногда бывают полуслепые долины, у которых уступ значительно ниже, чем у слепых. Вода во время дождей доходит до уступа и исчезает здесь, в горизонтальной пещере. Весной, во время таяния снега, когда водный поток значительно больше, пещера не успевает поглощать всю воду, и она переливает через уступ. Такой полуслепой карстовый овраг, длиной 1700 м имеется около г. Кунгура, вблизи Заиренской пещеры.

Своеобразны мешкообразные долины. У них замкнуто не устье, а верховье. В обычных долинах вер-

хове заканчивается полого, и они постепенно переходят в водораздельное пространство. В мешкообразных долинах идешь вверх по дну постоянно или периодически текущего ручья и вдруг подходишь к отвесной стене высотой в несколько десятков метров, у подножья которой вытекает поток. Такие долины обычны для верховьев окраинных рек.

Имеются также карстовые долины, у которых верховье мешкообразно, а устье заканчивается слепо. Образуются они различными путями. Иногда это результат слияния нескольких линейно расположенных карстовых воронок. В других случаях, при неглубоком расположении пустот зоны горизонтальной циркуляции карстовых вод, такая долина может образоваться в результате обрушения свода пещеры. Эти долины известны в Кунгурском и Кишертском районах, в области развития известняков и гипсов.

### Карстовые озера и болота

В карстовых областях, расположенных в зоне избыточного увлажнения, можно часто видеть красивые, округлые в плане, озера (рис. 2). Это наиболее обычная форма карстовых озер. Как у воронок, котловин и полей, от заполнения которых водой они образовались, форма озер бывает также овальная, сдвоенная, лопастная и сложная.

Карстовые озера питаются водами различных гидродинамических зон. В зоне поверхностной циркуляции, чаще в воронках выщелачивания и реже других, в самой верхней части зоны вертикальной нисходящей циркуляции образуются многочисленные, сравнительно неглубокие и весьма недолговечные карстовые озера.

В зоне горизонтальной циркуляции карстовых вод имеется две группы озер — пещерные и провальные.

Своеобразны постоянные и периодически появляющиеся озера полей. Первые из них находятся, по-видимому, в зоне горизонтальной циркуляции карстовых вод, а вторые несколько выше. О периодически затопляемых полях мы говорили ранее в разделе «Реки карстовых районов».

Зона сифонной циркуляции дает источники типа «ключевых горшков». Иногда воронкообразно расширен-

ные устья их образуют озера, из которых вытекают ручьи и реки. Таковы озера Церик-Кель и Голубое на р. Бзыпи на Кавказе. Рассмотрим озера в коррозионных и провальных карстовых воронках.

Озера карстовых воронок выщелачивания. Если у воронки выщелачивания понор закупорен глиной или другими водонепроницаемыми отложениями, то талые снеговые и дождевые воды будут задерживаться. Образуется временное или постоянное озеро.

Стекающие в это карстовое озеро воды размывают его берега, смывают с вышерасположенных участков глинистые и песчаные частицы. Площадь озера увеличивается, а глубина уменьшается. В нем поселяются водные растения, и происходит постепенное превращение его в болото.

Озера провальных карстовых воронок. Котловина их образовалась путем провала (рис. 3). Обычно провальные воронки более глубоки, чем коррозионные. Это связано с тем, что пустоты зоны горизонтальной циркуляции вод, от обрушения кровли которых они образовались, находятся на глубине. Вначале стенки воронки отвесны, а дно усеяно грудой обломков кровли свода. При неглубоком залегании зоны горизонтальной циркуляции карстовые воды устремятся в провал, и образуется провальное карстовое озеро. В первое время озеро питается, в основном, карстовыми водами и частично

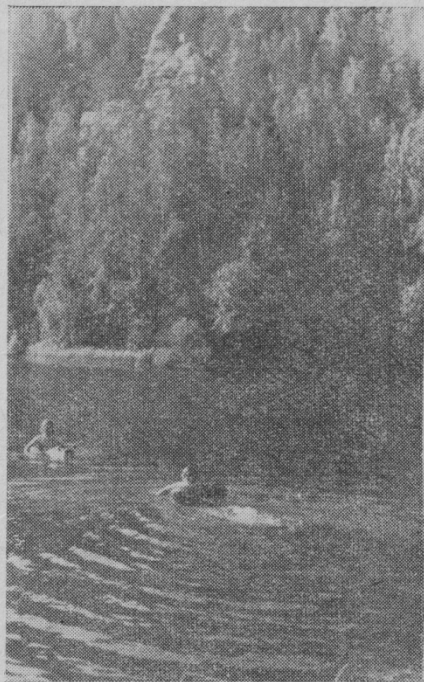


Рис. 2. Большое Мазуевское карстовое озеро (Урал).

атмосферными осадками. Если это район гипсового карста, то воды будут жесткими сульфатно-кальциевыми, непригодными для питья. В карсте известняков они будут менее жестки и годны для питьевого водоснабжения.

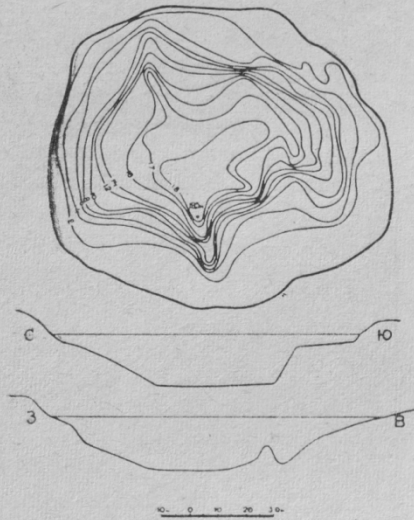


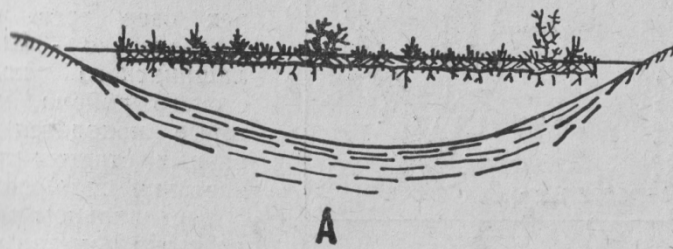
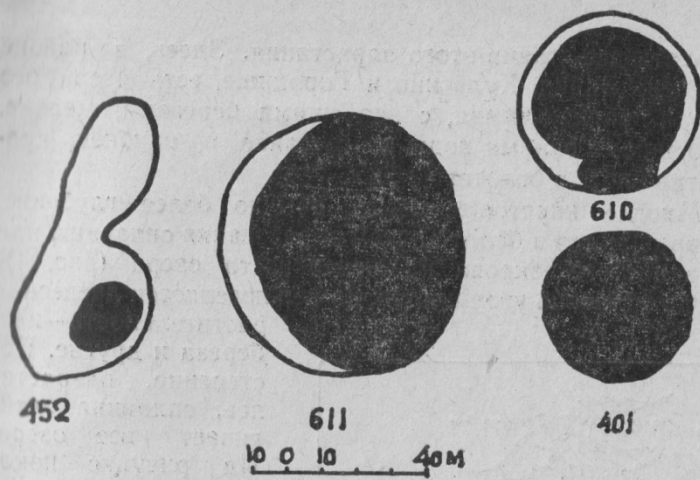
Рис. 3. План в изобатах и профили провального озера Молебное (Урал).

Во время дождей и таяния снега в озеро будет сноситься песчано-глинистый материал со стенок и с поверхности окружающего пространства. Стенки его будут становиться все более пологими, а глубина уменьшаться. Заполнение котловины осадками уменьшит доступ карстовых вод со дна в озеро. Все большую роль будут играть дождевые и талые снеговые воды. Если озеро находится на низкой речной террасе, то в питании его мо-

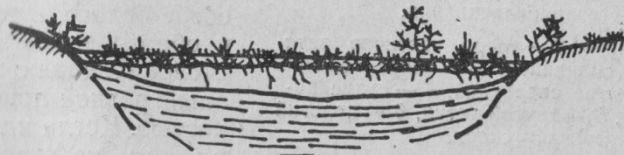
гут принять участие и грунтовые воды. О питании и провальных карстовых озер можно судить по химическому составу озерных вод и придонной температуре. Карстовые воды более минерализованы, чем дождевые и талые, и более холодны.

Постепенно в озере поселяется водная растительность, и оно превращается в болото.

Заболачивание коррозионных, провальных и других карстовых озер идет двумя путями. У одних озер заполнение котловины отложениями сопровождается зарастанием его болотной растительностью от берегов к середине. Водная поверхность постепенно все более и более сокращается и, наконец, совсем исчезает. Озеро превращается в болото. Между Камским и Чусовским отрогами Камского водохранилища на Чусовском мысе можно на-



А



Б



В

Рис. 4. Стадия зарастания карстовых озер слявиной (Чусовской мыс Камского водохранилища).  
 А — слявина покрывает часть озера, Б — все озеро, В —  
 блюдце на месте озера.

блюдать все стадии этого зарастания. Здесь, в районе деревень Бабки, Кулигино и Городище, есть озера без следов заболачивания, с заросшими берегами, мелкие, заросшие, с окнами воды по середине и, наконец, превратившиеся в болото.

Многие карстовые озера, обычно более глубокие, превращаются в болота путем образования сплавины или травянистого покрова на поверхности озера (рис. 4).

Когда сплавина утолщается, на ней поселяется древесная растительность—ива, береза и другие. По-

степенно, разрастаясь, сплавина затягивает все озеро. На рисунке показаны планы четырех озер того же Полазненско - Шалашнинского карстового района, которые находятся в разных стадиях зарастания сплавинной. В вертикальном разрезе они показаны в нижней части рисунка 4. На нижнем озере болото исчезло и образовалось карстовое блюдце с идеально ровной поверхностью. Когда идешь по нему, то чувству-

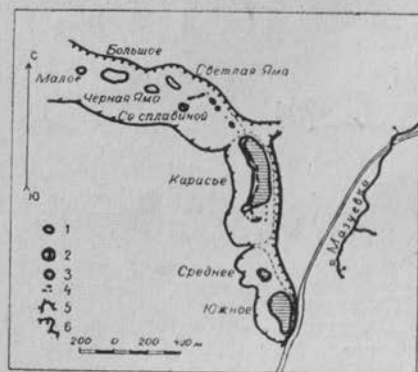


Рис. 5. Карстовые озера западнее д. Мазуевки в Пермской области, находящиеся в различных стадиях заболачивания.

1 — озеро, 2 — озеро, частично затянутое сплавинной, 3 — озеро, сплошь покрытое сплавинной, 4 — сухие воронки, 5 — крутой уступ, 6 — пологий склон.

ешь твердую почву под ногами. Хождение по сплавине дает другое ощущение — нога погружается в мягкий ковер, который колыхается (рис. 5).

Население Полазненско-Шалашнинского карстового района в Пермской области, где карстовые воды в гипсах непригодны для питья, делает окна в сплавине и берет озерную воду из этого своеобразного колодца со стенками из растительности.

### Исчезающие озера

Среди озер, приуроченных к карстовым воронкам выщелачивания, встречаются и исчезающие. Сохранение воды в воронке возможно, если понор на дне ее не поглощает воду. Это бывает тогда, когда имеется пробка из водонепроницаемых пород. Если эта пробка будет разрушена, понор будет откупорен, и вода из озера уйдет.

В Пермской области известно несколько таких исчезающих озер. В Полазненско-Шалашинском карстовом районе из озера, находящегося в деревне Бобки, вода уходила в 1946 г. и потом вновь появилась. В озере, в деревне Залесной, вода исчезала более 20 лет назад.

В Кунгурско-Иренском карстовом районе наиболее известно так называемое Поваренное озеро, находящееся за городом Кунгуром, недалеко от Сибирского тракта. Оно было озером с 1915 до 1925 г. В июне 1925 г. вода в нем исчезла. Вода промыла глину, которая закупоривала понор на дне озера, и хлынула в него. На дне большой сухой карстовой воронки зияло двухметровое отверстие, которое можно было наблюдать до весны 1928 г. Весной 1928 г. вешние воды принесли в карстовую воронку много глины и образовалось озеро, которое существовало до октября, когда вода вновь ушла из него в понор. Другое исчезающее озеро — Кружковское — находится около станции Кунгур.

В карстовых районах Пермской области на водораздельных пространствах, где нет ни рек, ни колодцев, скот весьма плохо обеспечен водой. Приходится либо гонять его к реке, либо к карстовым озерам, часто находящимся в нескольких десятках километров. Местное население нашло выход в виде создания искусственных карстовых озер. В карстовых воронках, имеющих в изобилии, на дне делается водонепроницаемый пластырь из чередования слоев глины и рогожи. Весной и после дождей воронки заполняются водой и получаются карстовые озера.

В Динарской карстовой области, в Югославии, где голые каменистые горы также безводны, озера создают путем цементирования скалистого дна карстовых воронок.

Исчезающие карстовые озера имеются во многих районах СССР. Наибольшую известность получила

Прионежская область периодически исчезающих озер в районе Онежского и Белого озер. Исчезающие озера наблюдаются и в зарубежных карстовых областях.

Пермский государственный университет

#### ЛИТЕРАТУРА

Азанова Р. В. Некоторые гидрохимические фации карстовых рек. Доклады Пермской конференции по химической географии вод Пермь, 1949.

Балков В. А. Исследование весеннего стока рек водосбора Пермского водохранилища для целей прогноза. Ученые записки Пермского университета, т. 14, в. 2, стр. 47, 1958.

Балков В. А. Влияние карста на режим стока рек юго-восточной части Пермской области. Записки Пермского отд. Географич. общества СССР, в. 1, стр. 63—70, 1960.

Боброва В. Н. К химической географии карстовых озер междуречья Сылвы и Шаквы. География Пермской области, в. 1, стр. 67—68, Пермь, 1962.

Бочкарев П. Ф. Гидрохимия рек Восточной Сибири. Автореферат докторской диссертации, стр. 22, 1955.

Бочкарев П. Ф. Гидрохимия рек Восточной Сибири, стр. 90—96, 110, Иркутск, 1959.

Владимиров Л. А. О влиянии карстовых вод на режим стока рек южного склона Главного Кавказского хребта в пределах Западной Грузии. Труды ин-та географии АН Грузинской ССР, т. VI, физ.-геогр. серия, стр. 151—154, 1955.

Владимиров Л. А. О режиме карстовых вод Западной Грузии. Изв. Всес. географич. общества, т. 89, № 1, стр. 65—67, 1957.

Владимиров Л. А. О карстовых водах Грузии и влиянии их на режим стока рек. Труды Географич. о-ва Груз. ССР, т. IV, стр. 161—180, 1959.

Гаврилов А. М. К вопросу об учете влияния природных факторов на сток. Изв. Всесоюз. геогр. общества, т. 88, № 2, стр. 138—146, 1956.

Гаврилов А. М. Изучение стока в карстовых районах. Тезисы докладов III Всесоюзного гидрологического съезда, Л., 1957.

Гаврилов А. М. О влиянии карста на сток малых рек. Изв. ВГО, т. 92, № 3, стр. 251—262, 1960.

Гаврилов А. М. и Кузнецов И. В. Условия стока в своеобразном речном бассейне на примере одной весны. Изв. ВГО, т. 89, № 5, стр. 468—473, 1957.

Голубева Л. В. Химический состав некоторых карстовых озер Пермской области. Гидрохимические материалы, т. 21, стр. 81—85, 1953.

Горбунова К. А. Карстовые озера окрестностей Мазуевки в Пермской области. Доклады Пятого Всеуральского совещания по вопросам географии и охраны природы Урала, стр. 1—6, Пермь, 1960.

Горбунова К. А. Химическая география рек Пермской области, р. Кишертка. Доклады Пятого Всеуральского совещания по вопросам географии и охраны природы Урала, стр. 1—5, 1960.



Горбунова К. А. Сплавина на карстовых озерах. Записки Пермского отд. географич. о-ва СССР, в. 1, 1960.

Горбунова К. А. Химическая география рек Пермской области. Реки Мазуевка и Советянка. Химическая география, вып. 1, стр. 93—98, Пермь, 1961.

Горбунова К. А. Карстовые озера окрестностей деревни Дикое Озеро. География Пермской области, вып. 1, стр. 123—128, Пермь, 1962.

Гусева А. Н. К характеристике гидрохимических фаций карстовых озер. Доклады Пермской конференции по химической географии вод. Пермь, 1949.

Зверев В. Р. Учет явлений карста в расчетах снеговых паводков. Тез. докл. на совещ. по изуч. карста, в. 19, стр. 11—12, М., 1956.

Иванов Я. Н. Гидрология бассейна карстовой реки Пярломли. Исследование рек СССР, вып. 6, стр. 85—91, 1933.

Кеммерих А. О. Сток рек Северного, Приполярного и Полярного Урала. Изв. АН СССР, сер. географич., № 1, стр. 85—90, 1959.

Колотильшикова В. К. Режим карстовых вод Силурийского плато. Тез. докл. на совещ. по изуч. карста, в. 19, стр. 15, М., 1956.

Крубер А. А. Карстовая область горного Крыма. Гидрография карста, стр. 160—168, 1915.

Максимович Г. А. Гидрохимические фации вод озер (и морей). Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз. № 4, стр. 212—227, 1944.

Максимович Г. А. Гидрохимические фации вод озер (и морей). ДАН СССР, т. 47, № 8, стр. 582—585, 1945.

Максимович Г. А. Химическая денудация Земли. ДАН СССР, т. 93, № 4, стр. 698, 1953.

Максимович Г. А. Химическая география вод Суши. Географич. М., 1955.

Максимович Г. А. Озеро Кислое в Кишертском районе Пермской области и его происхождение. Уч. зап. Пермского ун-та, т. 7, вып. 4, стр. 69—86, 1956.

Максимович Г. А. Карст, стр. 30—39, М., 1960.

Максимович Г. А. и Абрамов М. С. Химическая денудация в верховье р. Камы. Ученые записки Перм. ун-та, т. 11, в. 2, стр. 96, 1957.

Максимович Г. А. и Горбунова К. А. Карст Пермской области, стр. 84—94, Пермь, 1958.

Молиев П. В. О методике гидрологических исследований, проведенных институтом «Гипроникель» в период с 1941 по 1955 гг. в карстовых районах Урала и Онего-Северодвинского водораздела. Тез. докл. на совещ. по изуч. карста, вып. 19, стр. 20—22, М., 1956.

Молиев П. В. Особенности режима карстовых рек Северного и Южного Урала. Труды III Всесоюзного гидрологического съезда, т. 7; стр. 198—207, Гидрометеониздат, Л., 1959.

Молиев П. В. Изучение особенностей водного режима закарстованных рек. Изв. АН СССР, сер. геогр., № 6, стр. 74—79, 1960.

Молиев П. В. Гидрологические исследования в условиях карста. Изв. Вест. геогр. о-ва, т. 94, № 2, 125—138, 1962.

Погребов Н. Ф. О результатах гидрогеологических исследований, произведенных с целью выяснения вопроса о возможности снабжения Петербурга ключевой водой, СПб, 1913.

Покровский П. О максимальных расходах с малых водосборов в карстовом Чусовском районе Свердловской области. Метеор. и гидрол., № 11, стр. 102—104, 1940.

Селивановский Б. В., Макаров Н. Е. и Батыр В. В. Гидрохимические фации подземных вод нижней Перми на южном окончании Вятского вала, ДАН СССР, т. 68, № 2, стр. 369—372, 1949.

Таусон А. К. Биология карстовых озер Кишертского района Пермской области и изменение их населения в зависимости от химического состава. Ученые записки Пермского ун-та, т. 3, в. 4, 1954.

Торсуев Н. П. Карст, особенности гидрографической сети и режим рек Онего-Северодвинского междуречья. Вестник ЛГУ, № 24, стр. 100—111, 1961.

Филенко Р. А. Влияние метеорологических факторов и карста на сток рек Крымской области, Вестник ЛГУ, № 8, 1949.

Чеботарев Н. П. К методу определения подземного стока по разности расхода двух створов. Метеорол. и гидрол. № 8, стр. 38, 1953.

Шимановский Л. А. Экспозиция склонов и густота речной сети юга Пермской области, Материалы VI Всеуральского совещания по вопросам географии и охраны природы. Физико-географическое районирование, стр. 221—222, Уфа, 1961.

Широков В. М. Особенности формирования стока в бассейне р. Сок. Изв. Казанского фил. АН СССР, серия энерг. и вод. хоз., в. 1, Казань, 1957.

Яценко Р. В. Химическая география карстовых озер Чусовской стрелки Камского водохранилища. Химическая география, в. 1, стр. 66—69, Пермь, 1961.

Морариу Т., Саву А. и Думбравэ Ф. Плотность гидрографической сети в РНР. Revue de Geol. et de Géographie, t. 1, p. 27—59, Bucarest, 1957.

Pantle R. Karsterscheinungen in den Gewässern Württembergs. Gas-und Wasserfach, 94, N 14, s. 420—422, 1953.