

Е. ПРИНЦ и Р. КАМШЕ

ГИДРОГЕОЛОГИЯ

ТОМ

II

ИСТОЧНИКИ



СЕЛЬХОЗГИЗ → 1937

1
d+

Գիրքը պետք է վերադարձնել
այստեղ նշված ժամկետից ոչ ուշ

18/VI 501.
25/VI 512.

Е. ПРИНЦ и Р. КАМПЕ

551.491

1776

ГИДРОГЕОЛОГИЯ

551.491

17-76

ТОМ II

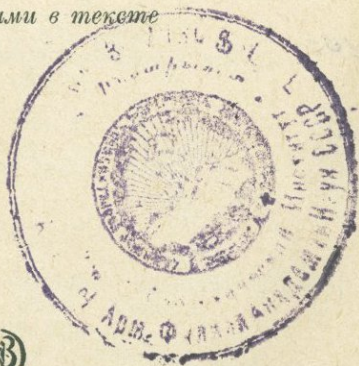
ИСТОЧНИКИ

(ПРЕСНЫЕ И МИНЕРАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ)

ПЕРЕВОД С НЕМЕЦКОГО
Е. В. КАЗАРИНОВОЙ

ПОД РЕДАКЦИЕЙ
проф. А. Н. СЕМИХАТОВА
и горн. инж. А. И. КАЗАРИНОВА

с 274 рисунками в тексте



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
КОЛХОЗНОЙ И СОВХОЗНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
«СЕЛЬХОЗГИЗ»
МОСКВА — 1987

БИБЛИОТЕКА
Геологического Ин-та
Арм. Фил. Акад. Наук СССР

6481 500
002 1810

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие к русскому переводу	Стр. 7
Предисловие	8

Часть первая

Пресные источники

Е. Принц

1. Введение	9
2. Что такое источники	11
3. Антропогеографическое значение источников	12
4. Происхождение воды источников	13
5. Подземные пути воды источников	13
А. Водные пути вообще	13
Б. Отдельные виды водных путей и обуславливаемые ими различные типы вод	14
6. Распространение источников	17
А. Распространение источников на земном шаре	17
Б. Источники на вершинах гор	19
В. Источники на островах	20
7. Пустоты в толщах горных пород	20
А. Проницаемость обломочных горных пород как мерило пустот	20
Б. Трещиноватость плотных горных пород	22
8. Водонепроницаемые слои	25
9. Образование источников	26
10. Признаки наличия источников	27
11. Поиски источников	28
А. Поиски источников на основании гидрологических данных	28
Б. Поиски источников по способу Парамеля	29
12. Указание количества ключевой воды	31
А. Общие указания	31
Б. Совместная работа гидролога и геолога	34
В. Специальные указания о ходе исследования	35
Г. Определение, основанное на количестве выпадающих осадков и размерах площади	35
Д. непригодность подсчета, основанного на учете количества выпадающих осадков и стока	36
Е. Особые способы вычисления по Зброжеку (Sbroshek) и Майе (Maillet)	37
Ж. Определение расхода воды источников	40

	Стр.
13. Колебания дебита источников	45
14. Определение вероятного наименьшего дебита источника	49
15. Наименьший расход источника на квадратный километр района выпадения осадков в зависимости от рода и свойств горных пород	52
16. Уменьшение дебита и иссякание источников	53
17. Подразделение видов источников	54
А. Различие по роду водоносных пластов	54
Б. Подразделение источников по роду причин, вызывающих выход их на поверхность, и по характеру этого явления	54
18. Источники, питаемые грунтовыми водами	55
А. Общие положения	55
Б. Нажимная вода (Quamwasser)	55
В. Источники, питаемые грунтовыми водами	56
Г. Источники осыпей	60
19. Источники, питаемые подземными водотоками	60
20. Классификация источников по характеру их выхода на поверхность	60
А. Пластовые источники	60
Б. Подпорные или плотинные источники (Staugquellen).	61
В. Переливающиеся источники	62
Г. Трещинные источники	66
Д. Сбросовые источники	66
Е. Нисходящие и восходящие источники	68
21. Особые виды источников	71
А. Временные, или периодические источники	72
Б. Морские подводные источники	78
В. Артезианские источники	79
Г. Болотные источники	80
Д. Искусственные источники	81
Е. Новые источники	82
22. Ложные источники	83
А. Общие положения	83
Б. Карстовые или воклюзские источники	84
В. Исчезновение и последующий выход	86
23. Группы источников	88
24. Горизонты источников	89
25. Местности, лишенные источников	91
26. Сооружение каптажей источников	91
А. Подготовительные работы	91
Б. Общие сведения о сооружении каптажей источников	92
В. Отдельные звенья каптажных сооружений и строительные материалы	97
Г. Дерево в качестве строительного материала	99
Д. Перекрытие и ограждение каптажей источников	99
27. Повышение дебита источника путем целесообразного устройства каптажа	100
28. Примеры каптажей источников	101
А. Простые, недоступные каптажи	101
Б. Большие, отчасти доступные каптажи	108
В. Каптажные штольни	111
Г. Вскрытие воды при проходе туннелей и штолен	116
Д. Каптаж штольнями с накоплением воды	117
29. Побочные сооружения при каптаже источника	118
30. Соединение в один общий водопровод каптированной воды	120
31. Отвод ключевой воды самотеком	121
32. Использование уклона трубопровода в целях экономии стоимости труб	123
33. Использование уклона трубопровода для получения гидравлической энергии	125
34. Уничтожение напора	126
35. Замутнение ключевой воды	127

	Стр.
36. Выделение осадков	130
37. Гигиенические сведения о воде	131
А. Очищающее действие грунтов	131
Б. Различный режим источников в зависимости от того, питаются ли они грунтовыми водами или подземными водотоками	133
В. Различие в скорости, с которой вода циркулирует в толще горных пород	133
Г. Различие в дебите	
Д. Температура источников	134
Е. Содержание микроорганизмов в ключевой воде	135
38. Полная очистка в глуболежащих рыхлых горных породах	137
39. Уменьшение числа бактерий в пористой, фильтрующей толще горных пород с возрастанием глубины	141
40. Условная очистка в неглубоко залегающих рыхлых горных породах	142
41. Несовременная очистка в трещиноватых горных породах	144
42. Условная очистка в трещиноватых горных породах	146
43. Последствия применения гигиенически непригодной ключевой воды	149
44. Охрана каптажей источников	153
45. Стоимость воды источника и его каптажа	157
46. Обезвоживание, вызываемое каптажами источников	158

Часть вторая

Минеральные источники

Р. Кампе, Карлсбад (Чехословакия)

Введение	160
Определение понятия «Минеральный источник»	160
I. Химизм минеральных источников	162
1. Анализ	162
2. Классификация минеральных вод	168
3. Радиоактивные источники	170
4. Осадки, выделяемые источниками: туфы, охра, шлам	179
II. Естественный механизм минеральных источников	184
1. Происхождение воды	184
2. Содержание тепла в термах	189
3. Происхождение минерального содержания и газов	194
А. Катионы	195
Б. Анионы	197
В. Неэлектролиты	198
Г. Газообразные составные части	198
4. Путь и движение воды	202
А. Системы минеральных источников	203
Б. Примеры систем источников	204
В. Механизм восходящих минеральных источников	208
Г. Гейзеры и газированные источники	212
III. Наблюдение над источниками	226
1. Измерение дебита	227
А. Дебит воды	227
Б. Измерение количества выделяющихся ключевых газов	244
2. Измерение давления	248
3. Измерение температуры	250
4. Контрольные анализы	251
5. Обработка результатов наблюдений	252
А. Изменения дебита и их причины	253
Б. Изменение температуры источников	259
В. Изменчивость химического состава	260

	Стр.
IV. Каптаж минеральных источников	264
А. Каптаж нисходящих источников	265
Б. Каптаж восходящих источников	266
В. Трубопроводы	291
V. Охрана источников	295
А. Мероприятия по охране	296
Б. Дополнительная охрана источников	302
Список литературы	307
Работы, на которые под соответствующими номерами сделаны ссылки в тексте	307

ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ПЕРЕВОДУ

Второй том «Гидрогеологии» посвящен источникам и их каптированию. Этот том состоит из двух частей, написанных различными авторами, в соответствии с тем, что источники обычно делятся на две группы: пресные источники и минеральные, которые весьма существенно отличаются по своей природе, и по целям использования, и по характеру каптирования.

Пресные источники описаны П р и н ц е м, минеральные — К а м п е. Принцем даны интересные сведения о различных источниках и их каптировании для целей питьевого водоснабжения. Кампе дал анализ режима различных типов минеральных источников, методы наблюдений и изучения и основные правила каптирования их.

Наша советская обобщающая литература по гидрогеологии еще очень бедна, несмотря на разнообразие гидрогеологических условий нашей страны и на громаднейший размах гидрогеологических работ. И особенно бедна литература, посвященная источникам. Между тем использование источников стоит очередной работой в улучшении культурно-бытовых условий населения.

Эта книга, в которой общим заглавием «Источники» объединены две работы выдающихся специалистов, найдет многочисленных читателей среди инженерно-технического и врачебно-санитарного персонала, работающего в области использования источников, как пресных, так и минеральных, а равно и среди студентов геолого-разведочных вузов.

Москва.

Декабрь 1936 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учение об источниках является той областью, с которой соприкасается ряд различных отраслей знаний. Геолог описывает строение и свойства путей подземной воды; химик исследует состав этой воды, метеоролог и геофизик также занимаются источниками. Для медика последние представляют собой высокую ценность с точки зрения питьевой воды и целебных средств, потребляемых человечеством. Сущность источников, причины и силы, обуславливающие их движение, непрерывная работа которых выводит воду из глубины на земную поверхность, своеобразность этого движения и влияние его на свойства воды объясняет инженер. На его долю выпадает принятие тех мероприятий, которые должны поставить источник на службу человечеству.

Настоящий труд об источниках в большой своей части принадлежит перу геолога; он поэтому распространяется в первую очередь на изучение вместилища, в котором накапливается и по которому движется подземная вода. Нашей работой мы стремились именно в этом направлении пополнить книги, в которых кратко затрагиваются вопросы гидрогеологии и гигиены источников. Как продолжение «Гидрогеологии» Е. Принца она должна помочь инженеру-практику при каптаже источников. Наконец, учение о минеральных источниках завоевало себе на протяжении последних десятилетий такое значение, которое заставляет отвести этим источникам значительную часть данной книги.

Пусть эта книга явится полезным основанием для дальнейшего развития исследования источников с гидрогеологической и гигиенической точек зрения.

Берлин-Целлендорф и Карлсбад.
Июль 1934 г.

Е. Принц, Р. Кампе.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

ПРЕСНЫЕ ИСТОЧНИКИ

Е. ПРИНЦ

1. ВВЕДЕНИЕ

Слово «источник» есть древнее, веками укоренившееся понятие о той воде, которая естественным путем выступает из недр земли на поверхность.

Источники играли большую роль при выборе мест поселения первобытного человека, и каптаж источников относится к древнейшим культурным работам человека. Для народа слово «источник» было с давних пор связано с понятием о чистоте, здоровье, освежающей прохладе и приятном вкусовом ощущении.

Однако минули те времена, когда можно было думать, что всякая выбивающаяся из земли вода обязательно должна быть чистой и гигиенически безукоризненной. Многие источники весьма изменчивы в отношении своих свойств, сегодня они могут быть хорошими, завтра могут быть ненадежными, а с течением времени могут даже стать возбудителями болезней. Горький опыт показал, что чистота многих источников была нередко лишь продуктом воображения, а вера в их целебные свойства «вознаградилась» так называемыми водными эпидемиями и массовыми смертями.

В настоящее время известно, что термин «ключевая вода» не говорит о качествах воды. Не каждый источник должен давать чистую и гигиенически безукоризненную воду. Загрязненная подземная вода, которая не может очищаться естественным путем, дает загрязненные источники. Современная наука учит, что каждый источник индивидуален. Отдельные источники как по своим внешним, так и внутренним признакам весьма различны. Однако надо опасаться широких обобщений, выходящих из рамок действительных фактов. Гигиенически безукоризненную ключевую воду можно найти только

там, где при трещиноватых горных породах район питания источника не загрязнен человеческими поселениями, навозными свалками и т. п., или где вода, просачивающаяся с поверхности земли в толщи горных пород, подвергается естественному процессу очистки (фильтрации). Г е р т н е р (1)¹ справедливо и с полным убеждением отмечает, что уже М а р т е л ь (Martel) в своей книге «Le sol et l'eau» (1906) требует резкого разграничения между источниками, питаемыми водой пористых фильтрующих обломочных водоносных горных пород, и источниками, питаемыми водой из трещиноватых горных пород. Мартель говорит: «В трещиноватых породах не существует грунтовых вод по той причине, что породы этого рода абсолютно компактны за исключением трещин, делающих их на отдельные глыбы, многогранники. Особого внимания заслуживает то обстоятельство, что крупные ученые, как А р а г о (Arago), Д о б р е (Daubrée) и др., полностью отрицали наличие закрытых грунтовых вод в трещиноватых горных породах. Тем не менее, едва ли возможно перелистать книгу о подземных водах, в которой почти на каждой странице не встретилось бы выражение «грунтовые воды» даже там, где речь идет о трещиноватых известняках. Уже в течение 15 лет я борюсь против ошибки, кроющейся в этих словах, не будучи в состоянии ее устранить». Г е р т н е р добавляет к словам М а р т е л я: «Несомненно трудно устранить укоренившуюся ошибку, но это не должно нас удерживать от борьбы в интересах ясности, столь необходимой для гигиенической оценки воды; мы должны требовать ясного разделения между обоими видами воды с гигиенической точки зрения, так как обойтись без такого разделения мы не можем. Оно необходимо, так как с гигиенической точки зрения иногда бывает роковым то обстоятельство, что заманчиво выглядящий источник, вытекающий из трещиноватых пород в зараженной местности, обманывает нас в отношении чистоты и качества воды».

Большинство примитивных каптажей источников находятся в крестьянских дворах и опасны с гигиенической точки зрения в том случае, когда они расположены вблизи навозных свалок (рис. 1).

Конечно, нельзя отрицать того, что использование источников, особенно высоко расположенных, дает некоторые преимущества, заключающиеся, например, в простом устройстве водоснабжения, отсутствии необходимости в машинах для непрерывной подачи воды и т. п. Этим преимуществам во многих случаях противопоставляется понижение дебита источника в летнее время, т. е. во время наибольшей потребности в воде. Последнее обстоятельство имеет особенно большое значение потому, что в последние годы расходы центральных водопроводных станций сильно возросли вследствие увеличившегося количества домашних ванн и высокого летнего расхода воды, связанного с поливкой садов в городских предместьях. Кроме того, нельзя забывать, что водоснабжение из высоко расположенных источ-

¹ Помещенные в скобках цифры относятся к находящемуся в конце книги литературному указателю.

ников нередко требует создания обширных охранных зон, отчуждение земли под которые связано с большими расходами. Поэтому понятно, что каптаж источников, вытекающих из трещиноватых горных пород, заменяется во многих случаях каптажем грунтовых вод.

Так, например, каптажи источников области Тамаро и Градичиоли, близ Лугано, вследствие постоянного замутнения их, были дополнены каптажами грунтовых вод в долине Ведеччо. Города Люцерн, Фрейбург и Базель в Швейцарии с успехом используют грунтовые воды в качестве дополнительного источника водоснабжения. Париж тоже ищет возможности заменить каптажи своих старых, не всегда гигиенически безукоризненных источников, вытекающих из трещиноватых горных пород, каптажем грунтовых вод. Из немецких городов, заменивших или дополнивших существующие каптажи каптажами грунтовых вод, можно назвать только Падерборн и Висбаден.

Конечно, нужно заметить, что и источники, питаемые грунтовыми водами, также подвержены инфекции. В источниках, вытекающих из трещиноватых горных пород, можно ожидать гигиенически безукоризненной воды только в том случае, если район их питания свободен от инфекционных очагов или если муть и вредные зародыши задерживаются включенным в толще горных пород фильтрующим материалом. Этот случай часто встречается в первичных горных породах, а также в кристаллических известняках, трещины которых заполнены намытым песком. Если инфекционные очаги имеются налицо и если вода не подвергается процессу естественной фильтрации, то заражение их почти неизбежно, особенно в периоды снеготаяния или выпадения больших дождей.

2. ЧТО ТАКОЕ ИСТОЧНИКИ

Источниками являются естественные выходы подземной воды на поверхность земли. Они встречаются всюду, где гидравлически связанные пути потоков подземного круговорота воды пересекают



Рис. 1. Старый каптаж ключа в Лаабертале (фотография Рейтера).

поверхность земли, где, следовательно, водоносные пласты находятся в условиях естественного дренажа.

Источники можно также рассматривать как естественную разгрузку подземных водохранилищ.

Подобно тому как невозможно судить о качестве воды, вытекающей из крана водопровода, по устройству самого крана, так нельзя из одного того факта, что подземная вода выступает на поверхность, делать какие-нибудь заключения о свойствах, которые могли бы быть приписаны вообще всем источникам подземной воды.

Следует строго различать понятие «источник» как место и род выхода воды и воду источника как жидкость, вытекающую из недр земли.

Существует гигиенически совершенная ключевая вода и в противоположность ей гигиенически непригодная.

Характер выхода источника, его окружение, высота и т. п. являются с гигиенической точки зрения лишь внешними признаками второстепенного значения. В первую голову следует рассматривать те свойства вод, которые обусловлены ее происхождением, но не сопутствующие обстоятельства, при которых вода выбивается из земли.

3. АНТРОПОГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ

По мнению Д и т ц е л я (Ditzel) (2), установить зависимость возникновения людских поселений от местоположения источников в областях, богатых атмосферными осадками, не так легко, как в засушливых местностях. Верное доказательство того, что людское поселение связано с местом нахождения источника, может быть приведено только в том случае, когда можно доказать, что водоснабжение данного поселения в момент его основания базировалось исключительно на воде определенного источника. Однако очень трудно проследить и подтвердить подобное доказательство фактами, так как человек, в связи с быстрым ростом его культурного развития, удачно разрешил вопрос о замене естественных источников сооружением искусственных колодцев, что совершенно изменило и уничтожило первоначальные условия водоснабжения. Грунтовые воды дают возможность не только распознавать людские поселения на большой площади, но и обеспечивают за каждым жителем преимущество владения своим собственным колодцем, и, следовательно, возможность жить в непосредственной близости от источника воды. Этим объясняется предпочтение, отдаваемое грунтовым водам перед ключевой водой в сельских поселениях, не имеющих центрального водоснабжения. Однако и центральные водопроводные станции в последнее время нередко отдают предпочтение грунтовой воде в качестве источника водоснабжения. Причину этого явления нужно отнести к недостаточному дебиту источников при возрастающей потребности в воде, опасности ухудшения качества воды при больших атмосферных осадках, вследствие замутнения и занесения в источники болезне-

творных бактерий, а также к невозможности приобретения и создания больших охранных зон в тех случаях, когда области питания источников, сложенные трещиноватыми породами, заняты людскими поселениями.

4. ПРОИСХОЖДЕНИЕ ВОДЫ ИСТОЧНИКОВ

По современному, почти всюду признанному воззрению, существуют два места заражения родниковой воды:

- 1) атмосфера и
- 2) недра земли.

По терминологии Зюсса (Suess), воду, поступающую из атмосферы, называют *вадозной*, а воду, происходящую из недр земли, — *ювенильной*¹. Относительно атмосферного происхождения подземной воды существуют в настоящее время две теории:

- а) теория инфильтрации и
- в) теория конденсации.

В приведенном в конце этой книги литературном указателе можно найти исчерпывающие данные об обеих этих теориях.

По Зюссу, ювенильная вода представляет собой продукт конденсации газов, выделенных огненно-жидкими, медленно застывающими, глубинными горными породами. Однако количество ювенильной воды настолько мало, что она практически едва ли может оказать какое-либо влияние на общий режим водоснабжения. В то же время для минеральных источников ювенильная вода и ювенильный газ имеют очень важное значение.

Для поисков и получения подземной воды для целей водоснабжения, теории о ее происхождении не имеют особого практического значения. Для техники каптирования источников основным вопросом всегда является: «где, в каком количестве и какого качества можно длительно получать необходимый объем подземной воды». Это, однако, не значит, что практическая гидрология не должна интересоваться правильным пониманием процесса возникновения подземной воды. Практические изыскания подземной воды и каптаж источников смогут извлечь из этого соответствующую выгоду.

5. ПОДЗЕМНЫЕ ПУТИ ВОДЫ ИСТОЧНИКОВ

А. Водные пути вообще

Для возникновения ключевой воды необходимо, чтобы для атмосферной воды были открыты следующие пути:

- 1) в недра земли — для образования и накопления там воды,
- 2) в самих недрах земли — для образования системы связанных между собой водных путей, отводящих воду из района питания снова на поверхность земли.

¹ Vadosus — мелкий, Juvenilis — девственный, юношеский.

Поэтому на образование источников можно рассчитывать только там, где распространены не плотные горные породы, а породы, пронизанные пустотами. Такие пустоты являются первым и основным условием для возникновения, накопления и движения подземной воды. Горные породы, пронизанные пустотами того или иного рода, наполненные частично полностью водой, называются водоносными. Однако для того, чтобы проникающая в землю атмосферная вода не погружалась в глубину, водоносные пласты должны подстилаться водонепроницаемыми пластами. Такие пласты образуют ложе и стенки любого потока подземной воды.

Б. Отдельные виды водных путей и обуславливаемые ими различные типы вод

Подземные пустоты, в которых образуется, накапливается и по которым движется вода, никоим образом не являются однородными геологическими образованиями. Различают следующие категории пустот:

1. Пустоты, возникающие вследствие того, что отдельные обломки горных пород различной величины соединяются в рыхлые нагромождения. Совокупность пустот, образующихся между отдельными обломками горных пород,

представляет собой один сплошной сосуд, в то время как накапливающаяся в них вода образует не единое сплошное жидкое тело, а отдельные нити, находящиеся, конечно, в гидравлической связи между собой.

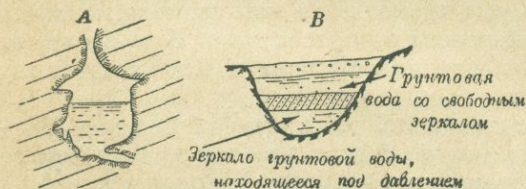


Рис. 2: Схематическое изображение различия между подземным водотоком и грунтовой водой.

Пустоты, заключенные в зернистой массе водоносного пласта, называются порами, а образующаяся в такой пористой толще горных пород подземная вода называется **г р у н т о в о й в о д о й**.

2. Пустоты, образующиеся вследствие возникновения в твердых, сплошных горных породах трещин, щелей, плоскостей отдельностей, провалов, пещер и тому подобных образований, являющихся последствиями различных нарушений. Находящаяся в таких бассейнах подземная вода представляет собой сплошное жидкое тело, движущееся подобно поверхностным водотокам. Движущуюся, заключенную в трещиноватых толщах горных пород воду, в отличие от грунтовых вод, называют **п о д з е м н ы м в о д о т о к о м**.

Разницу между грунтовыми водами и подземными водотоками иллюстрирует рисунок 2.

Если все сечение канала *А* наполнено только водой, то мы имеем дело с поверхностным водотоком. Если канал лежит под землей, то мы имеем дело с подземным водотоком. Если сечение *А* наполнено

песком, гравием или подобными обломками горных пород, то образуется грунтовая вода. Если сечение *B* частично или целиком наполнено песком, гравием и т. п., то мы также имеем дело с грунтовой водой.

Если вода в обоих каналах *A* и *B* движется, то нетрудно понять, что гидравлические процессы в потоках *A* и *B* различны. В потоке *A* трение, испытываемое водой при движении, ограничивается только трением о стенки канала¹, в то время как в потоке *B* к этому сопротивлению прибавляются еще сопротивления, вызываемые трением воды о массы, наполняющие канал.

Следовательно, сопротивление в подземных водотоках зависит только от свойств стенок каналов, сопротивление же в потоке грунтовой воды, зависит, главным образом, от свойства материала, в порах которого движется грунтовая вода.

Смоченная поверхность в зернистом водоносном пласте, пронизанном многочисленными мелкими порами, в общей сложности должна быть значительно больше смоченной поверхности в подземном водотоке, который в большинстве случаев состоит из одного только канала, хотя и имеющего разветвления. Из этого следует, что процессы движения и вытекающие из них последствия в водоносных пластах, содержащих грунтовую воду, должны быть иными, чем в подземных водотоках.

Сравнительно большое сопротивление в пористых водоносных пластах обуславливает меньшую скорость движения воды. Если скорость движения воды в пористом грунте меньше скорости движения воды в подземных водотоках, то грунтовые воды потребуют для прохождения одинакового пути значительно больше времени, чем воды подземного водотока. Поэтому грунтовая вода, питающая источник, успевает подвергнуться большим изменениям, чем вода подземного водотока. Замедление естественной скорости движения грунтовой воды влечет за собой не только выравнивание температурных колебаний и кривой, характеризующей количество воды, просачивающейся с поверхности, и воды, превращающейся в грунтовую, но, благодаря относительно малому поперечному сечению пор, ведет также к полному очищению воды от взвешенных в ней и от загрязняющих ее веществ, увлекаемых с поверхности земли. Процесс этот вызывается естественной фильтрацией. Это явление имеет огромное значение в гигиеническом отношении.

Наоборот, в подземных водотоках, где нет намывов с достаточным фильтрующим действием, все явления, вызываемые трением в водоносном зернистом или пористом грунте, отсутствуют. Поэтому в подземном водотоке мы не имеем в общем ни выравнивания температурных колебаний, ни выравнивания дебита, ни фильтрующего действия грунта. Таким образом, по роду водоносных пластов мы имеем как в гидрогеологическом, так, главным образом, и в гигиеническом

¹ Истинные внутренние сопротивления, вызываемые взаимным трением отдельных водных струй, водоворотами и т. п., в данном случае не принимаются во внимание.

отношении два вида подземной воды, резко отличающиеся друг от друга. Из этого вытекают следующие определения.

1. Грунтовой водой считается такая подземная вода, которая собирается и движется в обломочных горных породах, обладающих более или менее закономерной водопроницаемостью, подчиняясь законам фильтрации.

Наиболее показательными условиями для грунтовых вод являются те сопротивления, которые воде приходится преодолевать при своем продвижении в грунте. Эти сопротивления имеют громадное значение для гидрологических, гигиенических и других свойств грунтовых потоков.

Обычными результатами особых сопротивлений грунта являются:

- а) сравнительно небольшая скорость движения воды;
- б) слабые колебания уровня, дебита и температуры;
- в) очищение воды от взвешенных веществ и других органических и неорганических примесей, т. е. действие естественной фильтрации.

2. Подземные водотоки, наоборот, несут воду, которая течет по трещинам, расщелинам, в пещерах и других подземных каналах из твердых пород по законам, свойственным течению воды в открытых каналах.

Обычными последствиями этих гидрологических условий являются:

- а) сравнительно большая скорость движения воды;
- б) большие колебания дебита и температуры;
- в) полное отсутствие естественной фильтрации, вследствие чего наступает временное помутнение этих вод. Подобные воды, как правильно говорит народная мудрость, связаны с дождем.

Поэтому подразделение подземной воды на грунтовые воды и воды подземных водотоков чрезвычайно важно не только с гидрологической, но, главным образом, с гигиенической точки зрения. Задерживающее, нивелирующее и очищающее действие пористого или зернистого водоносного слоя ведет к тому, что грунтовая вода в гигиеническом отношении оказывается значительно здоровее воды подземных водотоков. В то время как грунтовые воды представляют собой воду, профильтрованную естественным путем, вода подземных водотоков в отношении своих гигиенических свойств представляет собой воду, иногда почти ничем не отличающуюся от поверхностной. Различие между поверхностной водой и водой подземных водотоков большей частью состоит только во внешних признаках, выражающихся в том, что первая течет по земле, а вторая — под землей. Для качества воды это обстоятельство не имеет никакого значения, и в этом случае можно смело утверждать, что вода подземных водотоков часто является не чем иным, как поверхностной водой, опустившейся под землю.

Ввиду этого легко понять, почему источники, питаемые подземными водотоками, в гигиеническом отношении не всегда безупречны. Пользование такой водой нередко приводит к разочарованиям и даже

к опасным последствиям. Существует совершенно неправильный, безусловно ошибочный взгляд, что под землей течет только чистая вода. Найти чистую воду в подземном водотоке можно только в том случае, если поверхностная вода, попавшая в водоток, сама по себе была чиста, или же если эта вода на своем пути подверглась естественной очистке (фльтрации).

Подобный процесс очистки воды подземных водотоков может встретиться в налегающей или в самой водоносной толще, если трещины и прочие каналы водотока наполнены фильтрующим материалом. (В параграфе 42, страница 146, такие случаи будут рассмотрены более подробно).

Резко очерченной границы между грунтовой водой и подземными водотоками, конечно, нет и не может быть. Как везде в природе,

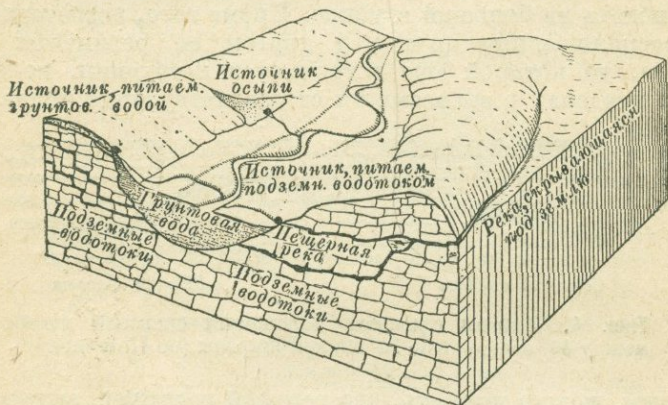


Рис. 3. Грунтовая вода, подземные водотоки и источники.

так и здесь имеются переходные ступени, и часто нельзя решить, имеем ли мы дело с чистым видом той или другой воды или же с обоими видами этих вод.

Наряду с этим понятно, что в природе встречаются менее надежные в гигиеническом отношении грунтовые воды, но бывают и подземные водотоки с безукоризненной в гигиеническом отношении водой.

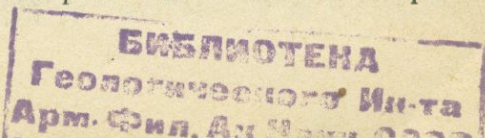
Только подробные изыскания могут определить как количество, так и качество тех или иных видов подземных вод.

Рисунок 3 иллюстрирует геологические условия, при которых образуются грунтовые воды и подземные водотоки.

6. РАСПРОСТРАНЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ

А. Распространение источников на земном шаре

Источники рассеяны по всей поверхности земли. Они встречаются не только глубоко под зеркалом моря, но и на низменностях, и на гребнях высочайших гор. Они рассеяны по земной поверхности



закономерно, подчиняясь определенным законам, зависящим в первую очередь от геологического строения. Существуют обширные равнины с полным отсутствием источников, и в противоположность этому имеются области, характеризующиеся наличием многочисленных и мощных источников. Однако было бы ошибочно по отсутствию источников судить о недостатке воды в какой-либо местности, так как существует множество случаев, когда это обстоятельство обуславливается только тем, что подземная вода находится на большой глубине и геологические условия для образования источников неблагоприятны. Часто встречаются выходы источников, приуроченные к определенным, ясно выраженным линиям или собранные в группы. Встречаются отдельные источники, вытекающие из неглубоко залегающих водоносных пород, или такие, происхождение которых следует искать на большой глубине. Кроме того, встречаются источники, расположенные друг над другом на различных уровнях.

Высота, до которой еще встречаются источники, колеблется в широких пределах в зависимости от сопутствующих условий.



Рис. 4. Кривая среднего положения снеговой линии между 80° северной и 70° южной широты (по Пошингеру).

В общем, можно принять, что верхней границей выходов источников, поскольку дело не касается горячих источников, является граница снегов.

По Пошингеру (Poschinger) (3), действительная снеговая граница находится там, где поверхность, покрытая снегом, уже больше, чем непокрытое им пространство. Снеговая граница является результатом климатических, геологических и орографических условий, и положение ее колеблется в широких границах. Так, например, в Антарктике она спускается вплоть до уровня моря, а в Андах и Тибете она поднимается на высоту около 6 000 м.

По Шлагинтвейту (Schlagintweit) (4), известные до настоящего времени источники холодной воды лежат в Тибете на высоте 5379 м, в Гималаях на высоте 4852 м, в Андах на высоте 4732 м и в Альпах на высоте 3182 м над уровнем моря.

Высотное положение некоторых речных истоков выше нормального уровня (в метрах)

Рейн	2340	Эльба	1390	Висла	1125
Аара	2256	Молдау	1172	Глатцкая	
Белый Майн	890	Заале	728	Нейсса	975
Мозель	735	Шпрее	401	Бобер	780
Лише	141	Гавель	63	Брага	180
				Варга	71

Б. Источники на вершинах гор

Возвышенное положение той или иной местности не является препятствием для образования источников, если существуют более высокие возвышенности, связанные водоносными пластами с местом выхода источника. Из вершины горы источник может вытекать лишь в том случае, если он является восходящим и обладает значительным избыточным давлением. Дебит источников, расположенных на вершинах гор, в общем невелик. Образованию источников на горах способствуют более значительные количества выпадающих здесь осадков, нежели в расположенных ниже местностях. Во многих случаях можно приписать происхождение воды в первую очередь нагорному туману и обильной ночной росе.

По данным Мартеля (5), можно указать на следующие источники высоких изолированных гор: источник Фонт-Филиоле (1 788 м),

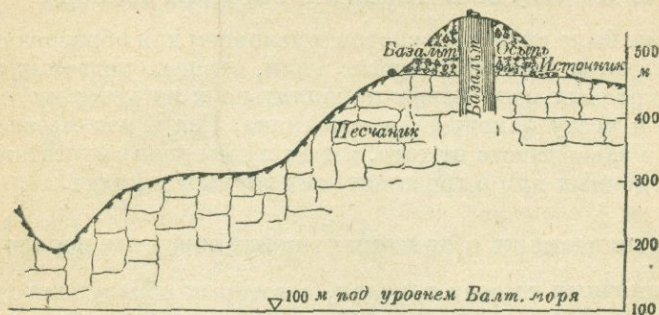


Рис. 5. Источники на горе Большой Винтерберг (по Бейеру).

Венту (1 912 м), Ахуски (1 100 м). Источник Ахуски питается осадками, выпадающими на площадь в 100 га, и из количества этих осадков можно вычислить приток, примерно, в 25 л/сек. Однако фактический дебит источника значительно меньше этой цифры.

Ярко выраженным вершинным источником обладает гора Большой Винтерберг в Саксонии, вершина которой состоит из базальтовой жилы, а склоны — из базальтового щебня. По Бейеру (6), Большой Винтерберг считался всегда богатым источниками, однако большие источники с постоянным дебитом отсутствуют. Ни один источник не достигает среднего дебита в 1 л/сек. Кроме того, они обычно быстро иссякают.

В отношении происхождения эти источники должны рассматриваться как источники осевой горных пород.

Другой типичный пример богатой родниками области с тремя горизонтами источников, расположенной на вершине горы, дает Высокий Шнееберг в Богемской Швейцарии, из которого в общем вытекает 45 источников. Согласно данным Бейера (6), 4 из них приходится на долю высокой террасы в броньяртовом квадерном песчанике, 31 на долю кремнистого известняка и 10 относятся

к глауконитовому песчанику. Все источники являются пластовыми (рис. 6).

В. Источники на островах

На островах, омываемых морем, источники могут возникать или из воды, выпадающей на поверхность самого острова в виде атмосферных осадков, или благодаря гидравлической связи острова с соседней сушей. Во многих случаях возникновение островов происходит путем отделения их от материка. Последнее ограничивается лишь поверхностью, в то время как приток воды происходит под зеркалом моря по принципу дюккера. По мнению Аристотеля (7), подобным островом, снабжаемым ключевой водой с материка, является остров Типо в Генуэзском заливе.

7. ПУСТОТЫ В ТОЛЩАХ ГОРНЫХ ПОРОД

Как уже было сказано, основным условием для образования источников является наличие пустот, или, вернее, подземных водных путей, в которых вода может накапливаться и по которым она перемещается к месту нахождения источника. Род и размер этих пустот различен в зависимости от того, имеем ли мы дело с пустотами в пористых обломочных или в трещиноватых горных породах.

А. Проницаемость обломочных горных пород как мерило пустот

В обломочных горных породах, в которых образуются грунтовые воды, размер пор в существенной своей части зависит:

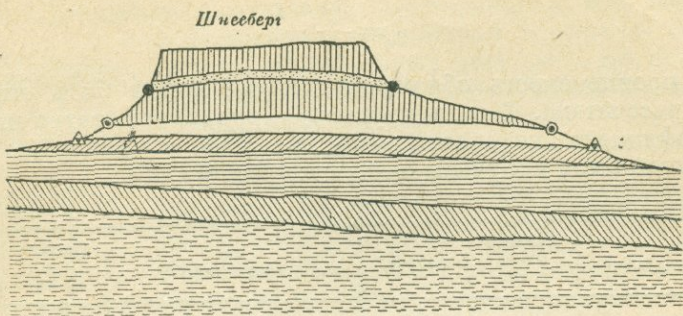
- 1) от размера отдельных зерен обломочных пород;
- 2) от формы зерен;
- 3) от их расположения и
- 4) от количественного соотношения зерен различной величины.

Эта смесь зерен представляет собой естественный фильтр, в котором вода движется по так называемому закону фильтрации, выраженному следующей формулой:

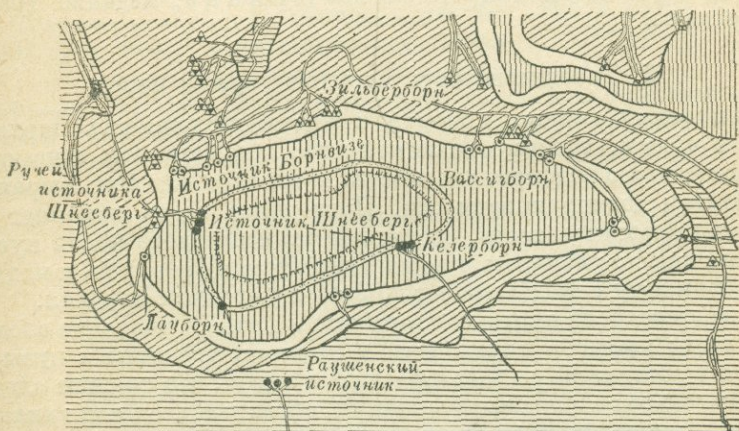
$$\left(\frac{Q}{F}\right)^m = k \cdot \frac{h}{l},$$

где Q — дебит потока грунтовых вод, F — его сечение, h — высота напора, необходимая для преодоления сопротивления движению при прохождении через фильтрующий слой, l — пройденный путь, k и m — коэффициенты, зависящие только от свойств фильтрующего слоя. При небольшом падении зеркала грунтовых вод коэффициент m может быть принят равным единице, вследствие чего формула фильтрации принимает вид уравнения, выражающего собой закон Пуазейля-Дарси-Дюпюи:

$$\frac{Q}{F} = k \frac{h}{l};$$



- Источники в броньяртовом песчанике
- ⊙ Источники в пленерском и мерзельном ярусах
- △ Источники в глауконитовом песчанике










-  Песчаник броньяртовый водонепроницаемый
-  Верхняя терраса осыпей, область образования источников
-  Пленер и мерзель, область образования источников
-  Глауконитовый песчаник, область образования источников
-  Лабиатусовый песчаник
-  Каринатовый песчаник
-  Гнейс

Рис. 6. Источники Высокого Шнееберга в Саксонской и Богемской Швейцарии (по Бейеру).

k обозначает коэффициент водопроницаемости:

$$k = \frac{Q}{F} \cdot \frac{l}{h}$$

Водопроницаемость обломочных пород может быть определена и точно рассчитана. Каждому размеру зерна соответствует определенный коэффициент водопроницаемости. Так, например, в результате опытов были получены следующие значения k :

Таблица 1

Род материала	Диаметр зерна (в мм)	k (м/сек.)	Род материала	Диаметр зерна (в мм)	k (м/сек.)
Речной песок . . .	0,1—0,3	0,0025	Мелкий гравий . . .	0,0—4,0	0,0300
Речной песок . . .	0,1—0,8	0,0088	Средний гравий . . .	4,0—7,0	0,0351

Более подробные данные об определении водопроницаемости приведены в 1-й части «Гидрогеологии» Принци, издание 1933 г. «Сельхозгиз».

Б. Трещиноватость плотных горных пород

При плотных горных породах в противоположность пористым нельзя, в общем, говорить о какой-либо поддающейся закономерному определению водопроницаемости, которая может быть выражена коэффициентом водопроницаемости. Последнюю здесь заменяет так называемая трещиноватость, состоящая из несчетного числа пустот, различных как по размерам, так и по своему направлению, и поддающаяся объемному определению лишь в очень редких случаях.

Для водоносности плотных горных пород имеют значение следующие пустоты: щели по плоскостям наслонения, трещины и пузырьчатые поры в миндалекаменных породах и лавах. Из трещин следует особо отметить: трещины выветривания, образующиеся под влиянием атмосферных воздействий (мороз, дождь и т. п.), тектонические трещины и трещины-отдельности в изверженных породах. Тектонические трещины имеют наиболее широкое распространение. Часто трещины расположены в горных породах параллельно, и тогда, по Леману (Lehmann) (8), каждому более значительному периоду образования складок соответствует особая сеть трещин. Каждая подобная сеть состоит из двух систем трещин, разделяющих горную породу на отдельности.

По Леппла (Lerpla), одна и та же трещина редко пересекает несколько различных пластующихся друг на друга горных пород.

Дебит трещиноватых водоносных горных пород определяется не столько густотой сети трещин, но, главным образом, степенью «зияния» трещин. Часто трещины расширяются под влиянием выветривания, и тогда можно говорить о «водяных жилах», пронизывающих горную породу. Как указал Кейльгак (Keilhack) (9), плоскости

напластования и трещины, а также расщелины нередко расширяются под действием химического растворения и под влиянием механических воздействий в каналы, гроты и пещеры значительных размеров, что повышает трещиноватость, а вместе с ней и способность накапливать воду (рис. 7 и 8).

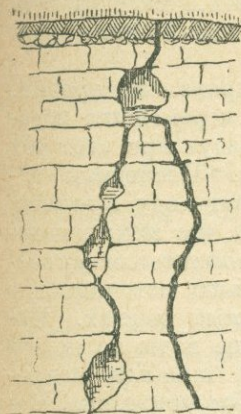


Рис. 7. Канал в расщелине (по Кейльгаку).

На дебит таких каналов оказывает влияние и глубинное положение расщелин. На глубине, где давление горных пород возрастает, трещины более закрыты, чем вблизи поверхности земли; однако, как говорит Штаппенбек (Stappenbeck), это явление в большей степени зависит от местных условий.

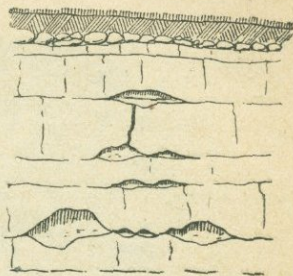


Рис. 8. Канал по плоско-
стям напластования.

К образованию водоносных трещин наиболее склонны изверженные породы, а из осадочных известняки, доломиты, кристаллические сланцы и различные песчаники. В изверженных породах трещиноватость обычно нерегулярна, в то время как в осадочных горных

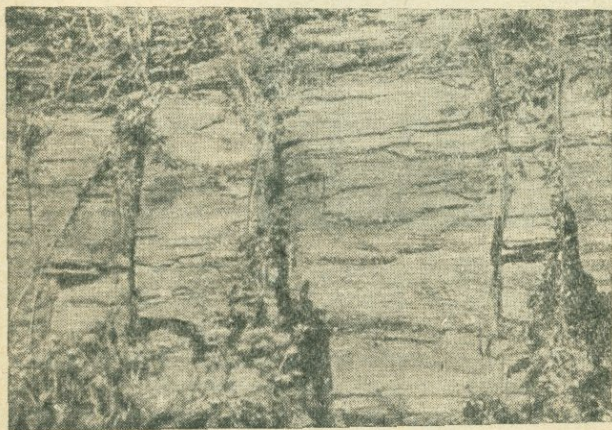


Рис. 9. Твердый, напластованный песчаник с трещинами, направленными книзу (фотография А. У. Эллис).

породах трещины в общем расположены перпендикулярно к плоскости напластования.

В противовес этим явлениям следует отметить наблюдаемое иногда уменьшение трещиноватости и водоносности под влиянием

закупорки водных путей намытым в них песком, глиной и натеками кальцита. Наряду с этим занесение в трещины в каналы и таких материалов, как трава, листья кустарников и деревьев, может вызвать явления подпора и закупорки, ведущие к окончательной ликвидации прежних водных путей.

Дальнейшие препятствия могут быть созданы провалами кровли. В этом случае обломки горной породы несколько перемещают водо-

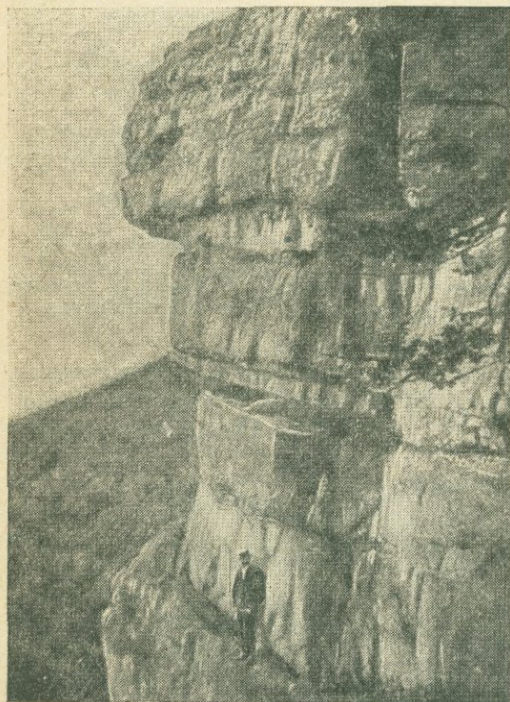


Рис. 10. Слой известняка-доломита и мергеля близ Эшерсгаузена (по Ринне).

сточков. необходимо считаться с ними. В пористых обломочных горных породах подобные явления исключаются.

На рисунке 9 показан, согласно Мейнеру (Meinzer) (11), твердый, напластованный песчаник, абсолютно плотный и водонепроницаемый. Часть трещин была настолько сильно размыта инфильтрационной водой, что возникла система направленных вниз каналов, по которым вода атмосферных осадков может легко проникать в глубину.

На рисунке 10 изображено типичное строение массива осадочных горных пород.

Само собой понятно, что делался ряд попыток выразить трещиноватость при помощи формул.

ток, образуя при этом род плотины. Последняя запруживает воду в горных породах, что может повести к дополнительному возникновению источников в нежелаемых местах. Направление воды по новым сточным каналам сокращает дебит источника. Часто встречаются также U-образные дюкеры, которые закупориваются и становятся тогда причиной возникновения новых водных путей. Так, например, по мнению Кнебеля (Knebel) (10), многочисленные провалы в районе Адельсбергского грота являются причиной того, что река Поик (Poik) проложила себе новый подземный путь. Перемещения водных путей и образования запруд этого рода являются характерной особенностью трещиноватых горных пород, а поэтому при устройстве каптажей

Так, например, В и н к е л ь (Winkel) (13), вычислил ширину трещин в плотных горных породах по количеству инфильтрационной воды и по падению напора по формуле для ламинарного движения:

$$\frac{h}{L} = 0,0000011 \cdot \frac{v}{s^2 \delta},$$

где $\frac{h}{L}$ — падение зеркала, v — скорость течения в м/сек., s — ширина трещин, δ — величина, зависящая от количества воды.

Таблица 2

Температура (в градусах Цельсия)	0	5	10	13,2	15	20	25	30
$\delta =$	0,68	0,79	0,92	1,0	1,05	1,19	1,32	1,46

На основании измерений дебита Г у б е р (Huber) (14) установил, что водоёмкость пород штольни Мюнцберг, близ Висбадена, и горных пород, лежащих близ Рейхенберга в Богемии, составляет 0,05%. Кроме того, он дал прекрасный обзор трещиноватости и водоносности различных горных пород (15).

8. ВОДОНЕПРОНИЦАЕМЫЕ СЛОИ

Не менее важное место в процессе образования источников занимают и водонепроницаемые пласты, затрудняющие или полностью устраняющие сток воды в глубину. Помимо этого, водонепроницаемые пласты также играют значительную роль в качестве запруды, задерживающей воду и заставляющей ее выступить на поверхность.

На рисунке 11 изображены простейшие условия, при которых возникает источник, питаемый грунтовыми водами. Вода атмосферных осадков накапливается путем инфильтрации в галечнике и выступает на поверхность типичным пластовым источником в том месте, где водонепроницаемая постель выходит на дневную поверхность.



Рис. 11. Возникновение источника над водонепроницаемым слоем.

9. ОБРАЗОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ

Способ образования источников различен и зависит от геологического строения области питания и места положения источника.

Если мы имеем дело с источниками, питаемыми грунтовыми водами, то они нередко выступают на поверхность земли в форме мелких рассеянных выходов на площадях, размеры коих определяются распространением водоносных пластов, обладающих приблизительно одинаковой водопроницаемостью. В одних случаях источники имеют характер очень тонких струек, дебит которых составляет лишь небольшую часть литра в секунду, но которые распространяются зато на обширных площадях и образуют почвенную влажность, мочажины или болота; в других же случаях источники, нередко уже на расстоянии нескольких метров от своего выхода, образуют ручьи шириной в несколько метров, несущие соответственно большие количества воды.

Если источники питаются подземными водотоками, то возникновение их в большинстве случаев обуславливается характером залегания и размерами перемежающихся водопроницаемых и водонепроницаемых пластов, характером пересекающих слоёв плоскостей излома и характером плоскостей напластования. В том случае, когда плоскости напластования имеют падение внутрь горы, на этом склоне обычно отсутствуют источники. Большинство наиболее мощных источников, как правило, возникает вблизи контактов или смены напластований.

Источники, берущие свое начало в трещиноватых горных породах, часто представляют собой, в противоположность источникам, питаемым грунтовыми водами, отдельные выходы подземной воды, положение которых обуславливается расположением трещин и расселин, выходящих на поверхность земли. Однако и здесь при благоприятных геологических условиях также встречаются связанные между собой группы источников, как, например, источники Падера, состоящие из 130 отдельных выходов источников.

Большинство источников является следствием эрозии, обнажившей или прорезавшей водоносные слои. В таких случаях источники часто возникают по обе стороны эрозионной долины. Примером такой пересекающей весь Юрский массив эрозионной долины, на обоих склонах которой имеются источники, может, по данным Р е й т е р а (Reuter) (16), служить долина Пегниц, близ Нюрнберга. Подобные, вызванные к жизни эрозией источники очень часто сопровождают долины ручьев и рек. В громадном большинстве случаев источники носят лишь временный характер и продолжают начатую поверхностными водами эрозионную работу, разрушая дальше водоносные пласты и расширяя район выхода источников. Первоначально узкая промоина расширяется затем до больших размеров, и с течением времени из отдельных источников возникает целый район источников. Этими процессами объясняется возникновение многочисленных ущелий с крутыми и высокими стенками. Процесс такого рода эрозии

нередко усиливается тем, что источники вымывают из водоносных слоев мелкий песок и частицы глинистых пород, сообщаящие воде источников муть и молочную окраску. В этом случае мы имеем дело с подземной эрозией, которая может повести к последующему провалу, обвалу или оползанию пород, покрывающих водоносный слой, и к дальнейшему изменению земной поверхности.

Подобные отступающие котловины, осушающие расположенную позади них местность, можно наблюдать на западном склоне Флеминга, где они носят название руммелей.

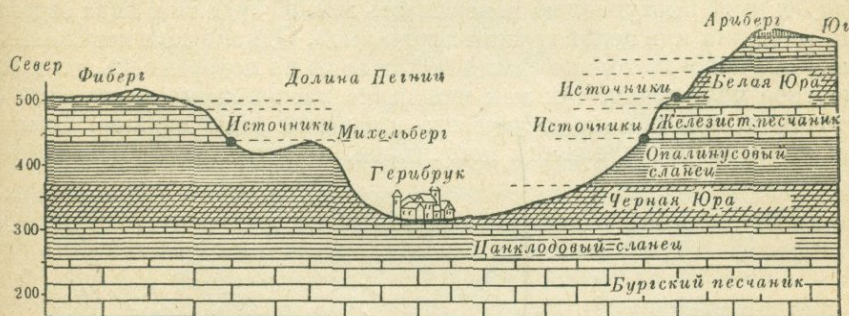


Рис. 12. Разрез через долину Пегниц. Нагорные источники выходят по орнатовой и опалинусовой глине.

В тех случаях, когда под влиянием эрозии долина ручья или реки расширяется и тальвег этой долины опускается, на склонах долины нередко обнаруживаются источники, число и дебит которых возрастают по мере понижения уровня поверхностного потока. Это те родники, которые прежде изливали свои воды непосредственно в реку и поэтому ускользали от наблюдения.

10. ПРИЗНАКИ НАЛИЧИЯ ИСТОЧНИКОВ

Признаком наличия подземных вод является произрастание в том или ином месте водолюбивых растений, как-то: осоки, тростников, незабудок, водяной петрушки, хвощей, щавеля, чистеда и т. п. Места, где почва содержит влагу, выделяются весной рано развивающейся на них зеленью. В засушливое время места выходов источников издали заметны благодаря своей яркозеленой окраске, резко отличающей их от окружающей выжженной солнцем почвы. Такие периоды особенно благоприятны для поисков скрытых источников.

Перед грозой и в перерывы между обложными дождями над этими местами образуется туман. Подобные же туманы образуются и при заходе солнца. Полосы этого тумана принимают змеевидную форму и тянутся над насыщенной влагой почвой.

Зимой места, богатые родниками, характеризуются быстрым таянием на них снега. Теплые источники, скрыто изливающие свои воды в ручьи и реки ниже уровня их поверхности, обнаруживают

зимой свое присутствие наличием полыней и проталин в ледяном покрове поверхностных водотоков.

Пространное описание растений, указывающих на присутствие подземной воды, сделано Мейндером (17).

11. ПОИСКИ ИСТОЧНИКОВ

А. Поиски источников на основании гидрологических данных

Само собой понятно, что поиски источников проще всего там, где вода открыто выступает на поверхность земли, будь то в виде отдельных мочажин или целой группы источников. Однако при изысканиях имеет значение не только самый выход воды на поверхность, но и его высотное положение, так как чем выше расположено место выхода источника, тем обычно количество ключевой воды меньше. Однако при высоком расположении источников, как правило, уменьшается

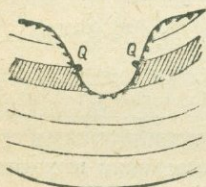


Рис. 13. Пласты с равномерным двусторонним падением в сторону дна долины.

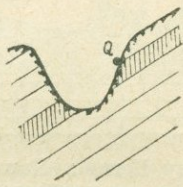


Рис. 14. Пласты с односторонним падением к долине.

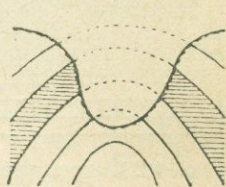


Рис. 15. Долина, в которой источники совершенно отсутствуют.

общая стоимость водопровода, так как с увеличением высоты напора поперечное сечение труб может быть меньше. Ценность высокого положения места каптажа зависит, однако, от практической возможности отвода воды. Поэтому вопрос этот необходимо выяснить еще до окончательного выбора места каптажа источника и начала каптажных работ. Если склон долины, по которому должен быть проложен водопровод, сложен трещиноватыми породами или обладает склонностью к образованию оползней, то необходимо предварительно выяснить, окупится ли преодоление вызываемых этим обстоятельством трудностей, связанных с прокладкой трубопровода, и не лучше ли перенести место каптажа источника ниже участка долины, ненадежного в смысле устойчивости сооружения.

Кроме того, при поисках источников следует всегда заранее точно выяснить условия залегания пластов. Если пласты залегают горизонтально, то перспективы нахождения источников на обоих склонах долины одинаково благоприятны. То же можно сказать, если напластование равномерно наклонено в сторону дна долины (рис. 13).

Если долина врезается в горный массив с односторонним падением пластов, то источники образуются лишь на той стороне, где слои наклонены к долине, в то время как на противоположной стороне они отсутствуют (рис. 14). При условиях залегания пластов,

показанных на рисунке 15, источники в долине полностью отсутствуют. При прочих равных условиях дебит источников тем больше, чем больше район их питания и чем выше расположен район, в который стекают атмосферные осадки. Районы выпадения атмосферных осадков, лежащие на стороне, защищенной от дождя, дают меньше воды, чем районы, лежащие на стороне, отмываемой дождями (в смысле преобладающего направления и угла наклона, под которым выпадают дожди в данной местности).

Гораздо сложнее поиски источников в тех случаях, когда приходится иметь дело со скрытыми источниками, вода которых после выхода из трещин твердой горной породы исчезает в рыхлых наносах.

В них вода незаметно перемещается, пока не достигнет подножия склона долины и не выступит здесь в виде открытого источника. Если русло ручья проложено в наносах, вода может вливаться в них и течь в них дальше вместе с поверхностной водой. В первом случае рекомендуется определить место выхода источника из плотной горной породы, что особенно важно, когда хотят капитировать источник по возможности выше. Если вода источника незаметно исчезает в ручье, то путем измерений на водосливе нетрудно установить участки, на которых ручей принимает в себя подземную воду.

На основании полученных результатов можно перейти к дальнейшим мероприятиям для определения источников ключевой воды.

Кроме того, нередко выходы источников маскируются болотами и отложениями известкового туфа, причины образования которого следует искать в родниковой воде.

Б. Поиски источников по способу Парамеля (Paramelle)

Исследователем, поиски которого сопровождалось неизменным успехом, был Парамель. По мнению Парамеля, источники возникают не случайно, но в особенно благоприятных для этого местах, отличающихся особым строением поверхности, складчатостью пластов и другими благоприятствующими обстоятельствами. По его мнению, наиболее мощные источники должны находиться в местах A_1 , A_2 , A_3 (рис. 16), т. е. в местах наиболее глубоко вдающихся долин, так как сюда стекаются подземные водяные токи. В местах B_1 , B_2 также выступают источники, но с меньшим дебитом, а в местах C_1 , C_2 едва ли можно ожидать их присутствия.

Далее Парамель приводит следующие рассуждения как результат своих наблюдений и опытов: «Подземный поток течет по самому глубокому месту долины, по тальвегу, в том же направлении, что и поверхностная вода. При поисках источников приходится в некоторых долинах наталкиваться на трудности, обусловливаемые недостаточным наклоном дна долины, а также на препятствия в виде обломков скал, трещин, нагромождений валунов, инфильтрации и искусственных земляных сооружений.

В тех местах, где в исследуемую долину впадает другая, поверхностный водоток изгибается под углом, вершина которого обычно обращена в сторону впадающей долины. То же наблюдается и с подземными потоками, которые в вершине этого угла дают обычно уже открытый источник. Любая долина и каждая складка земной поверхности имеет свой источник. Каждый выступ, против которого расположен небольшой поворот или который образует у подножия склона плавную дугу, таит в себе в большинстве случаев источник воды. Это можно утверждать с уверенностью во всех тех случаях, когда на площади, над которой господствует данный выступ, расположена долина или ряд впадин, направленных прямо на этот выступ. Во всех тех случаях, когда поверхность какой-либо долины

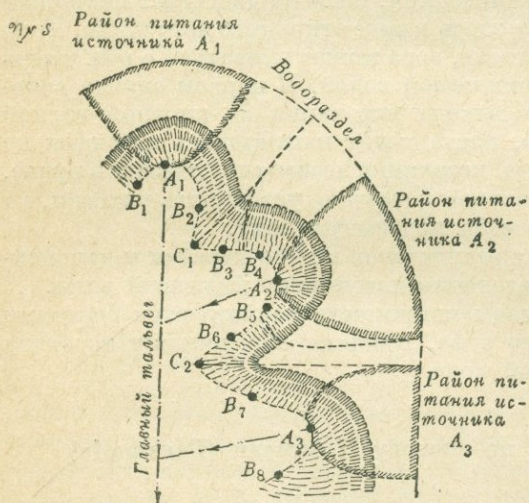


Рис. 16. Образование источников по Парамелю.

сложена настолько плотными породами, что при сильных дождях по ней могут стекать поверхностные потоки воды, под землей, точно совпадая с линией временного надземного водостока, во всех тех точках, где скрещиваются подножия обоих склонов, или где склоны долины наклоняются в сторону верхнего потока, течет постоянный подземный поток. Подземный поток выступает на поверхность лишь в дождливое время в определенных местах своего течения. Ближе всего к поверхности земли подземная вода подходит в тальвеге у начала долины или складки земной поверхности, т. е. в тех местах, где прежде всего происходит скопление поверхностных вод, далее во всех углублениях верхней части тальвега и в устьях долины. Если породы, образующие горный хребет, наклонены в одну какую-либо сторону, то никогда не следует искать источников на стороне, в которую падают пласты. Подножие склона долины является для исследователя наиболее благоприятным местом изысканий. Особое внимание надо обращать на вершины входящих углов, на наиболее выдвинутые места выступов, вдающихся в долины, на дно складок земной поверхности или ущелий, в местах, где их тальвеги скрещиваются с подножием склона долины).

Парамель определяет глубину нахождения источника по уровню воды в уже имеющихся колодцах, по расположению обнаруживающихся во время половодья выходов воды и по глубине расположения линии пересечения склонов долины. На линии пересечения

сложена настолько плотными породами, что при сильных дождях по ней могут стекать поверхностные потоки воды, под землей, точно совпадая с линией временного надземного водостока, во всех тех точках, где скрещиваются подножия обоих склонов, или где склоны долины наклоняются в сторону верхнего потока, течет постоянный подземный поток. Подземный поток выступает на поверхность лишь в дождливое время в определенных местах своего течения. Ближе всего к поверхности земли подземная вода подходит в тальвеге у начала долины или складки земной поверхности, т. е. в тех местах, где прежде всего происходит скопление поверхностных вод, далее во всех углублениях верхней части тальвега и в устьях долины. Если породы, образующие горный хребет, наклонены в одну какую-либо сторону, то никогда не следует искать источников на стороне, в которую падают пласты. Подножие склона долины является для исследователя наиболее благоприятным местом изысканий. Особое внимание надо обращать на вершины входящих углов, на наиболее выдвинутые места выступов, вдающихся в долины, на дно складок земной поверхности или ущелий, в местах, где их тальвеги скрещиваются с подножием склона долины).

продолженных плоскостей обоих крутых склонов обычно находится наибольшая глубина, на которой встречается (под точкой *C*) источник (рис. 17). Для того чтобы определить расстояние *AC* от левого края, нужно полагать, что:

$$(HG + EF) : AB = HG : AC,$$

откуда:

$$AC = \frac{AB \cdot HG}{HG + EF},$$

а глубину *CD* следует находить из уравнения $CD : AC = GY : HG$, и, следовательно: $CD = \frac{AC \cdot GY}{HG}$. Нужно заметить, что при измерении угла наклона склонов обе рейки *GY* и *EK* должны быть одинаковой длины.

Хотя данные Парамеля в настоящее время и устарели, они все же свидетельствуют о большой наблюдательности и опыте этого исследователя. В них заключается много научных указаний.

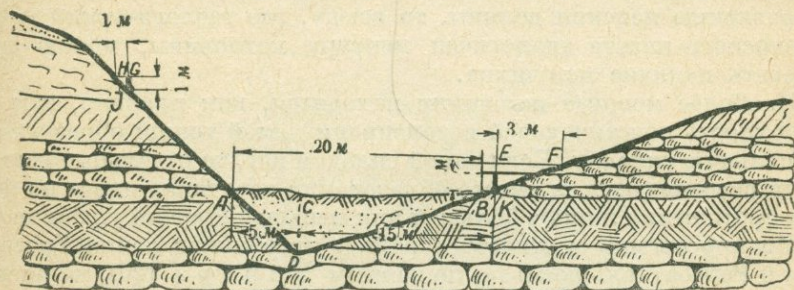


Рис. 17. Поперечный разрез долины. Подземная вода течет на глубине *CD* (по данным Парамеля).

Количество воды, по Парамелю, зависит от свойств и протяжения района питания источника. Парамель нашел, что на возвышенных плато, покрытых слоем щебня толщиной в 2—8 м, каждые 5 га поверхности давали при обычной сухости ключевую воду в количестве примерно 4 л/мин. Однако это относится лишь к очень водопроницаемому грунту.

12. УКАЗАНИЕ КОЛИЧЕСТВА КЛЮЧЕВОЙ ВОДЫ

А. Общие указания

Количество поверхностной воды, просачивающейся в толще горных пород, зависит как от формы поверхности земли и прочих свойств ее, так и от характера водоносных пластов и подстилающей их водонепроницаемой толщи и их залегания.

Форма поверхности освещается на топографических планшетах, а о геологическом строении говорят различных масштабов геологические

карты. При помощи последних можно с достаточной степенью точности, зависящей от детальности съемки, установить границы отдельных геологических образований. По Г о х е д е р у (Hocheder) (19), особенно большое значение имеют те границы, которые указывают на расположение и мощность водоносных пластов, выходящих на поверхность.

Если геологические карты выполнены на топографическом планшете с нанесенными на нем горизонталями, то можно приблизительно определить, в каком направлении простирается водоносный пласт, каково ориентировочно его падение. По высоте какой-либо точки поверхности земли над какой-либо точкой, лежащей на линии геологического контура, можно, учитывая найденное падение напластований, приблизительно определить глубину, на которой можно рассчитывать встретить воду.

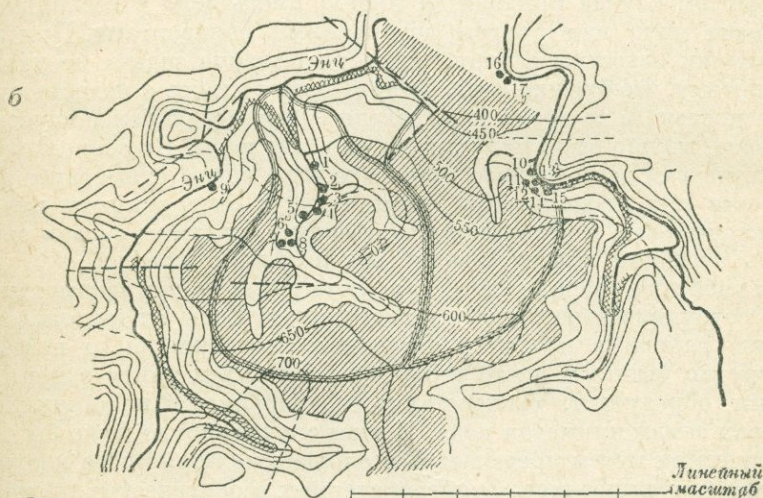
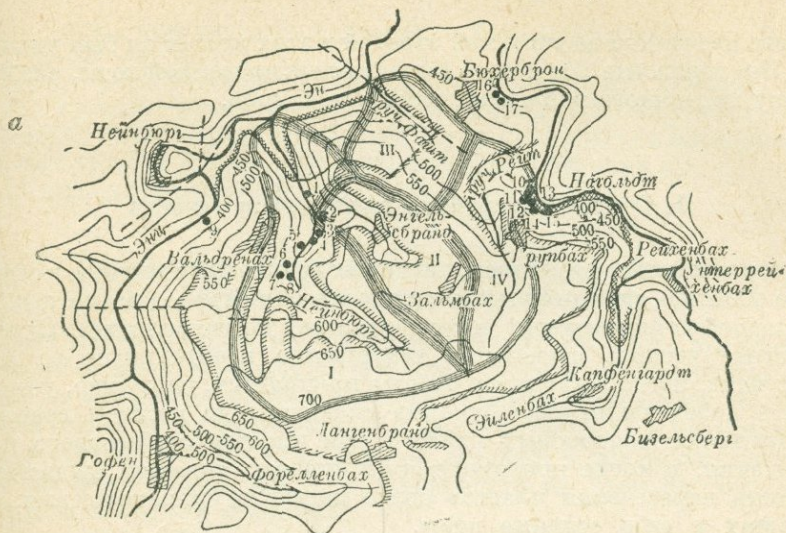
Горизонтали местности дают возможность непосредственно определять местоположение долин. Обычно контур какого-либо водоносного пласта до известной степени совпадает с направлением горизонталей местности, и если направление падения пластов соответствует направлению падения долины, то всюду, где геологический контур водоносного пласта аналогичен контуру котловины, можно предполагать наличие источника.

Наиболее мощные источники находятся, как правило, там, где поверхность подстилающей водонепроницаемой толщи образует синклинальную складку. Если такой складки нет, то отдельные водяные струи рассеиваются, и вместо образования источника пласт на большом протяжении лишь в большей или меньшей степени увлажняется.

Пример съемки местности в районе источников долин Гроссальталь и Рейтбахталь показан, по данным Р ö р е р а (20), на рисунке 18—а и б.

О строении поверхности можно судить по горизонталям местности, нанесенным на рисунке 18а. По этим горизонталям определены районы поверхностного стока. На рисунке видно, что источники 1—17 распределяются по районам стока I—IV. Замечательно то, что источники 10—15, расположенные непосредственно рядом с устьем ручья Рейтбах, лежат вне пределов района поверхностного питания ручья. Геологическими изысканиями был обнаружен водоносный слой в верхнем пестром песчанике, под которым залегают главный конгломерат и конгломерат Экка, которые являются практически водонепроницаемыми. Путем геологических съемок (рис. 18а) были установлены контуры слоев. Вода, циркулирующая в водоносном слое, должна стекать по поверхности подстилающего водонепроницаемого слоя и выступать в виде источников на поверхность земли на или под линией, ограничивающей распространение верхнего пестрого песчаника. На рисунке 18б водонепроницаемый верхний, пестрый песчаник в заштрихованных местах удален, а поверхность подстилающего конгломерата представлена в горизонталях.

Пунктирное продолжение этих горизонталей за пределы штрихованной части рисунка показывает первоначальное распространение



500
550
600

Горизонтали поверхности местности расстояние 50 м.

--- Сбросы

—— Верхняя граница конгломерата Эжа.

—— Нижняя граница верхнего пестрого песчаника

▨ Нижняя поверхность верхнего пестрого песчаника

▧ Горизонтали нижней поверхности верхнего пестрого песчаника

▬ Границы области питания

• Источники

Рис. 18а—18б. Родниковый район долины Гроссельталь и Рейхталь близ Пфорцгейма (по Рёберу).

пестрого песчаника до того, как эрозией в этих местах он был уничтожен. По горизонталям можно выявить сток подземной воды, а также границу подземного района питания источников.

Б. Совместная работа гидролога и геолога

При выявлении источников, питаемых грунтовыми водами, в общем можно обойтись одними только гидрологическими методами исследования, подробно описанными в «руководствах по гидрологии». Однако содействие геолога становится совершенно необходимым во всех тех случаях, когда в процессе работы приходится, например, устанавливать, доведены ли уже буровые скважины до нижней границы аллювиальных водоносных пластов или пластов ледникового происхождения, и когда при проведении буровых скважин существует опасность пересечения пластов более древнего происхождения, содержащих в себе соленые воды.

В первом случае приходится иногда иметь дело с несколькими, лежащими друг над другом водоносными горизонтами. При этом из практики известны случаи, когда разрешение задачи не удалось лишь потому, что бурение было остановлено в пласте с недостаточной водоносностью, в то время как, доведя скважину до более глубокого горизонта, можно было получить достаточно воды. Во втором случае при отсутствии достаточного геологического опыта существует опасность, что при продолжении бурения могут быть вскрыты пласты, содержащие соль, и что поднимающийся по скважине рассол может сделать негодной пресную воду вышележащих пластов.

При работах в трещиноватых горных породах весьма рекомендуется тесное сотрудничество геолога с гидрологом. Если бы тектоническое строение района в пределах отдельных водотоков было известно, то нетрудно было бы чисто геологическим путем найти законы, по которым образуется, беспрестанно возобновляется и циркулирует в недрах земли ключевая вода. В этом случае можно было бы чисто геологическим путем предсказать и ожидаемые количества ключевой воды. Однако ошибочность многочисленных геологических прогнозов о количествах воды, ожидаемой при проведении туннелей, свидетельствует о том, что чисто геологический путь нередко ведет к ошибкам.

Изучение тектоники в тех случаях, когда оно захватывает только поверхностные слои, недостаточно для исчерпывающего суждения о водных условиях, существующих в недрах земли.

Следовательно, при разрешении технических вопросов, связанных с источниками, нельзя ограничиваться изучением одной только тектоники, но нужно стремиться к выяснению и чисто гидрологических условий, иными словами, для правильного выяснения всей системы механизма источника и его водного режима геолог должен работать в теснейшей связи с гидрологом.

В. Специальные указания о ходе исследования

Для определения дебита источника имеются два способа:

- 1) математический, выводящий зависимость между количеством выпавших осадков или, вернее, той частью их, которая просачивается в толщу горных пород, и размерами района питания их, и
- 2) измерение фактического дебита источников.

Г. Определение, основанное на количестве выпадающих осадков и размерах площади стока

Этот метод исходит из той предпосылки, что часть выпадающих осадков стекает по поверхности земли, часть их просачивается в почву, а часть испаряется (вода, расходуемая растениями, не принимается при этом во внимание). Однако эти три части в разных местах количественно весьма непостоянны, и даже в пределах одного и того же участка они могут, в зависимости от времени года, колебаться в широких пределах.

Ровный обложной дождь дает, как правило, больше подземной воды, чем такие же или даже большие дожди, выпадающие в виде ливней или проливных дождей. Точно так же и медленное таяние снега и льда дает больше подземной воды, нежели такое же количество воды, выпадающее в виде дождя, особенно в тех случаях, когда почва перед началом таяния снега не была мерзлой, так как под снежным покровом почва сохраняет большую часть своей летней водопроницаемости.

Если рассматривать огромное и не поддающееся точному исчислению число тех чрезвычайно разнообразных причин, от которых зависит разделение выпавших осадков на отдельные группы, то можно убедиться в том, что нет никакой возможности дать какие-либо, хотя бы приблизительно, правильные цифры, выражающие количественное соотношение между величиной выпавших осадков, стоком, испарением, расходом воды растениями и водоотдачей в грунт. В этом кроется первый источник ошибок метода подсчета. Второй источник ошибок следует искать в том, что поверхностный район выпадения осадков и подземный район питания источника не всегда одинаковы и что поверхностный и подземный водоразделы лишь в редких случаях совпадают друг с другом.

Если при помощи нивелира и можно сделать съемку обычно резко выраженных поверхностных водоразделов и нанести их на карту, то точное определение местоположения подземных водоразделов обычно требует много времени и преодоления больших трудностей.

Если геологическое строение водоносной толщи несложное, то путем геологических съемок можно с известной приближенностью определить направление подземных водоразделов. Однако там, где силы, действовавшие при горообразовании, подняли, опустили или разрушили отдельные массивы горных пород, бывает очень трудно установить направление и границы водных путей, относящиеся

к какому-либо источнику. Существуют подземные водоразделы, заходящие далеко в область поверхностных водоразделов. Так, например, в верхнем течении Атерно имеется источник, район питания которого далеко заходит в бассейн реки Тибра (21). Бывают также случаи, когда подземный район питания во много раз превосходит поверхностный.

Яркую картину подобной неравномерности являют собой гидрогеологические условия источника Хизачия (рис. 19). Выход источника

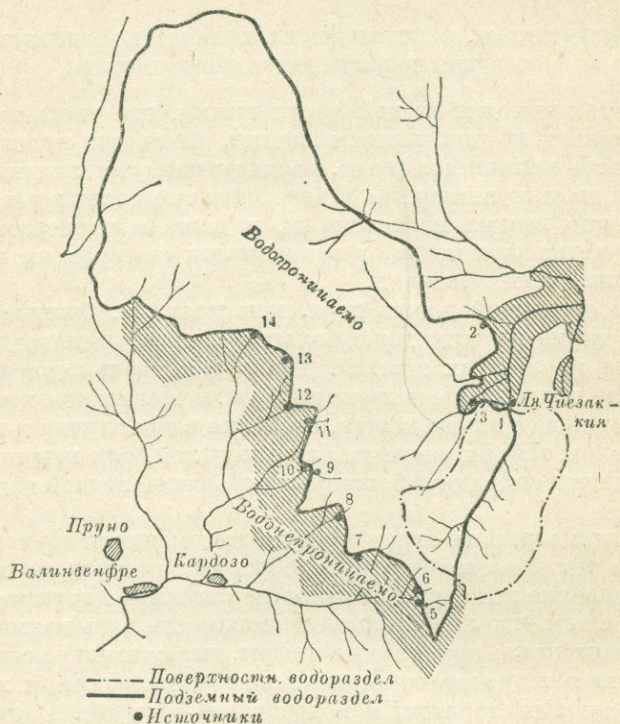


Рис. 19. Источник Хизачия, Апулийские Альпы; дебит 450 л/сек. (по Канавари).

приурочен к поверхностям соприкосновения известняка и доломита с водонепроницаемыми сланцами триаса. Из района питания этого источника питаются еще некоторые подобные источники.

Д. Непригодность подсчета, основанного на учете количества выпадающих осадков и стока

Описанный выше метод исчисления во многих случаях приводит к негодным результатам, даже если вместо района выпадения осадков в расчет вводится подземный район питания с учетом по мере возможности и условий залегания горных пород. Такой расчет дает

столь грубые ошибки, что нет никакой возможности делать какие бы то ни было выводы.

К сожалению, на практике иногда еще прибегают к помощи совершенно бессодержательного расчета, причем делят количество выпадающих осадков на три равные части: поверхностный сток, просачивание в грунт и испарение. Этот метод должен быть признан негодным и необоснованным, и против его применения, как ведущего при всех условиях к грубым ошибкам, необходимо протестовать со всей силой.

Опасность, кроющаяся в этом методе расчета, заключается в переоценке или в недооценке фактически вытекающей из источников воды. Результатом первого случая будет недостаточный дебит каптированного источника, а во втором — может случиться, что обильный источник останется неиспользованным.

Е. Особые способы вычисления по Зброжке (Sbroshek) и Майе (Maillet)

З б р о ж к и М а й е предложили два особых способа расчета. Согласно сообщениям Г р а в е л и у с а (Gravelius) (22), З б р о ж к ¹ приводит следующий расчет для определения соотношения между количеством выпадающих осадков и дебитом источника.

Если по топографической карте определить бассейн какой-либо реки, питающейся поверхностным стоком, то количество воды, притекающее к данному сечению реки, расположенному на границе выхода реки из очерченной площади, равно количеству выпадающих осадков, уменьшенному на потери, происходящие от инфильтрации в грунт и испарения. Если F — площадь очерченного водосбора, h_n — количество выпадающих осадков в период времени n дней, то соответствующее количество воды:

$$Q'_n = \alpha_0 \cdot h_n \cdot F,$$

причем

$$\alpha_0 < 1.$$

Подземным районом питания источника является тот район, из которого инфильтрованные количества выпавших осадков подземными путями направляются к руслу реки. Подземный район питания может быть равен топографическому, однако он может быть и меньше, и больше поверхностного. Источники, в которых подземный сборный район направляет свои воды к реке, подразделяются на две группы:

1) временные, к которым относятся источники, питаемые только из верхних слоев почвы и, следовательно, вскоре после прекращения выпадения осадков прекращающие свое существование;

¹ Труды экспедиции для исследования источников главнейших рек Европейской России. Бассейн Дона. Исследования гидротехнического отдела 1895 г. СПб, 1897.

2) постоянные, т. е. такие источники, которые питаются из постоянных и обильных, более глубоких слоев толщи горных пород и, следовательно, не иссякают и обнаруживают лишь колебания дебита, зависящие от количества выпадающих осадков. Доставляемые временными источниками количества воды зависят от количества выпадающих осадков за вычетом потерь, вызванных поверхностным стоком, испарением, задерживанием в почве и инфильтрацией в более глубокие слои земной коры. Если F_1 — площадь, питающая источник, то доставленное временными источниками в течение n дней количество воды:

$$Q''_n = \alpha_1 \cdot h_n \cdot F_1,$$

где

$$\alpha_1 < 1.$$

Дебит постоянных источников зависит, между прочим, от уровня зеркала грунтовых вод над выходом источника, от водопроницаемости почвы, горизонтального распространения водоносной толщи и может быть принят пропорциональным годовому количеству выпадающих осадков. Он составляет для промежутка времени в n дней:

$$Q'''_n = \frac{n}{360} (\alpha_2 \cdot HF_2 + \alpha_3 \cdot H_1 F_3),$$

где F_2 — часть площади бассейна, из которого просачивается вода в более глубокие водоносные пласты; F_3 — площадь вне пределов данного топографического бассейна, где инфильтрация воды происходит таким образом, что она подводится постоянным источником контура F ; H — высота годового слоя осадков в данном бассейне, а H_1 — высота годового количества осадков в районе F_3 .

Согласно этому, общее количество стока рассматриваемого района в период времени в n дней выразится уравнением:

$$Q_n = Q'_n + Q''_n + Q'''_n (\alpha_0 F + \alpha_1 F_1) h_n + \frac{n}{360} (\alpha_2 HF_2 + \alpha_3 H_1 F_3).$$

Четыре коэффициента α являются величинами переменными; α_0 и α_1 зависят от климатических, геологических и топографических условий водосбора, а α_2 и α_3 зависят еще и от высоты напора, под которым вода вытекает из источников.

Пренебрегая небольшими колебаниями значений α_2 и α_3 в течение года, зависящими от колебаний зеркала грунтовых вод, можно вместо α_2 и α_3 принять их среднюю годовую величину и тогда:

$$\begin{aligned} \alpha_0 F - \alpha_1 F_1 &= \alpha F, \\ \alpha_2 F_2 H + \alpha_3 F_3 H_1 &= \beta FH. \end{aligned}$$

При этом во всех случаях $\alpha < 1$. Тогда для количества воды Q_n получаем выражение:

$$Q_n = \alpha F h_n + \frac{n}{360} \beta FH = F \left(\alpha h_n + \beta \cdot \frac{n \cdot H}{360} \right).$$

Если площади выражены в квадратных километрах, количества выпадающих осадков в миллиметрах и количества воды в кубометрах, то получим числовое выражение:

$$Q_n = 1\,000 \cdot F \left(\alpha h_n - \beta \cdot \frac{n \cdot H}{360} \right).$$

Для определения β следует выбрать низкое длительное положение в период засушливого времени года, при котором количество вытекающей воды равно q_0 . Тогда для n дней получим:

$$Q_n^0 = 86\,400 \cdot n \cdot q_0,$$

и так как

$$h_n = 0,$$

то

$$86\,400 n q_0 = 1\,000 F \cdot \beta \cdot \frac{n \cdot H}{360}.$$

Для любого периода в m дней получим:

$$Q_m = F \alpha h_m - 1\,000 F \beta \cdot \frac{m \cdot H}{360} = 1\,000 \cdot F \alpha h_m + 86\,400 m q_0,$$

откуда

$$\alpha = \frac{Q_m - 86\,400 \cdot m \cdot q_0}{1\,000 \cdot F h_m}.$$

β можно принять в качестве коэффициента дебита источника при данном количестве выпадающих осадков, βH представляет собой соответствующую величину стока источников.

З б р о ж е к определил для района верхнего Дона, на основании вышевыведенных формул, что β колеблется в пределах от 0,016 до 1,398.

По М а й е (23), для многих источников действительна формула дебита (ср. П р и н ц, Гидрогеология, часть 1-я, стр. 214):

$$Q + C = (Q_0 + C) e^{-\alpha(t-t_0)}.$$

Если закон дебита какого-либо источника известен, то можно вычислить дебит источника в те периоды, когда режим не зависит от количества выпадающих осадков. М а й е вывел следующие формулы для источника Ain-Leboudja (Алжир), дебит которого колеблется от 4 000 до 30 м³ в сутки:

$$Q + C = (Q_0 + C) e^{-0,264(t-t_0)}.$$

Для периода независимого режима источника (апрель — сентябрь):

$$Q = Q_0 \cdot e^{-0,264(t-t_0)},$$

где Q_0 соответствует количеству к началу времени t_0 , а $(t-t_0)$ выражено в месяцах или в дробных частях месяца; для источника Tondja

(Bougie) в период с мая до октября при колебании дебита от 302 до 5 л/сек.:

$$Q = 5 = (Q_0 - 5) \cdot e^{-0,639(t-t_0)},$$

где Q выражено в секундомерах; для Воклюзского источника:

$$\frac{1}{\sqrt{Q}} - \frac{1}{Q_0} = 0,561(t-t_0),$$

в какое выражение нужно подставить количество м³/сек. и время в месяцах.

Ж. Определение расхода воды источников

Наиболее надежным средством для определения постоянного дебита какого-либо источника является измерение при помощи специальных приспособлений. В качестве таковых наиболее пригодны: 1) мерные сосуды, 2) водосливы и 3) вертушки Вольтмана.

Если дебит источника не превышает 2—2,5 л/сек., то с успехом применяются мерные сосуды.

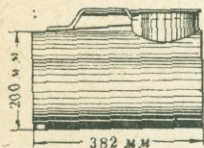


Рис. 20. Мерный сосуд (по Губеру).

Губер (Huber) (24) рекомендует применять мерный сосуд емкостью точно в 15 л. Такой сосуд состоит из оцинкованного железного цилиндра с ручкой и желобом для вывода образующихся в воде воздушных пузырьков (рис. 20). При каждом измерении, там, где это возможно, место выхода источника раскапывается

до основания, затем в раскопанном месте устраивается валик из суглинка, в который вставляют сточную трубу из оцинкованного железа (рис. 21). Для измерения количества воды от 2 до 300 л/сек. наиболее пригоден водослив Понселе, которому по сравнению со всеми другими водосливами следует отдавать предпочтение. Плотины водосливов (рис. 22) также должны плотно прилегать к водонепроницаемой материнской породе, так как в противном случае, вследствие утечек воды, результаты измерения страдают большими погрешностями.

Для измерения количеств воды, превышающих 300 л/сек., наиболее пригодны вертушки Вольтмана.

Дебиты источников часто колеблются в широких пределах. Если атмосферные осадки отсутствуют, то дебит источника понижается.

Источники, иссякающие во время летней засухи, не имеют ценности и не должны подвергаться наблюдениям даже в том случае, если они обладали раньше достаточным дебитом.

Для того, чтобы получить надежную картину колебаний дебита какого-либо источника, измерения должны производиться на протяжении ряда лет. О том, насколько велико должно быть при известных обстоятельствах число измерений для

получения надежных результатов, можно судить по тому, что, например, Б. Г у б е р (24) при наличии 61 гидрометрического пункта произвел в окрестностях Рейхенберга в Богемии в течение 6 лет 72 200 измерений источников, в окрестностях Тешена при 112 пунктах в течение 3 лет 4900 измерений, в окрестностях Герменштадта при 451 пункте в течение 3 лет — 7600 измерений и в окрестностях Карлсбада при 507 пунктах в течение 4 лет 31 300 измерений источников.

Все результаты измерений должны были постоянно наноситься на миллиметровую бумагу, так как только этим путем можно обнаружить ошибки, допущенные при измерении. Если сравнить количества воды источников с измененными количествами выпавших осадков, то при сравнении кривых диаграммы видно,



Рис. 21. Измерение дебита источника при помощи сточной трубы (фотография Губера).

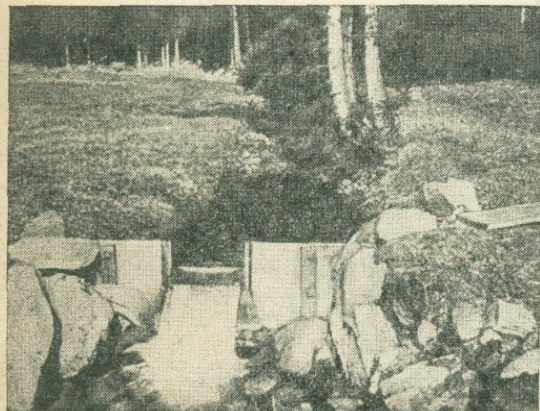


Рис. 22. Измерение дебита источника при помощи водослива (фотография Губера).

имеем ли мы дело с мелкими или глубинными источниками. Мелкие источники, берущие свое начало в поверхностном слое земли, находятся в прямой зависимости от выпадающих осадков (рис. 23) и обладают беспокойным режимом, в то время как количество стока глубинных источников сравнительно постоянно.

Если измерения, производимые над источниками, используются для исследовательских целей, например, для установления закона дебита или возможности повышения дебита источника путем понижения зеркала грун-

товых вод, то нужно делать различие между источниками, возникающими как избыток широкого потока грунтовых вод, и источниками, истоки которых могут быть прослежены в виде замкнутых водотоков в трещиноватой толще горных пород.

Режим источников, образовавшихся вследствие избытка грунтовых

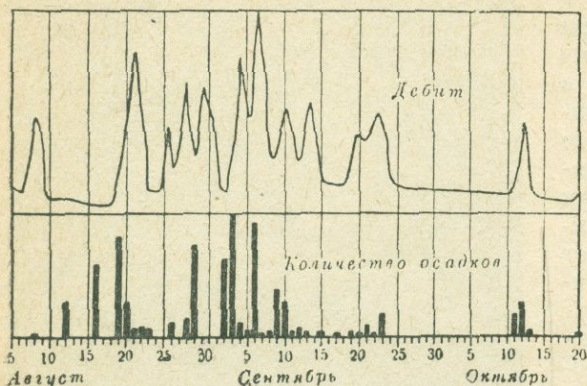


Рис. 23. Режим источника, вытекающего из поверхностных наносов (по Губеру).

и одинаковом для всех случаев законе дебита, и нужно для каждого подземного водотока определять присущий ему собственный режим, или, вернее, закон накопления и дебита. Подобные определения обычно связаны с необходимостью прибегать к помощи специальных мероприятий, проводимых как в районе самого источника, так и его притоков. Одно только повышение и понижение уровня воды источника в этом случае не всегда дает результаты. При повышении зеркала необходимо обеспечить себя от того, чтобы вода, вследствие подземного подпора, не попала в обычно сухие побочные подземные пути или в районы питания других источников и не терялась бы таким путем вследствие образования новых источников.

Из рисунка 24 видно, как путем подпора источника Q можно искусственно подвести воду к источнику Q_1 , лежащему на противоположном склоне возвышенности. Подведенное к источнику количество воды ускользает от измерения, что ведет к ошибочным выводам.

Депрессия зеркала источника может притянуть в него воду из соседних районов питания; это имеет особенно серьезное значение

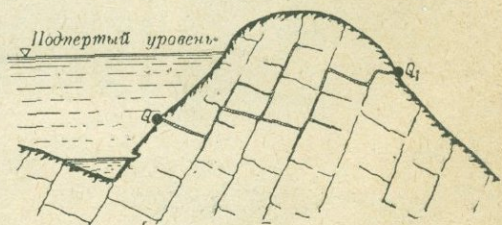


Рис. 24. Образование новых источников вследствие повышения уровня воды и образования подпора.

в тех случаях, когда соседние районы отличаются по геологическим и минералогическим свойствам слагающих их горных пород, так как это может повести к изменению качества воды. Однако в большинстве случаев при исследовании источника нельзя ограничиваться изменением зеркала воды, и приходится прибегать к прорытию водоотводных канав, устройству каменных дренажей и закладке шахт и штолен, которые могут быть использованы впоследствии, при сооружении окончательного каптажа.

Под влиянием подобных земляных работ приток воды, как правило, увеличивается и достигает своей кульминационной точки при доведении шурфования до подстилающего водонепроницаемого пласта.

Однако в этом случае в трещиноватых горных породах под влиянием усиленного притока воды могут образоваться целые системы новых каналов, которые увеличивают район питания опытных сооружений, что может повести к постепенному иссяканию воды, накопленной в продолжение длительного времени в подземных пустотах.

Опытные измерения источников, изливающихся на пологих склонах, целесообразно производить при помощи опытных дренажей, канав, штолен и шурфов. Наличие перепада воды у места истечения дает возможность просто и дешево эксплуатировать источник и допускает регулярный и свободный от колебаний удобный отбор воды, что при выявлении количества или, вернее, закона дебита является немаловажным преимуществом. Правда, стоимость возведения опытных сооружений в некоторых случаях довольно высока, однако этот недостаток компенсируется тем, что на последующую опытную эксплуатацию естественного стока источника почти не приходится затрачивать денежных средств. Если склон, по которому стекает источник, крутой, и при устройстве дренажей и канав возникают большие сдвиги почвы, то целесообразнее всего заложить штольню или пройти шурфом.

При удобном стоке водослив в опытных шахтах может осуществляться при помощи автоматически действующего сифона, что тоже почти не требует денежных затрат.

Опытные шахты рекомендуется закладывать в тех случаях, когда по понижению и повышению зеркала воды хотят получить приблизительные сведения о размере и высотном положении более значительных пустот в водоносной толще горных пород. Если осушить опытную шахту и заставить затем уровень воды снова подниматься в ней, то по интервалам времени, в течение которых (например, в 1 минуту) уровень поднимается, и по вычисленному, по поперечному сечению шахты, притоку воды можно построить кривые притока или, вернее, наполнения. Эти кривые будут различны в зависимости от рода трещиноватости горной породы.

На рисунке 25 изображены, по Гейму (Heim) (25), кривые наполнения источников *a*, *b*, *c* и *d*. Источники с зигзагообразными кривыми наполнения (*aa* на рис. 25) характеризуются сильными колебаниями дебита. По направлению кривых можно судить о значи-

тельных расширениях его канала. Неравномерности кривой соответствуют неравномерности пустот в недрах земли, являющихся резервуаром воды.

По кривой *bb* можно судить о равномерном распространении подземных каналов, в то время как равномерно изогнутая кривая *cc* и резко изогнутая в точке *t* кривая *dd* указывают на наличие неизвестных боковых стоков, следовательно, на подземные потери воды.

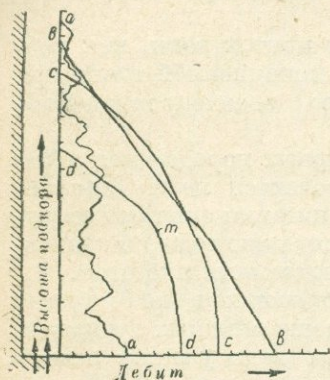


Рис. 25. Кривые наполнения, заснятые в каптажных колодцах (по А. Гейму).

Формы количественных кривых источников во время их опытной эксплуатации также различны в зависимости от водопроницаемости или трещиноватости водоносной горной породы, питающей тот или иной источник. Если трещины в горной породе узки, или если горная порода состоит из конгломератов, песчаников и т. п., т. е. из слоев с большой задерживающей способностью, то наличные запасы воды будут медленнее удаляться, чем в тех случаях, когда горная порода имеет крупные трещины, как это бывает, например, в известняках. По количественным кривым, как это видно на рисунке 26, можно определить как запас воды, так и текущий дебит источника.

Искусственное вмешательство в естественный водный режим водоносной горной породы путем устройства какого бы то ни было дренажного сооружения должно производиться чрезвычайно осторожно и рассчитываться на длительный срок, так как часто проходят

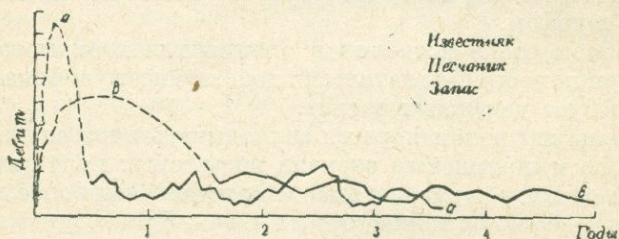


Рис. 26. Кривые дебита источников, выходящих из известняков и песчаников (по Гейму).

годы, прежде чем будет достигнуто фактическое состояние равновесия. Так, например, Гейм сообщает, что после окончания Деттенбергского туннеля прошло полных 30 лет, прежде чем в режиме источников, расположенных в его окрестностях, установилось устойчивое равновесие.

13. КОЛЕБАНИЯ ДЕБИТА ИСТОЧНИКОВ

Опытным путем установлено, что колебания дебита источников зависят от геологических свойств района питания, свойств его поверхности, от атмосферных осадков, испарения и мороза, от покрывающей его растительности и, наконец, от размера источников и их высотного положения. Так как колебания дебита источников не могут поэтому быть определены только на основании геологического строения толщ водоносной породы, то, следовательно, нельзя делать выводов о размере и постоянстве источника только по геологическим признакам какого-либо района выпадения осадков. Фактические измерения показали, что даже в пределах одного и того же геологического образования могут встречаться большие колебания в размере и в продолжительности существования источников.

Однако, в общем, можно все-таки утверждать, что источники, берущие свое начало в обширных песчаных и гравийных полях, а также в песчаниках и, следовательно, питаемые грунтовыми водами, более постоянны, нежели источники, истекающие из трещиноватых горных пород. Кроме того, твердо установлено, что дебит источников, обладающих

большим дебитом, подвержен меньшим колебаниям, чем менее мощные источники. Это положение объясняется тем, что песок, гравий и песчаник, вследствие свойственных им узких водных каналов, обладают большей способностью задерживать воду, чем трещиноватые горные породы, по трещинам и пустотам которых подземная вода передвигается сравнительно быстрее. Большие дебиты источников соответствуют, как правило, просторно обширным районам питания. Время, необходимое отдельным частицам воды для прохождения ими сравнительно длинных подземных путей, относительно велико, и поэтому здесь лучше выравниваются колебания в выпадении питающих источников атмосферных осадков, чем у источников с небольшими районами питания. Поэтому районы источников, лежащие выше, будут давать больше воды, чем расположенные ниже, так как с возрастанием высоты местности количество атмосферных осадков увеличивается.

Как указано выше, источники, вытекающие из песка, гравия и песчаника, обладают значительно большим постоянством, чем источ-

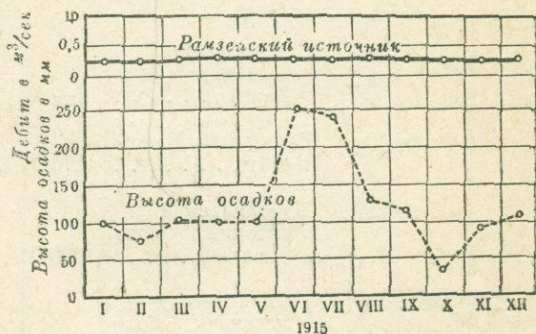


Рис. 27. Дебит Рамзейского источника близ Берна (по Гугу).

Колебания дебита источников, питаемых из отложений песка, гравия и песчаника

№ по пор.	Геологическое образование	Местность	Максимальный дебит (л/сек.)	Средний дебит (л/сек.)	Минимальный дебит (л/сек.)	Соотношение	
						минимум—максимум	минимум—максимум
1	Горный щебень ледникового времени	Шленский источник близ Берна.	—	7,6	5,9	—	1 : 1,29
2	То же	Шерлитальский источник близ Берна	—	71,0	51,0	—	1 : 1,40
3	Белая Юра	Ранна близ Нюрнберга	275,0	250,0	233,0	1 : 1,20	1 : 1,10
4	Дилuvian	Мюльтальский источник близ Мюнхена	1300,0	—	800,0	1 : 1,60	—
5	То же	Готцингерский источник близ Мюнхена	1200,0	—	700,0	1 : 1,70	—
6	Пестрый песчаник	Лар	14,5	—	10,5	1 : 1,48	—
7	Морены	Кауфбейерский источник в Баварии	46,8	—	22,4	1 : 2,10	—
8	То же	Вейары в Баварии	2,9	—	1,0	1 : 2,90	—
9	Пестрый песчаник	Марктейдерфельд в Баварии	30,4	—	10,2	1 : 3,00	—
10	Моласс	Штедбах близ Берна	342,0	—	76,0	1 : 4,26	—
11	Пестрый песчаник	Баден-Баден	72,0	—	16,0	1 : 4,50	—
12	Пестрый песчаник	Вольфсбруннен близ Гейдельберга	51,0	—	6,0	1 : 8,50	—

ники, берущие свое начало в трещиноватых горных породах. Две приводимые ниже сводки ясно подтверждают это.

Рисунок 27 иллюстрирует исключительное постоянство режима дебита, вытекающего из гравия Рамзейского источника близ Берна в сопоставлении с количеством выпадающих дождей. Рассматривая соответствующие линии, нетрудно убедиться в том, что дожди не оказывают на режим источника никакого влияния.

Таблица 4

Геологическое образование	Местность	Максимальный дебит (л/сек.)	Средний дебит (л/сек.)	Минимальный дебит (л/сек.)	Соотношение	
					минимум—максимум	минимум—максимум
Ивестняк, доломит Белая Юра	Кайзербруннен, Вена	2 046,0	—	233,0	1 : 8,80	—
	Аахенский источник в Бадене	25 000,0	6 000,0	2 500,0	1 : 10,00	1 : 4,00
Девон	Пфафенборн близ Висбадена	103,0	51,0	8,0	1 : 12,80	1 : 6,40
	Зоммергаузен в Баварии	400,0	—	37,0	1 : 23,50	—
Уголь с большим содержанием глины Мел	Ваннельский источник, Париж	1 129,0	200—300	37,0	1 : 30,62	1 : 5,4 : 8,1
Белая Юра	Блаутгофский источник	1 400,0	1 500—1 800	350,0	1 : 40,00	1 : 4,3 = 5,1

В противоположность Рамзейскому источнику, Румский источник в Гарце, берущий свое начало в трещинах горных пород, обнаруживает чрезвычайные колебания в дебите, который, как видно из рисунка 28, находится в тесной зависимости от количества выпадающих осадков.

Если сравнить колебания дебита двух видов источников, с одной стороны вытекающих из фильтрующего материала, а с другой стороны из трещиноватых горных пород, то видно, что в первых отношении Q минимум к Q максимум колеблется примерно от 1 : 1,2 до 1 : 8,5, в то время как в последних оно лежит между 1 : 8,8 и 1 : 40,0. Поэтому можно с известным правом утверждать, что источники, дебит которых колеблется от 1 : 1 до 1 : 8,—хорошие, в то время как колебания дебита, превышающие отношение 1 : 8, указывают на сомнительность источников.

Приведенные в таблицах 3 и 4 соотношения между максимальным и минимальным дебитом источников в зависимости от геологического строения не являются, однако, обязательными, так как, согласно

опыту, в одном и том же геологическом образовании встречаются источники с большими колебаниями дебита и источники с равномерным расходом воды. Это явление бывает часто следствием различной водопроницаемости или, вернее, трещиноватости, а следовательно, меняющейся способности накопления или задерживающей способности водоносной толщи горных пород. Помимо того, известное значение имеет и поперечное сечение выхода источника, в особенности тогда, когда выход узок и имеет форму трубы. В последнем случае источник стекает почти равномерно.

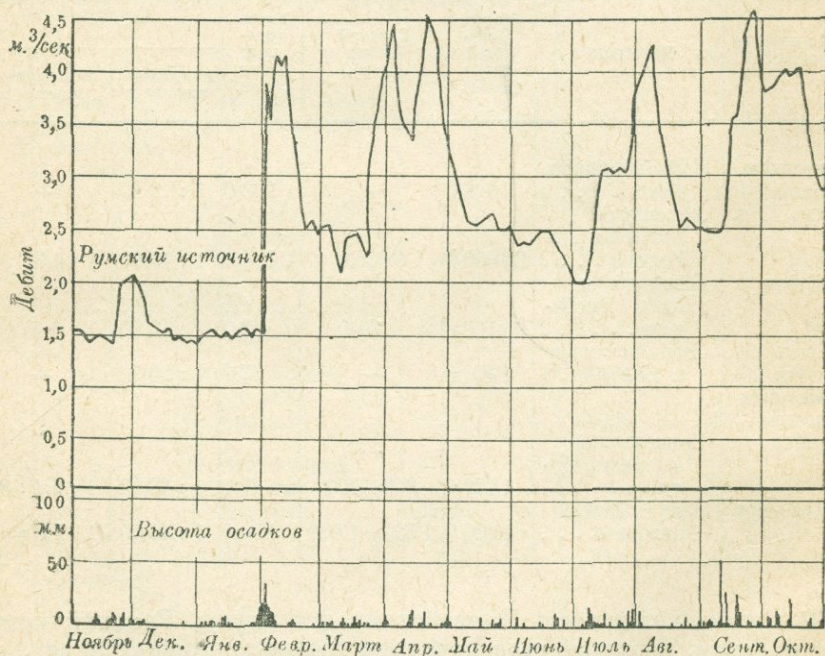


Рис. 28. Дебит Румского источника в Гарце (по Турнау).

Так, например, старые городские источники Вюрценбурга (26), вытекающие из ракушечника, обнаруживают колебания дебита от 70 до 170 л/сек. ($Q_{\min} : Q_{\max} = 1 : 2,43$), в то время как Целлерские источники, вытекающие из тех же самых отложений, характеризуются почти постоянным дебитом. Средний годовой дебит Целлерских источников составлял:

1900 г. — 102,00 л/сек.	1907 г. — 117,80 л/сек.
1901 » — 106,80 »	1908 » — 108,80 »
1902 » — 119,10 »	1909 » — 102,50 »
1903 » — 98,70 »	1910 » — 116,70 »
1904 » — 106,80 »	1911 » — 114,10 »
1905 » — 103,20 »	1912 » — 104,80 »
1906 » — 115,00 »	1913 » — 105,01 »

14. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОГО НАИМЕНЬШЕГО ДЕБИТА ИСТОЧНИКА

Если район не должен испытывать недостатка в воде, подаваемой источником, то наименьший дебит источника должен покрывать наивысшую летнюю потребность в воде. Поэтому определение наименьшего дебита источника, совпадающего, как правило, с летней засухой, является одной из важнейших задач гидрогеолога.

Если время гидрогеологических исследований совпадает с сильной летней засухой, то гидрогеолог может без труда и правильно определить истинный размер наименьшего дебита путем непосредственных измерений, так как в этот период иссякают второстепенные источники и остаются лишь годные к эксплуатации. Если, однако, не представляется возможным растянуть гидрогеологические исследования настолько, чтобы они по времени охватили какой-либо год с сильной летней засухой, то при известных обстоятельствах можно получить годные показатели путем сопоставления их с известными наименьшими дебитами соседних источников, принадлежащих к тому же геологическому образованию. Хотя количественное влияние дождей на источники соседних районов и иное, нежели на источники исследуемой местности, тем не менее в засушливые периоды обычно имеет место аналогичное изменение дебитов. Это объясняется тем, что питание источников в это время происходит только из пустот за счет накопленного в них запаса воды.

В качестве примера режима можно привести замеренные Г о л л е р о м (Holler) (27) дебиты источника, вытекающего из сланцевого угля вблизи Фуксштадта в Нижней Франконии, и источника в Зоммерсгаузене. Как видно из таблицы 5, дебит последнего источника достиг в декабре 1909 г. своего минимума. Результаты соответствующих измерений дебита Фуксштадтского источника за этот месяц отсутствуют.

Таблица 5

Дата измерения	Дебит (л/мин.)		Примечание
	Зоммерсгаузен	Фукштадт	
15 марта 1907	210	210	По диаграмме (рис. 29) можно предполагать сокращение дебита Фуксштадтского источника на 50—60 л/мин.
17 апреля 1909	39	91	
декабрь 1909	17	отсутствует	
5 июля 1911	155	202	
29 апреля 1913	65	110	

Если нанести результаты наблюдений на систему координат с логарифмическим делением (рис. 29), то для Фуксштадтского источника получается наименьший дебит примерно в 50—60 л/мин.

Специальный способ для определения наименьших дебитов путем расчетов дает Г у б е р (28). По мнению Г у б е р а, для каж-

дого источника в питающих его горных породах имеется аккумулярующий воду бассейн в виде сильно разветвленной сети путей неправильной формы. Так как емкость этой сети в пределах практически применяемых в расчет промежутков времени неизменна, то ее опораживание должно подчиняться определенному закону, который может быть выражен математически. В таком случае можно определить дебит любого источника в определенный момент, при условии, что количество воды, накопленное в питающем его бассейне, не изменяется под действием новых притоков (осадков).

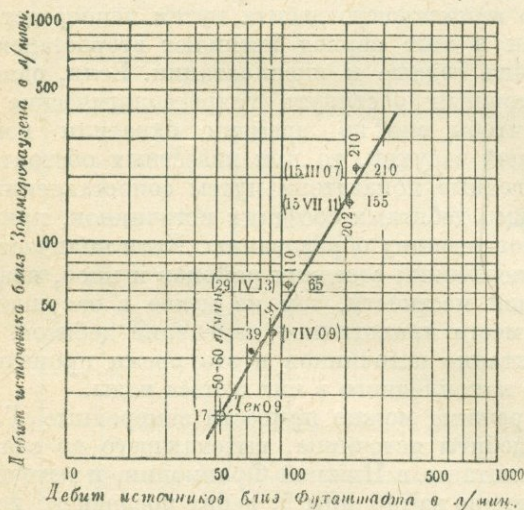


Рис. 29. Графический способ определения наименьшего дебита источника.

Так как различные источники имеют разные питающие их резервуары (по величине и форме), то для источников, питаемых подземными водотоками, нельзя вывести однородного закона опораживания; каждый источник подчиняется своему собственному закону дебита или опораживания.

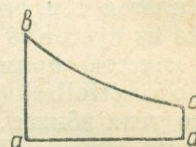


Рис. 30. Кривая дебита источников в период отсутствия дождей.

Губер наблюдал и определил математическим путем кривые дебита целого ряда источников. Он приходит к такому выводу, что большинство кривых дебитов совпадает с логарифмической кривой n -ного порядка (рис. 30). Площадь $abcd$ представляет при этом количество воды, которое было накоплено в пустотах.

Уравнение кривой дебита:

$$q = q_0 a^{-t} = q_0 e^{-kt},$$

или

$$\log q = \log q_0 - t \log a,$$

$$\log q = \log q_0 - nt,$$

где q обозначает дебит в любое время t , q_0 — дебит, наблюдавшийся в момент t_0 , n — постоянная величина, установленная наблюдением, a — основание бригговских логарифмов, e — основание натуральных логарифмов.

По формуле

$$\log q = \log q_0 - nt$$

можно представить закон питания источника в виде прямой линии, если t принять за абсциссу, а $\log q$ — в качестве ординаты. Таким образом, для получения закона питания достаточно двух наблюдений над дебитом, так как прямая определяется двумя полученными таким путем точками. При этом предполагается, что выпадающие осадки не нарушают режима стока. По полученной прямой можно в любое время получить логарифмы дебита, а следовательно, определить размер самого дебита (рис. 31).

Там, где прямая пересекает ось абсцисс, следовательно, в точке $F_1 \log q = 0$ и, следовательно, $q = 1$. Этим путем мы получаем момент, в который дебит источника понижается до значения 1, принятого в качестве единицы измерения (например, секундо-литр). При помощи этого способа Рёрер (Röhler) (20), на основании наблюдений, произведенных им в 1907 г., установил (рис. 32) закон дебита так называемого Яковбского источника близ Пфорцгейма при

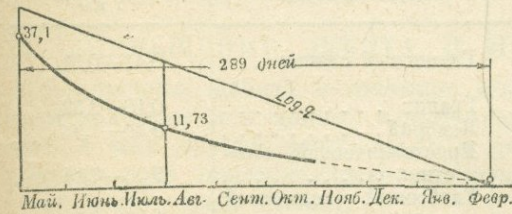


Рис. 32. Дебит Яковбского источника (по Рореру).

ваемого Яковбского источника близ Пфорцгейма при

$$\log q = 1,56937 - 0,005436 \cdot t.$$

Расчет показывает, что дебит понизился бы до значения 1 сек/л (при отсутствии дождей) по истечении 289 дней.

От времени до времени дожди выпадают, однако, и в период летней засухи. Если в точке b (рис. 33) выпадает дождь, то количество стока возрастает по линии bc и понижается при прекращении дождей по кривой, закон которой был уже выражен кривой aba_1 . При повторном дожде возникает целый пучок кривых, отдельные ветви которого, вследствие дождя, перемещаются по оси абсцисс. Из этого следует, что кривая стока, остающаяся всегда одинаковой, просто горизонтально перемещается под влиянием каждого дождя.

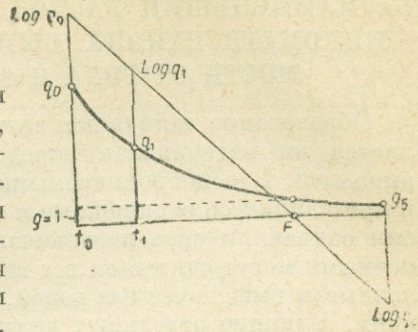


Рис. 31.

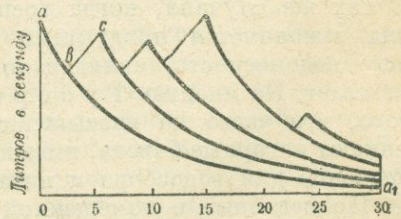


Рис. 33. Кривые дебита источника при повторяющемся выпадении дождя.

15. НАИМЕНЬШИЙ РАСХОД ИСТОЧНИКА НА КВАДРАТНЫЙ КИЛОМЕТР РАЙОНА ВЫПАДЕНИЯ ОСАДКОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РОДА И СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД

Образование источника зависит в первую очередь от того, является ли материнская порода водопроницаемой или водонепроницаемой. Водонепроницаемыми являются глины, мергель, сланцы и кристаллические сплошные и сланцевые горные породы, поскольку они сохранили свое первоначальное плотное сложение. Водопроницаемыми могут считаться все напластования горных пород, раздробленные и выщелоченные водой, пронизанные трещинами и расселинами. Влияние отдельных видов горных пород на дебит источника ясно вытекает из нижеследующих наблюдений Губера (29):

Таблица 6

Наименование дебита некоторых родников

№ по пор.	Местность	Лесистость	Геологическое строение породы	Сток источника (в секундолитрах на 1 км ²)
1	Рейхенберг в Богемии	Хорошая	Глинистый сланец . . .	0,41—0,51
2	То же	»	Гранит	0,10—3,52
3	То же	»	Кембрий	0,34—1,92
4	То же	»	Кристаллический известняк	7,03—7,15
5	Карлсбад (Чехословакия)	»	Гнейсовый слюдяной сланец	1,05—2,59
6	Германштадт	»	Гнейс	6,54—13,79
7	То же	Скудная	Гнейс	3,11

То обстоятельство, что дебит источника, берущего свое начало в граните, может понизиться до нуля, объясняется тем, что часто трещиноватость гранита осталась небольшой, несмотря на все сдвиги и сжатия, которым он подвергался со времени его образования. В тех же случаях, когда трещиноватость действительно имеется, она заполняется продуктами смыва и выветривания, вследствие чего водоносность, являющаяся спутником трещиноватости, снова исчезает. По мнению Губера (29), это явление служит причиной того, что часто на возвышенностях, сложенных из гранита, возникают нагорные болота, имеющие в этом случае, конечно, огромное значение для водосбора и питания нагорных источников.

Приведенные в помещенной выше сводке сравнительные цифры действительные, конечно, только для источников, питаемых одним общим районом выпадения осадков. Однако существуют случаи, когда смежные районы источников связаны между собой неизвестными подземными водными путями. Такие связи могут быть обнаружены путем измерений дебита источников, как это доказал Губер (29) на следующих примерах (табл. 7):

Таблица 7

№ по пор.	Район источника	Геологическое образование	Район выпадения осадков (км ²)	Наименьший сток в л/сек. с 1 км ²
1	Источник 28 до 31 (Копитнабах близ Тешена)	Годуловый песчаник	0,003	0,495
2	Источник 29 (Рдекабах близ Тешена)	То же	0,010	3,000
3	Рудничная вода близ Рейхенберга в Чехословакии	Кристаллический известняк	0,050	5,900

Совершенно невозможно, чтобы район выпадения осадков источника № 2, площадь которого составляет всего 0,010 км², давал наименьший сток в 3,0 л/сек.

На основании приведенных цифр нужно заключить, что вода, изливаемая им, может происходить не из собственного района выпадения осадков, но заимствуется из соседнего района.

16. УМЕНЬШЕНИЕ ДЕБИТА И ИССЯКАНИЕ ИСТОЧНИКОВ

Сокращение дебита источников может быть вызвано образованием подпоров или полной закупоркой родниковых путей песком, глиной или другим взвешенным в воде материалом, провалами, нарушениями подстилающего водонепроницаемого пласта, вследствие чего вода может уходить вглубь, кроме того, истреблением лесов, нецелесообразным способом каптирования и др.

Дебит главных источников может в известных случаях ослабляться и под влиянием того, что какая-либо водопроницаемая площадь (рис. 34) глубоко изрезана небольшими эрозийными оврагами, проникающими глубже зеркала воды. Тогда часть воды источников Q_1 , Q_2 , Q_3 и Q_4 , питающих главный источник, уже не попадает в него, а при дальнейшем распространении эрозии это обстоятельство может привести даже к полному иссяканию источника Q . Некоторые источники медленно разрушают свой район питания, вплоть до полного иссякания их дебита. Этот процесс протекает в следующей последовательности: выступающая на поверхность земли вода размягчает грунт, подмывает и затем уносит его. Последствием этих явлений бывает непрерывное отступление места выхода источника. Район питания источника все уменьшается, дебит соответственно сокращается, и, наконец, отмирает весь район данного источника.

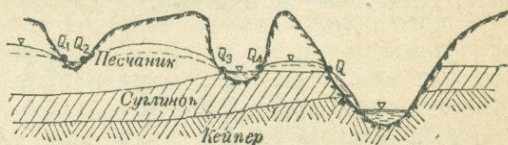


Рис. 34. Сокращение дебита источника как следствие размывания (расчленения оврагами) плоскогогорья.

17. ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ ВИДОВ ИСТОЧНИКОВ

А. Различие по роду водоносных пластов

Нами было указано в главе 5—Б, что как с точки зрения гидрогеологии, так и с гигиенической точки зрения рекомендуется подразделять источники в первую очередь на две главные группы, а именно на:

- 1) источники, питаемые грунтовыми водами, и
- 2) источники, питаемые подземными водотоками.

Первые получают воду из слоев песчаных, галечниковых и гравийных горных пород или щебня и могут быть поэтому названы источниками грунтовых вод.

К источникам же второй группы вода подводится из трещин и расселин плотной горной породы, вследствие чего они могут быть названы трещинными источниками. Это различие учитывает как происхождение воды, так и отличающиеся друг от друга свойства районов питания источников.

Б. Подразделение источников по роду причин, вызывающих выход их на поверхность, и по характеру этого явления

Если принять причины, вызывающие выход источников на поверхность, и характер этого процесса за основные признаки подразделения источников, то в общем можно различать следующие виды источников:

1. Пластовые источники.

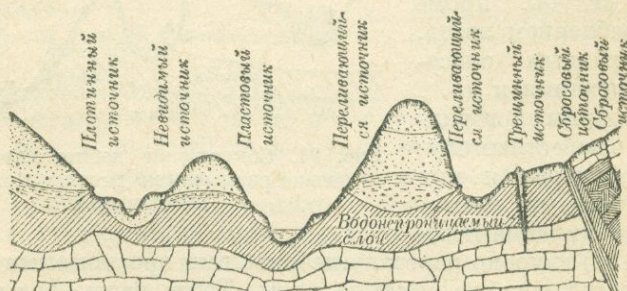


Рис. 35. Геологические и гидрологические условия выхода пластовых, подпорных, переливающихся, трещинных и сбросовых источников на поверхность земли.

2. Источники, образовавшиеся вследствие подпора воды (плотинные, барьерные или подпорные источники).
 3. Переливающиеся источники.
 4. Трещинные источники (источники, вытекающие из трещин).
 5. Сбросовые источники (источники, связанные со сбросами).
- Рисунок 35 дает обзор геологических и гидрологических условий выхода источников на поверхность земли.

18. ИСТОЧНИКИ, ПИТАЕМЫЕ ГРУНТОВЫМИ ВОДАМИ

А. Общие положения

Источники, разгружающие грунтовые воды и вытекающие из сыпучих и рыхлых обломочных горных пород, являются наиболее распространенным видом источников, хотя бы по одному тому, что такие горные породы, как песок, гравий, галька и т. п., а также пористые конгломераты и песчаники, имеют повсеместное широкое распространение. Водоносные галечники встречаются как в низменностях, где они залегают в форме аллювиальных отложений и отложений ледникового периода, так и на возвышенностях, где они заполняют дно долин. Из конгломератов, образовавшихся из песчаников, часто слагаются обширные горные массивы. В низменностях источники грунтовых вод часто выступают на поверхность в виде многочисленных тонких струек, размягчающих и вспучивающих поверхностные слои. Таким путем образуются болота. Там, где водоносная толща, состоящая из обломочных пород, открыто изливает свои воды в форме выхода обильных или небольших источников, последние часто образуют целые группы. Иногда значительное число источников грунтовых вод совершенно ускользает от наблюдения вследствие того, что они выходят в русле поверхностного водотока, ниже уровня воды.

Источники грунтовых вод, выступающие в низменностях, несмотря на свое большое водообилие, как правило, менее заметны, нежели нагорные источники, которые, появляясь внезапно из трещин и низвергаясь каскадами по отвесным склонам, приковывают к себе внимание наблюдателя и долгое время сохраняются в его памяти как прекрасные явления природы. Этой незаметностью источников грунтовых вод и объясняется то, что о них так мало говорят. В большинстве случаев они известны только гидрогеологам. Насколько велики могут быть количества грунтовых вод, незаметно выступающих таким путем на поверхность, показывают источники в Эммертале выше Бургдорфа, дебит которых исчисляется в 3300 л/сек.

Переходную ступень от поверхностной воды к грунтовой воде представляет собой так называемая нажимная вода.

Б. Нажимная вода (Qualmwasser)

По К е н е (30), Qualmwasser называется та подземная вода, которая, под влиянием избыточного давления подпруженной реки, выступает на поверхность. При этом речная вода устремляется в грунт и непрерывно замещает собой выступающую на поверхность подпочвенную воду. Нажимная вода представляет собой специфическое явление района Польшероу (рис. 36).

По Ш и р м е р у (Schirmer) (31), нажимная вода в сколь угодно значительном количестве выступает на поверхность вблизи большинства плотин лишь после того, как уровень подпруженной

воды по ту сторону плотины поднимется на 0,5—1 м выше окружающей местности. Для дамб, ограждающих течение среднегерманских больших рек, где толщина слоя песка, подстилающего дамбы, обычно составляет 20—40 см, можно принять просачивание нажимной

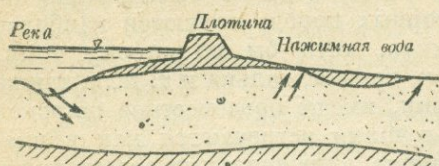


Рис. 36. Возникновение нажимной воды (Qualmwasser) (по Ширмеру).

воды на один метр разности высот и один километр длины, при дамбах возведенных на лишь слегка проницаемых грунтах, примерно в 10—15 л/сек. на километр, при средней проницаемости грунта примерно в 30 л/сек на километр, а при сильно проницаемом грунте в 50 л/сек. на километр и больше (Эльба и Одер). Максимум просачивания нажимной воды следует за максимумом подъема воды половодья с запаздыванием на несколько дней.

В. Источники, питаемые грунтовыми водами

Выход грунтовых вод на поверхность в виде отдельных источников в низменностях обуславливается обычно уменьшением толщины водоносного пласта, вследствие чего суживается поперечное сечение протока. Это сужение может быть вызвано или поднятием подстилающего водонепроницаемого слоя, или благодаря сближению боковых водонепроницаемых стенок канала. Если мы имеем, например, водоносный пласт с высотой протока H в сечении AA_1 (рис. 37) и если эта высота в сечении BB_1 уменьшается до величины h , то водоносная толща уже не в состоянии пропустить всю воду. Часть подземной воды будет вынуждена выступить на поверхность, вследствие чего образуется источник Q . Часть же воды, не выходящая через источник на поверхность, продолжит свой путь под землей.

Если водонепроницаемый пласт полностью выходит на поверхность, то вся вода будет вынуждена выступить.

Перенасыщение поперечного сечения протока возникает и в том случае, когда естественный уклон земной поверхности больше, нежели уклон стока грунтовых вод, или когда вследствие внезапного изменения уклона какой-либо реки обнажаются водоносные пласты.

Грунтовые воды, выступающие вследствие перенасыщения поперечного сечения протока на поверхность, образуют источники, называемые, по Г у г у (32), «выходами грунтовых вод на поверхность»

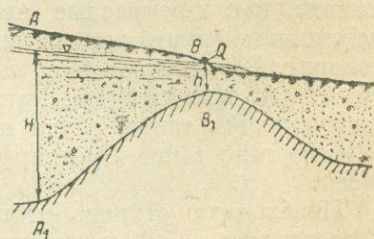


Рис. 37. Возникновение источника грунтовых вод вследствие приподнятого водонепроницаемого подстилающего слоя.

(рис. 38). Небольшое гидравлическое избыточное давление, способствующее выходу грунтовых вод на поверхность, часто обуславливает пульсирующее выбивание на поверхность грунтовых вод, сопровождающееся выносом мелких частиц песка. Иногда выбивающиеся грунтовые воды вздымают и мелкие частицы ила, что ведет к клубкообразному, ясно видимому замутнению вытекающей воды. Если на поверхность набиваются более значительные потоки грунтовых вод, то возникают целые ключевые озера или водные бассейны (рис. 39).

Пережим поперечного сечения протока, образуемый плотной, более или менее водонепроницаемой горной породой, является, как правило, причиной выхода источника на поверхность выше места пережима. Согласно Г у г у (33), таким образом, ниже Ритгейма и Рейнтале и выше узкого ущелья,

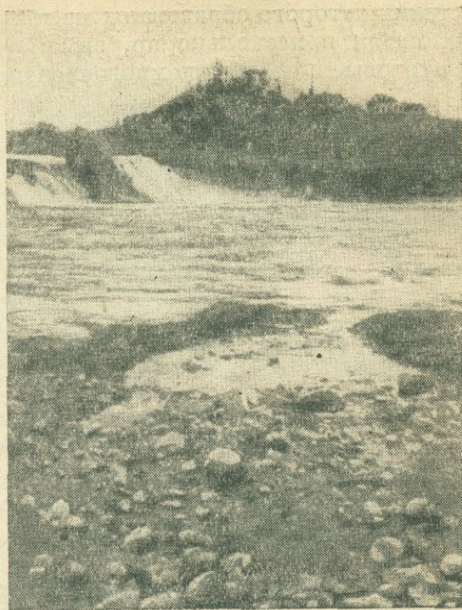


Рис. 38. Выбивание грунтовых вод на поверхность на правом берегу Рейна ниже Рейнского водопада (по Гугу).



Рис. 39. Ключевое озеро близ Кундолфингергофа (Дизенгофен) (по Гугу; дебит 75 л/сек.).

стенки которого образованы из триасовых скалистых отложений, на площади в несколько ар, зимой на поверхность вытекают теплые грунтовые воды в виде многочисленных источников, выступающих на совершенно свободном от снега и льда берегу реки (рис. 40).



Рис. 40. Возникновение источников близ Ритгейма вследствие пережима водоносного пласта (по Гугу).

также и за счет вертикального сужения его. Согласно Г у г у (33), подобный случай наблюдается близ Рора, где избыток воды выбивается на поверхность у подножия скалистой террасы.

Увеличение количества грунтовых вод в подземном бассейне, вызванное притоком в него вод из какого-нибудь бокового потока грунтовых вод, может в свою очередь повести к образованию источника. Так, например, близ Сура, выше места слияния потоков грунтовых вод, выходящих из Сурской и Виненской долин, можно наблюдать многочисленные выходы источников, образовавшихся по этой причине (рис. 41). Этот процесс еще усиливается здесь вследствие наличия пережима долины ниже Сура. В соответствии с постепенным увеличением влияния пережима и интенсивность выхода грунтовых вод в виде источников также развивается с известной постепенностью.

Вначале выход грунтовой воды почти незаметен, но источники тянутся почти непрерывно на участке протяжением почти в 3 км.

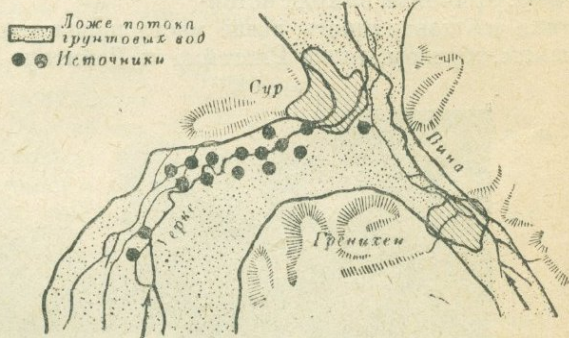


Рис. 41. Образование источников выше Сура вследствие слияния двух потоков грунтовых вод (по Гугу).

И Винкельматские источники, каптированные для водоснабжения города Берна, обязаны своим происхождением слиянию или подпору двух потоков грунтовых вод, заключенных в наносах Эмменмата.

Однако бывает, что мощные источники появляются и у самого края долины, у подножия окружающих долину гор. Это явление имеет место по преимуществу в тех случаях, когда река, вследствие небольшого падения,

отлагает гальку и таким образом непрерывно повышает свое ложе. Этим путем зеркало грунтовых вод дна долины все больше пере-

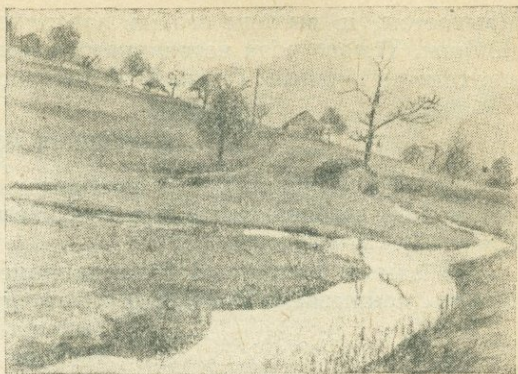


Рис. 42. Верхние источники Тихой Рейссы, близ Эрстфельда (по Гугу).

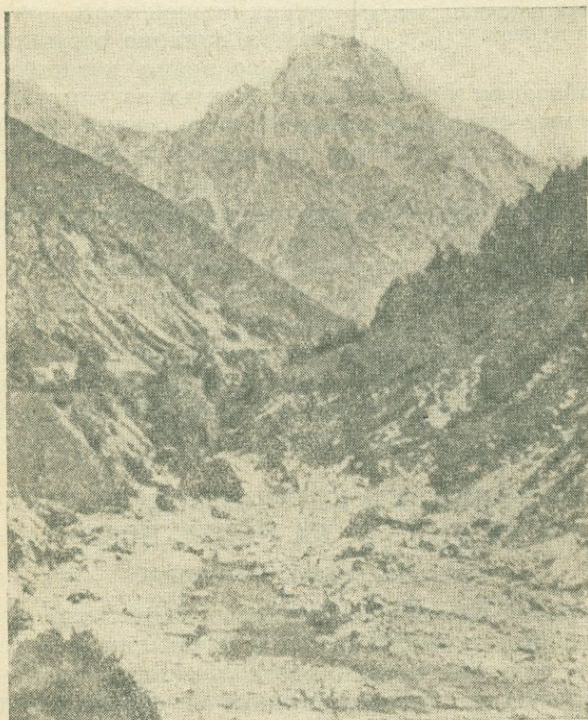


Рис. 43. Источник, вытекающий из щебня ниже Майгарта (Юлийские Альпы; фото Румпеля).

крывается, и выходы его на поверхности оттесняются к склонам долины. Такого рода источниками являются, согласно Г у г у (33), верхние источники Тихой Рейссы (рис. 42).

Г. Источники осыпей

Часто у подножия гор находится щебень, из которого грунтовые воды выбиваются в виде так называемых «источников осыпей» (рис. 43).

На самых возвышенностях равномерно распространен местный щебень, покрывающий плотные горные породы и закрывающий иногда

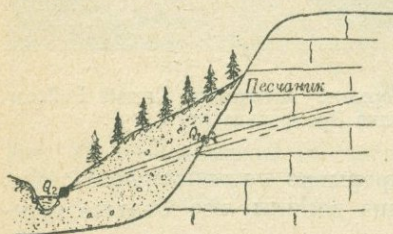


Рис. 44. Горный источник, закрытый щебнем.

выходы источников, вытекающих из трещин и расселин (рис. 44). Течение ключевых вод, прокладывающих себе путь через слой щебня, состоящего из более или менее крупных частиц, сильно замедляется. Это явление имеет большое гидрологическое значение, так как благодаря замедленной отдаче воды на источниках осыпей часто почти не сказывается влияние засушливых периодов, во время которых этого рода

источники обладают устойчивым режимом и регулируют количество воды в питаемых ими ручьях. Атмосферные осадки, выпадающие непосредственно на слой щебня, повышают дебит источника Q_2 .

19. ИСТОЧНИКИ, ПИТАЕМЫЕ ПОДЗЕМНЫМИ ВОДОТОКАМИ

Источники, питаемые подземными водотоками, настолько разнообразны в зависимости от происхождения подземных водотоков, свойств района их питания, подземного пути, который они преодолевают, и характера выхода их на поверхность, что едва ли можно произвести их классификацию по какой-либо единой системе.

Изречение «Каждый источник — сам по себе» относится, главным образом, к источникам этого рода.

20. КЛАССИФИКАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ПО ХАРАКТЕРУ ИХ ВЫХОДА НА ПОВЕРХНОСТЬ

А. Пластовые источники

Эти источники выходят на поверхность по водонепроницаемым пластам, лежащим горизонтально или падающим в сторону долины. В долинах с синклинальными расположениями пластов (рис. 45) пластовые источники обычно выступают на обеих сторонах долины.

В качестве типичного примера пластовых источников приведен, по Р е у т е р у (34), источник, расположенный в Вильской долине (Верхний Пфальц) (рис. 46).

Пластовые источники Альгары и Лонги (рис. 47) в Сицилии берут свое начало в известняках. Подстилающим водонепроницаемым слоем являются силурские отложения.

Плоскость напластования, отделяющая водонепроницаемый пласт от водопроницаемого, особенно резко выделяется на рисунке 48.

На рисунке 49 показаны пластовые источники в Веберском ущелье, залегающие тремя ярусами друг над другом (Богемско-Саксонская Швейцария).

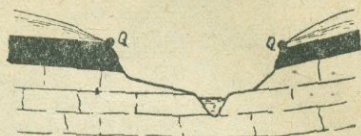


Рис. 45. Пластовые источники в синклинальной долине.

В. Подпорные или плотинные источники (Staugquellen)

Если водоносный пласт с грунтовой водой частично или нацело замещается водонепроницаемыми породами, то возникает род под-

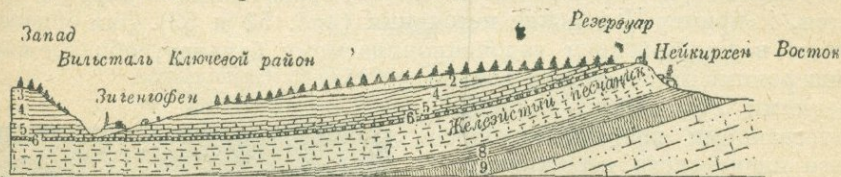


Рис. 46. Пластовый источник, расположенный в Вильской долине (по Реутеру).

земной плотины, принуждающей часть или весь поток грунтовой воды выступать на поверхность земли (рис. 50 и 51). Источники, возникающие таким образом, называются подпорными (барьерными)

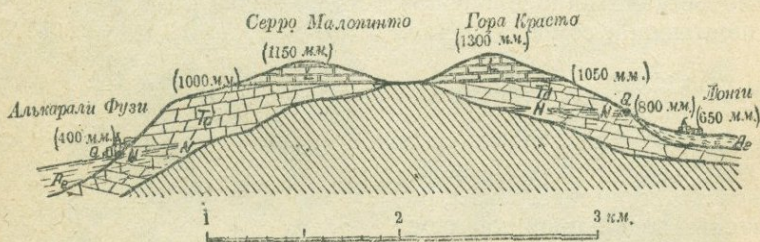


Рис. 47. Пластовые источники Альгары и Лонги [по Жиордано (Giordano)]:

1 — сланец нижнего силура, *Td* — доломит Триаса, *L* — лейкасовый известняк, *Le* — золеновая глина, *N-N* — граница водоносного слоя, *Q, Q'* — источники Альгары и Лонги.

или плотинными источниками. При частичном пережиме водных путей только часть грунтовой воды выступит на поверхность в форме источника. Эта часть соответствует величине, на которую сужается водоносная толща. Оставшаяся часть воды продолжает свой путь под



Рис. 48. Пластовые источники.

чения дебита источника не могут дать положительных результатов. Источниками, возникающими вследствие образования подпруд, являются, например Падерские источники (рис. 52 и 53). Они обязаны своим возникновением водонепроницаемому барьеру, образуемому эмшерскими отложениями и отложениями ледникового периода, залегающими впереди водоносного пленерского известняка.

Барьерные источники могут возникать и в тех случаях, когда водонепроницаемость водоносной толщи уменьшается, т. е. там, где крупный песок и гравий переходят в мелкозернистый песок, противопоставляющий движению воды повышенное сопротивление.

В. Переливающиеся источники ¹

Эти источники образуются там, где водоносная толща перекрывает и заполняет мульды, образованные водонепроницаемыми слоями. В этом случае водонепроницаемые слои представляют собой как бы наполненную водой чашу, через края которой переливается вода в местах их наибольшего понижения. Переливаю-

¹ Со строго гидрологической точки зрения между барьерными (плотинными) и переливающимися источниками едва ли существует различие.

землей, и не нужно большого труда, чтобы каптировать соответствующим образом и эту, не выступающую на поверхность воду.

Если барьер загораживает весь подземный путь грунтовой воды, то все количество воды, движущееся в водоносной толще, должно выступить на поверхность выше места подпора. В этом случае никакие мероприятия по каптированию в целях увеличения



Рис. 49. Источники, расположенные в три яруса один над другим, в Верберском ущелье (фото Райссмана).

щие источники могут возникать и там, где складка водонепроницаемого пласта образует седло (рис. 54), вершина которого образует род водосливной плотины.



Рис. 50. Подпорный источник, выступающий у края водонепроницаемого слоя и изливающий только часть своей воды на поверхность.

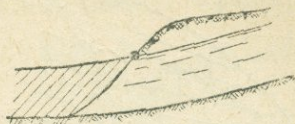


Рис. 51. Подпорный источник, выступающий у края водонепроницаемого слоя и изливающий всю свою воду на поверхность.

В обоих случаях водные резервуары, лежащие ниже зеркала воды, могут быть выгодно использованы в целях водоснабжения путем

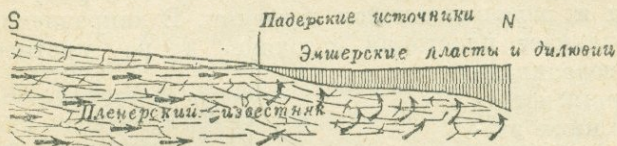


Рис. 52. Возникновение Падерских источников (по Штилле).

целесообразного устройства каптажа. Кроме того, переливающиеся источники возникают в местах значительного сужения трещин, дре-

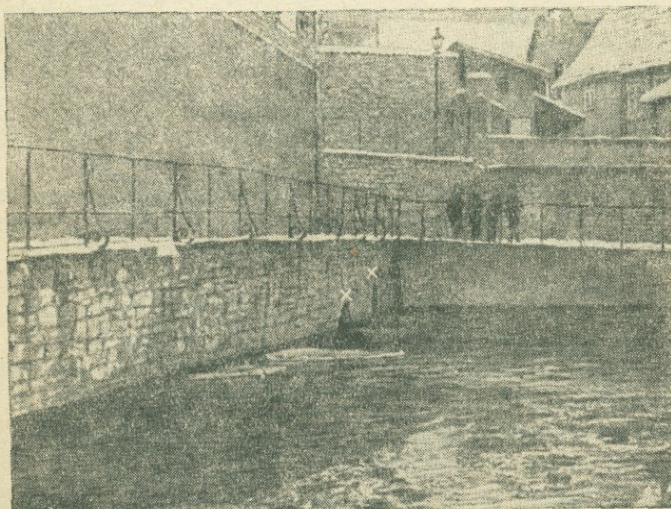


Рис. 53. Вид Шпюльпадера; X — выходы источника.

нирующих пещеры, содержащие воду. В этом случае в результате таяния снега или при сильных дождях вода запруживается в пещере.

Если уровень подпруженной воды достигает сухого в обычное время водного канала, выходящего на поверхность земли, то возникают временные переливающиеся источники, называемые майскими колодцами, голодными источниками или перемежающимися источниками (ср. главу 21—А, «Временные источники»).

Рис. 54. Переливающийся источник при седлообразном выгибе водоносного пласта.

При куполообразных формах рельефа, образуемых водоносными толщами, и более или менее сильном падении водонепроницаемого подстилающего слоя источники часто образуются на обоих склонах купола. В этом случае наряду с пластовым образуется и переливающийся источник. В направлении падения пласта возникает пластовый источник, а на противоположном

склоне — переливающийся. Первый источник лежит ниже второго (рис. 55). Согласно Голлер-Реутеру (Holler-Reuter) (35), с понижением уровня стояния грунтовых вод водораздел отодвигается все ближе к месту выхода переливающегося источника, который перестает действовать, когда водораздел

грунтовых вод опускается ниже его точки выхода. Из этого следует, что дебит переливающихся источников колеблется сильнее, нежели дебит пластовых, и что они могут иссякать в засушливые времена года.



Рис. 55. Переливающийся и пластовый источники (по Голлер-Реутеру).

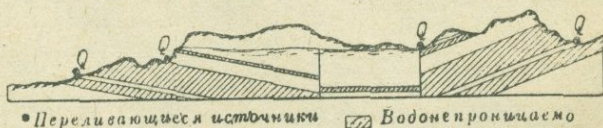


Рис. 56. Схема поперечного сечения северной Франконской юры (по Реутеру).

Переливающиеся источники могут также возникать и в тех случаях, когда в результате опускания средней части какого-либо горного массива крылья его остаются на месте и приобретают некоторый

уклон в сторону опустившейся средней части (рис. 56). В таких случаях водопроницаемый материал поглощает и накапливает выпадающие атмосферные осадки до тех пор, пока избыток воды не достигает края чаши и вода не станет стекать в виде переливающегося источника. Так как вода при этом изливается на поверхность через края бас-

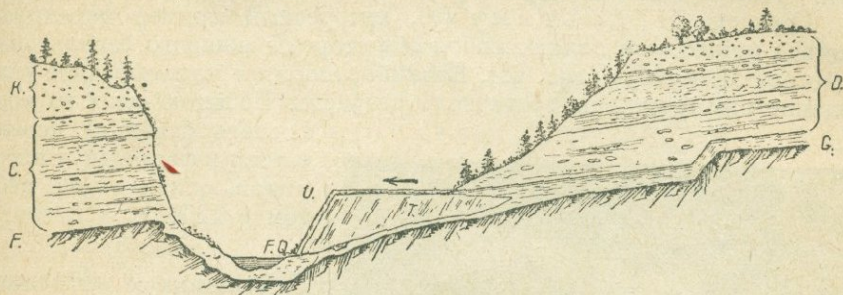


Рис. 57. Источники Мангфальской долины до каптажа.

сейна как бы через водослив, то такие источники можно называть также барьерами или пластинными.

Хорошим примером переливающихся источников, возникновение которых связано с наличием подпора, являются Мюльбальские и Готингерские источники в долине Мангфалл, выше Мюнхена. Они обязаны своим происхождением образованию водонепроницаемого туфа, отложившегося между рекой Мангфалл и водопроницае-

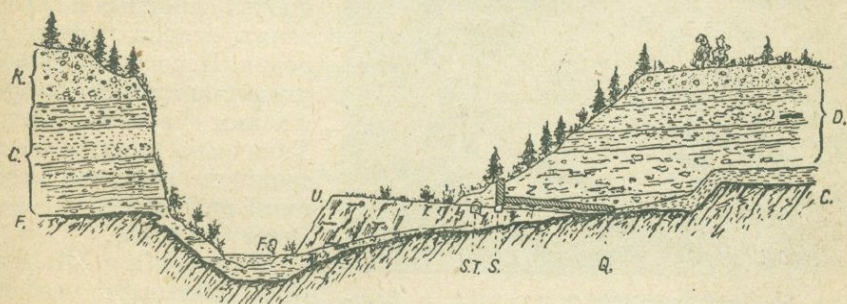


Рис. 58. Источники Мангфальской долины после каптажа.

мыми ледниковыми отложениями. Материал туфов приносился грунтовыми водами (рис. 57 и 58).

В долине реки первоначально появились лишь пластовые источники *FQ*, образовавшиеся вследствие падения пласта сферосидерита в сторону реки Мангфалл. Источники *U* представляют собой последующее образование и исчезли после устройства каптажа.

На рисунке 59 показан переливающийся источник Альтмюльской долины, близ Риденбурга, который является истоком ключа. Дебит его составляет несколько сот литров в секунду.

Тибр и Сенателло также берут свое начало из переливающихся источников (рис. 60).

Дебит источника, дающего начало р. Тибр, 4,2 л/сек. (высота над уровнем моря 1208 м), источника же Сенателло — 42 л/сек. (высота над уровнем моря 1406 м); остальные источники дают 3—6 л в секунду.

Согласно Кейльгаку (9), интересный пример переливающихся источников являют собой обе стороны мощного базальтового массива Мейсснера (рис. 61). Базальт заполняет чашеобразное углубление одной мульды третичного возраста.

Избыток воды из водоносного базальта переливается в форме двух источников, обладающих дебитом в 1200 м³ в сутки.

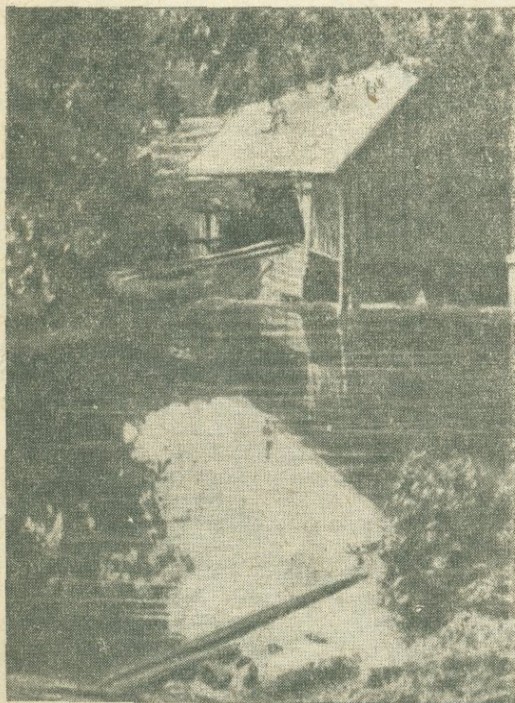


Рис. 59. Переливающийся источник в Альтмюльской долине (по Реутеру).

Г. Трещинные источники

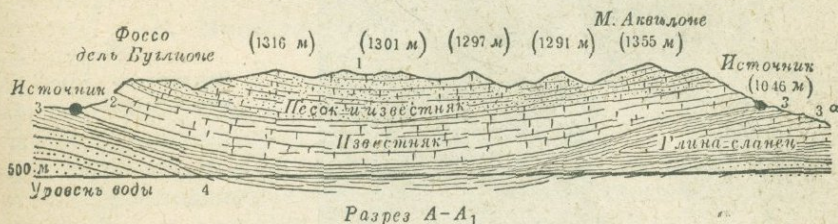
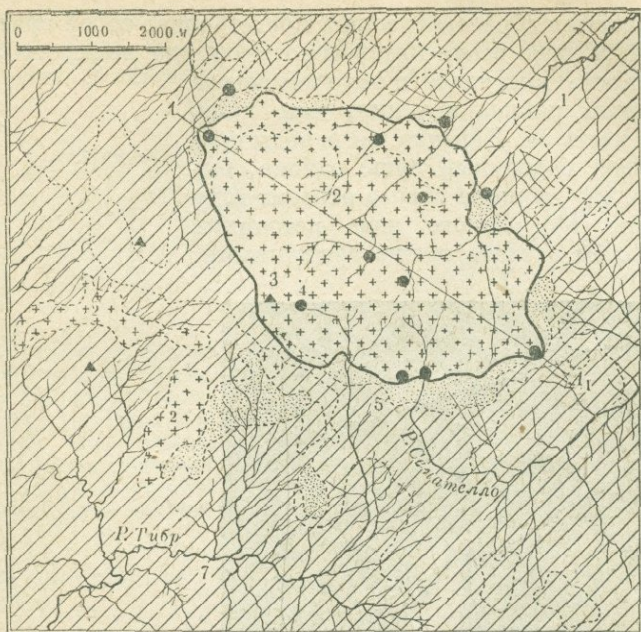
Трещинные источники возникают в трещиноватых горных породах, обладающих более или менее развитыми плоскостями отдельностей. Они особенно широко распространены в известняках, встречаются, однако, и в изверженных и прочих склонных к образованию трещин горных породах. Нередко часть воды уходит по трещинам вглубь и таким образом теряется. Типичным трещинным источником является источник Брунненграбен города Вены (рис. 62).

Ролланд (Rolland) (37) описывает особенно интересный трещинный источник, находящийся в

пустыне Сахара. Это источник Крия-Айята, который поднимается из пронизанного трещинами песчаника (рис. 63).

Д. Сбросовые источники

Они отличаются от трещинных только тем, что здесь водонепроницаемые пласты смещены по отношению к водопроницаемым. Вода подпруживается вследствие сброса и вынуждена выступить на поверхность. На этом основании можно было бы отнести сбросовые источники к плотинным.



- 1 Водонепроницаемые породы
- 2 Водонепроницаемые породы
- 3 М. Фумаиоло
- 4 Источник Тибр
- 5 Бальице

Рис. 60. Положение Тибрского источника и разрез по АА₁ (по Канавари и Лотти).

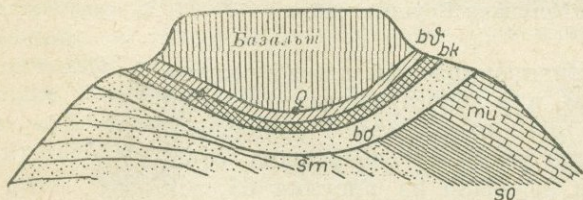


Рис. 61. Переливающийся источник у Мейснера (по Кейльгаку):

ти — нижний раковистый известняк, со — красоватые глины верхнего пестрого песчаника, sm — средний пестрый песчаник, bq — песок третичного периода, bk — уголь третичного периода, lq — глина третичного периода.

Образованная сбросом трещина представляет собой сравнительно удобный путь для беспрепятственного выхода воды, по которому на поверхность выступает в виде источника или вся вода района питания, или лишь некоторая часть ее. Нередко часть воды продолжает свой подземный путь; однако, бывает также, что трещина сброса отводит воду вглубь (рис. 64). Такого рода источники можно было бы назвать также трещинными.



Рис. 62. Источник Брунненграбен.

Если водонепроницаемый пласт в результате поднятия или сброса занимает впереди водопроницаемого пласта такое положение, при котором путь книзу совершенно отрезан, то, как показано на рисунке 65, вся вода, поступающая из района питания, выводится на поверхность.

Одним из источников, возникших вследствие сброса, является так называемый источник Клеффербруннен, близ города Вены (рис. 66).



Рис. 63. Источник Крия-Айта (Kriya-Ayuta) (по Ролланду).

Пластовые, плотинные, сбросовые и трещинные источники в общем всегда несут воду, если даже дебит их во многих случаях и колеблется в широких пределах. Напротив того, дебит перели-

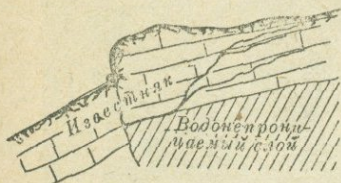


Рис. 64. Источник, поднимающийся по трещине сброса, частично дренирующей прилегающий район. Источник Q выводит лишь часть подземной воды, часть же ее теряется в трещиноватом известняке, залегающем ниже источника.

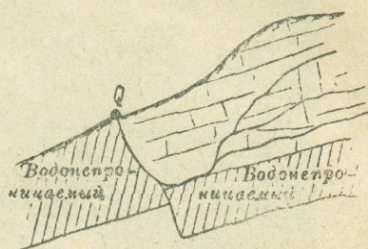


Рис. 65. Источник, вытекающий из сбросовой трещины с полным дренажем района питания. Источник Q изливает на поверхность всю воду.

вающихся источников часто ненадежен. Иногда они полностью иссыкают.

Е. Нисходящие и восходящие источники

Если положить в основу классификации источников направление движения воды, то следует различать:

- 1) нисходящие источники и
- 2) восходящие источники.

Вода нисходящих источников опускается соответственно падению трещин и расселин водоносных пород все глубже, пока она не достигает водонепроницаемого пласта, падающего в сторону долины и выводящего ее на поверхность (рис. 67). Степень заполнения трещин возрастает с глубиной; однако, существуют также трещины, лишь частично заполненные водой. Уровни воды лежат тогда на различной высоте и весьма трудно поддаются гидрологическому определению. Устройство каптажа ниже места естественного выхода источника в общем нецелесообразно, так как это не связано с увеличением дебита.

Восходящие источники возникают вследствие того, что вода, текущая по наклонному пласту, встречает на своем пути какое-либо препятствие в форме водонепроницаемой преграды, будь то скала, или мергель, или глина, и что в то же время между водонепроницаемым и водопроницаемым пластами имеется трещина, по которой вода может подниматься.

Восходящий источник может возникнуть и в тех случаях, когда в синклиналино залегающих горных породах имеется трещина, по которой подземная вода может подниматься (рис. 68).

В восходящих источниках водные пути ниже выхода источника, как правило, заполнены водой, и уровни воды легко могут быть



Рис. 66. Источник Клеффербруннен.

определены гидрологически. Через естественный выход источника на поверхность обычно выступает лишь часть подземных вод. В таких случаях путем устройства каптажа *F* ниже выхода источника (рис. 69) можно достигнуть павышения дебита.



Рис. 67. Нисходящий источник.

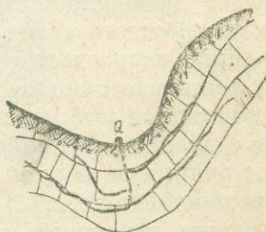


Рис. 68. Восходящий источник.

С гидрологической точки зрения нисходящие источники полностью дренируют район питания, а восходящие источники лишь частично. Поэтому можно путем соответствующих мероприятий по каптированию повысить естественный дебит восходящего источника.

Строго говоря, существует лишь нисходящая ключевая вода, так как вся подземная вода происходит из атмосферы, а просачивание или погружение выпадающих осадков может происходить только в направлении сверху вниз. Стремление воды подниматься кверху можно установить, как правило, только вблизи места выхода источника. Если отойти от этого места, то водные пути постепенно принимают нисходящее направление; течения воды можно принять лишь как понятия относительные.

Отнесение источников к отдельным группам, как то указывалось выше, во многих случаях едва ли имеет практическое значение. Не всегда район питания источников сложен из однородных горных пород. Часто они состоят из коренных, плотных осадочных и рыхлых обломочных горных пород, а пути источников направлены тогда в недрах этих пород то кверху, то книзу, принуждая воду течь по самым извилистым путям. Таким образом, может случиться, что ключевая струя в месте перехода из коренной породы в осадочные отложения образует восходящий источник Q_1 , покидает затем осадочные породы в виде переливающегося источника Q_2 , встречается в точке Q_3 в колодце как нисходящий источник и, наконец, изливается на поверхность в виде источника осыпей Q_4 .

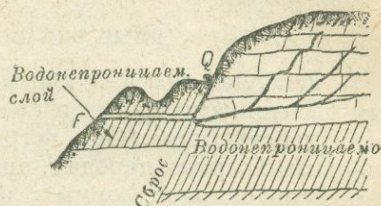


Рис. 69. Восходящий источник, образовавшийся вследствие сброса.

Для правильного освещения истинных гидрологических условий существования данного источника существует один только способ — проведение штольни *ав* до коренных пород. Перекрывающие последние осадочные отложения и щебень представляют собой для источника лишь промежуточные путевые этапы второстепенного гидрологического значения.

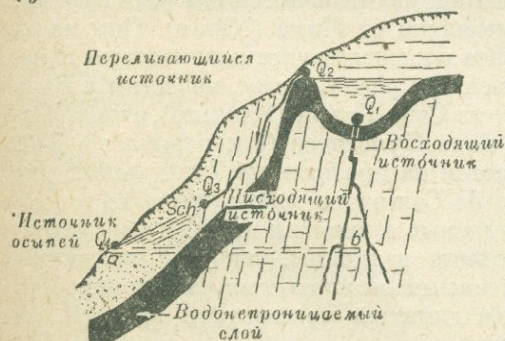


Рис. 70. Путь источника; четыре различных названия выхода источника.

21. ОСОБЫЕ ВИДЫ ИСТОЧНИКОВ

В качестве особых видов источников следует еще отметить упоминавшиеся:

- 1) временные или периодические источники, далее

- 2) морские подводные источники или морские мельницы,
- 3) артезианские источники,
- 4) искусственные источники и
- 5) новые источники

А. Временные или периодические источники

К наиболее замечательным и научно недостаточно исследованным источникам относятся временные, спорадически или периодически действующие. Они встречаются почти исключительно в трещиноватых горных породах, пронизанных каналами, гротами и пещерами неправильной формы и разнообразного направления. Главной областью таких источников является район Карста.

Характерной чертой таких источников является то, что их истечение частично или полностью прерывается через более или менее равномерные промежутки времени и что изливаемое ими количество воды подвергается во многих случаях сильным колебаниям. Существуют источники, изливающиеся только в определенные минуты или часы, и существуют источники, прерывающие свое действие на несколько дней, месяцев или лет. Длительность изливания и бездействия зависит от времени дня и года, количества выпадающих осадков, от формы, направления и размера подземных водных путей, атмосферного давления, а также от присутствия подземных газов. По Л е р ш у (Lersch) (7), источники, изливающиеся два раза в сутки, существуют близ Фансанша, недалеко от Нима (Nimes). Они изливают воду в продолжение 7,5 часа с последующим пятичасовым перерывом; источники, изливающиеся три раза в сутки, известны в Валь д'Аста (Val d'Asta), а также близ Сенд-Брари (Кашмир), а изливающиеся четыре раза в сутки — близ Пуисгроса (с перерывом в 5—6 часов). Источник Булет изливается на протяжении 7 лет только два месяца, а источник St. Nicolas de Campragne действует даже только один раз в 20 лет. Однако эти данные о времени должны рассматриваться как весьма приблизительные величины, так как систематические наблюдения над временными источниками, периодичность которых простирается на более длинный промежуток времени, до сих пор едва ли производились.

Сравнительно проста и понятна причина временного излияния и бездействия так называемых весенних, майских и летних колодцев и голодных источников. Голодными источниками называются такие источники, которые изливаются лишь в очень богатые влагой периоды времени, следовательно, в течение времени, когда излишек влаги вредит урожайности полей. Все эти источники являются не чем иным, как результатом обильных атмосферных осадков или воды, образующейся вследствие быстрого таяния снега и более или менее быстро прокладывающей себе путь на поверхность земли по обычно сухим подземным каналам. По сообщениям Т а р н у ц е р а (Tarnuzzer) (38), подобными источниками являются источники Иоганнис (Fontana Jon) в Унтеренгадине, якобы появляющийся в самый длин-

ный день года и исчезающий в самый короткий, а также прерывающийся источник в Val d'Asta, вода в котором, по наблюдениям Килиаса (Kilias), начинает подниматься в 12 часов ночи, а по Тарнуццеру — уже достигает в это время своего наивысшего уровня стояния. Из этого противоречия следует, что не может быть и речи о регулярном режиме источника Val d'Asta. Температура его воды $2,15^{\circ}\text{C}$, что является температурой, типичной для глетчерной воды. Источник Val d'Asta, повидимому, является следствием времени года или суток или, вернее, согревания солнцем соседних снежных и фирновых областей.



Рис. 71. Разрез через Бундулау (Авейрон) с пятью выходами источников (по Мартелю).

Два из них текут постоянно, третий при слабом и четвертый при сильном дожде. Пятый источник в настоящее время неизменно безводен и изливался в доисторические времена.

Непрерывным условием образования таких, связанных с временем года источников является предварительное особенно высокое стояние подпруженной воды, обуславливающее истечение воды источника.

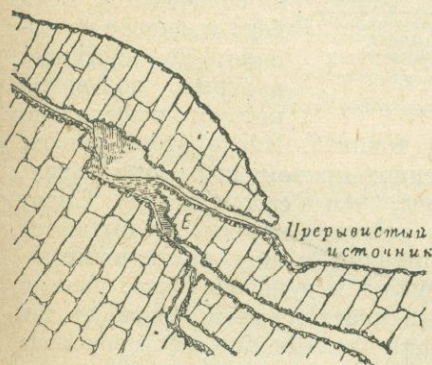


Рис. 72. Возникновение временного источника вследствие подпруды.

Один и тот же подземный водоток может, в зависимости от количества воды или, вернее, от стояния уровня воды, заставить действовать даже несколько соседних периодически изливающихся источников, которые могут действовать одновременно или взаимно прекращать действие друг друга. По Мартелю (Martel) (5), примером такого режима источника служит подземный водоток Бундулау (Авейрон) с его пятью выходами источников на поверхность (рис. 71).

Однако и источники, обнаруживающие в течение целого года ритмический режим действия, всегда требуют особого большого предварительного притока добавочной воды, вызывающей изливание временного источника. Очень часто действие временного источника объясняется сужением *Е* (рис. 72) подземного сточного канала. Если пещера соединена с поверхностью земли обычно сухим боковым

каналом и если внезапно последует настолько сильный приток воды, что сужение *E* не сможет его полностью пропустить, то вода в пещере подпруживается вплоть до уровня обычно сухого бокового канала, и последний тогда начинает действовать в виде временного источника.

Для объяснения механизма, дающего возможность возникновения временного источника, была изобретена сифонная теория. Эта теория существовала уже при П а р а м е л е (а может быть, уже при Афаназисе Кирхнере?) и признается почти всеми авторами, занимающимися временными источниками, правильной. Сифонная теория предполагает наличие пещеры *R* (рис. 73), получающей воду по подводящему каналу *E*.

Пещера имеет сифонообразно изогнутый сток, обращенный в сторону выхода источника *Q*. При этом колено канала, направленное

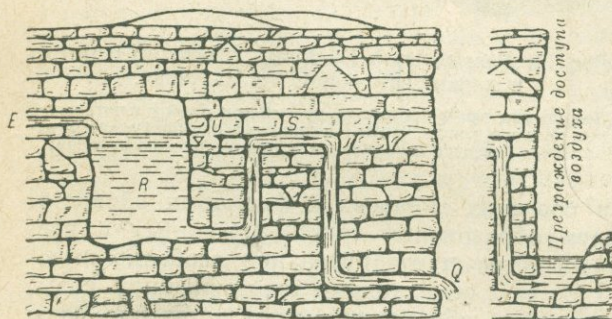


Рис. 73. Объяснение возникновения временных источников действием сифона.

в сторону долины, длиннее внутреннего. Если вода в пещере поднимается выше верхней точки *S* сифона, то сифон начинает действовать. Далее предполагается, что вода течет до тех пор, пока внутренний выход сифона не освободится. Если вода в пещере исчерпана, то наступает перерыв, во время которого пещера снова наполняется до уровня верхней точки *S*. После этого работа сифона возобновляется. При увеличенном притоке воды (при дожде, таянии снега) время перерывов короче, чем в сухую погоду. Смену спокойных и интенсивных периодов действия источников пытаются объяснить наличием сифонных соединений между различными пещерами. Более широкий сифон вступает в действие реже, нежели узкий, и т. д. Это объяснение очень просто, однако страдает тем недостатком, что подобная комбинация чрезвычайно мало вероятна и, пожалуй, даже невозможна. Правильность такого объяснения ставилась уже Л е р ш о м (?) под сомнение. Он считает, что еще никто не доказал существования этого теоретического сифона и что наличие герметичных в отношении воздуха сифонных каналов в трещиноватых горных породах просто невозможно. В последнем пункте следует безусловно согласиться с мнением Л е р ш а.

Тот, кто имел дело с сифонами, знает, что сифоны представляют собой чрезвычайно чувствительные технические сооружения. Сифон может быть приведен в действие только при условии абсолютной герметичности в отношении воздуха. Предпосылкой для образова-

ния пещер является трещиноватость горных пород, а непременным условием для действия сифона — абсолютная герметичность в отношении воздуха, каковая в трещиноватых горных породах никогда не может иметь места. Эти противоречия никак не могут быть обойдены.

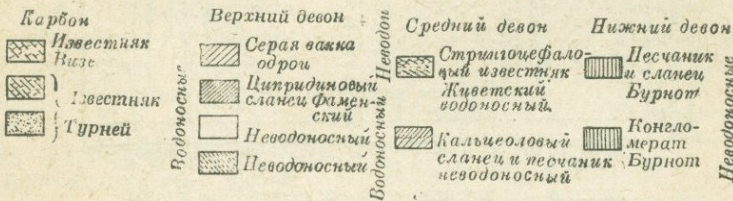
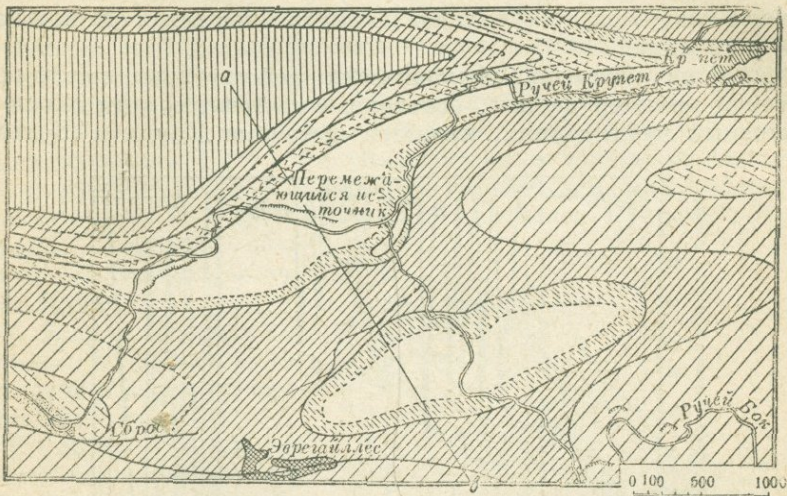


Рис. 74. Ситуационный план и разрез ключевого района Круле (Crupet).

При этом выход источника на поверхность гидравлически невозможен, так как воздух мог бы беспрепятственно попадать через него в верхнюю часть сифона. Картина выиграла бы в вероятности, если бы колено сифона на стороне долины открывалось в наполненный водоем, как это изображено на дополнительном рисунке 73. Кроме того, непременным для работы сифона является наличие вантуза, который

после удаления воздуха из сифона снова закрывался бы так, чтобы атмосферный воздух не мог попасть в сифон. Но как представить себе автоматическое удаление воздуха из сифона и своевременное закрытие вантуза в трещиноватых породах, как то показано на рисунке 73, если сифон при бездействии, т. е. после опорожнения, наполнился воздухом, поступившим по внутренней ветви его или через устье источника?

Одним из немногих периодически действующих источников, о котором имеются данные, основанные на точных, хотя далеко недостаточных наблюдениях, является источник Крупе в Бельгии,

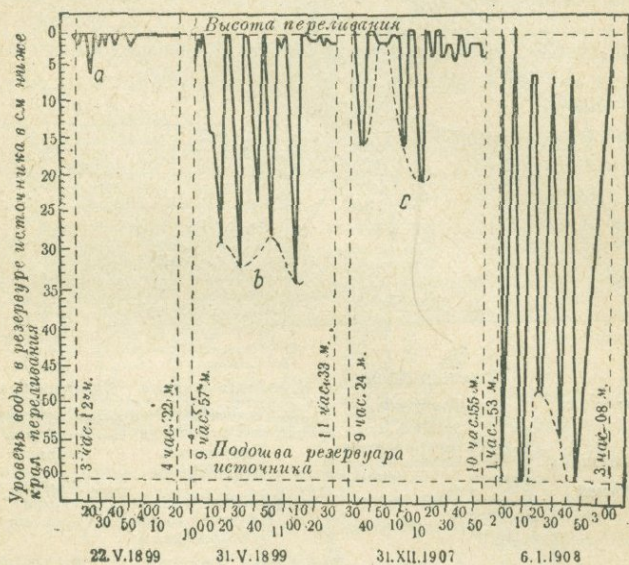


Рис. 75. Колебания уровня источника Крупе.

о котором Ван ден Брек (Van den Broeck), Мартель и Раир (Rahir) (39) дают подробные сообщения. Ситуационный план и геологический разрез района приведены на рисунке 74. Согласно укоренившемуся преданию, перерывы в стоке этого источника равны точно 7 минутам. Имеется всего три цикла наблюдений, однако, уже и из них ясно вытекает, что режим источника чрезвычайно непостоянен.

В период наблюдений а (рис. 75) от 22 мая 1899 г., которому предшествовала засушливая неделя, были наблюдаемы шесть истечений, продолжительность которых колебалась от 3 до 8 минут. Шестое истечение длилось непрерывно 30 минут при несколько колеблющемся дебите, и продолжалось еще и после окончания наблюдения. Колебание уровня составляло 5 см.

От 24 до 27 мая шли сильные дожди, однако, несмотря на это, до 27 мая источник не обнаруживал признаков жизни, а водоем источ-

объяснить колебания в дебите, но отнюдь не перерывы действия источника.

Были сделаны попытки исследовать механизм временных источников путем раскопок. Однако результаты этих попыток неизменно приводили лишь к разрушению самого источника. Перемежающееся истечение воды прекращалось и явление оставалось неразгаданным. По мнению автора, причины временного действия источников можно будет обосновать лишь на основании результатов систематических наблюдений и измерений притоков и стоков воды, выпадающих осадков, температур, барометрического давления и соответствующих колебаний зеркала воды. Подобные наблюдения должны будут продолжаться в течение месяца, а может быть и целые годы.

Б. Морские подводные источники

Вдоль морского побережья многих карстовых областей наблюдаются часто пресные источники, изливающие свои воды ниже по-

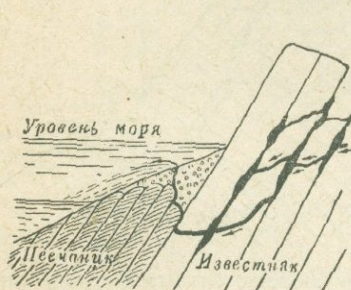


Рис. 77. Подводный морской источник, питаемый подземным карстовым водотоком под действием избыточного давления [по Богану (Boegan)].

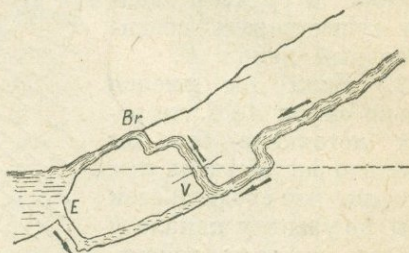


Рис. 78. Образование источника, изливающего солоноватую воду (по Леману).

Существенно то обстоятельство, что *V* лежит ниже зеркала моря и в то же время не имеет никакого значения, расположено ли *V* выше или ниже места входа морской воды в точке *E*.

верхности моря. Они представляют собой устья подземных водотоков и пещерных рек, которые, вследствие высокого уровня истоков и большой скорости течения, преодолевают гидростатическое противодавление морской воды.

К самым большим источникам этого рода относятся Ауризинские источники близ Триеста, изливающие в море до 20 000 м³ воды в сутки.

Явление подводных источников представляется загадочным с той точки зрения, что воды сильно трещиноватых карстовых районов могли бы без труда размыть для себя подземный путь, устье которого было бы расположено выше зеркала моря, причем не было бы необходимости в преодолении давления морской воды. По Кнебелю (Knebel) (10), это явление может быть объяснено тем, что русла этих источников некогда были расположены выше уровня моря

и только позже, вследствие положительных перемещений берегов, опустились под уровень моря. На подводные морские источники имеют влияние так называемые морские мельницы, которые по временам подводят к этим источникам соленую воду и превращают их в солоноватые. По мнению В и б е л я (Wiebel) (40), в морских мельницах избыточное давление пресной воды производит эжекторное действие на морскую воду и засасывает ее в устье источника, вследствие чего к пресной воде примешивается соленая. Рисунок 78 иллюстрирует, по данным Л е м а н а (Lehmann) (41), образование источника, дающего солоноватую воду.

Наиболее известная морская мельница находится на острове Кефалония, близ Аргостоли.

Если каналы, связанные с морской мельницей, имеют падение в сторону берега, то возможно распространение влияния морской воды на отдаленные береговые местности. Так, например, И м б о (Imbeaux) (42) сообщает, что в почве долины Кюре (Curé) содержание солей морского происхождения наблюдается на протяжении 15—21 км от берега моря.

В. Артезианские источники

Природные артезианские источники могут возникать там, где налегающий водонепроницаемый пласт прорывается естественным

напором воды. В этом случае необходимо наличие столь высокого давления воды, чтобы зеркало ее было выше уровня земной поверхности, вследствие чего вода выступает на поверхность в виде фонтана. Поэтому подобные источники называют также фонтанирующими. В большинстве случаев наличие естественных артезианских источников обнаруживается лишь после того, как налегающий слой будет настолько ослаблен действием естественной эрозии, что напорная артезианская вода может прорвать его. Многие артезианские источники прорывают размытые или нарушенные слои под руслами рек и таким образом незаметно питают поверхностные водотоки (рис. 79).

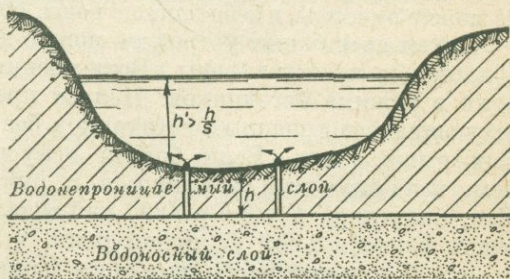


Рис. 79. Естественные артезианские источники, питающие реку.

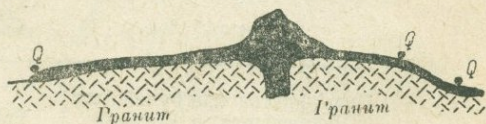


Рис. 80. Разрез через Пуи де Дом с его источниками.

В вулканических местностях артезианские источники нередко образуются вследствие того, что потоки расплавленных жидких масс

(базальт, трахит) разливаются над песками, образуя, таким образом, водонепроницаемый покров, и придают воде, циркулирующей в песках, напорные свойства. Если вода прорывает такой покров, то возникают артезианские источники. Подобные источники встречаются в Оверни, близ Тартарата, в Пюи де Дом (Puy de Dôme), Кокиль (Coquill) и т. д. (рис. 80).

Бывает также, что выход естественного артезианского источника закупоривается выделяемыми им известковыми отложениями и источник перестает течь. О подобном явлении в окрестностях Ингольштадта сообщает Р е й т е р (34). Здесь конус известковых отложений, высотой в 5 м, прекратил действие источника. Буровая скважина, пройденная у основания конуса, снова вскрыла источник с дебитом в 120 л в секунду.

Г. Болотные источники

Иногда источники служат причиной образования болот на склонах местности. Последние возникают в связи с тем, что под влиянием постоянной влаги развивается торфообразующая растительность, являющаяся началом последующего образования болот. Водопоглощаемость болот очень велика, и их часто сравнивают с губкой, напитанной водой и удерживающей ее в себе. Однако никакое болото не может вместить в себе больше воды, чем оно в состоянии поглотить.

Путем дренажных устройств можно длительно извлекать из болот большие количества воды. Возвышенные болота играют большую роль в режиме источников. Нельзя представить себе многих существующих возвышенных источников без питания их из расположенных выше болот. Если болота искусственно обезвоживаются, то сток питаемых ими источников и ручьев значительно снижается. Так, например, Г у б е р (29) наблюдал, что модуль стока когда-то очень водообильной славной реки, вследствие дренажа снизился до одной седьмой части соседнего Бильдфихтенского ручья.

Таблица 7а

Ключевой район	Лесные насаждения	Наименьший сток л/сек/км ²
Бильдфихтенский ручей близ Рейхенберга, в Богемии .	Хорошие	3,50
Славная река	»	0,54

Вода источников, происходящая из болот, обычно содержит много гумуса и окрашена в коричневый цвет. Обычно необходим длинный подземный путь в пластах со значительным фильтрующим действием, чтобы превратить болотную воду в ключевую, свободную от содержания гумуса.

Д. Искусственные источники

Искусственные артезианские источники можно вызвать, имитируя естественные процессы, описанные в главе 21—В. Такие



Рис. 81. Искусственный артезианский источник, вызванный к жизни путем выемки земли.

источники появляются при особых гидрогеологических предпосылках в глубоких котлованах и карьерах, например, при добыче глины для кирпичных заводов и т. п. (рис. 81). В таких случаях они представляют собой весьма неприятное явление, так как они затрудняют производство или заставляют полностью прекратить работу. Борьба с ними должна вестись путем понижения уровня грунтовых вод. При известных условиях можно искусственно вызвать образование источников и путем проведения штолен (рис. 82), закладываемых в склонах гор на стороне, сложенной из водонепроницаемых пород.

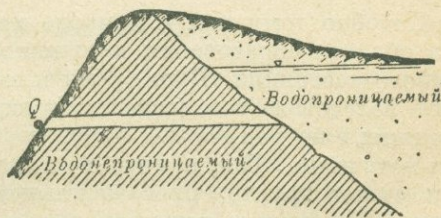


Рис. 82. Искусственный источник, возникший в результате проведения штольни.

Такого рода сооружения являются и так называемые керизы (Kärise, Karis, Kjaris), служащие для получения воды в Туркменистане, Закавказье, Иране и т. д. По Бусе (Busse) (43), в таких сооружениях собирающие воду галереи соединены с поверх-

ностью земли при помощи специальных вентиляционных шахт, расстояние между которыми колеблется примерно от 4 до 40 м.

Эти шахты служат для удаления земли при сооружении и для вентиляции (рис. 83) и имеют глубину от 2 до 50 м и больше. Наи-

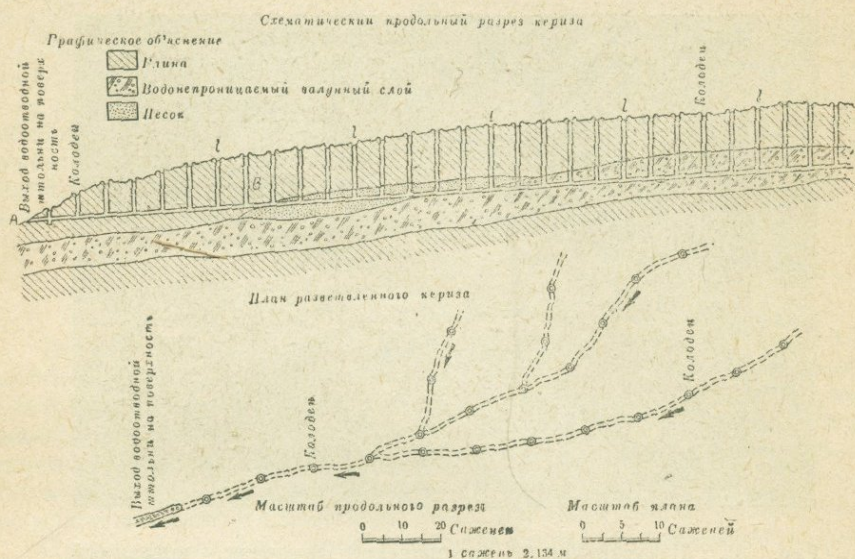


Рис. 83. Иранский кернз (по Быковскому).

большая глубина соответствует шахтам, пройденным в концах галереи.

Е. Новые источники

Подобно тому как в природе нигде не существует застоя, так и в области образования источников нет ярко выраженного законченного состояния. В то время как существующие источники исчезают вследствие геологических и гидрологических процессов, происходящих в недрах горных пород, по той же причине возникают и новые источники. Так, например, вследствие обвалов в свеженасыпанном сухом грунте, преграждающем тальвег долины, может быть вызвано появление источников, так как подпруженная вода, поступающая с нагорной стороны, вынуждена просачиваться, а со стороны долины выступать на поверхность земли из массы осыпей. Таким путем возникают источники осыпей, выбивающиеся из-под отдельных глыб обрушившихся скал. Подобное образование источников изображено на рисунке 84.

И там, где старые, некогда существовавшие русла долин перекрыты ледниковым щебнем, могут в свою очередь образоваться новые источники вследствие того, что ручей вынужден избрать себе новое ложе. В этом случае в старом, покинутом русле долины

может накопиться инфильтрационная вода и образовать источник, выбивающийся в каком-либо месте перекрытого тальвега. По Гейму (Heim) (25), подобный источник с дебитом, примерно, в 50 л/сек.

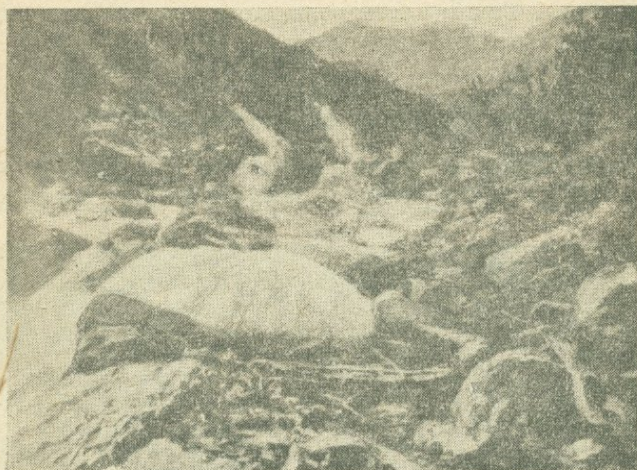


Рис. 84. Главные источники Плавны, образовавшиеся вследствие горного обвала (по Гугу).

можно видеть вблизи Кундельфингена (Kundelfingen), в месте нахождения старого течения Тура (Thur) (ср. также главу 9 «Образование источников»).

22. ЛОЖНЫЕ ИСТОЧНИКИ

А. Общие положения

С давних пор со словом «источник», «родник», «ключевая вода», как об этом уже говорилось в введении, было связано понятие о чистоте и освежающей прохладе. Для того чтобы вытекающая из земли вода была чиста и приобрела освежающие свойства, необходимо, чтобы атмосферные осадки, превращающиеся в толщах горных пород в ключевую воду, освобождались по пути своего подземного течения от всех захваченных с поверхности земли вредных примесей и воспринимали бы прохладную, равномерную температуру почвы. Только таким путем может возникнуть гигиенически безукоризненная ключевая вода, отличающаяся равномерной и низкой температурой. Только те источники, из которых на поверхность вытекает такая ключевая вода, являются настоящими источниками.

Однако существуют многочисленные выходы воды на поверхность, возникающие вследствие того, что поверхностный ручей или река частично или полностью уходит вглубь через водопрони-

цаемое ложе или трещины скал, над которыми они протекают, проникая, таким образом, в толщу горных пород, и незаметно продолжают некоторое время свой путь уже под землей с тем, чтобы, пройдя более или менее большой участок, снова выступить на поверхность в виде источника. Таким путем возникают ложные источники, обладающие иногда огромным дебитом.

Б. Карстовые или воклюзские источники

Карстовыми источниками их называют потому, что они представляют собой типичное явление закарстованных местностей. На-

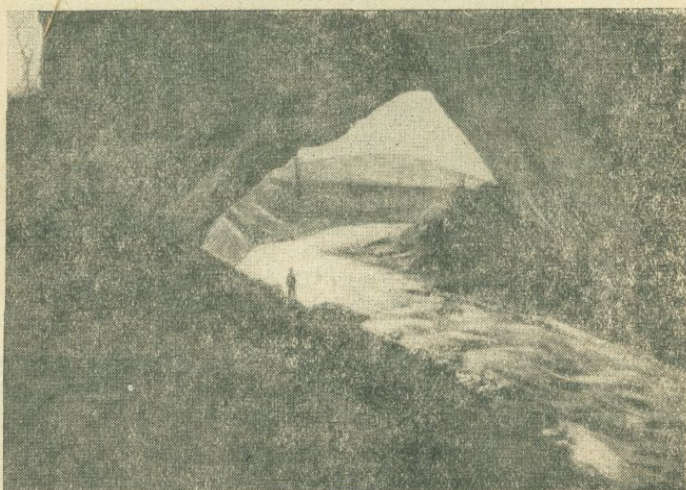


Рис. 85. Исчезновение Лессы в гроте Бельво.

звание воклюзский источник происходит от большого потока воды, вытекающего близ Авиньона из отвесной скалы высотой в 200 м, преграждающей наподобие стены долину реки Зорге (Sorgue). Поэтому эта долина была названа «Vallis clausa», а это название перенесено на источник. Такие источники называются также исполинскими.

Подобные явления представляют собой не что иное, как исчезновение поверхностных вод в подземных пещерах (рис. 85) и последующий выход их на поверхность (рис. 86). По существу своему, по крайней мере, в гигиеническом отношении, они имеют больше сходства с ливнеотводами городской канализации, чем с явлениями истинных источников.

С точки зрения опасностей, угрожающих здоровью людей со стороны поверхностных вод, погрузившихся в глубину и снова выступивших на поверхность земли, следует согласиться с мнением

Мартеля (5), по которому он, в полном соответствии с научными данными, утверждает, что карстовые и воклюзские источники не

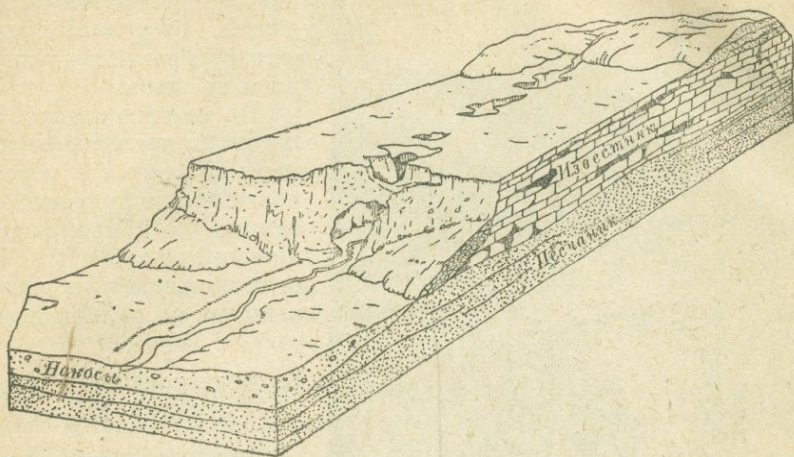


Рис. 86. Пещерная река (из Георга Вагнера).

следует больше называть «источниками». Он предлагает обозначить начало подземного водотока словом «Провал» (Perte, Schwinde),

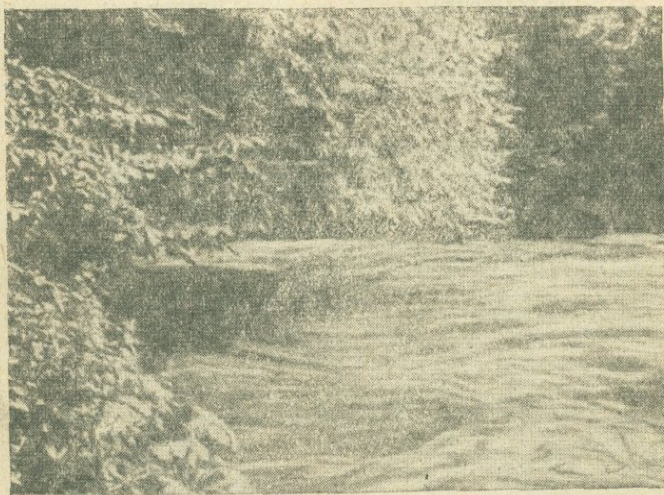


Рис. 87. Аахский водоем, в котором погрузившийся под землю Дунай снова выступает на поверхность (Г. Вагнер).

вследствие его погружения в глубь толщи горных пород, а его последующий выход на поверхность, после того как он, не изменив своих

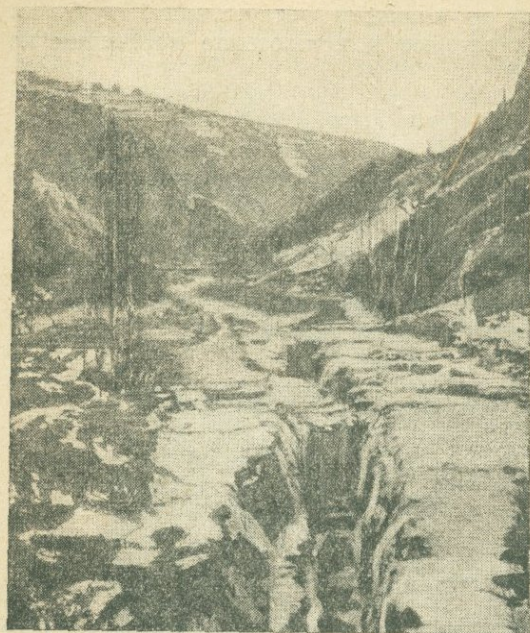


Рис. 88. Исчезновение реки Роны (зимой)
(по Мартелю).

свойств, прошел по подземным ущельям в пещерах, — «возвратом» (resurgence), от слова resurgence, rearraître—возвращаться снова.

По мнению автора, желательно последовать примеру Мартеля и раз и навсегда при будущих описаниях подобных водных явлений в карстовых областях пользоваться обозначениями на родном языке.

В. Исчезновение и последующий выход

Явления эти весьма многочисленны, и столь же велико (особенно во Франции) и число городов, которые, не зная о неудовлетворительном в гигиеническом отношении качестве временно скрывающихся

под землей потоков поверхностных вод, использовали их воды под названием «источник» для водоснабжения.



Рис. 89. Выход Воклюзы из грота (из лексикона Мейер).

Хороший пример исчезновения и последующего выхода реки на поверхность земли в Германии являет собой погружение реки

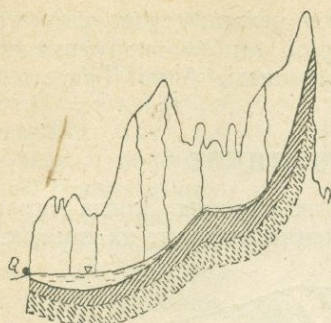


Рис. 90. Продольный разрез через район питания Воклюзы (по Дириону) (Dyrion).

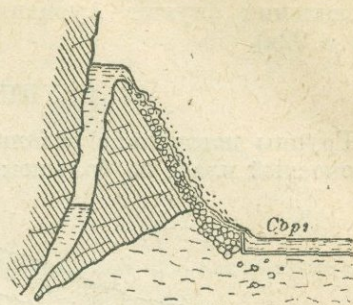


Рис. 91. Выход Воклюзы из гор.

Дуная близ Иммендинга. Ушедшая в глубь вода выступает снова на поверхность на расстоянии около 11 км от водораздела в виде Лахского источника (рис. 87), отдающего воду, принадлежавшую первоначально бассейну Дуная, в бассейн реки Рейна. Одним из наиболее величавых явлений исчезновения реки являет собой погружение под землю реки Роны близ Беллегарды (Bellegarde) (рис. 88), причем максимальная измеренная глубина погружения составляет около 120 м.

Не менее величественен и выход Воклюзы из грота (рис. 89).

Район питания Воклюзы занимает площадь в 1450 км². Дебит ее колеблется от 4 м³/сек. при низком стоянии воды и до 150 м³/сек. при половодье. Соотношение дебитов составляет, таким образом, 1 : 37.

На рисунке 90 дан разрез через район питания, а на рисунке 91 — через выход Воклюзы.

Более значительные пещерные реки не всегда выступают на поверхность земли непосредственно в виде источников. При соответствующей трещиноватости горных пород вода их может отводиться в сторону и, таким

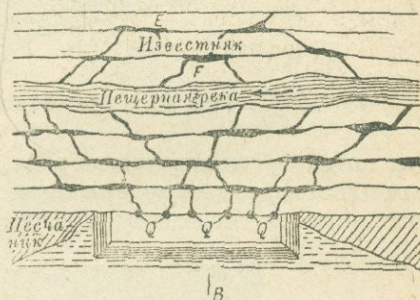
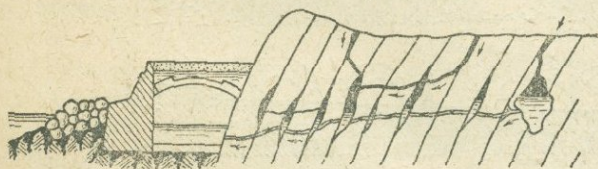


Рис. 92 а. Схематическое изображение возникновения Ауризинского источника (по Богану).



Разрез А-В

Рис. 92 в.

образом, дать повод к возникновению целых групп источников. По Б о г а н у (Воеган) (45), примером такого гидрологического отщепления служит Ауризинский источник, близ Триеста (рис. 92а и 92в).

23. ГРУППЫ ИСТОЧНИКОВ

Группы источников возникают в тех случаях, когда сплошной водоносный пласт на большом протяжении выходит на поверхность

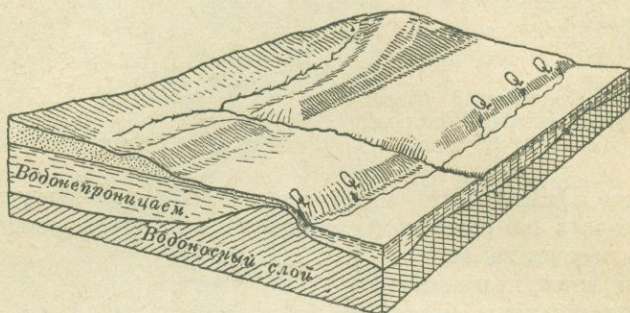


Рис. 93. Образование группы источников.

или когда трещиноватая порода, залегающая над водонепроницаемым пластом, отдает содержащуюся в ней воду по нескольким расположенным по соседству трещинам. На рисунке 93 изображена

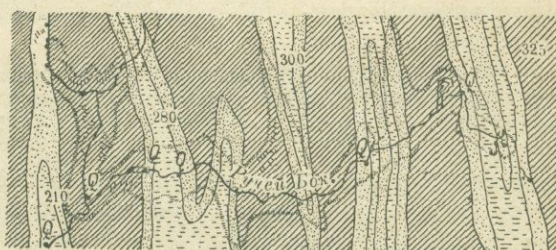


Рис. 94. Группа источников в ряде синклинальных долин.

группа, состоящая из пяти источников, образовавшихся вследствие подпора воды.

Если водонепроницаемый слой обладает волнообразным залеганием, иначе говоря, если местность состоит из ряда синклинальных долин,

то это, как правило, ведет к образованию групп источников, причем отдельные источники будут изливаться в наиболее низких точках различных мульд (рис. 94).

Два хороших примера образования групповых источников представляют собой источники, расположенные вблизи Пон-Сен-Максенса (Pont-Saint-Maxence), в долине реки Уазы (Oise), и разбросанные выходы Румского источника в Гарце (рис. 96). Образование первых объясняется выходом песка (Jprèsien) над пластичной глиной.

24. ГОРИЗОНТЫ ИСТОЧНИКОВ

Если водопроницаемые и водоупорные пласты залегают, чередуясь между собой, то возникают отдельные горизонты источников (рис. 97). Друг над другом могут залегать и три, и четыре, и больше горизонтов. По Бейеру (Beyer) (6), типичным примером района распространения таких источников является горный край Шейбе (Scheibenkurpen) в Саксонско-

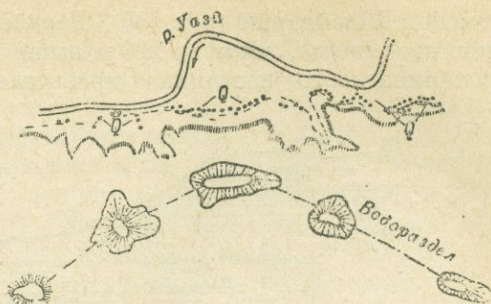


Рис. 95. Группа источников Пон-Сен-Максенса (Pont-Saint-Maxence).

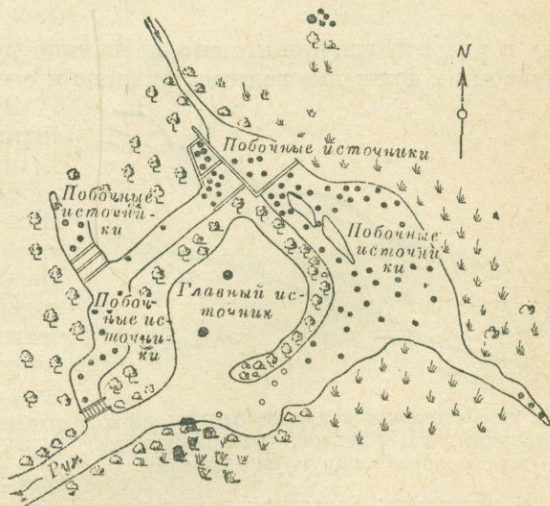


Рис. 96. Ситуационный план Румского источника по Турнау (Thurnau).

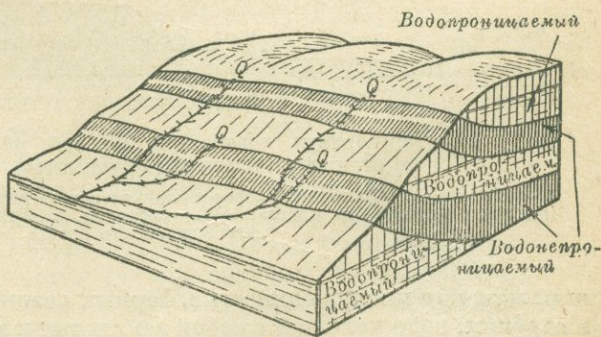


Рис. 97. Два расположенных один над другим водоносных слоя с выходами источников.

Богемской Швейцарии (рис. 98). Горизонт ключей, вытекающих из глинистого сланца, лежит на 220 м выше нормального уровня, горизонт каринатового песчаника превышает его на 290, а превыше-

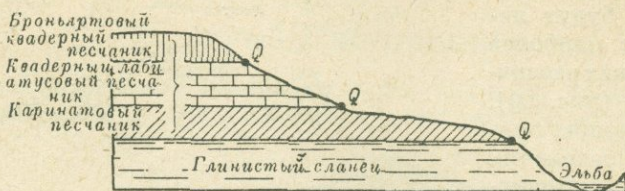


Рис. 98. Три горизонта ключей горного кряжа Шейбе (по Байеру).

ние горизонта глауконитового песчаника достигает 390 м. Во всех горизонтах движение воды направлено к северо-востоку.

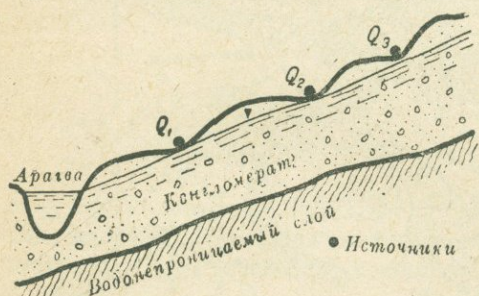


Рис. 99. Источники в долине Арагвы, ниже Балачуари, на Кавказе, расположенные террасообразно друг над другом.

В пористых слоистых горных породах источники на различных горизонтах могут возникнуть и вследствие того, что при инфильтра-

Этажное расположение источников может возникнуть и просто в результате эрозионного действия реки, когда последняя размывает водоносные пласты на различных уровнях. Примером подобного явления, когда три ключевых горизонта залегают террасообразно друг над другом, могут служить источники близ Балачаури, в долине Арагвы на Кавказе (рис. 99).

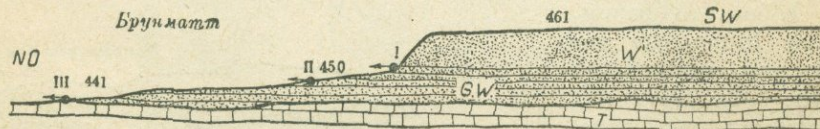


Рис. 100. Образование горизонтов ключей между Мумской долиной и станцией Роггвилл (Бруннматте) (по Гугу).

I—источник; II—источник, образовавшийся вследствие постепенного уменьшения мощности водоносного пласта; III—источник, возникший вследствие выклинивания водоносного пласта.

ции, или при погружении атмосферных осадков с поверхности земли в глубину, вода увлекает с собой землястые и мелкопесчаные частицы, отлагающиеся над щебнем, образовавшимся от выветривания горных пород. Этим путем с течением времени образуются водонепрони-

паемые прослойки, разделяющие накапливающуюся под землей воду на отдельные горизонты и обуславливающие образование подпора и новых выходов источников на новых горизонтах.

Ключевые горизонты могут возникнуть также и вследствие постепенного понижения водоносного пласта. По Г у г у (Hug) (32), подобным примером являются источники Брунматте (Brunnmatte), где уменьшение мощности водоносного пласта галечника нижней террасы достигает 10 м (рис. 100).

25. МЕСТНОСТИ, ЛИШЕННЫЕ ИСТОЧНИКОВ

Местности, лишенные источников, являются следствием или недостаточного количества выпадающих на них осадков, или быстрого ухода в глубь проникшей в землю воды. Последнее явление имеет место в трещиноватых карстовых областях, способствующих проникновению воды в глубину. Такие местности бедны поверхностными источниками, но зато часто содержат в глубине большие труднодоступные количества воды. Долины, лишенные источников, встречаются обычно там, где водопроницаемые пласты падают в стороны от долины (рис. 101).

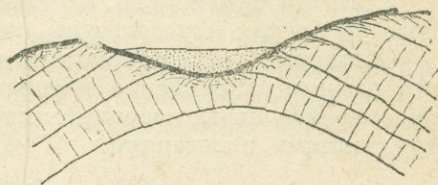


Рис. 101. Долина над водопроницаемым седлом, лишенная источников.

26. СООРУЖЕНИЕ КАПТАЖЕЙ ИСТОЧНИКОВ

А. Подготовительные работы

Подготовительные работы, служащие основой проектирования и сооружения каптажей источников, должны всегда состоять из следующих моментов:

1. Геологических изысканий истинного района питания источника (но не одного только обследования поверхности района выпадения осадков). При этом необходимо обращать особое внимание на направление простирания и падения напластований и пересекающих их трещин, на выявление пустот и их размеров и в нужном случае и на установление — можно ли при помощи недорогостоящих устройств предохранить запроектированные каптажные сооружения и отходящие от них водостводные трубы от возможных оползней.

2. Гидрологических съемок и в особенности измерений количества воды в источниках и соседних ручьях во время наибольшего и наименьшего дебита, в зависимости от количества выпадающих осадков и особенно сильной и длительной засухи.

3. Химического, бактериологического и биологического исследований в соответствии с указанными выше условиями.

4. Наблюдений за температурой воды и возможными замутнениями воды в зависимости от выпадающих осадков и засухи.

К сожалению, опыт показывает, что даже коммунальные и промышленные предприятия, сооружающие каптажи, часто недооценивают значение надежных предварительных изысканий, особенно в тех случаях, когда такие изыскания связаны с трудностями и требуют серьезных денежных затрат и времени. Подобная экономия неуместна и может впоследствии, при известных обстоятельствах, обойтись очень дорого.

Для того чтобы источник при всех возможных обстоятельствах был предохранен от вредных влияний и загрязнений, необходимо, особенно при трещиноватости горных пород, охватить охраной по возможности весь район его питания.

Если это невозможно, то следует запретить применение невозного удобрения и устройство людских поселений и сточных канав.

Обширный участок земли желателен еще и с той точки зрения, что позднее закрепление земельных участков и иные последующие предохранительные мероприятия обычно связаны с большими затруднениями и потерями.

Б. Общие сведения о сооружении каптажей источников

Гидрогеолог, которому доверено разрешение вопроса о воде, должен твердо знать, что даже самый маленький источник (при условии, что он обладает продолжительным дебитом) может быть весьма ценен, в особенности в тех случаях, когда небольшие источники выступают группами и легко могут быть объединены одним общим каптажным сооружением.

Хороший каптаж источника должен быть устроен технически целесообразно и гигиенически безукоризненно. Он целесообразен с технической точки зрения в том случае, когда он по возможности прост и когда он соответствует как геологическим, так и гидрологическим условиям выхода воды самого источника и всего каптируемого района. Кроме того, выбор строительного материала должен быть сделан с учетом стойкости по отношению к возможному разрушающему действию ключевой воды. Далее, технически правильно построенный каптаж должен как можно меньше нарушать естественное гидрологическое равновесие источника и его района питания. Перенапряжение дебита источника весной и осенью обычно неблагоприятно сказывается в середине лета. Исключения допускаются только в особых случаях.

В общем следует каптировать источники на возможно более высоком горизонте их естественного выхода. Для каптажа источников, питаемых грунтовыми водами, действительны в общем правила, указанные в первой части «Гидрогеологии», в главе F—III.

Если дело касается каптажа источников, из которых вытекает вода подземных водотоков, то, при наличии сравнительно простых

гидрогеологических условий места выхода источников, лучшим и наиболее дешевым способом каптажа является устройство водоотводной канавы. Такая канава имеет целью каптировать поступающую из глубины или со стороны воду еще перед выходом ее на поверхность и затем отводить ее. Однако каптаж следует устраивать не глубже, чем этого требует достаточная толщина защитного покрова. Исключение возможно лишь в том случае, когда отдельные каналы источников перед выходом на поверхность расходятся, так что источники Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 распределяются на значительном протяжении (рис. 102). В этом случае каптаж FF_1 , перемещенный внутрь пород, при известных обстоятельствах обходится дешевле, нежели каптаж, устроенный на линии Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 .

Необходимая глубина дренажной канавы зависит от геологических свойств водоносной трещины, от трещиноватости и состава пересекаемого ею материала, от угла наклона поверхности, от сельскохозяйственных работ, производимых в окрестностях, и, при известных обстоятельствах, от населенности соседних районов. В лесу достаточна меньшая глубина канавы, чем в открытой культивируемой местности, на которой, однако, при всех обстоятельствах уваживание почвы недопустимо. Лучше всего закладывать канавы шириной, например, в 1,2—1,5 м и глубиной от 4 до 5 м, откуда, с учетом откосов, ширина дна канавы составит, примерно, от 0,9 до 1,0 м. Если канава достигла достаточной глубины, то середина дна ее немного углубляется, благодаря чему создается желоб для укладки водозаборных труб. Для каптажа годятся перфорированные гончарные и толстостенные цементные, тоже перфорированные, трубы. Если канава имеет значительный уклон и если приходится опасаться, что каптированная вода сможет, при известных обстоятельствах, увлекать с собой твердый песок, то следует отдавать предпочтение более прочным гончарным трубам. Если угол падения небольшой и наличие в воде песка мало вероятно, то можно пользоваться более дешевыми цементными трубами. Диаметр труб должен выбираться таким образом, чтобы при наибольшем стоке трубы наполнялись лишь на $\frac{1}{2}$ — $\frac{2}{3}$. Если вода выступает в различных местах на поверхность, то в расстояниях от 3 до 5 м друг от друга канава по всей своей ширине перегораживается поперечными бетонными перемычками $d_1 \dots d_4$ (рис. 103). Эти перемычки должны заходить с каждой стороны на 0,15—1,20 м в естественный грунт. Главное их назначение — запрудить ключевую воду, поступающую в канаву, и принудить ее войти в перфорированные гончарные трубы. Водосборные трубы укладывают в щебеночную постель, причем щебень, непосредственно окружающий трубу, имеет величину с кулак, а по мере удаления от трубы размер щебня постепенно уменьшается, достигая в конечном счете

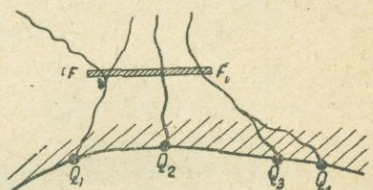


Рис. 102. Каптаж расходящихся источников.

величины зерен песка. Такой способ каптажа в скалистой материнской породе весьма целесообразен.

При земляном грунте гончарные трубы должны быть заключены в три оболочки, как это показано на рисунке 103. Над поперечными перемышками и набивкой из гравия или щебня должно быть устроено перекрытие из набивного водонепроницаемого бетона, заходящее в стенки канавы и препятствующее проникновению поверхностной воды в ключевую. Однако для того, чтобы в случае образования течи в бетонной плите поверхностная вода не могла все же попасть в каптаж, над бетонным перекрытием укладывается корытообразный глиняный слой толщиной не менее 25 см, в самой глубокой части которого помещается дренажная труба. Эта дренажная труба, в свою очередь, окружается слоем гравия или щебня. Назначением ее

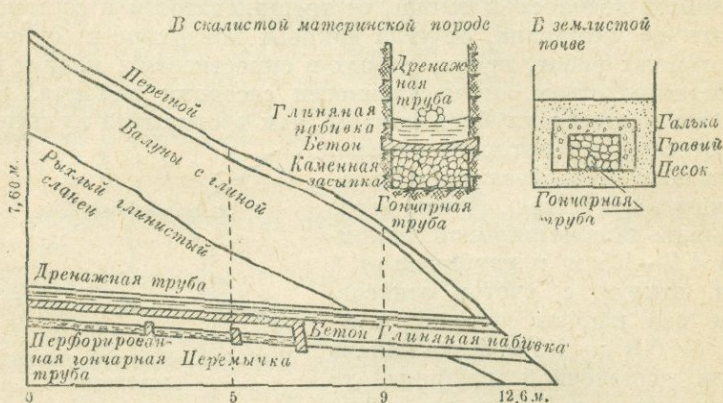


Рис. 103. Дренаж с поперечными перемышками.

является улавливание поверхностной воды в достаточном отдалении от каптажа.

При засышке котлована грунт должен очень плотно утрамбовываться, а сверху насыпается еще покров из нежирной глины толщиной от 20 до 30 см.

Если небольшие источники выступают отдельно, то, по Г у б е р у (46), рекомендуется проследить канавами каждый из них по линии наибольшего уклона поверхности, причем уклон дна канавы составляет, примерно, от 2 до 5⁰/₁₀₀. Если на дне канавы появится вода, то за выходом последней необходимо проследить путем продления канавы на 4—5 м. Если же вода показывается в стенке канавы, то от нее следует провести боковое ответвление.

Если два источника выходят на поверхность земли рядом, то, за малым исключением, они имеют общее происхождение, и тогда целесообразно вскрыть канавой более мощный из них и проследить затем, не снижается ли при этом дебит более слабого источника. Если это так, то канава проводится дальше, пока более слабый источник не иссякнет.

Если несколько источников выступают на поверхность рядом друг с другом, то нужно исследовать, можно ли перехватить продольной канавой каждый источник отдельно или же все источники вместе одной поперечной канавой. Путем сравнения количества необходимых земляных работ можно решить, какой способ каптажа обойдется дешевле.

Если несколько источников рассеяно по участку, то лучше всего пересечь их выше их выхода на поверхность при помощи одной общей канавы (рис. 104), расстояние которой от их выходов должно быть рассчитано таким образом, чтобы дно канавы при глубине

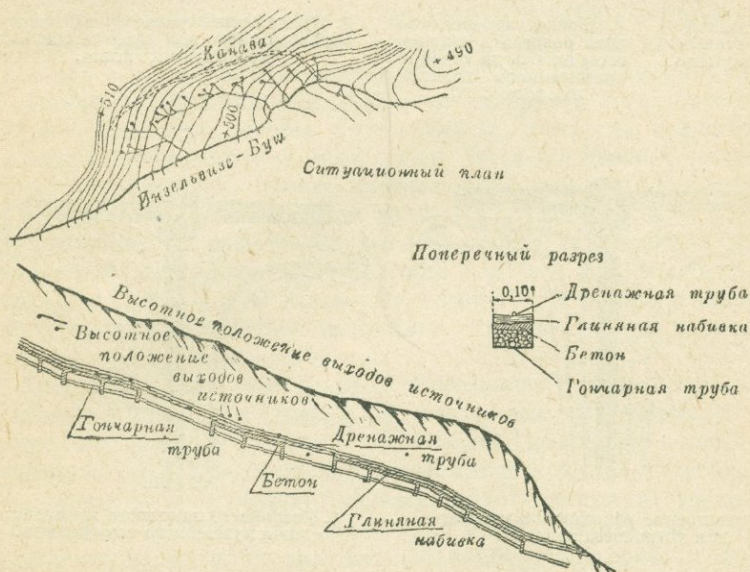


Рис. 104. Каптаж Инзелвизе III при помощи канавы (Рейхенберг в Богемии) (по Губеру).

в 4—5 м совпадало с уровнем выходов соседних источников или, еще лучше, лежало бы, примерно, на 0,5 м ниже этого уровня.

На рисунке 105 наглядно изображен ход работ при каптировании пластового источника.

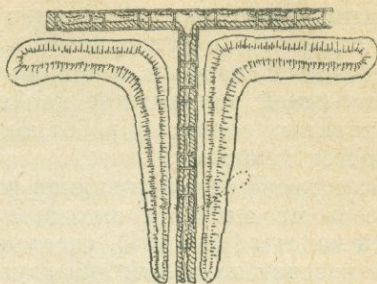
Гигиенически совершенным является такой каптаж, при котором строительные работы не оказывают неблагоприятного влияния на хорошие качества ключевой воды, т. е. когда он всесторонне предохранен от проникновения поверхностной воды, попадания в каптированную воду загрязняющих веществ, болезнетворных зародышей, насекомых и животных и от затопления соседними водотоками. Кроме того, перекрытие и изоляция каптажа должны быть защищены от влияния наружной температуры, и, наконец, должны быть приняты меры для хорошей вентиляции в целях достаточного обмена воздуха в каптажных трубах.



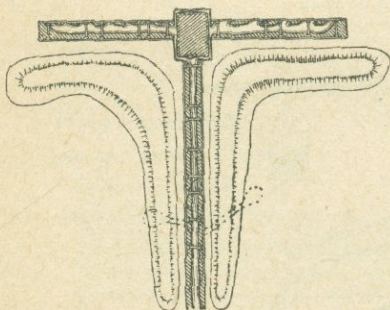
1. Выход источника до вскрытия.



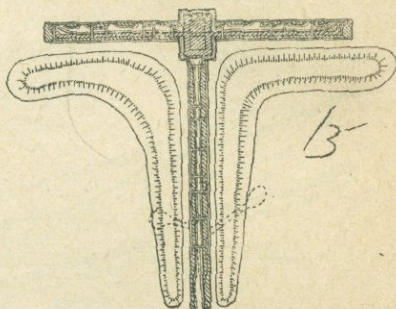
2. Проведение разведочного разреза в склоне горы вплоть до водонепроницаемого подстилающего слоя.



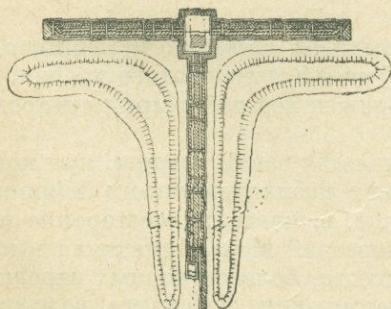
3. Продолжение разведочной канавы вправо и влево для захвата боковых притоков источника.



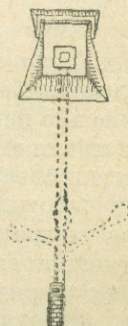
4. Расширение разведочной канавы для устройства колодца.



5. Устройство каменного крепления стенок каптажного сооружения.



6. Укладка уплотняющего слоя из суглинка, гончарных труб, фильтрующих слоев и водоотводящих труб.



7. Перекрытие фильтрующих оболочек бетоном и суглинком. Засыпка котлована.

Рис. 105. Процесс работы по каптажу пластового источника (Баварское государственное управление по водоснабжению).

В. Отдельные звенья каптажных сооружений и строительные материалы

1. Собственно каптаж источника является наиболее важной частью сооружения, на устройство которого следовало бы обращать особое внимание. Многие каптажи источников лежат в отдаленных, трудно поддающихся надзору местах и поэтому часто подвергаются повреждениям со стороны неопытных или посторонних лиц. Поэтому каптаж должен быть по возможности мало заметным, простым и прочным. Следует избегать бросающихся в глаза порталов и фасадов и отдавать предпочтение едва заметным смотровым колодцам. Такие колодцы с хорошо предохраненными, запирающимися крышками люками имеют то преимущество, что дверные замки порталных входов легко ржавеют, что затрудняет доступ к каптажу.

2. Заборный трубопровод. Диаметр заборных труб должен быть настолько большим, чтобы труба могла покрыть максимальную потребность снабжаемого района в воде. Нередко бывает целесообразным приспособить поперечное сечение труб даже к максимальному дебиту источника. Таким путем можно удовлетворить и последующее повышение расхода воды. Во избежание захвата ила и песка, нижний край заборного трубопровода должен, как правило, быть, примерно, на 0,5—1,0 м выше дна сливного колодца, так как тщательно устроенный каптаж источника должен всегда давать воду, свободную от подобных примесей.

3. Водослив. При источниках, обладающих равномерным дебитом, можно иногда обходиться без водослива. Напротив того, при больших колебаниях дебита устройство водослива необходимо. Водосливные трубы должны быть рассчитаны таким образом, чтобы при закрытых со всех сторон каптажах источников каптажные сооружения не подвергались разрывающим напряжениям под напором заполняющей их воды. На рисунке 106 изображен дренажный каптаж с водосливом. В конце водосливной трубы следовало бы устанавливать самозапирающийся клапан для предохранения от попадания в каптаж насекомых. Для устранения попадания комаров и прочих мелких насекомых рекомендуется помещать конец водосливной трубы в постель из гравия или щебня.

4. Спуск. Сборный колодец каждой каптажной установки должен иметь спуск, размеры которого должны быть рассчитаны таким образом, чтобы при ремонтных работах люди могли входить в последний. Спуск снабжается задвижкой.

5. Вентиляция. Во многих каптажных установках по временам собирается плохой воздух, а также углекислота, которые должны удаляться через специальный воздухопровод. Кроме этого, вентиляция необходима и для того, чтобы зеркало источника не подвергалось вредным давлениям газа. Воздушник помещается в верхней точке перекрытия источника, а иногда для этой цели используется люк, закрывающий входное отверстие. Если каптаж устраивается таким образом, что доступ к нему возможен только путем его раскопки,

то для вентиляции может быть использован и водослив. Воздушники должны закрываться тонкими сетками во избежание проникновения через них насекомых.

6. Измерительные приспособления. Каждый более или менее значительный источник следовало бы снабжать автоматическим измерительным устройством, чтобы иметь возможность измерять колебания его дебита. Если дело касается объединенной одним каптажем группы источников, состоящей из ряда небольших ключей, то рекомендуется устраивать в конце каптажа специальный изме-

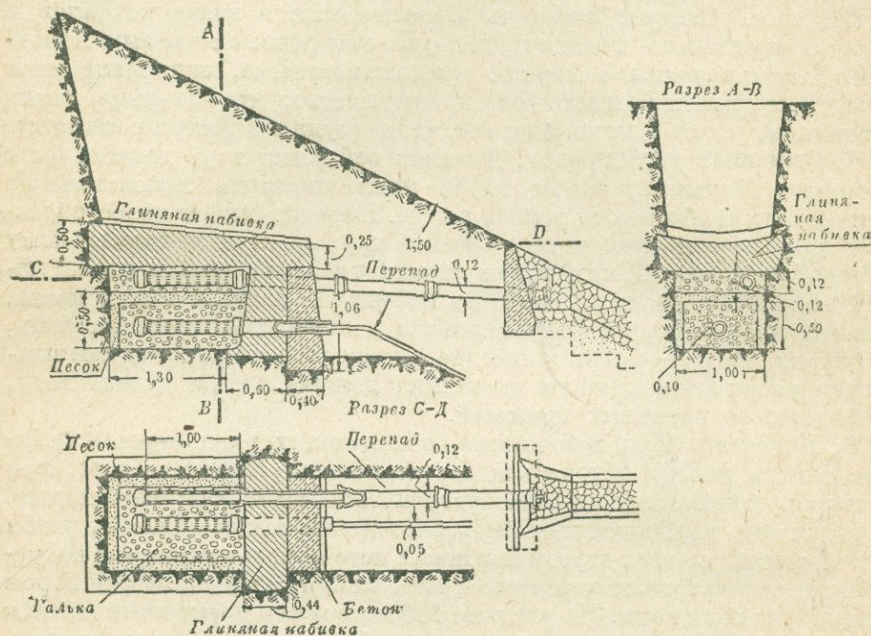


Рис. 106. Дренажный каптаж с водосливом (по Губеру).

рительный колодец. В качестве измерительного устройства можно прибегнуть к помощи водослива с саморегистрирующим барабаном, приводимым в действие часовым механизмом.

Источники, выносящие иногда песок, снабжаются специальным устройством для улавливания песка. Если ключевая вода обладает разрушающими свойствами (например, вследствие содержания в воде углекислоты), то рекомендуется применять специальные приспособления для удаления углекислоты, устраиваемые или в помещении самого источника, или в отдельном здании.

7. Строительные материалы. Возведение каменной кладки может вестись или сухим способом, или на растворе. Если для кладки применяется кирпич, то он должен быть хорошо обожжен. Лучше всего применять так называемый клинкер. Обыкновенный строительный кирпич легко разрыхляется и довольно скоро распадается. Можно

применять также бутовый камень, обладающий достаточной прочностью. Опорные поверхности этого камня должны тщательно обтесываться.

Раствор должен приготовляться из лучшего гидравлического цемента и свободного от примеси глины острогранного песка.

Бетон может применяться как таковой или в виде железобетона. Жирным смесям следует отдавать предпочтение перед тощими.

Штукатурка. В качестве материала для штукатурки лучше всего пригоден раствор с содержанием в смеси, примерно, 1 части цемента на 4 часть острогранного чистого песка.

Предохранительный покров особенно рекомендуется при воде, обладающей разрушающими свойствами. Инертоль, битолан и т. п. являются хорошими предохранительными средствами. Своды целесообразно покрывать асфальтом или асфальтовым войлоком во избежание образования сталлактитов и проникновения корней растений в каменную кладку.

Трубы могут быть железными, гончарными или бетонными и должны всегда покрываться хорошим защитным слоем. Перфорированные гончарные трубы являются самым лучшим материалом для инфильтрационных установок. Муфты, лежащие менее чем на 2,0—2,5 м под поверхностью земли, уплотняют асфальтом, так как этим путем лучше всего предотвращается проникновение в трубы корней. Глиняная и цементная набивки легко растрескиваются.

Окружающие трубы гравий и песок должны состоять из исключительно чистого, естественного и просеянного материала.

Г. Дерево в качестве строительного материала

Следовало бы принципиально не допускать употребления дерева при сооружении каптажей источников, так как, если оно не находится постоянно под водой, то оно легко гниет и становится рассадником органической жизни. Поэтому целесообразно и для рабочих подмостков применять вместо дерева бетонные плиты.

Д. Перекрытие и ограждение каптажей источников

Для перекрытия и ограждения каптажей источников, в целях предохранения от проникновения в них поверхностной воды и иных нежелательных примесей, наиболее пригодными, согласно преобладающему до настоящего времени мнению, являются пластичная глина и бетон. Однако следует заметить, что бетонная набивка обладает иногда тем недостатком, что она после затвердения начинает пропускать воду, причем самый бетон остается невредимым, а между бетоном и естественной почвой образуются промоины, через которые в каптаж могут попадать нежелательные примеси. Глиняные набивки обладают тем преимуществом, что они пластичны и считаются в общем совершенно надежным изолирующим средством. Однако, по мнению Г у г а (47), этот взгляд не всегда

оправдывается. Г у г указывает на два примера, когда глиняный набивной покров после высыхания глины был пронизан глубокими трещинами, в связи с чем он утратил свое изолирующее значение (рис. 107). Вследствие этого в водопроводную воду проникла навозная жижа. Правильность наблюдений Г у г а подтверждается обширными исследованиями «Комиссии по вопросам изоляции Швейцарского хозяйственного союза» (48). Последняя пришла к тому выводу, что использование глины в качестве уплотняющего и изолирующего материала допустимо лишь в тех случаях, когда глиняный изолирующий слой постоянно находится под водой или, в крайнем случае, когда он в достаточной мере защищен от прямого действия солнечных лучей, дождя и мороза. Этот вывод сделан на основании того, что в жирных глинах под влиянием высыхания почти неизбежно образуются более или менее глубокие усадочные трещины; под действием мороза такая глина распадается на отдельные куски, а при новом смачивании после полного высыхания она теряет свою пластичность.

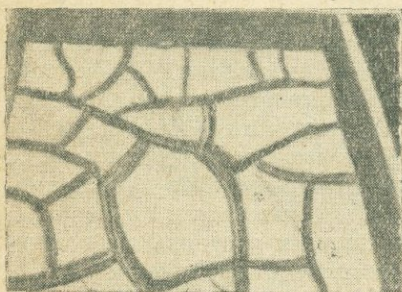


Рис. 107. Образование трещин в пластичной глине (по Гугу).

Поэтому целесообразно помещать над глиняным покровом еще и дерновый покров, препятствующий высыханию глины. По Г у г у, интенсивное образование трещин особенно характерно для чистых глин; глины, смешанные с песком и с гравием, более благоприятны. Из вышесказанного видно, что бетонные и глиняные покрытия являются лишь условно надежными. Там, где глиняные изолирующие покрытия попеременно подвергаются увлажнению и высыханию и где солнце и мороз могут влиять на них, там лучшие результаты достигаются при применении чистого мелкого песка. Такой песок не ссыхается и не имеет склонности ни к образованию трещин, ни к образованию промоин, а вследствие своей высокой фильтрующей способности может до известной степени обезвреживать притекающие загрязненные жидкости.

27. ПОВЫШЕНИЕ ДЕБИТА ИСТОЧНИКА ШУТЕМ ЦЕЛЕСООБРАЗНОГО УСТРОЙСТВА КАПТАЖА

Целесообразным устройством каптажа можно иногда повысить дебит источника. Так, например, дебит каптированного источника Ранна (Нюрнберг) повысился с 250 до 350 л/сек., дебит каптажа в Нанси, вследствие подпора, увеличен с 6—7 до, примерно, 60 л/сек., а дебит источников Донка (Саксонский Реген) (Sächsisch-Regen) — с 25,0 до 34,5 л/сек.

Измерения, произведенные над Кайзербрунненом и над Стиксенштейнским источником города Вены, лишь в первые годы после устройства каптажа показали большие минимумы. В остальном оказалось, что после вовлечения в сферу каптажа водных притоков, которые, правда, прежде не оказывали влияния на источник, общий годовой результат и максимум стали больше, в то время как минимумы стали меньше, нежели прежде. Это является следствием облегченного притока воды к источникам, который получил в связи с этим возможность быстрее понижать зеркало воды.

28. ПРИМЕРЫ КАПТАЖЕЙ ИСТОЧНИКОВ

Применение основных положений, приведенных в абзаце «Общие замечания о сооружении каптажей источников», будет ниже подробно освещено на практических примерах. Появление источников в одном и том же геологическом образовании может быть крайне разнообразно. Поэтому не может быть и речи о какой-либо схеме при рассмотрении вопроса об их каптаже в смысле определенных правил. Каждый источник представляет собой отдельный индивидуум и должен рассматриваться самостоятельно в соответствии с присущими ему особенностями.

А. Простые, недоступные каптажи

У дна долины с какой-нибудь стороны обычно выступают пластовые источники. Выход источника расположен в этом случае непосредственно на подстилающем водонепроницаемом пласте, а водоносный пласт в большинстве случаев лежит неглубоко. При этих условиях целесообразно пользоваться простейшими методами каптажа, приведенными на рисунке 108—112.

При большей мощности водоносного пласта рекомендуются каптажи, изображенные на рисунках 113 и 114.

На рисунке 115 изображен каптаж из гончарных плит, с косо расположенными впускными отверстиями по Кюо (Cuau).

Если источник выступает на поверхность в котловине, то достаточно короткой преграждающей каменной стенки, позади которой устраивается каменный дренаж (рис. 116).

Если водонепроницаемый пласт залегает не совсем горизонтально, а волнообразно, то рекомендуется разделить каптаж, согласно рисунку 117, на отдельные небольшие каптажные секции, вода которых отводится в один общий сборный колодец.

При небольших источниках часто бывает достаточным простой каптаж, выполненный по системе Г у б е р а (рис. 118).

Если взаимно связанные источники выступают на поверхность на более длинном участке, то следует оградить весь район выходов источников длинной каменной стеной. Эта оградительная стенка делается из бетона толщиной от 0,30 до 0,50 м. Во избежание выхода

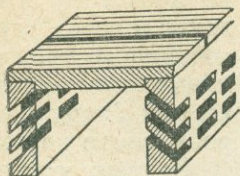


Рис. 115. Каптаж из гончарных плит (по Кюо; Снам).

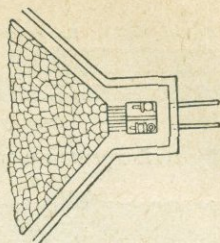


Рис. 116. Каптаж в котловине (Баварское государственное управление по водоснабжению).

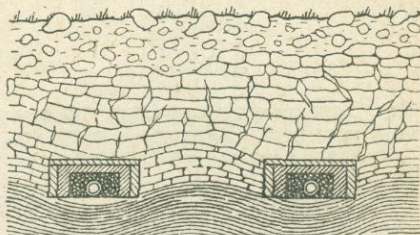
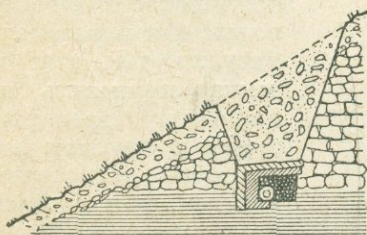


Рис. 117. Раздельный каптаж источника при волнообразном залегании водонепроницаемого подстилающего слоя (Баварское государственное управление по водоснабжению).

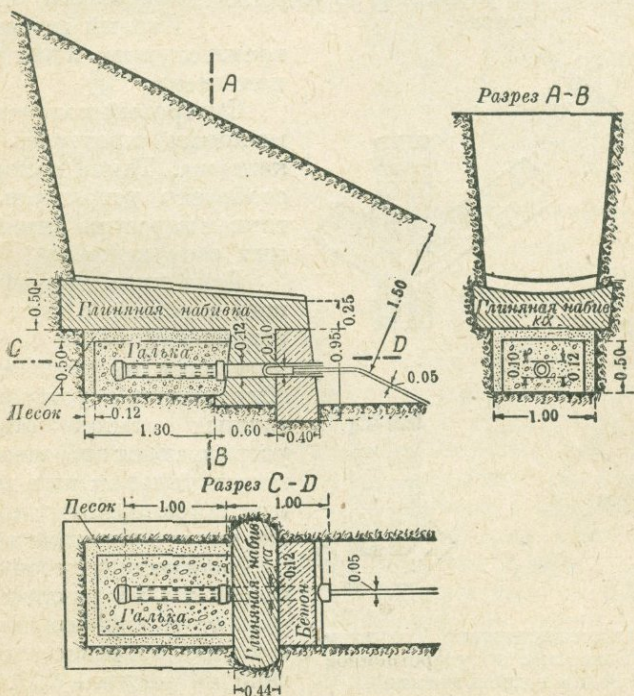


Рис. 118. Простой каптаж источника (по Губеру).

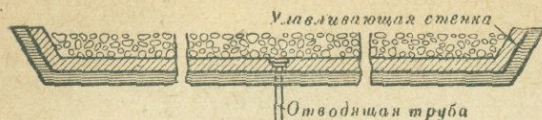


Рис. 119. Простой дренаж с каменной набивкой.

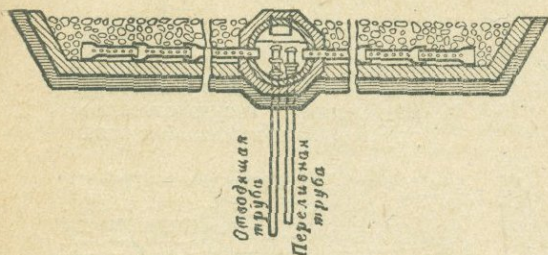


Рис. 120. Дренаж с дренажными трубами и водосборным колодезем (Баварское государственное управление по водоснабжению).

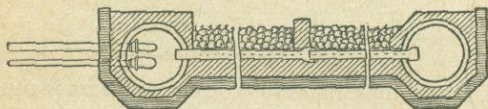


Рис. 121. Дренаж с водосборным и смотровым колодезями (Баварское управление по водоснабжению).

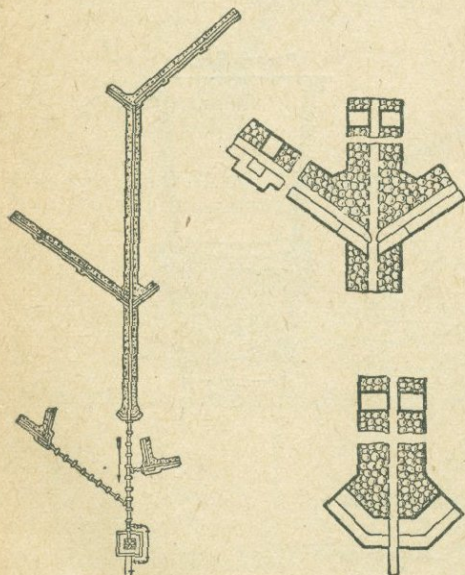


Рис. 122. Каптаж источника Траухгау в Баварии (Баварское государственное управление по водоснабжению).

ключевой воды через не абсолютно плотный грунт и через случайно возникшие трещины в кладке, последняя окружается с наружной стороны слоем глины.

Каптаж может быть устроен при помощи одной только набивки камнем без специального водосборного колодца, как показано на рисунке 119, или же можно применить специальные дренажные трубы и отводить воду в особый водосборный колодец, как показано на рисунке 120.

На рисунке 121 изображен дренаж с боковым, водосборным и смотровым колодцами. Первый может в то же время служить и для улавливания песка.

Смотровый колодец дает возможность проверять действие каптажа. Такие колодцы целесообразно устраивать во всех точках перелома линий каптажных сооружений.

Если ключевая вода выступает в долине с двух сторон из водоносной толщи на более значительном протяжении, то необходимость в устройстве каптажных стенок отпадает, а устраиваются ограждения в перпендикулярном или диагональном направлении к линии каптажа, как это показано на рис. 122.

Если выходы источников расположены на различных уровнях, то можно их каптировать ступенчатообразно, как показано на рисунке 123.

При источниках, вытекающих не со стороны склона долины, питаемых водой снизу, каптаж должен вскрыть водоносные пласты, лежащие под дном долины. Это легче всего сделать или путем насыпки камня, раскопки или устройством колодцев. Раскопка целесообразна при умеренном напоре воды и не слишком большой мощности водоносного пласта, а опускание колодца или бурение — когда приток обуславливает большие строительные трудности при сооружении каптажа и когда водоносные пласты обладают большой мощностью.

Так, например, восходящие источники, по рисунку 124, каптированы сетью дренажных каналов с кирпичной кладкой, а по рисунку 125 — при помощи каменной засыпки, окруженной шпунтовым

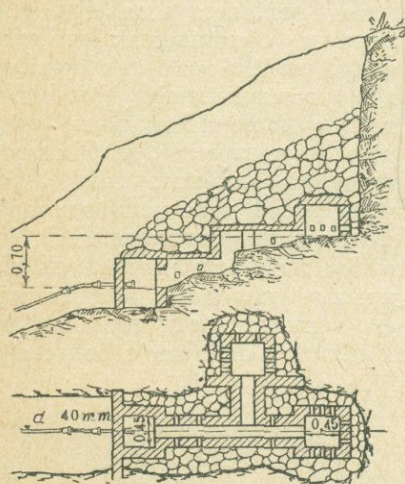


Рис. 123. Каптаж двух источников, лежащих друг над другом (по Фридриху).

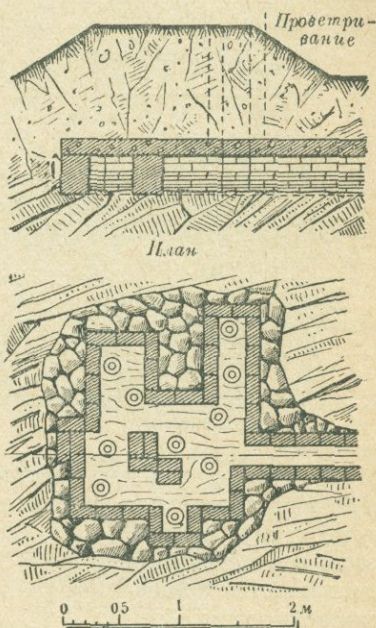


Рис. 124. Каптаж при помощи дренажных каналов из кирпичной кладки (по Люббегеру).

рядом свай, лучше всего бетонных. В обоих случаях возможность проникновения поверхностной воды предотвращается покровом из бетона или глины.

В качестве примера каптированных плотинных или барьерных источников могут служить источники окрестностей Ранны близ Нюрнберга, районом питания которых являются выходы трещиноватых доломитов. Благодаря водонепроницаемому намытому материалу они настолько сильно подпираются, что вблизи Пегница они выбиваются на поверхность. Каптаж устроен непосредственно над тем местом, где вода выбивается на поверхность, путем окружения его каменной кладкой, прокладкой сборной трубы в каменной засыпке (с величиной щебня в 30—50 см). Защитный покров состоит

из гальки, песка, железобетонного перекрытия, толщиной в 20 см, и земляной насыпки (рис. 126 — 128).

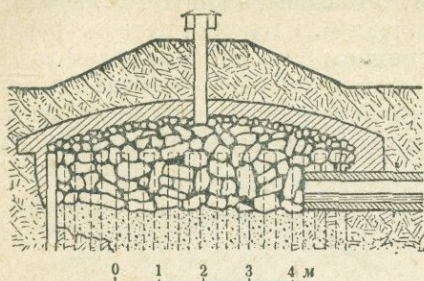


Рис. 125. Каптаж при помощи каменной засыпки.

Каптаж, так как достижение свойств глинистых перекрывающих пластов связано с большими трудностями. В связи с этим все источники охватываются по возможности одним сборным колодезем, дно которого остается открытым.

Небольшой восходящий источник можно также каптировать при помощи вертикальной перфорированной гончарной трубы (рис. 130).

Каптажная труба установлена на бетонной плите и закрыта крышкой. Приток воды происходит через стенки, сложенные насухо.

По Го х е д е р у, приходится нередко устраивать каптажи на склонах долин, врезающихся в аллювиальные галечники, заполненные

При источниках с сильным напором, выбивающихся, например, из заиленных обломков песчаника, что наблюдается в области распространения пестрого песчаника, рекомендуется, по Го х е д е р у (Nocheder) (19), все источники каптировать одним сборным колодезем с открытым дном, а стенки колодца обосновывать на ростверке (рис. 129). Такой метод рекомендуется при заиленных обломках камня потому, что во всех тех местах, где прокапываются канавы, также выступает вода, как только котлован углубляется ниже уровня источника, причем самый источник одновременно полностью иссякает. Поэтому избегают устраивать закрытые колодцы вблизи са-

мого каптажа, так как достижение свойств глинистых перекрывающих пластов связано с большими трудностями.

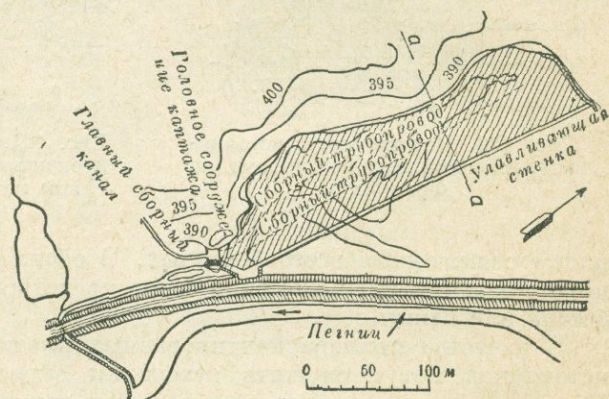


Рис. 126. Ситуационный план каптажа источника близ Ранны.



Рис. 127. Поперечный разрез через каптаж источника близ Ранны.



Рис. 128. Заполнение каптажа источника близ Ранны.

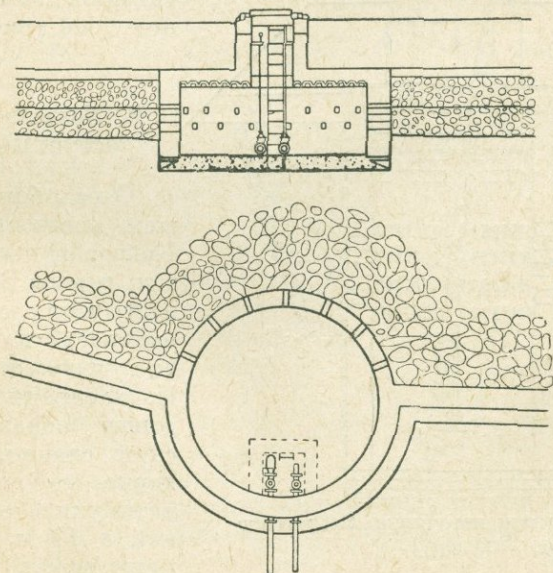


Рис. 129. Каптаж источника Триппштадт при помощи открытого сборного колодца (по Гохедеру).

у поверхности глинами. Эти каптажи со стороны дна долины граничат с суглинком, а со стороны склона расположены в галечнике и даже на большой

глубине не встречаются никакой водонепроницаемой подошвы. В таких случаях рекомендуется применять каптаж, изображенный на рисунке 131, представляющий собой уже переход к колодцу для каптажа грунтовых вод.

Если под слабопроницаемым пластом залегает еще водоносный пласт и если ниже находятся еще дальнейшие, полностью изолированные, водоносные пласты, то следует закладывать горизонтальные дренажные галереи только в верхнем горизонте, а нижние вскрывать при помощи буровых скважин или шахтных колодцев (рис. 132).

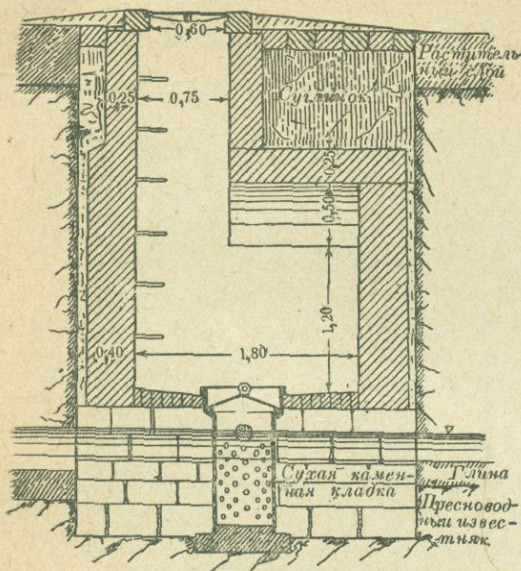


Рис. 130. Каптаж при помощи вертикальной гончарной трубы (по Фридриху).

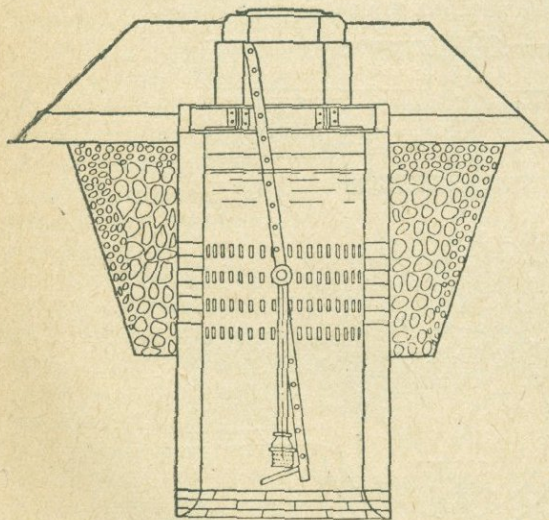


Рис. 131. Каптаж источника Альтоттинг (по Гохедеру).

Б. Большие, отчасти доступные каптажи

Очень большим каптажем источника является Кайзербрунненский каптаж города Вены. Питающая этот колодец вода вытекает из трещиноватых известняков триаса. Водонепроницаемую подошву образует верфенский сланец. При проходе рабочей штольни наткнулись на грот длинной в 17 м и шириной, примерно, в 1 м, в котором в пяти местах изливались мощные источники. Каптаж состоит из водонапорного бассейна, сложенного из песчаника, со сточной штоль-

ней и водосливом. Очистка может осуществляться через специальный колодец.

Сравнительно просто устроен каптаж источника Капоселле в Апулии. Дебит его составляет зимой, примерно, $4,5 \text{ м}^3/\text{сек.}$, а летом

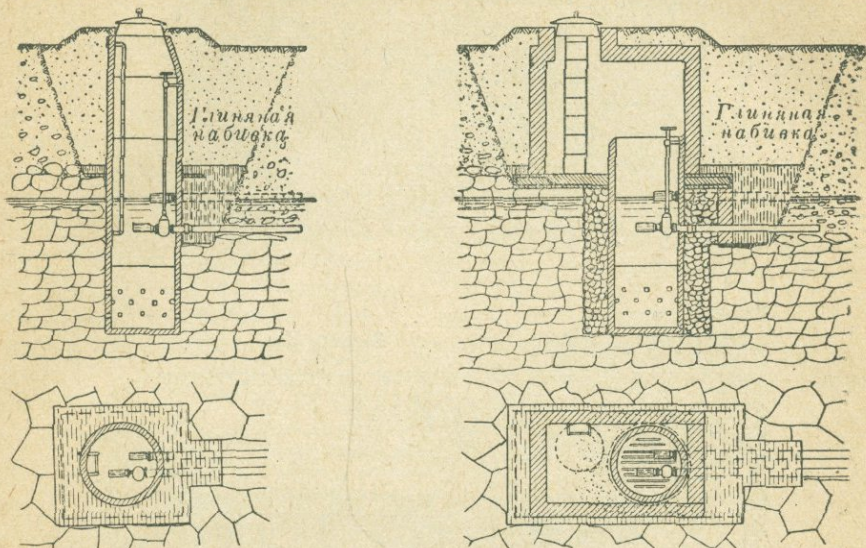


Рис. 132. Каптаж глубоко лежащего источника [система Кола (Köhl)] и Баварского государственного управления по водоснабжению.

$5,5 \text{ м}^3/\text{сек.}$ Так как здесь водонепроницаемые известняки не пропускают ни капли воды, то, согласно Галлеру (Haller) (49) и Фаторини (Fattorini) (50), работы по каптированию ограничивались, по существу, возведением оградительной каменной стены толщиной в 2 м, верх которой лежит на 2,45 м выше естественного уровня воды источника, и проведением 12 дренажных штолен различной длины с поперечным сечением в $0,80 \times 1,20 \text{ м}$ (рис. 135—137).

Источники Сент-Томас каптируются по системе Бехмана (Bachmann) и Бабине (Babinet) (51) при помощи выработок, глубоко проникающих в грунт. Источники находятся в области разлива реки Люнен и относятся к группе источников Лоинг-Люнен.

Каптаж сооружен в мелу при помощи каменного опускного колодца диаметром в свету в 3,40 м (рис. 138). Ввиду того что грунт

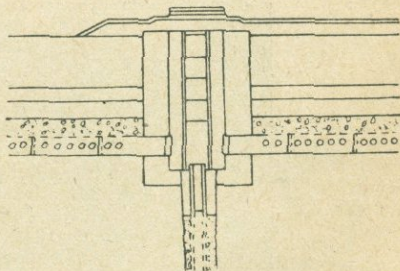


Рис. 133. Дренажный каптаж Розенгейм. Буровой колодец (по Гохе-деру).

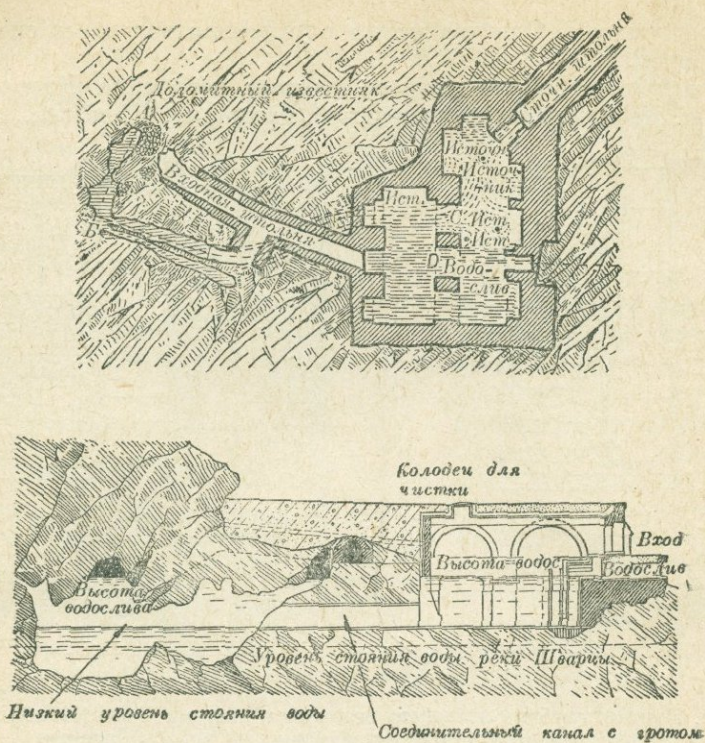


Рис. 134. Каптаж источника Кайзербруннен города Вены.

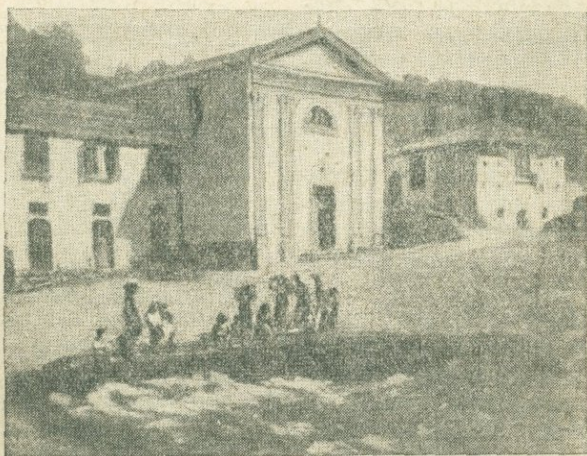


Рис. 135. Источники Капоселле до каптажа.

частично состоит из торфа, каптажная установка опирается на своды, покоящиеся на сваях. Дебит источника составляет около 240 л/сек. при депрессии зеркала, примерно, в 8 м.

В. Каптажные штольни

Каптажные штольни могут с успехом закладываться как в пльвунах, так и в плотных горных породах. Крайне интересной каптажной штольней в пльвунах является Рейзакский каптаж города Мюнхена. Он каптирует стекающую в котловину воду таким образом, что в котловине отложения гравия перерезаются глубокими каналами совершенно так, как происходит отвод воды из котловины посредством донного стока (рис. 139 и 140).

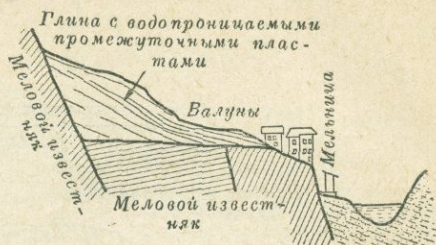


Рис. 136. Разрез через каптаж источника Капоселле (по Джамбарба) (Giambarba).

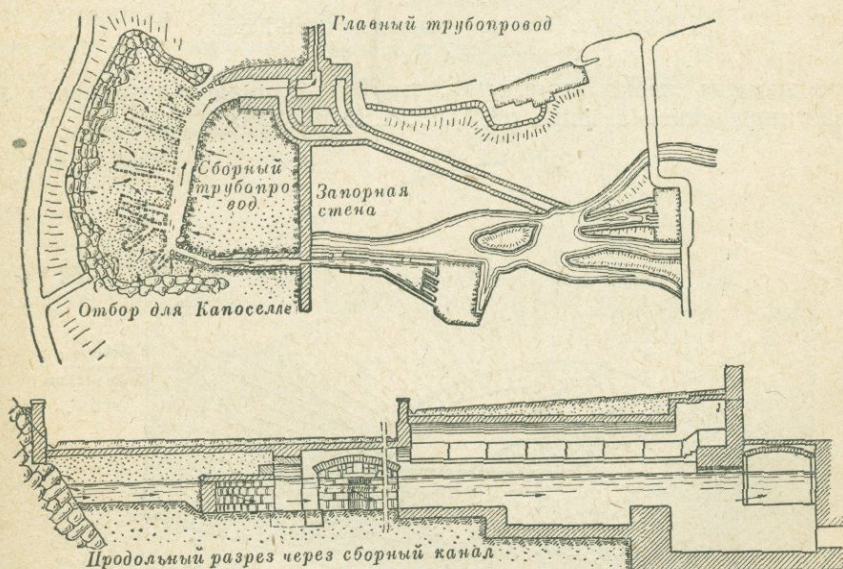


Рис. 137. Каптаж источника Капоселле.

Каптаж штольнями в пльвучих горных породах рекомендуется в том случае, когда приходится иметь дело с большими количествами воды и каптаж должен закладываться очень глубоко. В таких случаях процесс работ открытыми канавами не всегда дает хорошие результаты. Каптаж близ Рейзхаха осуществлен четырьмя,

проведенными в плавучей горной породе штольнями, открывающимися в сборную шахту, построенную в виде каптажного узла. Пита-

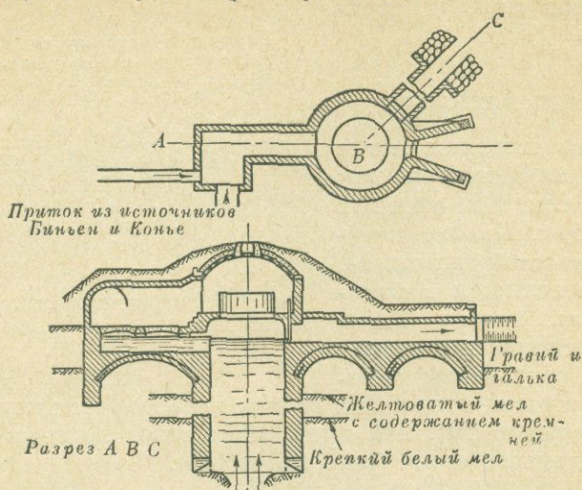


Рис. 138. Каптаж источника Сент-Томас (по Бехману и Бабине).

ющие каналы лежат, примерно, на 9,5 м ниже поверхности и имеют поперечное сечение от $2,0 \times 1,35$ до $1,80 \times 1,15$ м.

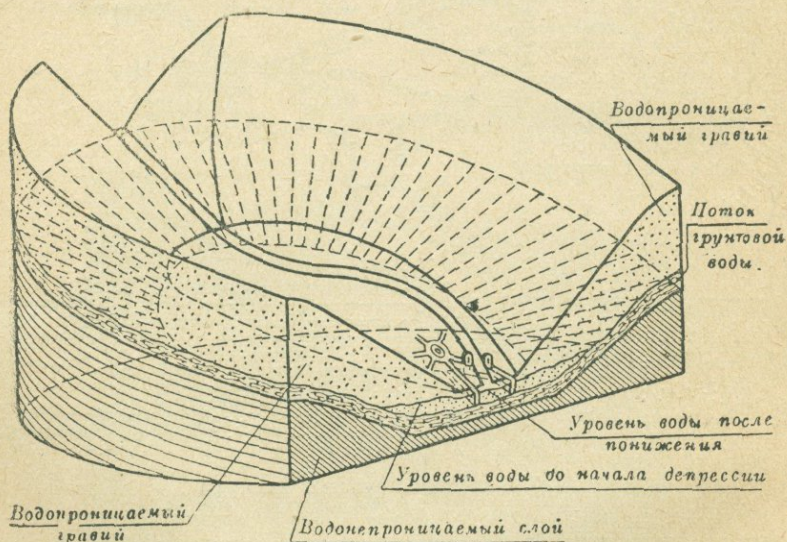


Рис. 139. Схема бассейна источника близ Рейхзаха (по юбилейному сборнику города Мюнхена 1912 г.).

Однако и при плотных породах не всегда открытые каналы производят к цели, и когда налегающая толща очень велика, приходится

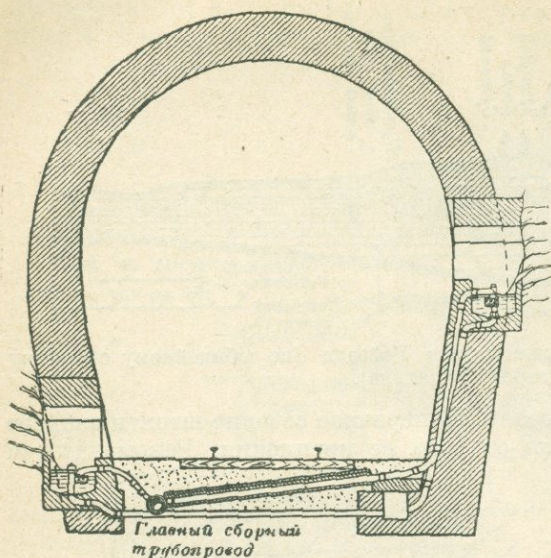


Рис. 144. Каптажная штольня Кургеней (по Ризеру, Берн).

Там, где штольня остается доступной, можно выпускать воду непосредственно в штольню, не прибегая ни к каким специальным каптажным сооружениям, и спускать ее по канавке в подошве штольни (рис. 142). Путем перемещения канавки на середину подошвы справа и слева создаются площадки, достаточно широкие для прохода.

Однако с гигиенической точки зрения целесообразно ключевую воду в штольне не оставлять открытой, но давать ей стечь по защищенному от за-

грязнения трубопроводу, как это показано на рисунке 143. Такой каптаж сделан в городе Баден-Баден. Каптаж состоит из

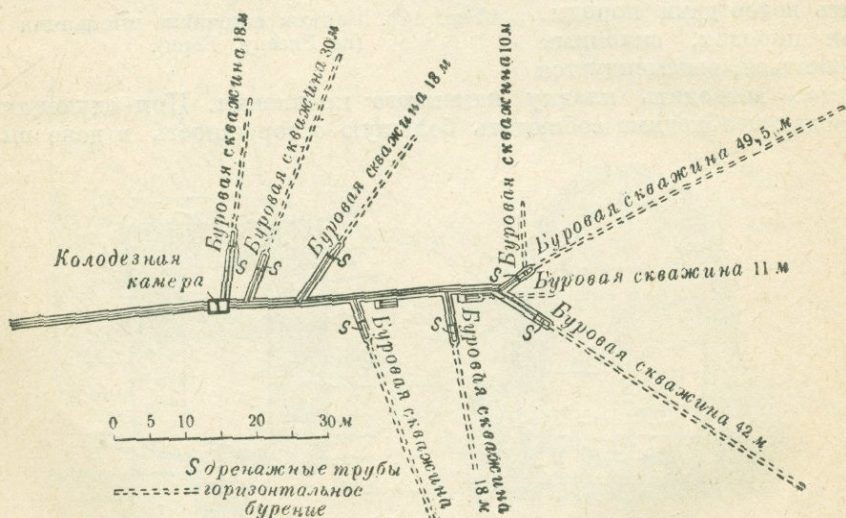


Рис. 145. Каптажи Иннерберг в молассе (по Ризеру, Берн).

штольни диаметром в свету в $1,60 \times 0,70$ м и допускает свободный проход людей.

Во всех тех местах, где в штольню вливается более сильный источник, в стенке устроены ниши, а служащий для отвода ключевой воды цементный трубопровод открыт со стороны, обращенной к нише. Подошва штольни дренирована особо для того, чтобы ни капельная, ни иная какая-либо вода не попала в ключевую воду. Сухая каменная кладка стенок штольни тщательно возведена, а подошва и, примерно, 20 см примыкающей стенки покрыты слоем цементной штукатурки.

По сообщениям Г. С. Ризера (H. C. Ryser), в каптаже Кургеней были приняты специальные предохранительные меры против загрязнений (рис. 144). Ключевая вода, вытекающая из ниш, течет к сборному трубопроводу по закрытым трубкам.

Г. С. Ризер построил в Швейцарии в молассовом песчанике (миоцен) каптажную штольню, которая обошлась очень дешево. Вследствие различной твердости горных пород в молассе могут применяться как дренажные каналы, так и каптажные штольни. Характерной особенностью молассового яруса является то, что он пронизан многочисленными трещинами, в которых накапливается и из которых вытекает вода.

Часто секрет количественного успеха каптажа заключается в вертикальном пересечении возможно большего числа трещин. Так как, с одной стороны, проводка каналов или штолен обходится слишком дорого, а в то же время горные породы не очень тверды,

то с успехом можно применить горизонтальное бурение, особенно в тех случаях, когда трещины имеют приблизительно вертикальное направление. Процесс работ заключается тогда, по данным Ризера, в том, что сначала в поверхности делается на глубину, примерно, 4—6 м выемка, после чего начинается бурение. Буровая скважина закладывается, примерно, на 0,5 м выше дна выемки. В качестве бурового инструмента применяется стальной бур, а гальванизированная перфорированная труба служит в качестве каптажа (рис. 145 и 146). Проходка скважин относительно велика: 4—5 рабочих могут пробурить в день до 25 м. Встречаются буровые скважины длиной до 60 м.



Рис. 146. Источники, вскрытые в молассе бурением (по Г. С. Ризеру, Берн).

Г. Вскрытие воды при проходке туннелей и штолен

Случайно вскрытые источники встречаются при проходке туннелей.

Из нижеследующей сводки ясно вытекает, насколько различны количества воды, вскрытые туннельными работами, в зависимости от длины туннеля, рода горной породы и времени года.

Таблица 8

Туннель	Длина (в м)	Сток (в л/сек.)		Геологическое образование	Примечания
		максимум	минимум		
Сен-Готард .	14 984	348	230	Гнейс, иногда превратившийся в глину	Наибольшая инфильтрация летом при таянии снега, максимум в сентябре и октябре.
Арльберг . .	10 249	15	—	Слюдяной сланец, гнейс, кварц	Количество в 15 л/сек. стекало лишь несколько дней.
Турсино . .	6 427	117	74	Изверженные породы, сланцы	Максимум в октябре, минимум в апреле.
Альбула . .	5 806	319	—	Сланец, мергель, гранит	В 1197 м количество 210 до 230 л/сек.
Коль де Тенд	8 099	1000	300		Максимум в мае — июне, во время таяния снега, и в октябре до ноября, во время осенних дождей.

И в штольнях, служащих только в целях добычи воды, водоносность различных горных пород чрезвычайно колеблется. Так, например, по данным М и х е л ь с а (Michels) (52), штольни для питьевой воды в юго-восточных рейнских сланцевых горных породах (Таунус) дают на каждый погонный метр штольни в сутки нижеследующие количества воды (м³).

Таблица 9

Шт	Филлит, или метаморфизованные изверженные породы (в м ³)	Серовакковый сланец (в м ³)	Кварцит таунуса (в м ³)
Мюнцберг	0,38	—	3,05
Келлеркопф	0,19	—	1,78
Крестовая штольня	0,20	—	1,43
Шаферскопф	0,45	—	1,43
Гомбург (3 штольни)	0,43	0,90	2,00
Рюдесгейм	—	—	0,36

Д. Каптаж штольнями с накоплением воды

В источниках, вскрываемых штольнями, естественный дебит которых максимально снижается в середине лета, т. е. во время наибольшего расхода воды, можно летний дебит искусственно повысить тем, что весной и осенью вода в водопроницаемых пластах искусственно подпирается. Однако такой подпор практически возможен только при совершенно определенных геологических условиях, требуя в первую очередь чередования крутопадающих водопроницаемых и водонепроницаемых пластов достаточной мощности.

Первая штольня этого рода была построена Винтером для водоснабжения города Висбадена (53). Каптаж состоит из нескольких штолен, вскрывших богатые водой кварцитовые пласты позади бедных водой, довольно непроницаемых филлитов (рис. 147 и 148).

В качестве запруживающих устройств служат специальные затворы штолен, даю-

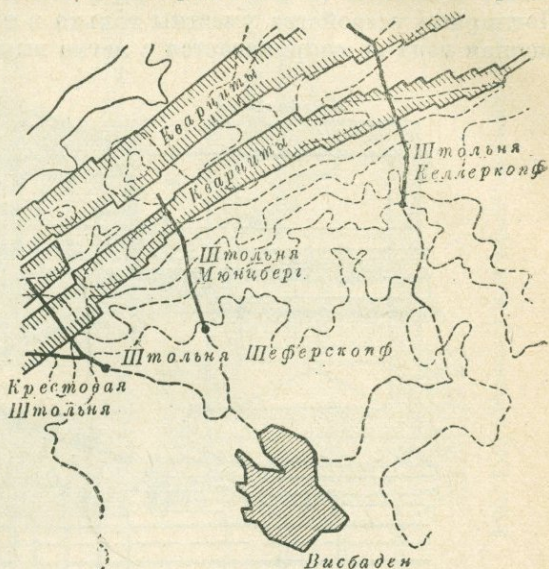


Рис. 147. Ситуационный план каптажа штольнями в городе Висбадене [по Гальбертсма и Спизеру (Halbertsma u. Spieser)].

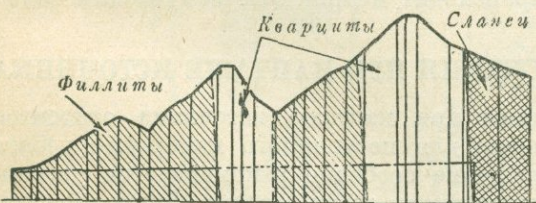


Рис. 148. Разрез через штольни Келлеркопф (по Гальбертсма и Спизеру).

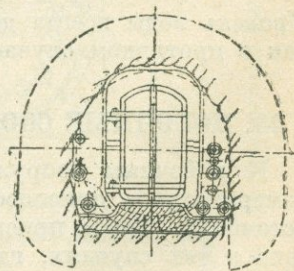


Рис. 149. Дверь перемычки в штольне Келлеркопф.

щие возможность подпирать воду в трещинах и щелях кварцита до высоты, примерно, в 170 м выше подошвы штольни и накопить таким путем запас воды более чем в полмиллиона кубических метров для повышенного летнего расхода воды. В качестве

затворов служит массив кладки с дверями. Сточные трубы и запорные приспособления заделаны в каменную кладку (рис. 149 и 150).

По И м б о (54), подобные установки имеются в Брюсселе (в песках), в Нанси (в известняках), в Санта-Барбара (в песчанике). Подпорные устройства уместны только в том случае, когда подпруженная вода не соприкасается с легко выщелачиваемыми породами.

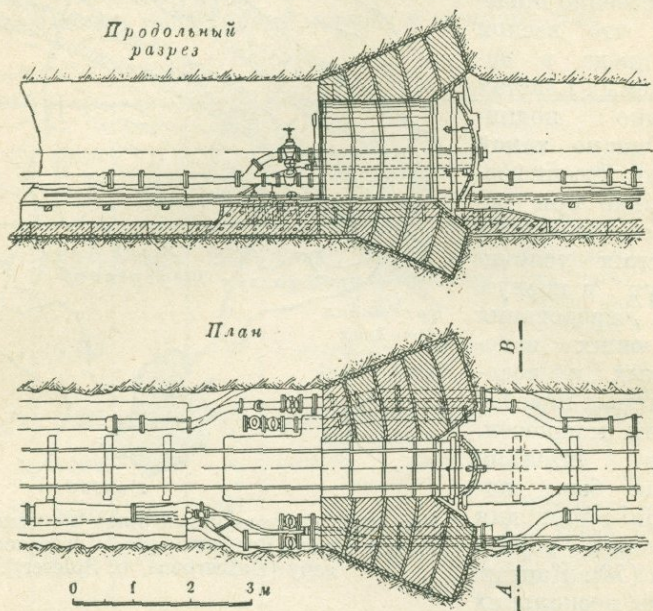


Рис. 150. Перемычка, замыкающая штольню Келлеркопф (продольный разрез и план).

Уровень воды всегда должен оставаться ниже таких пластов, так как в противном случае происходят неприятные замутнения воды.

29. ПОБОЧНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ПРИ КАПТАЖЕ ИСТОЧНИКА

К побочным сооружениям при каптаже источника относится измерительное приспособление для постоянного измерения дебита источника. Такое приспособление особенно рекомендуется устраивать в тех случаях, где приходится иметь дело с более высоким дебитом и сильными колебаниями последнего. Изменение дебита вместе с измерениями выпадающих осадков освещает гидрологический характер источника и его связь с поверхностью.

В качестве измерительных устройств прежде всего рекомендуются перепады с самописцем. (Более подробные данные об измерениях при помощи водосливов см. в первой части «Гидрогеологии», а также у Ш т а у с а (55).

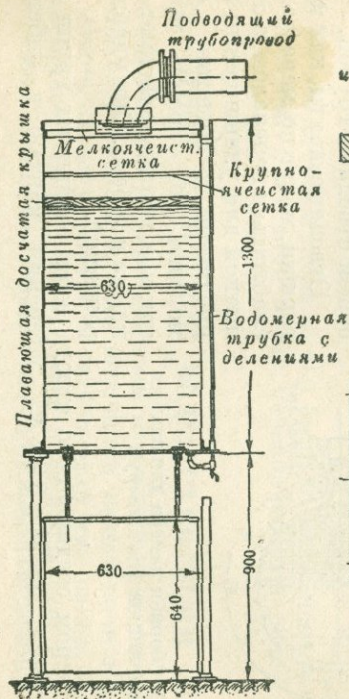


Рис. 151. Данаида с 16 отверстиями (по Штаусу).

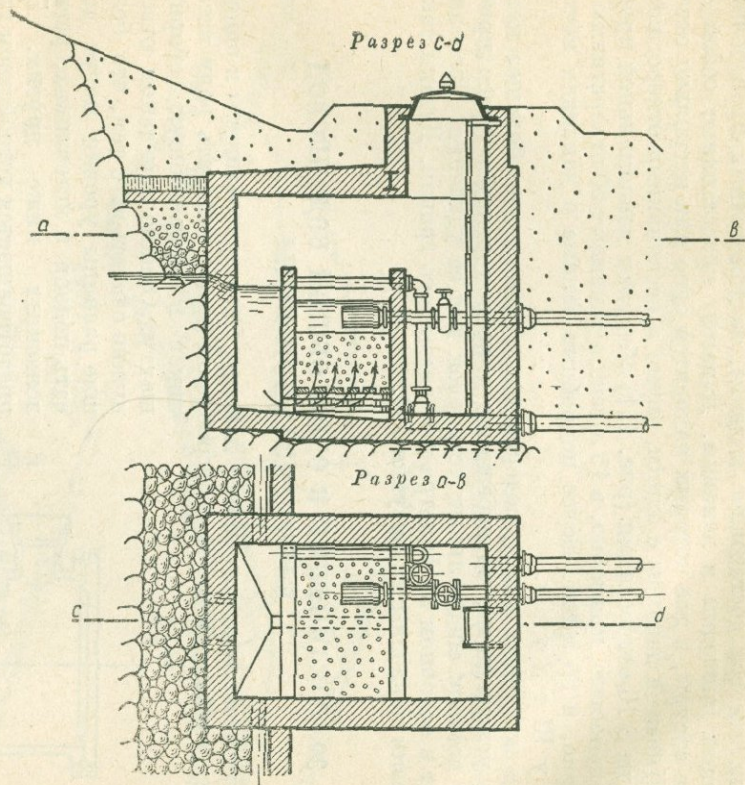
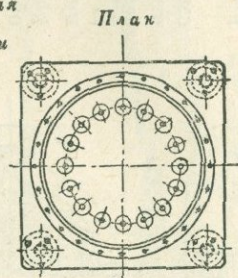
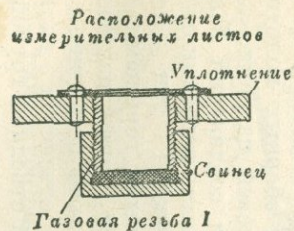


Рис. 152. Установка для удаления углекислоты.

Если имеется достаточное падение, то для точных проверочных измерений пригодны и данаиды. Данаиды представляют собой открытые сосуды, в дне которых находится одно или несколько отверстий. Имеются данаиды с одним, двумя и несколькими отверстиями. Данаиды с 16 отверстиями (рис. 151) обладают максимальной производительностью, примерно, в 15 л/сек., а данаиды с 60 отверстиями — примерно, в 60 л/сек. Более подробные данные о данаидах можно найти у Ш т а у с а.

При ключевых водах, содержащих сравнительно большое количество углекислоты, во избежание коррозии рекомендуется прибегать к помощи специальных установок для ее удаления. Последние состоят в основном из фильтра из мраморного гравия. Детали такой установки показаны на рисунке 152.

30. СОЕДИНЕНИЕ В ОДИН ОБЩИЙ ВОДОПРОВОД КАПИТИРОВАННОЙ ВОДЫ

Если несколько источников должны быть присоединены к одному общему трубопроводу, то целесообразнее всего отводить воду источников в одну общую сборную шахту. Однако при таком отводе нужно считаться с тем, что большие разницы уровня могут вызвать подпор в источниках, расположенных ниже других. Это предотвращается устройством глубоких сборных колодцев и прерывателей падения.

Для соединения более слабых смежных источников с успехом пользуются так называемыми «сборными горшками» (рис. 153). В этот горшок изливаются тогда несколько источников, вода которых отводится дальше одной общей отводной трубой.

Отводные шахты, как и сборные горшки, могут по мере надобности снабжаться перепадом, а также решеткой для улавливания крупных предметов. Решетка особенно полезна во время постройки, так как иногда попадают в трубы камни и дерево. Они улавливаются решеткой.

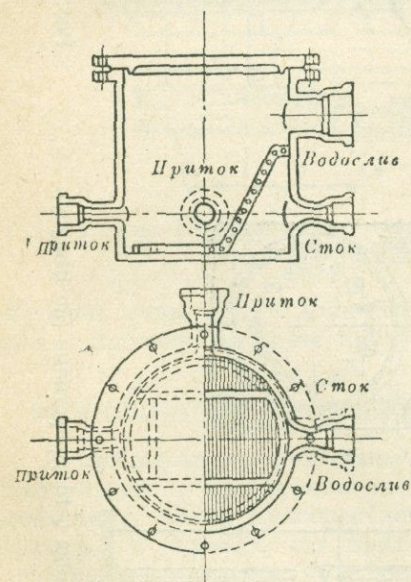


Рис. 153. Сборная камера для слабых источников (по Губеру).

Примером соединенного отвода воды различных групп источников служит, по Г у б е р у, регенский каптаж в Зибенбюргене

(рис. 154). Так называемые источники Донка давали до каптажа 25 л/сек., а позднее:

у измерительной шахты	I	.....	4,9 л/сек.
»	»	.....	8,9 »
»	»	.....	3,5 »
»	»	.....	8,9 »
			26,2 л/сек.

Для каптажа были обнажены все трещины и забетонированы, начиная сверху, жирным цементным раствором. Ручей был отведен,

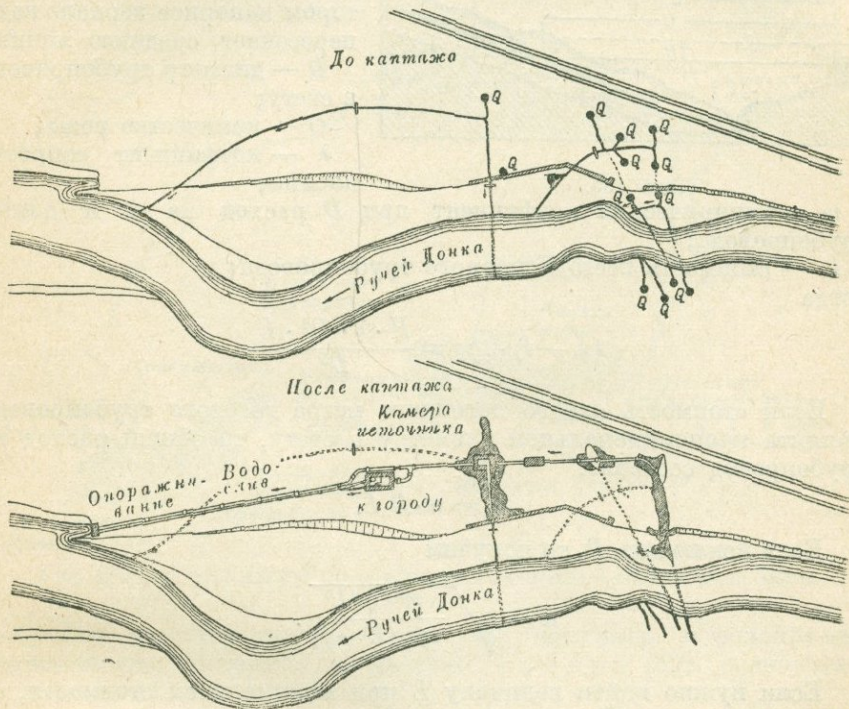


Рис. 154. Каптаж источника в Саксонском Регене (по Губеру).

и трещины по обе стороны ложа ручья были и в его ложе закрыты таким же образом. Благодаря этому первоначальный дебит повысился с 25 л/сек. до 34,5 л/сек.

31. ОТВОД КЛЮЧЕВОЙ ВОДЫ САМОТЕКОМ

Если в какой-либо долине имеются источники, расположенные на различных горизонтах, и если источники лежат настолько высоко, что можно их воду отвести в снабжаемый ими район, используя естественное падение, то наиболее целесообразным каптажем является каптаж, связанный с наименьшей стоимостью водопровода.

Наиболее целесообразное положение каптажа определяется, по Вейрауху (Weurauch) (58), следующим образом (рис. 155):

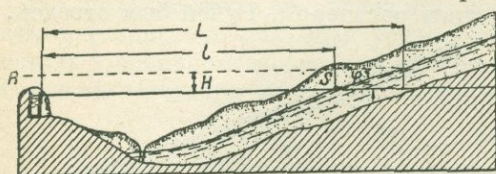
Пусть:

B — напорный резервуар;

H — высота каптажа источника над наивысшим уровнем воды в резервуаре,

L — расстояние каптажа источника от напорного резервуара;

φ — угол, образуемый средней соединительной линией между отдельными местами источников с горизонтальной;



l — удаление места, на котором напорное зеркало воды пересекает среднюю линию;

D — диаметр трубопровода в свету;

Q — количество воды;

λ — коэффициент сопротивления;

Рис. 155.

m — эмпирический коэффициент при D расход на 1 м длины трубопровода;

k — стоимость всего напорного трубопровода;

тогда

$$(L-l) \cdot \operatorname{tg} \varphi = \frac{H \cdot \lambda \cdot Q^3 \cdot L}{D^5}.$$

Если стоимость одного погонного метра готового трубопровода принята пропорциональной диаметру в свету, то общий расход на трубопровод составит:

$$K = m \cdot D \cdot L.$$

Если исключить D , то получим

$$K = \sqrt[5]{\frac{m^5 \lambda Q^3 L^6}{\operatorname{tg} \varphi (L-l)}}.$$

Если нужно найти величину L при минимальной стоимости, то надо дифференциал K определить по L и приравнять его нулю.

Тогда получим:

$$QL^5(L-l) - L^6 = 0;$$

$$L = \frac{6}{5} l.$$

Этот расчет действителен только в том случае, когда трубопровод имеет приблизительно одинаковое падение. Если в наклоне имеются переломы, то наиболее экономичный вариант может быть установлен лишь путем сравнения стоимости.

Примером двойного трубопровода с естественным падением служит I и II напорный трубопровод города Вены (рис. 156, а и в).

32. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УКЛОНА ТРУБОПРОВОДА В ЦЕЛЯХ ЭКОНОМИИ СТОИМОСТИ ТРУБ

При каптажах источников, лежащих по сравнению с районом снабжения очень высоко, большой уклон можно с успехом использовать для повышения пропускной способности и в целях экономии стоимости труб. Таким путем в диаметре трубопровода могут быть

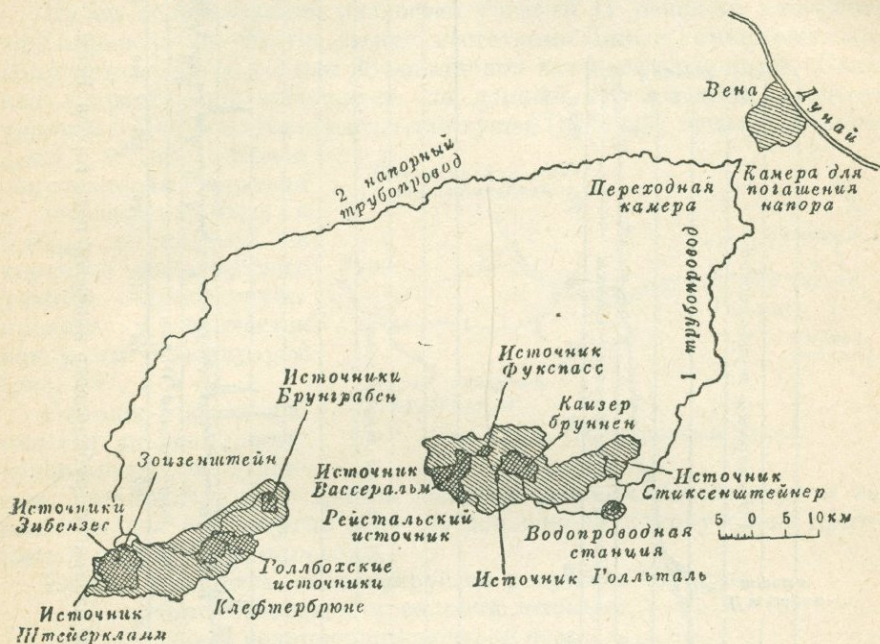


Рис. 156 а. I и II напорный трубопровод ключевой воды города Вены.

получены значительные градации, как, например, в водопроводе Германштадте, который, по данным Губера (57), располагает падением в 1135 м.

Таблица 10

Участок трубопровода от шахты к шахте	Длина (в м)	Падение (в м)	Удельное падение	Количество протекающей воды (л/сек.)	Диаметр труб (в мм)
0—1	4810,7	78,10	0,0162	80	250
1—2	2464,8	97,17	0,0394	80	200
2—3	696,7	100,00	0,1435	80	175
3—4	261,8	101,00	0,3858	80	150
4—5	4870,7	63,13	0,0129	80	250
5—6	734,5	80,90	0,1101	80	175
6—7	732,8	8,71	0,1150	75	175

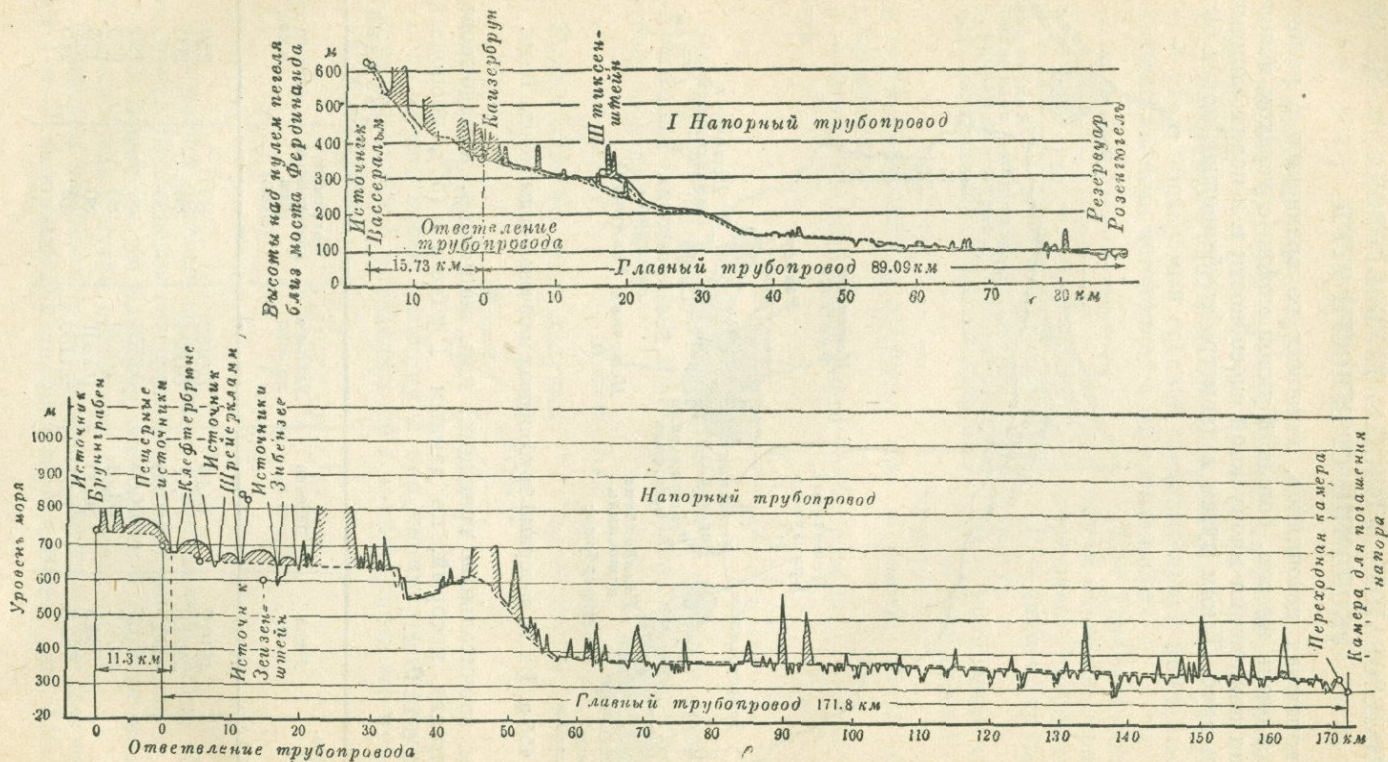


Рис. 156 в. Продольный разрез напорного трубопровода ключевой воды города Вены.

Если нельзя или если не хотят использовать падение для повышения напора в сети, то его избыток можно с успехом использовать для получения гидравлической энергии.

33. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УКЛОНА ТРУБОПРОВОДА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Путем использования разностей уровней II венского напорного трубопровода на участке между местечками Линц и Гоминг ежегодно получается 5000 л. с., или 28 миллионов квч электроэнергии. Силовая гидростанция использует, по данным К у н а (58), разности уровней в 193,95 м. Количество движущей (рабочей) воды составляет 2,315 м³/сек. Новая гидросиловая штольня с уклоном подошвы в 0,6⁰/₀₀ начинается с верхнего конца крутого участка старого трубопровода и кончается напорным резервуаром (рис. 157, а и в).

Отсюда вода направляется по напорному водопроводу к турбинам, установленным в здании силовой станции. После отдачи заключенной в ней энергии вода по подводному каналу снова притекает в старому трубопроводу.

Работа установки иллюстрируется рисунком 158, где:

- 1 — место ответвления силовой штольни,
- 1—7 — старый водопровод ключевой воды,
- 2 — уравнительная камера,
- 2—3 — уравнительная штольня,
- 1—2—4 — новая штольня,
- 4 — напорный бассейн,
- 4—5 — напорный трубопровод,
- 5 — турбины,
- 6 — синхронные водосбросы,
- 5 или 6—7 — отводный канал,
- 4—8 — водоспускной канал,
- 8 — гаситель (водобойный колодец)
- 9 — затворы,
- 10 — шандоры.

С пуском в эксплуатацию силовой станции вода, протекавшая ранее по участку 1—7, направляется по пути от 1 через 2, 4, 5 к 7. Если нагрузка машин силовой станции снижается, что может произойти, например, вследствие повреждения водопровода, то вода пускается не в турбины, а через синхронный водоспуск 6 в канал, отводящий отработанную воду. При повреждении электрической

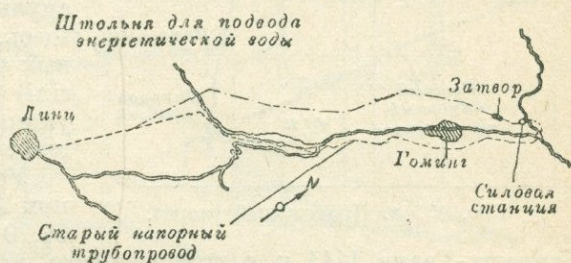


Рис. 157 а. Ситуационный план.

части установки или турбин, движки турбин 9 закрываются, вода устремляется через перепад в боковую штольню 2—3 и направляется к старому каналу, подводившему ключевую воду.

По сообщениям Р о с с к о т е н а (59), город Зальцбург использует наличие избыточного давления, образующегося при подводе воды из ключа для силовых целей.

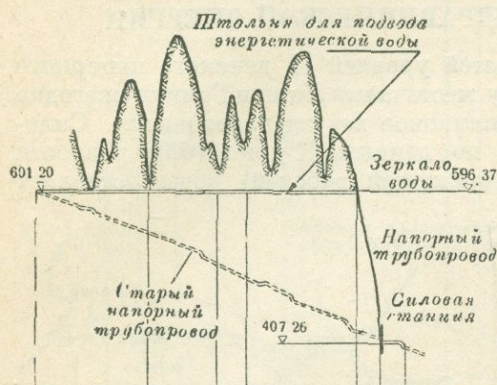


Рис. 157 в. Продольный разрез.

Особенно много гидравлической энергии развивается под влиянием избыточного давления в апульском водопроводе. Из целого ряда апульских силовых станций здесь, основываясь на данных Ф а т т о р и н и (Fattorini) (50), достаточно будет упомянуть лишь о следующих:

Установка Тупшы 784 л. с. при разности уровней в 54,20 м; установка Андриана-Барлетта-Трани 1411 л. с. при разности уровней в 102,45 м; установка Бари 799 л. с. при разности уровней 106,50 м; установка Кастелли 2516 л. с. при разности уровней 118,40 м; установка Гроттагли 1471 л. с. при разности уровней в 105,80 м.

34. УНИЧТОЖЕНИЕ НАПОРА

При наличии избыточного напора иногда желательно, в целях сбережения трубопровода, снизить давление в последнем. Это осуществляется частичным уничтожением напора. Если избыток напора не слишком велик, то наиболее простым средством является включение в систему напорного водовода каменного прерывающего водовод колодца, располагаемого в соответствующем месте.

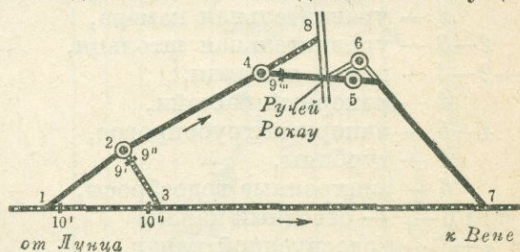


Рис. 158. Схема работы гидростанции Гаминг.

Специальным приспособлением для прерыва или, вернее, уничтожения большого, нежелательного напора является введенная в употребление Г у б е р о м (57) чугунная груша (рис. 159). Если разность уровней достигает 80—100 м и больше, то развивающаяся живая сила воды настолько велика, что никакая каменная кладка прерывающего колодца не сможет ей противостоять. В этом случае вода отводится в чугунную грушу, крепкое дно которой, подвергаю-

щееся действию низвергающейся воды, может по мере надобности заменяться новым. Груша помещается в специальном колодце, а вода,

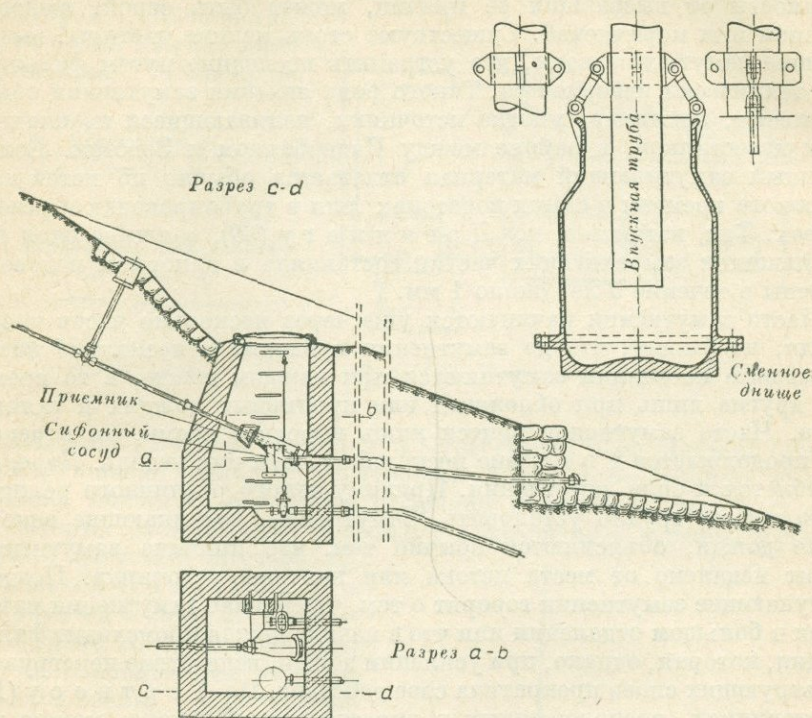


Рис. 159. Груша для уничтожения напора (по Губеру).

освободившаяся от избыточного напора, попадает из последнего по отводу в расположенный поблизости прерывающий колодец, снабженный переливом.

35. ЗАМУТНЕНИЕ КЛЮЧЕВОЙ ВОДЫ

Большинство источников, питаемых грунтовыми водами, отличаются тем, что ни таяние снега, ни сильные дожди не оказывают никакого влияния на их прозрачность. Если и происходят замутнения, то в большинстве случаев они являются следствием неправильного выполнения каптажных работ или содержания в воде железа. Железо выступает в виде мути только в том случае, когда вода приходит в соприкосновение с атмосферным воздухом. Для устранения этого явления можно прибегать к специальным методам, служащим для искусственного удаления железа из воды. Среди источников, питаемых водой из подземных водотоков, существует целый ряд таких, которые обнаруживают замутнение воды во время дождей или таяния снега. Это обуславливается обычно содержанием в воде в это время

мелких частиц глины. Степень замутнения может колебаться от слабой опалесценции до ясно выраженной окраски, которая, в зависимости от вызвавших ее причин, может быть серой, желтой, красной или коричневой. Существуют столь мелкие частицы, вызывающие замутнение воды, что устранить последние путем фильтрации технически невозможно. Такого рода явления замутнения обнаруживают, например, многие источники, изливающиеся из пленерских известняков, в районе между Падерборном и Зоестом. Более крупный замутняющий материал отлагается обычно по истечении короткого времени в самих водотоках или в трубопроводах и резервуарах. Так, например, по Д р е н н и н г у (60), толщина слоя отложившихся замутняющих частиц составляла в напорном водоводе г. Вены в течение 5 лет около 1 мм.

Часто замутнения начинаются уже через несколько часов после дождя, но бывает, что до замутнения проходит и несколько дней. Некоторые источники замутняются при каждом дожде, в то время как другие лишь при обложных или проливных дождях и таянии снега. Часто замутнение длится лишь короткое время, но нередко оно продолжается и в течение нескольких дней или недель. Нередко колеблется и сила замутнения. Причину такого различного режима часто весьма трудно установить. Замутнения, возникающие вскоре после дождя, объясняются обычно тем, что причина замутнения лежит недалеко от места истока или каптажа источника. Поздно наступающие замутнения говорят о том, что начало замутнения находится в большом отдалении или что в начале дождя происходит фильтрация, которая, однако, при усилении дождя, вследствие перегрузки фильтрующих слоев прекратила свое действие. По Г е р т н е р у (1), в источниках, расположенных в окрестностях Веймара, можно по окраске замутнения определить, где выпали вызвавшие его дожди: если дождь выпал близ Берка-Кранишфельда, в районе пестрого песчаника, то ключевая вода ясно обнаруживает красноватую окраску; если же дожди выпали над площадью распространения раковистого известняка, то окраска будет серой до серо-желтой.

Регулярно происходящие замутнения во многих случаях указывают на приток нефiltrованной поверхностной воды; временные замутнения могут быть связаны с возникновением нового обвала земли или обрушением сводов подземных пустот. В изверженных горных породах и песчаниках, а также в конгломератах, в которых отсутствует глина или суглинок (как связывающий материал), едва ли можно ожидать замутнений.

Необходимо отметить их своеобразное обстоятельство, что иногда источники, подвергающиеся замутнению вследствие сильных дождей, и такие источники, которые остаются при этих условиях неизменно прозрачными, удалены лишь на несколько метров друг от друга. О таком случае из района Падерских источников сообщает Ш т и л л е (Stille) (61). По данным К а т ц е р а (Katzner) (62), и в карте существуют рядом расположенные источники, одна часть которых после сильных дождей замутняется, в то время как другие

остаются прозрачными. Катцер считает, что дожди не оказывают влияния на источники, лежащие между Дрезницей (Drežnica) и Ра-скагорой (Raškağora), в то время как большие источники Радаболя

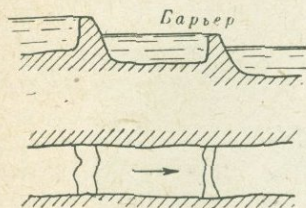


Рис. 160. Барьеры в подземной реке.

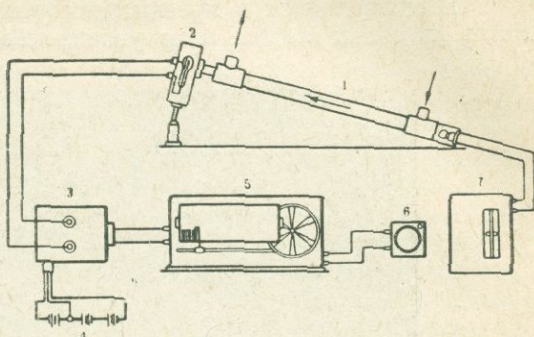


Рис. 161. Измеритель мутности Штрауса.

(Radabolia), Езеника (Jesenica) и Буры (Bura) близ Мостара (Mostar) обнаруживают сильные замутнения. Такие своеобразные явления можно, пожалуй, объяснить наличием подземных отстойных озер, в которых отстаиваются и выпадают взвешенные частицы мути. Об одном из таких случаев сообщают и Лонэ (Launay) и Мартель (63). В подземной реке Падирак поперек к направлению ее течения расположены естественные барьеры (рис. 160), высота которых достигает 8 м. Этим путем возник целый ряд подземных бассейнов глубиной до 7 м, служащих отстойными резервуарами.

Для автоматического измерения замутнения можно, между прочим, пользоваться и измерителем мутности Штрауса (60). Это приспособление состоит из стеклянного цилиндра, через который протекает вода, из лампочки накаливания в качестве источника света и фотоэлектрического элемента у нижнего конца стеклянной трубки. Возникающие в фотоэлементе электрические токи колеблются, в зависимости от изменения степени замутнения воды, и переносятся на самопишущий прибор. На рисунке 162 показано временное замутнение, продолжавшееся, примерно, около часа.

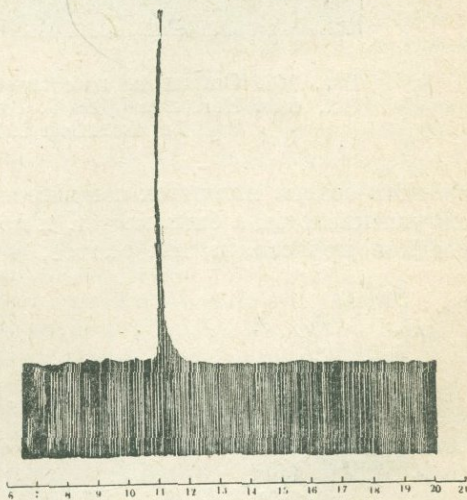


Рис. 162. Диаграммы замутнения воды, заснятые измерителем мутности.

36. ВЫДЕЛЕНИЕ ОСАДКОВ

Выделяющиеся в пресных источниках осадки обычно состоят лишь из солей железа и из углекислого кальция. Причинами вы-



Рис. 163. Осаждение известкового туфа в долине Готценбах, близ Нагольда (фото Г. Визера) (из Вагнера «Erd-und Landschaftsgeschichte», 1931).

делений осадка являются соприкосновение воды с воздухом, потеря ею углекислоты, а быть может, и перемена температуры. Выпадение осадков происходит тем скорее, чем интенсивнее движение воды,



Рис. 164. Отложения источником туфа в долине Мангфал, близ Мюльталя (T — туф).

следовательно, при образовании водоворотов и перепадов. Железо выпадает сначала в виде хлопьев и обуславливает красное до красно-коричневого окрашивание дна и берегов ложа источника. В болотных районах образуется также ортштейн (дерновая железная руда, бо-

лотная руда), слагающийся из песка и окиси железа. Источники, вытекающие из аллювия и ледниковых отложений, обычно (особенно в Северной Германии) содержат железо.

Потеря углекислоты водой источников обуславливает выпадение углекислой извести в форме лугового мергеля (альм, озерный мел), известкового туфа и натечной извести на растениях, на мхах, травах и т. п. (рис. 163), у источников, текущих на мертвой почве, на почве самой долины и на соседних склонах ее. В таких случаях часто образуются значительные массы известкового туфа (рис. 164). Выделение извести встречается чаще всего в источниках, вытекающих из известняков. В пещерах отложения извести источников встречаются в виде своеобразных образований, расположенных у кровли, почвы и на стенках пещер. Висящие, напоминающие собой ледяные сосульки, образования называются сталактитами, а стоящие на почве носят название сталагмитов.

37. ГИГИЕНИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ О ВОДЕ

А. Очищающее действие грунтов

Ключевая вода только тогда является безукоризненной с гигиенической точки зрения, когда она не содержит возбудителей болезней и таких веществ, которые могут вредно отразиться на здоровье. Помимо этого она должна быть прозрачной и бесцветной, не иметь никакого запаха, а также обладать по возможности постоянной освежающей температурой. Атмосферные осадки, являющиеся первоисточником ключевой воды, как правило, не содержат возбудителей болезней. Однако как на своем воздушном пути, так и при прохождении через почву они подвергаются загрязнениям, происхождение которых может быть троякого рода, а именно:

- 1) загрязнения, происходящие в самой атмосфере;
- 2) загрязнения, происходящие на поверхности земли;
- 3) загрязнения в более глубоких слоях толщи горных пород.

1. Атмосферная вода, будь она в форме пара, жидком или твердом состоянии, при прохождении через атмосферу увлекает за собой все примеси, находящиеся в воздухе. Такими примесями могут быть: кислоты, пыль (минерального или растительного, а также животного происхождения), бактерии и т. п. Эти загрязнения обычно невелики и по сравнению с указанными в пунктах 2 и 3 с гигиенической точки зрения имеют лишь второстепенное значение.

2. Более сильное загрязнение воды, ниспадающей в виде атмосферных осадков, возникает вследствие соприкосновения ее с поверхностью земли, когда последняя покрыта или пропитана отбросами, удобрительными веществами, продуктами гниения растительного и животного происхождения. Вследствие поглощения воздуха и кислот растворяющая способность атмосферных осадков может быть значительно повышена.

3. При проникновении воды в более глубокие слои почвы могут быть восприняты дальнейшие, с гигиенической точки зрения также вредные вещества, особенно в том случае, когда в почве имеются неплотные каналы, ямы для стока жидких нечистот и другие сборные устройства для сбора отходов и сточных вод. Наряду с этим могут быть растворены и выщелочены также вещества абсолютно или почти безвредные в гигиеническом отношении, как, например, хлориды, известковые, железистые и марганцевые соли и т. п. В зависимости от степени загрязнения и минерального состава почвы, водой могут быть восприняты вещества, остающиеся или во взвешенном состоянии, или растворенные в ней. Вещества, остающиеся во взвешенном состоянии, представляют собой или тельца органического происхождения, или минеральные частицы. Минеральные взвешенные вещества могут, в общем, рассматриваться как гигиенически безвредные. Однако, если их количество превысит известную норму, они могут стать видимыми вследствие того, что они замутняют воду. Суспензии органического происхождения могут представлять собой или отмершую органическую массу (остатки растений) или живую субстанцию (яички червей, инфузории, протозоа, бактерии). Количество взвешенных минеральных частиц при условии, что дальнейший приток извне отсутствует, ни в коем случае не может увеличиться. В противоположность этому при известных обстоятельствах увеличение живых органических тел может быть огромным.

В зависимости от минералогических свойств почва ведет себя в отношении проникающих в нее взвешенных в воде веществ и микроорганизмов, как сито с большей или меньшей шириной ячеек. Если пути проникновения воды в почву меньше размеров телец, содержащихся в воде во взвешенном состоянии, то последние задерживаются в почве. Эта удерживающая способность почвы является причиной ее очищающего действия. Фильтрующее действие почвы тем больше, чем уже и длиннее пути, проходимые водой. Отдельные тельца улавливаются на сужениях этих путей, однако удерживание происходит и вследствие прилипания. Поэтому фильтрующее действие мелкозернистой почвы больше, нежели крупнозернистой. Капилляры и узкие трещины в плотной горной породе также обладают водоочищающим действием. Фильтрующая способность почвы активно дополняется адсорбционной способностью последней. К легко связываемым фильтрующей почвой веществам относятся, между прочим, красящие вещества и содержащие белок. Связывающие свойства почвы значительно повышаются присутствием гумуса и бактерий (биологическая очистка). Поэтому стерильная почва является плохим фильтром. Крупный гравий, галька, валуны, а также более широкие трещины, расселины и пустоты в плотных горных породах обладают небольшой фильтрующей способностью или вовсе ее не имеют, и поэтому с гигиенической точки зрения они должны расцениваться соответствующим образом.

Из вышесказанного видно, что род подземных путей, проходимых ключевой водой от своего истока до выхода из земли на поверхность,

имеет для гигиенических свойств ключевой воды чрезвычайно большое значение. Если водный путь проходит через обломочные породы, через пески, гравий, песчаники, конгломераты и т. п., обладающие значительной задерживающей способностью или фильтрующим действием, вследствие сравнительно небольшого проводящего поперечного сечения, то в результате получится гигиенически безукоризненная ключевая вода.

Мы назвали в параграфе 5—Б подземную воду, циркулирующую в обломочных горных породах грунтовой водой. Если же, наоборот, вода течет по трещинам, расселинам, более значительным каналам, пещерам и т. п., то о задерживании вредных веществ и микроорганизмов или, вернее, о фильтрации обычно не может быть и речи. Мы назвали подземную воду, циркулирующую в трещинах, расселинах и т. п., подземными водотоками. Следовательно, с гигиенической точки зрения существуют два вида ключевой воды, которые следует строго различать.

Б. Различный режим источников в зависимости от того, питаются ли они грунтовыми водами или подземными водотоками

Различия характера воды источников, зависящие от особенностей проходимого каждым данным источником подземного пути, проявляются в следующем:

- 1) в скорости, с которой вода циркулирует в толще горных пород;
- 2) в дебите;
- 3) в колебаниях температуры воды;
- 4) в содержании в воде микроорганизмов.

В. Различие в скорости, с которой вода циркулирует в толще горных пород

Нижеприведенное сопоставление действительно измеренных скоростей показывает, как различна скорость в зависимости от того, приходится ли иметь дело с грунтовыми водами или подземными водотоками (табл. 11).

Из сравнения данных таблицы 11 видно, как велико различие в скорости движения воды в толще горных пород. Само собой понятно, что с изменением падения изменяется и скорость. Так, например, по наблюдениям А. Т и м а (64), скорость движения грунтовых вод близ Наунгофа колебалась в течение полугода в 1,2 раза.

Скорость движения грунтовых вод изменяется не только с течением времени, но и в пределах проходимого водой пути, вследствие изменения степени водопроницаемости водоносных слоев. В подземных же водотоках, наоборот, встречаются колебания скорости, составляющие 40- и 100-кратную величину наименьшей скорости и равняющиеся в отдельных случаях 2—2,5-тысячекратной скорости движения грунтовой воды.

Таблица 11

Местность	Измеренные скорости		
	грунтовой воды (м/сутки)	подземных водотоков	
		характер водопроницаемой горной породы	м/сутки
Бруклин	0,33	Известняк трещиноватый	1 028—1 992
Готенбург	0,50	Пленерский известняк у Палерборна	2 600—7 900
Ист-Медов	0,80	Известняк с мелкими трещинами	4 224—6 158
Меррик	0,95	Известняк с пустотами	24 000
Мангейм	1,2—1,6		
Фюрт в Баварии	1,5		
Наунгоф, близ Лейпцига	2,5		
Рейнтабль, близ Страсбурга	3,0—7,8		
Киль	4,7		
Карани	9,3		
В дюнных песках, близ Гаарлема	4,0—5,5 м/год.		

Г. Различие в дебите

Колебания дебита так же, как и скорости движения, имеют широкие пределы в зависимости от того, имеем ли мы дело с грунтовыми водами или подземными водотоками, питающими источник.

Доказательством этого служат нижеприведенные цифры.

Таблица 12

Колебания дебита источников, питаемых							
грунтовыми водами			подземными водотоками				
Геологическое образование	Место источника	Минимум	Максимум	Геологическое образование	Место источника	Минимум	Максимум
Дилловий	Зольшпрунг	1		Гранит	Квимпер . .	1	3,1
>	Ранна . . .	1	1,05—1,10	Известняк	Кайзер- бруннен . .	1	9,1
>	Мольталь . .	1	1,1	Белая юра	Лейнлей- тербах . .	1	11,0
>	Готцинг . .	1	1,62	Известняк	Воклюза . .	1	21,8
>	Емменматт	1	1,7	—	Флехлох . .	1	50
			2,0	Юра	Ст. Сульпи- са	1	100

Из вышеприведенных цифр видно, что дебит источников, питаемых грунтовыми водами и подвергшихся, следовательно, фильтрации, колеблется, примерно, в пределах от 1 : 1,1 до 1 : 2,0 и что, напротив того, дебит источников, вода которых происходит из подземных водотоков и которые должны, таким образом, расцениваться с гигиенической точки зрения с особой осторожностью, колеблется в пределах, примерно, от 1 : 3 до 1 : 100.

В параграфе 42 будут подробно рассмотрены исключительные случаи, в которых подземные водотоки подвергаются очищающему действию.

На рисунке 165 показан ход дебита хорошего источника, питаемого грунтовыми водами, а на рисунке 166 — ход дебита гигиенически

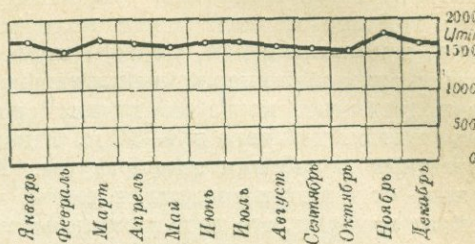


Рис. 165. Ход дебита Рамзейского источника (по Гугу) в л/мин.

плохого источника. Источник Лейнлейтербах получает в марте большой приток воды, вследствие таяния снега и обильных дождей. Высокий дебит в мае является следствием более длительного дождливого периода (от 29/4 до 5/5 с осадками в 46,4 мм). После этого дебит уменьшается и достигает своего минимума в 40 л/сек. в ноябре.

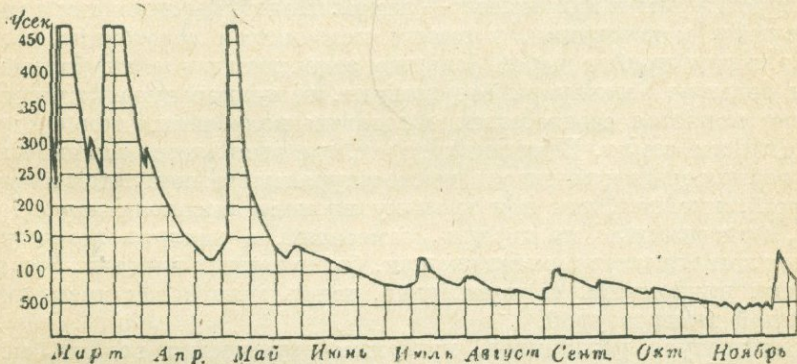


Рис. 166. Дебит ключевого района Лейнлейтербаха (по Реутеру) в л/сек.

плохого источника. Источник Лейнлейтербах получает в марте большой приток воды, вследствие таяния снега и обильных дождей. Высокий дебит в мае является следствием более длительного дождливого периода (от 29/4 до 5/5 с осадками в 46,4 мм). После этого дебит уменьшается и достигает своего минимума в 40 л/сек. в ноябре.

Д. Температура источников

С понятием источник связывается освежающее и улучшающее самочувствие действия питьевой воды, испытываемое нами при равномерной прохладной температуре воды, примерно, в 7—12° С.

Температура источников определяется, прежде всего, взаимодействием теплоты почвы и воздуха. Теплота почвы, которая может

считаться приблизительно одинаковой в пределах одной и той же геотермической ступени, обуславливает, примерно, постоянную температуру воды. Напротив того, влияние температуры воздуха вызывает годовые периодические колебания температуры воды источника, проявляющиеся, правда, лишь до известной глубины. Влиянию наружной температуры ключевая вода во многих случаях почти не подвержена, когда она происходит из пластов, лежащих на глубине по крайней мере в 8—10 м. Однако и в этом случае происходят известные колебания температуры. Теплота источника зависит не только от теплоты воздуха и почвы, но и от геологических свойств района питания, его водопроницаемости, количества и времени осадков, лесных насаждений и культур, высоты над уровнем моря, расположения на южном или северном склоне и от географической широты. Источники, лежащие на южной стороне, обнаруживают более высокую температуру, нежели источники, расположенные на северных склонах. Затенение также играет известную роль в температуре источника. Источники, лежащие в тени лесов, обладают, как правило, более низкой температурой, нежели полевые источники. Источники грунтовых вод обладают обычно самой низкой температурой летом и наивысшей — зимой. Подобным явлением характеризуются и источники, питаемые подземными водотоками, когда они должны пройти через большие задерживающие их бассейны. Если большие резервуары отсутствуют, то температура источников обычно меняется соответственно годовым колебаниям температуры поверхности земли. В высоких горах, где выявляется влияние летнего таяния снега и глетчеров, температура источников летом низкая, а зимой, высокая, так как к этому времени высоколежащие притоки, притекающие из трещин, замерзают, а питание источников происходит только из нижележащих, более теплых пластов. В таких случаях приходится, следовательно, иметь дело с так называемой обратной температурой.

Температура источников, питаемых грунтовыми водами, колеблется, как правило, в узких пределах, едва превышающих 2—3° С. Напротив того, в колебаниях температуры подземных водотоков нередко ясно выражена зависимость от времени года или, вернее, от таяния снега или дождя. На рисунке 167 приведены, по данным Г е р т н е р а (1), диаграммы падения температур некоторых Падерских источников, вытекающих из трещиноватого пленерского известняка, вызванные весенними дождями.

При определении того, содержит ли источник только грунтовую воду, или же к ней примешана и поверхностная вода, или не представляет ли собой вода источника не что иное, как погружившуюся в грунт поверхностную воду, температура играет весьма важную роль. При чисто грунтовой воде, как уже упоминалось выше, колебания температур будут невелики, при добавлении же поверхностной воды (в зависимости от времени года) колебания возрастают. Между тем было бы ошибочно предполагать, что источники с постоянной или малоколеблющейся температурой непременно питаются

исключительно грунтовыми водами. Гертнер (1) сообщает о наблюдениях, доказывающих с убедительной ясностью, что и при изменяющейся температуре может иметь место сильный приток поверхностной воды. Так, например, годовые температуры Шахтгофского источника в Падерборне, получающего значительные притоки воды из различных загрязненных ручьев, колеблются лишь на 3° С. Ротоборн, вытекающий непосредственно под Падерборнским собором, дает разницу годовых температур лишь в 0,7° С. Быть может, этот ведущий к заблуждениям режим температур объясняется большими накоплениями воды в пещерах толщ горных пород, действующими выравнивающе на температуру воды.

По Мартелю (5), температура Воклюзского источника составляла в январе 1903 г. 8° С, а в марте 14,7° С. Эту огромную разницу пытаются объяснить отсутствием холодных зимних атмосферных осадков.

Кроме того, в разное время пытались математически выразить снижение температуры источника с возрастающей высотой его расположения. Так, например, для Фихтельгебирге снижение температуры на каждые 100 м составляет 0,45° С (по Гюмбелю), для Богемско-Саксонской Швейцарии 0,608° С (по Байеру), Рейнской области до 200 м 0,50° С (по Добре), Рейнской области от 200 до 360 м 0,83° С (по Добре), для Рейнской области от 360 до 920 м 0,50° С (по Добре).

Однако этими числовыми данными следует пользоваться с большой осторожностью.

Чрезвычайно обширные работы о температуре источников дает Мецгер (65, 66).

Е. Содержание микроорганизмов в ключевой воде

- а) Крупные организмы (грибы, железистые организмы, раки, черви)

Было бы неправильно предполагать, что даже в самой чистой ключевой воде не могут встречаться никакие организмы. По К о л ь к-

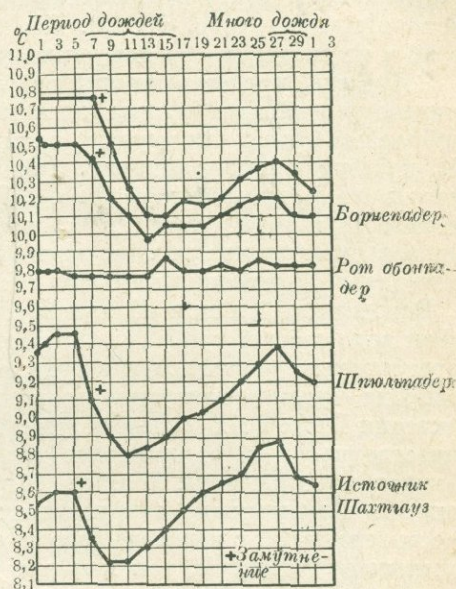


Рис. 167. Падение температур в ряде Падерских источников, вызванное весенними дождями.

в и т ц у (67), и в ключевой воде существует ряд характерных организмов, являющихся в небольшом количестве обычно безвредными, но при более обильном распространении они должны рассматриваться как признаки важных изменений в свойствах воды.

Так, например, ножки гриба *Armillaria mellea* закупоривают дренажные трубы вплоть до полного зарастания (рис. 168, 1). Гриб является атмосферным жителем, растущим в виде шляпочного гриба на пнях и стволах деревьев, откуда он может попасть в почву и в трубы.

Дренажные щели закупориваются корнями горного клена (*Acer pseudoplatanus* — рис. 168, 2). Поэтому кругом каптажа, примерно, на 10 м не следовало бы допускать произрастания деревьев.

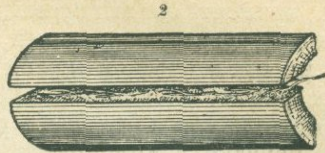
Polyporus, представляющий собой трубчатый гриб (рис. 168, 3), придает деревянным частям каптажного сооружения затхлый, анисообразный запах. Он нередко размножается на деревянных частях обезжелезивающих установок. *Sphaerotilus* представляет собой слизистый, очень мягкий гриб (рис. 168, 4). Он извлекает себе питание из свежего дерева и исчезает с возрастом дерева. Поэтому целесообразно в окончателных каптажных сооружениях не применять свежего дерева, древесина которого состоит вся из заболони.

Встречающийся при обильном содержании сероводорода в грунтовой воде серный гриб *Thiothrix* (рис. 168, 5) затягивает водные камеры и может развиваться и в водопроводной сети. Устранение сероводорода путем вентиляции прекращает его развитие. Железистая бактерия *Leptothrix ochracea* (рис. 168, 6) находится в массовом количестве в водах, содержащих железо. Она исчезает тотчас после обезжелезивания воды. *Zoogloea filipendula* (рис. 168, 7) встречается попутно в каптажных сооружениях и может образовать студенистые массы величиной с человеческую ладонь. Развитие мхов устраняется зеленым остеклением, так как зеленый цвет вредно отражается на произрастании растений, содержащих хлорофилл (рис. 168, 8). *Cyclops* (вешлоногие) (рис. 168, 9) встречаются иногда и в хороших водопроводах, но являются безвредными. *Nauplius*, представляющий собой юную стадию *Cyclops* (рис. 168, 10), также встречается в хороших водопроводах, упорно живуч и широко распространен. Колодезный блошиный рак *Niphargus puteanus* (рис. 168, 11) иногда встречается в шахтных колодцах и каптажных шахтах, но является сам по себе безвредным. Нормально он слепой и является жителем водоносных пещер, встречается также и в водопроводах. Он может быть устранен путем промывки и хлорирования, если трубопровод не содержит так называемых мертвых участков. Нередким явлением в каптажных камерах является наличие так называемого колодезного червя (*Phreoryktes menkeanus*), который может встречаться в массовом количестве, но являющийся абсолютно безвредным.

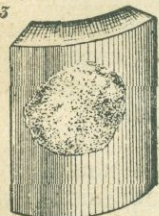
Об интересных гидро-биологических открытиях в воде венского напорного трубопровода ключевой воды сообщает Е у г л и н г (68). Равномерный зимний дебит венских нагорных источников обнаруживает ко времени таяния снега повышение. Прочие колебания



1
Дренажные трубы, закупоренные стеблями гриба *Polyporus*



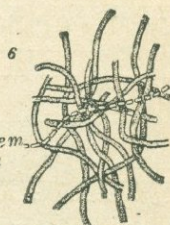
2
Дренажное отверстие трубопровода на горного источника, закупоренное корнями горного клена



3
Polyporus, гриб на колодезных трубах, разрушающий дерево, обладает амизообразным запахом



5
Серный гриб *Thiothrix nivea* указывает на присутствие сероводорода

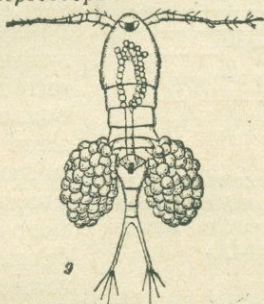


6
Заиливает трубы

Железистая бактерия *Leptothrix ochracea* часто встречается в большом количестве в воде, содержащей железо



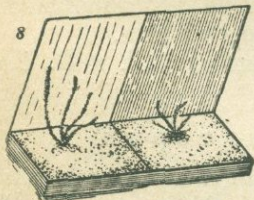
4
Колодезная труба из свежего волокнистого дерева покрытая плесенью гриба *Sphaerotilus*



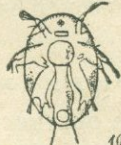
9
Cyclops (Hüpferting) иногда в горших водопроводах, беззредная



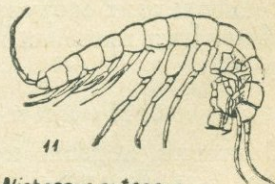
7
Zoogloea filipendula galleritiga бактериальная масса, встречающаяся в колодцах



8
Остекление зеленым стеклом препятствует росту



10
Nauplius юная стадия *Cyclops*



11
Niphargus puteanus (колодежный блошиный рак) Иногда встречается в шахтных колодцах беззред.

Рис. 168. Организмы в ключевой воде.

дебита зависят от выпадающих осадков, характеризующихся повышенным числом зародышей, повышением *Coli* титра и усилением развития органической жизни в воде. После сильного дождя в нагорном районе источников можно было установить в воде присутствие организмов и большего размера, и, прежде всего, червей и раков, а нередко и коловраток. С увеличением числа больших организмов увеличилось и замутнение воды. По сообщениям Е у г л и н г а, в Венской ключевой воде нагорных источников от 1/IV 1927 г. до 31/III 1930 г. было обнаружено всего 19 360 организмов, причем 13 781 растительного происхождения, а 5 579 — животного, относившихся, примерно, к 50 различным видам. Кривая содержания организмов поразительно совпала с кривой содержания зародышей в 1 см³ воды после 48 часов (рис. 169).

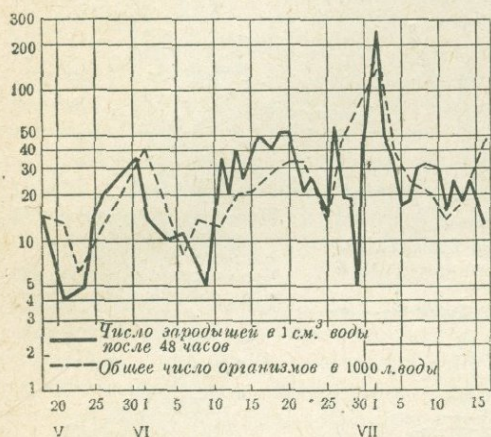


Рис. 169. Совпадение в изменениях количества организмов и числа зародышей в воде венского напорного трубопровода ключевой воды (по Еуглингу).

логическом отношении в порядке. В большинстве случаев большие организмы попадают с поверхности земли в каптажи через неплотности в каптажных сооружениях или вследствие неосторожности при осмотре этих сооружений и надолго поселяются в них.

«Биология питьевой и технической воды» написана Г. и Е. Б е р (69).

б) Мелкие организмы (бактерии)

Бактерии, подобно крупным организмам, могут попасть в ключевую воду только с поверхности земли. По Г е р т н е р у (1), наиболее богатая жизнь господствует в самых верхних слоях почвы. Как уже упоминалось выше, здесь встречаются животные низшего порядка, мелкие растения, как, например, плесень, нитевидные грибки и подобные им организмы. Однако по сравнению с бактериями, число которых в 1 см³ поверхности земли может составить от нескольких сотен тысяч до нескольких миллионов, крупные орга-

низмов поразительно совпала с кривой содержания зародышей в 1 см³ воды после 48 часов (рис. 169).
Если принять во внимание, что нередко животные и растительные организмы вышеописанных видов могут быть в 100 раз больше бактерий и что они несмотря на это все же попадают через почву в воду, то бактериям, конечно, попасть в почву значительно легче. Поэтому, если большие организмы встречаются в воде внезапно или в массовом количестве, то они являются предостережением, которым не следует пренебрегать, даже в том случае, если вода и была в бактериоло-

низмы отходят на задний план. Род и способ проникновения бактерий в более глубокие слои грунта или, вернее, в подземную воду различны, в зависимости от того, состоит ли толща налегающих горных пород из рыхлых пород или пористых, или из трещиноватых горных пород. В первом случае, как то неоднократно уже упоминалось, мы имеем дело с образованием грунтовых вод, питающих источники, в последнем же случае — с подземными водотоками, выступающими в соответствующих местах на поверхность земли в виде источников.

38. ПОЛНАЯ ОЧИСТКА В ГЛУБОКОЛЕЖАЩИХ РЫХЛЫХ ГОРНЫХ ПОРОДАХ

В рыхлых горных породах, дающих грунтовую воду, следовательно, в песках и гравии, число бактерий уже на глубине в 10—20 см значительно уменьшается. Если почва остается мелкопористой, то на глубине 1 м имеются, быть может, еще несколько тысяч бактерий, в то время как на глубине 3—4 м они уже вовсе отсутствуют или имеются лишь в небольшом количестве. Это уменьшение бактерий в рыхлых мелкопористых породах является, во-первых, следствием задерживания бактерий, величина которых больше поперечного сечения пор, через которые поверхностная вода проникает в глубину. Таким образом, здесь происходит род фильтрации. Огромное большинство бактерий, размер которых меньше земляных пор, отлагаются и притягиваются, вследствие поверхностного притяжения, к стенкам пор, где они постепенно отмирают в связи с недостатком питания.

Из данных таблицы 13 вытекает, как велико уменьшение бактерий с возрастающей глубиной в пористой, хорошо фильтрующей толще горных пород.

39. УМЕНЬШЕНИЕ ЧИСЛА БАКТЕРИЙ В ПОРИСТОЙ, ФИЛЬТРУЮЩЕЙ ТОЛЩЕ ГОРНЫХ ПОРОД С ВОЗРАСТАНИЕМ ГЛУБИНЫ

[по Гертнеру (1)]

Таблица 13

Френкель		Кабрель		Кюммель	
Сверху пористый, затем чистый ледниковый песок (Фьянгстберг Потсдам)	Число бактерий, содержащихся в 1 см ³ почвы	Лесная почва дилювия в Праге	Число бактерий, содержащихся в 1 см ³ почвы	Луговая почва, затем песок, близ Альтовы	Число бактерий, содержащихся в 1 см ³ почвы
Поверхность	разжижена	0,3 м	827 520	0,25 м	6 422
0,5 м	70 000	под поверхностью			
1,0 »	1 000	1,0 м	5 040	0,50 »	7 060
2,0 »	0	1,5 »	1 120	2,00 »	50
2,5 »	250				

Френгель		Кабрель		Кюммель	
Сверху пористый, затем чистый ледниковый песок (Фюнгсберг Потсдам)	Число бактерий, содержащихся в 1 см ³ почвы	Лесная почва дилювия в Праге	Число бактерий, содержащихся в 1 см ³ почвы	Луговая почва, затем песок, близ Альтоны	Число бактерий, содержащихся в 1 см ³ почвы
3,0 м	0	1,7 м { 2,2 » 3,1 »	3 400	3,50 м	0
4,0 »	0		15 120	4,50 »	0
4,5 »	100		200	6,50 »	0
5,0 »	0		260		
Грунтовые воды	—	Грунтовые воды	400		

Очищающее действие мелкозернистых, рыхлых пород наиболее ясно вытекает из следующей таблицы:

Таблица 14

Место	Геологическая формация	Зародыши		
		минимум	среднее	максимум
Каптаж источника	(Ледниковые отложения) Дилювий	0	3	10
Шаффгаузен, Бурайнский источник близ Винтертура		0	3	8
Зильский и Лорцевский источники, близ Цюриха		0	6	49
Каптаж источника близ Фрауенфельда	Перекрытая морена	0	1	1
Рамзейский источник, близ Берна	Ледниковая галька	1	5	10

40. УСЛОВНАЯ ОЧИСТКА В НЕГЛУБОКО ЗАЛЕГАЮЩИХ РЫХЛЫХ ГОРНЫХ ПОРОДАХ

Бросающееся в глаза явление, когда число бактерий резко увеличивается на глубине 4,5 м после того, как число их предварительно уменьшилось (табл. 13), объясняется Кабрелем (Kabrehel) следующим образом. По его наблюдениям бактерии могут проникать в глубину с корнями растений и там снова размножаться. По мнению Гертнера, такие микроорганизмы абсолютно безвредны. Патогенные зародыши не могут проникнуть в глубину и попасть в грунтовые воды при посредстве распространяющихся под землей корней растущих растений.

По мнению Гертнера, совсем иначе и много опаснее обстоит дело, когда корни растений отмирают и вместо них образуются пустоты.

Если волокна корней очень тонки, то каналы могут очень быстро снова замкнуться. Если же на большую глубину заходят толстые корни, то каналы остаются открытыми более продолжительное время. Однако такие глубоко заходящие корни деревьев при истлевании опасны в гигиеническом отношении лишь в том случае, когда выкорчеванный лес превращается в удобряемую пашню, или когда деревья растут во дворах, в которых имеются навозные кучи. И зерновой хлеб и мотыльковые, относимые также к мелкокорневым растениям, обладают часто большой длиной корней (например, люцерна) и могут, при известных обстоятельствах, при образовании открытых корневых каналов вследствие истлевания подвергнуть каптаж источников опасности с гигиенической точки зрения.

Нижеследующая таблица, по Ш у л ь ц е (71), освещает вопрос о длине корней зернового хлеба и мотыльковых растений.

Таблица 15

Глубина прорастания корней растений (средние длины в см)

1. Зерновой хлеб

	Озимая рожь	Озимая пшеница	Яровая рожь	Яровая пшеница	Овес	Ячмень
Молодые растения	53,7	52,7	52,9	39,1	66,6	62,1
В период посева	101,9	133,6	112,0	130,0	79,5	95,1
Время всхода	199,4	277,2	135,5	183,6	214,3	259,0
Конец всхода			179,8	174,0	227,9	258,0
Наливание колоса	178,0	235,0	197,1	189,4	234,4	244,3
Созревание	194,0	186,4	176,1	179,3	247,3	220,6

Таблица 16

2. Мотыльковые растения

	Горох	Бобы	Белый люпин
Молодые растения	25,6	32,1	40,4
Начало роста	63,8	78,3	111,3
Начало цветения	143,0	123,8	150,1
Конец цветения	175,5		
Созревание	208,6	168,0	205,2

Немаловажную роль в фильтрующем действии естественной почвы играют и дождевые черви. Л ю д е к е (Ludecke) (72) сообщает, что уже Д а р в и н наблюдал канальчики от дождевых червей глубиной до 160 см, а Г е т е проследил их даже до глубины 320 см. Г е н з е н считает, что число дождевых червей на 1 м² составляет 13—14 штук, следовательно, на 1 га 133 333 штук. Г е т е считает в Гей-

зенгейме на 1 м² легкой почвы 16 червячных канальчиков, а во влажной почве 59.

Иногда корни растения для лучшего проникания в глубину используют червячные канальчики, и, когда (корни или корневища) отклоняются от своего направления, образуются каналы, которые могут отвести нефилтрованную поверхностную воду в более глубокие слои подпочвы и в грунтовые воды. Деятельность дождевых червей иллюстрируется рисунком 170.



Рис. 170. Деятельность дождевых червей, показанная в вертикальном разрезе через грунт (по Гоффману).

Мыши, крысы и кроты могут также довести свои ходы вплоть до зеркала грунтовых вод. При повышении уровня грунтовых вод эти ходы врезаются в тело грунтовых вод.

Из вышесказанного вытекает, что при известных обстоятельствах и в мелкозернистых породах между грунтовой и поверхностной водой может существовать нежелательная связь в форме канальчиков. Ввиду того, что растительные корни и ходы животных могут встречаться и в глине, и в суглинке, приходится принимать в расчет и то, что глина и суглинок не всегда образуют надежный водонепроницаемый пласт, как это часто еще думают. При неглубоких каптажах следует, несмотря на фильтрующее действие рыхлых обломочных пород, остерегаться описанных явлений.

При неглубоких каптажах следует, несмотря на фильтрующее действие рыхлых обломочных пород, остерегаться описанных явлений.

41. НЕСОВЕРШЕННАЯ ОЧИСТКА В ТРЕЩИНОВАТЫХ ГОРНЫХ ПОРОДАХ

Если вместо просачивания через пористую толщу горных пород происходит просто погружение поверхностной воды в более глубокие трещиноватые слои только при посредстве трещин, расселин, провалов и т. п., то в общем о гигиенически действительной, полной фильтрации можно говорить лишь с известными ограничениями. Частица воды, попадающая с поверхности земли через какую-либо трещину или расселину в более глубокие слои грунта, попадает постепенно в сеть сплетающихся трещин, где отдельные капли воды стекаются в связную водяную нить и, наконец, в струю воды. Если путь такой подземной струи чрезвычайно длинен и запутан, то все

же скорость движения частиц ее сравнительно велика и гораздо больше, нежели скорость капель воды, проходящих через поры фильтрующих рыхлых обломочных горных пород. Отсутствует как раз препятствующая развитию скорости большая удерживающая способность мелкопористых рыхлых пород, следствием чего является прежде всего то, что питающие источник подземные водотоки находятся в непосредственной связи с атмосферными осадками и, как говорят, «идут с дождем». К этому следует еще прибавить, что поверхностное притяжение и фильтрация, действующие в пористых рыхлых горных породах, удерживающие бактерии в верхних слоях земли и препятствующие прониканию их в глубину, повидимому, отсутствуют в трещинах, расселинах и подобных водных путях более значительных размеров. Это отсутствие удерживающей способности и поверхностного притяжения проявляется в трещиноватых известняках, как это видно из следующей таблицы, в виде значительных колебаний числа бактерий и в замутнениях, появляющихся в период сильных дождей.

Таблица 17

Характерное влияние дождей на типичные источники в известняках.

по Гертнеру (1)

Водоносный пласт: верхний и средний раковистый известняк. Мощность залегающих пород, по крайней мере, 60 м

Число и месяц	Погода	Число бактерий в 1 см ³			
		Замутнение Источник RS	Источник H	Источник N	Источник P
14 апреля	Несколько недель сухая	Прозрачный, 0—5 бактерий	Прозрачный, 30—40 бактерий	Прозрачный, 95 бактерий	Прозрачный
18 мая	В течение 2 дней умеренный дождь	Слегка мутный, от 2 200 до 2 600 бактерий	—	Сильно мутный, от 12 000 до 1 800 бактерий	Слегка мутный, от 3 600 до 3 700 бактерий
8 сентября	Сухо, под конец немного сыро	Прозрачный, одна бактерия	Прозрачный, 22 бактерии	Прозрачный, 11—64 бактерии	Прозрачный, 3 бактерии
14 >	Сильный дождь	Сильно мутный, от 1 200 до 1 900 бактерий	Чрезвычайно мутный, 8 000 бактерий	Сильно мутный, от 4 800 до 5 800 бактерий	Прозрачный, от 470 до 640 бактерий
24 июля	Сильный дождь	Сильно мутный, 195 000 бактерий	Сильно мутный, 91 000 бактерий	Сильно мутный, 1 200 бактерий	Сильно мутный, от 1 000 до 24 000 бактерий
24 января	Сухой мороз	Прозрачный, 8 бактерий	Прозрачный, 31 бактерия	Прозрачный, 51 бактерия	Прозрачный, 8 бактерий

Другие трещиноватые образования обнаруживают такой же режим.

Ничто так хорошо не характеризует недостаточность действия фильтрации трещиноватых горных пород, как тот факт, что в трещиноватых горных породах существует целый ряд артезианских колодцев, выбрасывающих на поверхность рыб, крабов, моллюсков и т. п. Так, например, Гертнер (1) сообщает, что артезианские колодцы, близ Бискры, выбросили на поверхность земли 5 видов рыб, 3 вида крабов и 25 видов моллюсков. В Римке, в Вестфалии, один колодец глубиной в 45 м, выдал на поверхность небольших рыбок длиной в 8—10 см, которые могли происходить из ручьев, отдаленных на 10—20 км. Подобные явления весьма распространены.

Таблица 18

Колебания в содержании зародышей в трещиноватых горных породах

Местность	Геологическая формація	Число зародышей в 1 м ³		Автор
		при сухой погоде	при дождливой погоде	
Зоест	Пленерский известняк	134	2 800	Гертнер (74)
Окрестности Иены	Нижний волнистый известняк	0—60	18 000	»
Гудервиль (Мозель)	Лейас	180	8 000	»
Окрестности Базеля	Коралловый известняк	30	2 975	»
Пилатуский источник	Известняк и песчаник	40	200	»
Бухбруннен, близ Шаффгаузена	Юрский известняк	50	40 000	»
Влаутгоф	Белая юра	164	6 170	Штутгарт (73)

42. УСЛОВНАЯ ОЧИСТКА В ТРЕЩИНОВАТЫХ ГОРНЫХ ПОРОДАХ

Действие фильтрации происходит в недрах горных пород только там, где трещины и расселины частично или совершенно заполнены мелкозернистыми продуктами выветривания, и в этих случаях замутнения и распространение бактерий гораздо реже. Особенно благоприятные в этом отношении условия создаются в различных песчаниках и конгломератах, распадающихся после вымывания связывающей среды на отдельные кварцевые зерна или другие рыхлые массы, и могущие образовать таким путем активные в гигиеническом отношении естественные фильтры. Подобный случай являют, например, собой источники Ранны. Здесь в качестве фильтрующего материала в трещинах водоносного доломита действуют вымытые

массы, происходящие из Фельтенштейнского песчаника и осыпей поверхности. Известняки также могут распадаться в мелкозернистые обломки, как, например, криноидные известняки Турне (39), дающие чистую ключевую воду с небольшими колебаниями температуры и дебита. Зибензеебаденские источники II венского напорного водопровода ключевой воды, вытекающие из трещиноватых пластов триаса, также содержат всегда гигиенически безупречную воду. Они вытекают из триасовых пластов через залегающие впереди моренные наносы. Таким путем морена является фильтрующим телом. Может так случиться, что иногда в мелких, едва уловимых глазом трещинках и швах в качестве очищающей силы действует капиллярность. В таком случае происходит тесное соприкосновение воды с массой горной породы, чем достигается род фильтрующего действия.

Напластованные горные породы часто обнаруживают, особенно там, где их поверхность густо покрыта лесом, безукоризненно чистые источники, и можно указать на то, что такие же источники встречаются и в гнейсе, слюдяном сланце, глинистом сланце, кристаллических известняках, кварцитах, серой вакке, а также в аркозах и красном конгломератовом лежне. Нередко в каменоломнях этих видов горных пород можно установить наличие вымытых масс песка, очищающее действие которых отражается на качестве воды.

В источниках, питаемых из более глубоких подземных водоемов, штолен, подземных запруд и связанных между собой трещин, при известных обстоятельствах происходит самоочищение подобно тому, как в поверхностных запрудных бассейнах и озерах. По данным Гертнера (1), в воде запрудных озер патогенные зародыши до сих пор еще не были обнаружены. Можно принять как факт, что число бактерий с глубиной, т. е. с высотой давящего на них водяного столба, уменьшается. Гертнер придерживается того мнения, что болезнетворные возбудители (тифа, дизинтерии и холеры), попадающие в воду запрудных бассейнов, исчезают при условии достаточно продолжительного срока и глубины воды. При этом одна часть уничтожается, так как она не может противостоять осмотическим изменениям среды, другая часть исчезает вследствие плохих условий питания, третья от того, что на нее вредно действует свет, четвертая — вследствие того, что она поглощается другими микроорганизмами, особенно инфузориями, пятая — вследствие медленного погружения в глубину благодаря своему удельному весу, в то время как другая часть погружается быстрее, вследствие того что она связана притяжением с более значительными телами, быстро опускающимися на дно.

В подземных пещерах, в противоположность поверхностным запрудным озерам, солнечный свет не действует умерщвляюще на зародыши. Очень благоприятное влияние на самоочищающее действие оказывает здесь то обстоятельство, что загрязнения с поверхности (напрмер, пылью) почти совершенно исключены.

По Леману и Рейхле (75) стали действительно известны случаи из практики, где из трещиноватых пластов горных пород, не наполненных фильтрующим материалом, могла длительно добываться свободная от бактерий и бактериологически безопасная вода. Случаями этого рода являются, между прочим, водопроводная станция Штассфурта с глубиной колодцев в 70 м, отбирающих воду из нижнего раковистого известняка, и водопроводная станция в Мемеле с глубиной колодцев в 250—280 м и отбором воды из доломита и доломитизированного известняка. В обоих случаях колодцы являются артезианскими. Соотношения стока показаны на рисунке 171. Под дном долины, выполненной водонепроницаемыми породами, воды залегающих ниже известняков находятся под давлением. Если в дне долины, в достаточном отдалении от источника, заложить глубокий колодец, то последний, согласно экспериментальным данным, будет давать воду с небольшим содержанием зародышей и одновременно с этим с небольшим или совсем без содержания воздуха. Подобные условия имеются, как известно, в открытых водоемах, как, например, в Баденском и Женевском озерах, содержащих на большой глубине воду, свободную от зародышей.

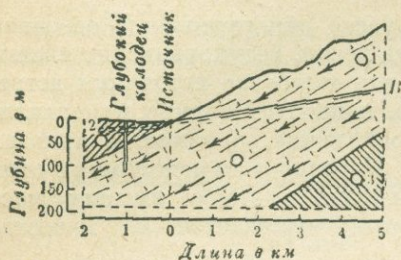


Рис. 171. Продольный разрез через водоносную горную породу с трещинами (по Рейхле):

1 — зона со свободным стоком загрязненной воды трещин; 2 — водопроницаемый залегающий пласт; 3 — водонепроницаемая подошва; 4 — зона трещиноватой горной породы, находящаяся под давлением; А-В — зеркало грунтовых вод.

Можно предполагать, что в глубоких колодцах, питаемых водой из трещин, воздух постепенно удаляется или потребляется в то время, когда вода проходит через зону высоких давлений. Вследствие этого сначала будут отмирать аэробные бактерии, в то время как анаэробные бактерии будут жить до тех пор, пока для них имеется органическое питательное вещество. В результате последнее расходуется, вследствие чего отмирают и анаэробные бактерии.

Леманн и Рейхле, исходя из этого предположения, экспериментально исследовали поведение бактерии Коли (*Coli*) в воде, изолированной от доступа кислорода. Для этой цели они применяли 9-литровую колбу, целиком наполненную водой. Результат опытов показывает, что в воде, загрязненной, примерно, 2,8 Mio на 1 см³, в колбах А₁ и А₂ на 9-й и 19-й день после изоляции от доступа кислорода, живые зародыши бактерий Коли уже не могли быть обнаружены обычными методами выращивания культур. При опытах А₃, А₄ и А₅ отсутствие зародышей было достигнуто лишь через 32,6 и 43 дня. Эта разница во времени может быть, повидимому, объяснена разницей в температуре места хранения колб (21,2 и 22,2° С).

В подземной воде, прошедшей длинные пути по горным породам, температура может быть принята приблизительно постоянной.

Правильность наблюдений, сделанных Леманном и Рейхле, подтверждается сообщением Мосни (Mosny) и Мартеля (76), согласно которому в воде подземных пещер Рагаса при глубине воды 0,30 м в 10 м³ было установлено 25 колоний и, примерно, 10 бактерий Коли в литре, при глубине воды 18,0 м в 10 м³ — 11 колоний, а в 100 см³ бактерии Коли вовсе не были обнаружены.

Вопрос о том, является ли экономически правильнее каптировать воду у места источника или каптировать ее глубокими колодцами в низменности ниже выхода источника, решает стоимость каптажа источника и очистки воды, а также стоимость глубокого колодца и величина потери падения между каптажем источника и уровнем воды в глубоком колодце. Последнее обстоятельство имеет особенно большое значение в том случае, когда имеется возможность подводить воду источника к району потребления.

43. ПОСЛЕДСТВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ГИГИЕНИЧЕСКИ НЕПРИГОДНОЙ КЛЮЧЕВОЙ ВОДЫ

Опытом было доказано, что многочисленные эпидемии были вызваны зараженной питьевой водой. Однако твердо установлено, что эти эпидемии приходится почти исключительно на источники, питаемые подземными водотоками, в которых вода, загрязненная еще на поверхности, не подвергается никакой фильтрации. Следовательно, дело касается поверхностной воды, погружившейся в глубину, обладающей всеми прежними свойствами поверхностной воды и выступающей после пройденного под землей участка снова на поверхность, подменяя, таким образом, гигиенически безопасный источник. На рисунке 172 показан характерный тип такого источника по Дезору (Desor) (77).

Поверхностные воды, погружающиеся в долине Понт (юра) под землю, проделав вертикальный путь, примерно, в 280 м, снова выступают из юрских пластов в долине Арейзы на поверхность в виде источников нуарег (noire aigue). Однако, несмотря на длинный подземный путь, никакого очищающего

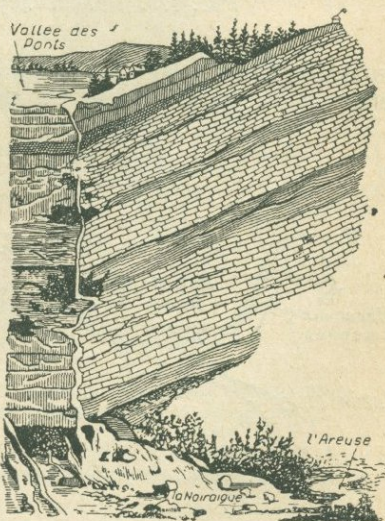


Рис. 172. Погружившаяся в землю поверхностная вода, кажащаяся при выходе на поверхность гигиенически безукоризненным источником.

действия не происходит, в связи с чем источники и названы «poire aigue» — черная вода.

Особенно Г е р т н е р (74), путем сопоставления и точного исследования подземных водотоков, указывал на то, что, например,

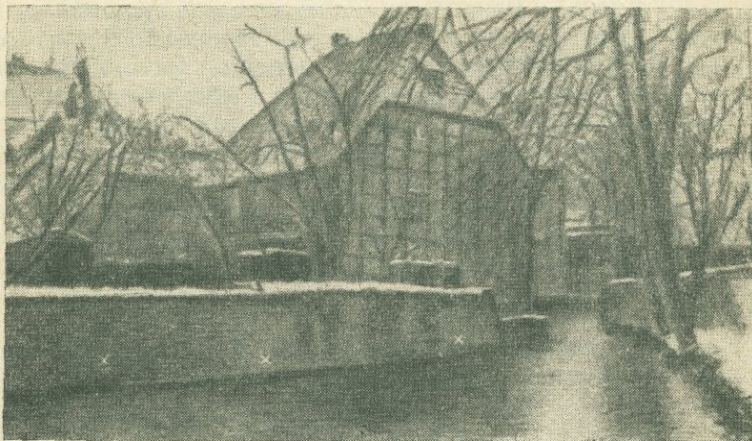


Рис. 173. Дилленпадер (X — выходы источников).

эпидемия тифа в Париже, Бар ле Дюк, Безансоне, Веймаре, Падерборне и т. д. объясняется исключительно только недостаточной

очисткой воды в трещиноватых горных породах. Из числа известных водных эпидемий ниже будут кратко описаны лишь случаи в Падерборне и Пфюрцгейме.

По Г е р т н е р у, город Падерборн пережил в период времени от 1885 до 1898 г. четыре эпидемии тифа. Первая эпидемия, имевшая место в 1885 г., когда центральный водопровод еще не существовал, захватил не весь город. Центральное водоснабжение было сооружено в 1887 г., и спустя шесть лет вспыхнула снова тяжелая эпидемия. Подозрение на то, что причиной эпидемии явилась

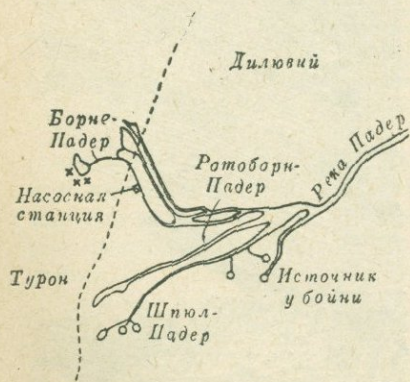


Рис. 174. Ситуационный план Падерских источников (по Гертнеру).

водопроводная вода, очень быстро подтвердилось. Водопроводная вода происходила из так называемых «питьевых источников», относящихся к Борнепадерским источникам (рис. 173). Падерские источники выступают пятью группами в середине города. Число отдельных источников составляет около 150. Установить их точное число не-

возможно, так как вода вытекает везде и из мостовых улиц, и из-под фундаментов и стен, которые были сооружены над выходами источников (рис. 174). Прежде всего источники обнаруживают различие в температуре. Различают прохладные и теплые источники. Прохладные источники обнаруживают колебания температуры от 8 до 11° С, а теплые от 12 до 15° С. Из рисунка 167 видно, в какой мере на температуру источников влияет дождь. Падерские источники отличаются друг от друга не только температурным режимом, но и тем, что отдельные источники, несмотря на сильный дождь, остаются прозрачными, в то время как другие, даже при небольших атмосферных осадках, замутняются. Наряду с замутнениями глинистыми частицами в дождливые периоды в источниках появлялось большое количество бактерий, в то время как химический состав их мало изменялся.

Несмотря на эти различия их режима температур, замутнений и бактерий, несомненно, вытекает, что Падерские источники находятся в тесной зависимости от дождя и, следовательно, должны быть связаны с поверхностью земли без промежуточного включения достаточно фильтрующих пластов.

Падерские источники питаются подземными водотоками, вытекающими из мела (рис. 175). Трещиноватость их района питания служит причиной инфекции. Поэтому было решено ключевую воду стерилизовать, для чего была сооружена озонирующая установка, позднее замененная хлорированием. Оба способа не устраняли замутнений. Безукоризненно разрешить вопрос о воде удалось лишь пуском в 1930 г. в эксплуатацию водопроводной станции, подающей воду, вытекающую из зенненских песков.

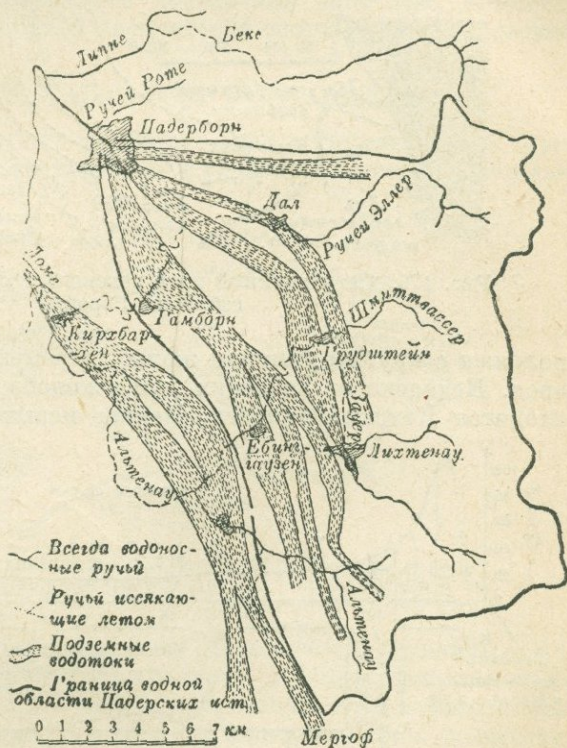


Рис. 175. Подземные водотоки, питающие Падерские источники (по Штилле).

По данным Даура и Рорера (75), город Пфорцгейм также пережил в 1894 г., 1897 и 1919 гг. тифозную эпидемию. Исходным очагом заразы в 1919 г. послужил дом в Валдренахе, в котором в течение января и февраля были зарегистрированы случаи тифа (рис. 176). Испражнения больных в недезинфицированном состоянии спускались в помойную яму, откуда они попадали на находящийся позади дома луг. От местечка Вальдренах к долине Гроссельталь

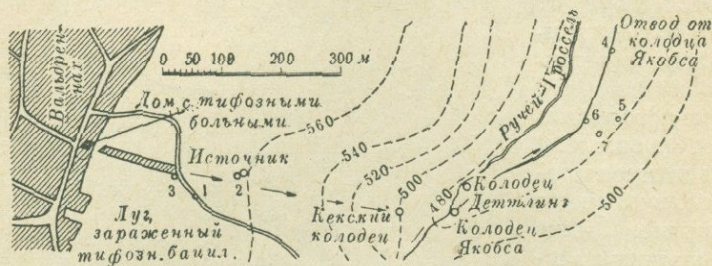


Рис. 176. Ситуационный план кекского колодца, близ Пфорцгейма (по Ререру).

проложен с крутым уклоном жолоб, перекрытый обломками горных пород. Недалеко от впадения этого жолоба в долину Гроссельталь находится Кекский колодец. Первое испытание на соль в пунктах

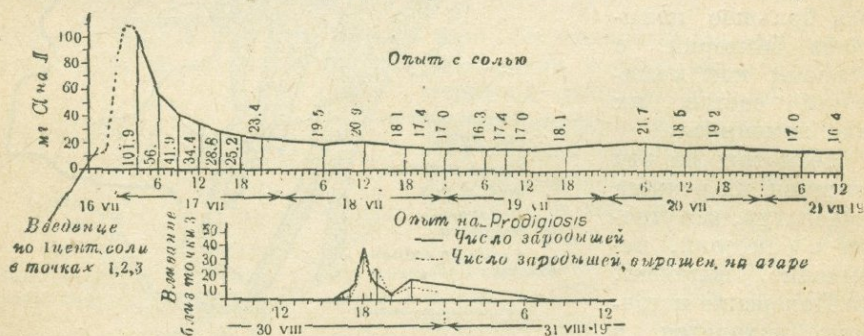


Рис. 177. Опыты с солью и Prodigiosus в кекском колодце (по Ререру).

1 и 3 показало, что вода из мульды близ Вальдренах очень скоро падает в колодец. Скорость протока составляла от 17,5 до 18,0 м/сек. Второй опыт с солью от скважины 3 дал следующие скорости течения:

Таблица 19

Пункт	Расстояние от колодца (в м)	Скорости течения воды (в м/час.)
1	350	58,3
2	270	45,0
3	380	63,0

Показатели второго опыта с солью значительно выше первых, что объясняется сильным дождем, выпавшим за несколько дней перед испытанием. И опыт с *Prodigiosus* показал, что поверхностная вода попадает в Кекский колодец в недостаточно отфильтрованном состоянии. Скорость, с которой двигались зародыши, составляла 40 м/час или 50 м/час. На рисунке дана кривая хода второго опыта с солью и *Prodigiosus*.

Для устранения возможности повторения эпидемии, ключевая вода хлорирующей установкой практически очищается от зародышей.

44. ОХРАНА КАПТАЖЕЙ ИСТОЧНИКОВ

Вокруг каждого каптажа источника, как с гигиенической точки зрения, так и по эксплуатационным и гидротехническим причинам,



Рис. 178. Запланированная охранная зона источников города Вены (по Шенбруннеру).

должна устраиваться охранная зона достаточной величины. Для источников, питаемых грунтовыми водами, в общем, действительны положения, приведенные в I томе «Гидрогеологии» на странице 365. При хорошо фильтрующих водоносных пластах обычно достаточно сравнительно небольшой охранной зоны, не распространяющейся за пределы воронки понижения. При источниках, питаемых подземными водотоками, часто очень трудно установить границы охранной зоны, которая действовала бы при всех обстоятельствах, так как здесь невозможно установить форму поверхности, геологические условия, простираение, мощность и активное действие защитного покрова и особенно обычно неизвестное происхождение подземных водотоков и их связь с поверхностью земли. В общем, охранная зона может ограничиться районами, лежащими выше каптажа источника до водораздела. Однако существуют случаи (рис. 19), когда необходимо охранять источники по ту сторону поверхностного водораздела.

Песок, гравий и отложения торфа являются обычно хорошими защитными покровами, а суглинок и глина лишь в том случае, если

они летом не растрескиваются, или когда они покрыты сплошным слоем дерна или растительности. Главным вопросом является то, имеется ли безукоризненный непрерывный защитный слой. Глубина стояния воды ниже поверхности земли не является мерилом надежности в отношении инфекции, так как трещины и расселины могут связывать с поверхностью очень глубокие слои земной

коры. Само собой понятно, что навозные кучи, свалки и прочие загрязнения не допустимы в пределах охранной зоны. Если в пределах охранной зоны имеются людские поселения, то они должны оздоравливаться; их санитарное состояние должно находиться под постоянным наблюдением.

Сточные канавы и водоотводы производственных вод никоим образом не должны пересекать охранной зоны, даже в том случае, когда воды спускаются в закрытых трубопроводах, так как такие трубопроводы не являются вполне герметичными и могут послужить причиной инфекции. На площади самого каптажа не должно быть деревьев, а лишь травяной покров. Это мероприятие рекомендуется ввиду возможности строительных работ у каптажа и опасности проникновения кор-

ней деревьев в глубину, что может послужить причиной закупорки и нарушения работы каптажного устройства. Район питания, лежащий вне полосы каптажа, следует по возможности засаживать деревьями. Это мероприятие является самым надежным средством охраны каптажа в гигиеническом отношении.

Как по чисто гигиеническим причинам, так и во избежание последующих недоразумений всегда желательнее полное закрепление участка для охранной зоны. Следовало бы всегда закреплять для охранной зоны участок, охватывающий район сферы влияния каптажа при максимальном отборе воды. Чем полнее сведения о есте-

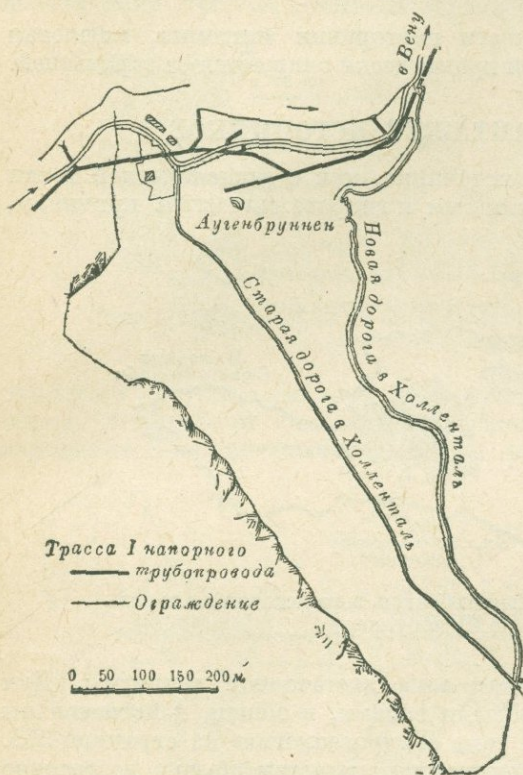


Рис. 179. Наиболее узкий, огражденный забором район питания Голлентальского источника (Вена) (по Шенбруннеру).

ственных гидрологических условиях существовавших до каптажа источника, тем легче отразить претензии, связанные с эксплуатацией источника. По данным Шёнбрунера (Schönbrunner) (79), район питания I венского напорного водопровода ключевой воды составляет от 2500 до 28 000 га (рис. 178). Из этого района городу Вены в настоящее время принадлежит, примерно, 6 000 га. Поэтому в Вене решили сначала огородить проволокой изгородью хотя бы самый узкий бассейн Голентальского источника. В остальном же охрана заключается лишь в возможном ограничении передвижения людей и направлении последнего на неопасные места, в запрещении новых поселений, а там, где таковые уже существуют и не могут быть устранены, в гигиенически совершенном отводе фекальных вод и прочих нечистот. Только один город Мюнхен до 1911 г. приобрел

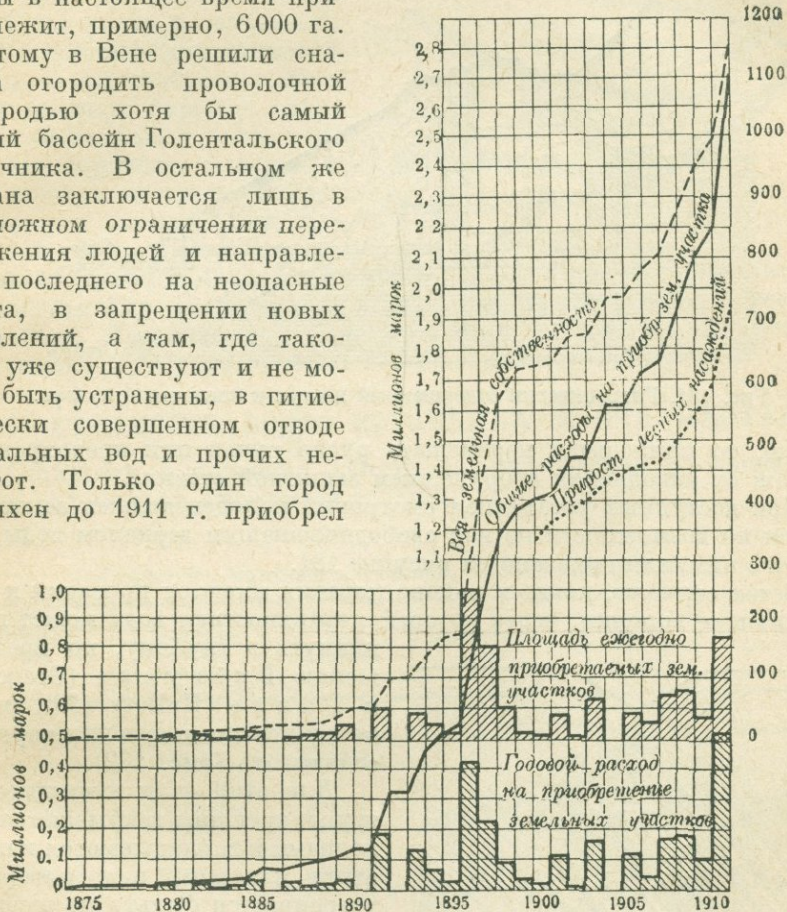


Рис. 180. Рост мюнхенских городских земельных владений в районе источника (по Мюнхенскому юбилейному сборнику 1912 г.).

в районе Мангфальского источника 1 163,7 га стоимостью в 27 250 000 марок (80). Из рисунка 180 ясно видно развитие Мюнхенской земельной собственности в районе источника, а также прирост новых лесных насаждений.

Хорошими каптажами следует перехватывать лишь чистую ключевую воду. Всякую поверхностную воду нужно отводить соответствующими строительными мероприятиями. Если каптажи

источников находятся вблизи от ручьев, то они должны закладываться настолько высоко над уровнем воды в ручье, что бы во время половодья воды, текущие в ручье, не могли попадать в каптаж. Если

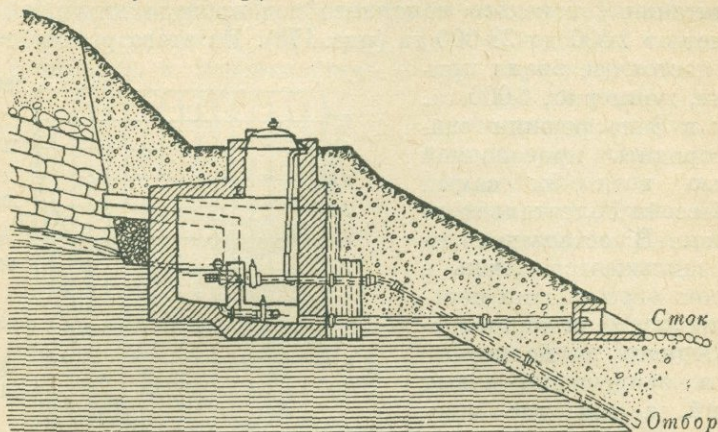


Рис. 181. Гигиенически совершенный доступ к каптажной камере.

нужно, то приходится перемещать русло ручья или предохранить каптаж от наводнения сооружением защитной стенки.

При доступных установках смотровый колодец должен закладываться по возможности не над свободнолежащим зеркалом воды, но рядом с ним, как показано на рисунке 181.

В тех случаях, когда в районе питания имеются просадки и поглощающие воронки, через которые поверхностная вода может проникнуть в глубину, по предложению Г р е г у а р а (Gregoire) и Г а л л е (Hallet) (39), рекомендуется поглощающие воронки заделывать (рис. 182).

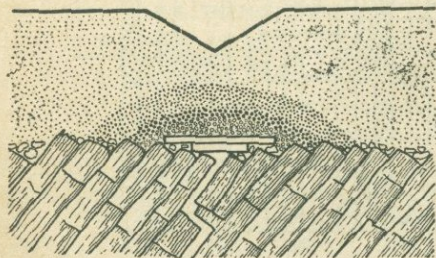


Рис. 182. Заделка поглощающей воронки.

Для этой цели имеющиеся в грунте трещины вскрываются колодцами и закладываются каменными плитами, над которыми устраивается фильтр из щебня с уменьшающимся размером зерна, поверх которого насыпается мелкий песок. Может также случиться, что два водоносных

горизонта лежат друг над другом, причем верхний состоит из фильтрующих песков, а нижний, напротив того, представляет собой разветвленную сеть водоносных трещин и расселин. Верхний водоносный горизонт питает источник Q_1 , а нижний — источник Q_2 (рис. 183). Источник Q_1 благодаря хорошему фильтрующему действию его района питания будет давать гигиенически совершенную

воду, в то время как источник Q_2 будет при известных обстоятельствах давать воду, содержащую болезнетворные бактерии. Этим объясняется, почему расположенные по соседству источники могут быть столь различны в гигиеническом отношении.

Если хотят использовать оба источника для питьевой воды, то целесообразнее всего при помощи буровых скважин отвести воду более глубокого горизонта в верхний горизонт, в котором она подвергается последующей активной фильтрации. Непременным условием является то, чтобы гидравлический напор в нижнем горизонте был достаточен для перехода из него воды в верхний горизонт. Источник Q_2 тогда осушается, а вода его вытекает из источника Q_1 с гигиенически совершенными свойствами.



Рис. 183.

45. СТОИМОСТЬ ВОДЫ ИСТОЧНИКА И ЕГО КАПТАЖА

Стоимость сооружения каптажей также весьма различна, что ясно вытекает из следующей таблицы.

Таблица 20

Стоимость каптажа источника, отнесенная к 1 л/сек.

Местность или страна	Геологическая формация	Род каптажа	Наименьший дебит	Стоимость сооружения в марках	Данные
Кауфейрен	Ледниковая галька	Дренаж и колодец	15	На 1 л/сек. 435	Баварского государственного управления по водоснабжению
Госсвейль	Ледниковая галька	Дренаж и шахта	2,1	2 990	
Швейцария	Морена	Дренаж, 1,20×0,9 м	—	На 1 м ³ 80—120	
»	Ледниковая галька	Дренаж, 1,20×0,9 м	—	120—160	Г. Ц. Ризер, Берн
»	Пучащие породы	Штольня, 1,80×0,9 м	—	240—400	
Голдбах-Гессбах	Пестрый песчаник	Дренаж и колодец	10	На 1 л/с 415	Баварское государственное управление по водоснабжению
Импфлингерская группа	Пестрый песчаник	Дренаж и колодец	13	2 277	

Местность или страна	Геологическая формация	Род каптажа	Наименьший дебит	Стоимость сооружения	Данные
Рейхсталь	Красный лежень	Опускной колодец	0,25	1 668	Баварское государственное управление по водоснабжению
Мерсгейм	Белая юра	Дренаж, шахта	16	160	
Фриденфельс	Гранит	Дренаж, шахта	2,2	3 588	
Изерские горы	Известняк	Дренаж	—	4 000 (в среднем)	У Губера

46. ОБЕЗВОЖИВАНИЕ, ВЫЗЫВАЕМОЕ КАПТАЖАМИ ИСТОЧНИКОВ

Лес, как известно, поддерживает и улучшает водное хозяйство источников. Так, например, Губер (82) сообщает, что в районе источников Берцдорферского ручья источники действовали до тех пор, пока район этот был покрыт лесом. После того, как большая площадь леса была вырублена, источники полностью иссякли. Только по истечении 20 лет, когда новые лесные насаждения дали тень, снова показались источники, но более слабые. Через 30 лет они стали изливаться с прежней силой.

При решении вопроса о снижении ценности леса вследствие обезвоживания, связанного с каптированием источников, необходимо различать, питаются ли источники грунтовыми водами или подземными водоотоками.

О влиянии депрессии при колодцах с грунтовой водой все необходимое было сказано уже в первом томе «Гидрогеологии» (том I, СХГ, 1933 г.).

При источниках, вытекающих из трещин, расселин и щелей гор, называемых поэтому горными или напорными источниками, условия уже будут совершенно иными. Скалы, на которых произрастает высокоствольный лес, из которого вытекают горные источники, почти везде покрыты двумя лежащими друг над другом покровами, называемыми растительным и покровом осыпей. Наверху обычно мягкая мелкозернистая почва, часто перемешанная с камнями, по мере углубления становится каменистее, размер и число глыб увеличивается, и наконец происходит постепенный переход к плотной, коренной породе. Толщина слоя продуктов выветривания зависит от толщины растительного покрова, от степени мягкости горных пород, от угла наклона поверхности и положения в отношении теневой и солнечной сторон. В условиях климата Германии толщина слоя от 2 до 5 м должна уже рассматриваться как значительная. Там, где

покров смыт дождем, нередко корни деревьев внедряются непосредственно в глыбы скал. И так как большинство водотоков находится глубоко под поверхностью земли, то и большинство деревьев строевого леса питается почвенной влагой осыпей, и в особенности росой, туманом и испарениями, короче говоря, влажностью воздуха. В таких случаях, конечно, не может быть и речи о сплошном подземном резервуаре воды, и здесь было бы неправильно на основании произвольно предположенного отвода воды вычислять недоказанный ущерб, нанесенный лесу.

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

МИНЕРАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

Р. КАМПЕ, Карлсбад (Чехословакия)

ВВЕДЕНИЕ

Значение минеральных источников возросло за последние десятилетия до огромных размеров. Медицина начала интересоваться бальнеологией, которой до тех пор пользовались преимущественно на основе эмпирических данных. Новейшие результаты исследований химии и физической химии обнаружили в химизме минеральных источников богатое и интересное поле деятельности. Повышенные требования к дебиту и качеству, к сохранению химического характера, к добыче ключевого газа и эманаций и т. п., с одной стороны, а с другой стороны, требование неременной предупредительной охраны ценных целебных источников — послужили причиной глубокого изучения гидрологами, геологами и химиками механизма источников и способствовали повышению и специальному развитию техники использования минеральных источников.

В настоящее время учение о минеральных водах и техника этого дела являют собой важную область науки, о которой в высших учебных заведениях читаются специальные лекции. Крупные фирмы по глубоким подземным разработкам стали специализироваться по каптажу минеральных источников. Курортные управления и государственные ведомства по охране источников потребовали инженеров со специальными знаниями в этой области.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОНЯТИЯ «МИНЕРАЛЬНЫЙ ИСТОЧНИК»

В природе нигде не существует химически чистой воды. Даже вода атмосферных осадков уже содержит в себе растворенные в атмо-

сфере газообразные и твердые вещества. Становясь подземной водой, она, вследствие тесного соприкосновения с горными породами на большой площади и в течение длительного промежутка времени, получает дальнейшую возможность обогащаться минеральной субстанцией. Поэтому все источники являются в широком смысле слова «минеральными источниками». В современном, более узком смысле понятие «минеральные источники» весьма близко к понятию «целебный источник».

Сначала человек, привлеченный более высокой температурой, своеобразным вкусом, бросающейся в глаза окраской осадков и т. п., открыл эмпирическим путем целебное действие, оказываемое при купании в воде таких источников или при питье ее. Лишь гораздо позднее, когда целебные свойства многих таких источников превратились в традицию, восходящую на несколько сот лет, наука начала объяснять действие этих ключевых вод их специальным химическим характером, причем исследование последнего до сих пор еще не закончено. Еще совсем недавно научные исследования не могли обнаружить, например, в холодных, слабо минерализованных, радиоактивных источниках особенности, отличающей их от тысячи подобных им источников; однако целебное свойство многочисленных таких вод было уже известно и испытано многими поколениями.

Лишь совсем недавно начался обратный процесс; на основании химических и физических исследований были открыты минеральные источники и подверглись бальнеологическому испытанию и эксплуатации. При этом точное определение понятия «минеральный источник» могло бы оказаться весьма полезным. Принимая, однако, во внимание разнообразие химического состава и физических свойств минеральных вод, а с другой стороны, считаясь с тем, что еще до настоящего времени ясно не выяснено, какие отдельные составные части и свойства или, вернее, какая максимальная концентрация и интенсивность последних, или какая специальная группировка обуславливает целебное свойство, — такое точное определение понятия связано с чрезвычайными трудностями.

По К е й л ь г а к у, минеральная вода представляет собой грунтовую воду, минеральное содержание которой по своему количеству значительно превышает обычную норму или в которой сильнее представлены отдельные вещества, содержаемое которых, следовательно, качественно или количественно значительно отклоняется от нормы.

По германскому бальнеологическому справочнику минеральная вода отличается от обыкновенной ключевой или колодезной воды или:

- 1) высоким содержанием растворенных веществ, или
- 2) содержанием реже встречающихся веществ, или
- 3) высокой температурой.

Для более подробного объяснения значения слов «высокая» и «редко» в этих трех пунктах Г р ю н г у т (Grühnhut) (84) приводит таблицу предельных величин.

Пределыные величины, отличающие минеральные воды от обыкновенных

Общее количество растворенных твердых веществ	. 1 г	в 1 кг
Свободный угольный ангидрид (CO ₂)	0,25 »	» 1 »
Литий-ион (Li ⁺)	1 мг	» 1 »
Стронций-ион (Str ⁺⁺)	10 »	» 1 »
Барий-ион (Ba ⁺⁺)	5 »	» 1 »
Ферро- или ферри-ион (Fe ⁺ , Fe ⁺⁺)	10 »	» 1 »
Бром-ион (Br ⁻)	5 »	» 1 »
Иод-ион (I ⁻)	1 »	» 1 »
Фтор-ион (Ft ⁻)	2 »	» 1 »
Гидроарсенат-ион (HAsO ₄ '')	1,3 »	» 1 »
Мета-мышьяковая кислота (HAsO ₃)	1 »	» 1 »
Сера (S)	1 »	» 1 »
Борная кислота (мета) (HBO ₃)	5 »	» 1 »
Щелочность	4 мг-экв.	» 1 »
соответственно	0,34г NaHCO ₃	в 1 кг
Эманация радия	3,5 единиц махе	в 1 л
Температура	+ 20° C	

Если фактическое содержание превышает одну из этих величин, то вода может рассматриваться как минеральная. Однако Е. Гинц (Ginz) и Л. Фрезениус (Fresenius) (85) справедливо отмечают, что в природе не существует резких границ и что поэтому никогда не следует точно придерживаться цифровых показателей, но во всех случаях руководствоваться суммарными данными, принимая во внимание общую картину; кроме того, подобный метод оценки должен всегда соответствовать прогрессу науки. Так, например, предел радиоактивности в 3,5 единиц махе уже давно признан слишком низким. В настоящее время активности в 25—50 единиц махе для лечения ваннами считаются минимальными; питьевой курс лечения требует значительно более высокого содержания эманации.

I. ХИМИЗМ МИНЕРАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. АНАЛИЗ

Производство химического анализа минеральной воды является естественной задачей специалиста химика. Однако инженер, призванный для каптирования, поддержания и охраны минеральных источников, должен до известной степени обладать специальными познаниями в области химии, если хочет дать возможно лучшие результаты работы, соответственно индивидуальным особенностям того или иного источника. Он должен, по крайней мере, понимать результаты анализов, получаемых им от химика.

Гинц и Грюнхут (86) приводят две главные задачи химического анализа минеральных источников. Во-первых, анализ должен при максимальной полноте и наивысшей достижимой точности характеризовать воду таким образом, чтобы фармакологическая оценка могла быть основана на его результатах (главный анализ

или полный анализ). Во-вторых, частое повторение подобных анализов, производимых упрощенными методами и ограничивающихся лишь определением составных частей, должно дать ясную картину колебаний в минеральном составе источника (контрольные анализы см. стр. 251). К этому следовало бы в качестве третьей задачи еще прибавить участие химика при каптаже минерального источника.

Перед началом работ следует путем контрольных анализов устанавливать последнее состояние источника, а во время ведения работ определять и характер отдельных вскрытых жил. При опытных подпорах источников для определения наилучшего уровня стока необходимо исследовать возможное изменение в минеральном составе при изменении уровня стока. Наконец, окончательный результат каптажа должен после наступившего химического равновесия устанавливаться полным анализом. Важнейшими веществами, встречающимися в минеральных водах, являются¹: к а т и о н ы: натрия, калия, лития, рубидия, цезия, магния, кальция, бария, стронция, радия, марганца, железа, алюминия, и а н и о н ы: хлора, брома, иода, фтора, сульфата, фосфата, гидрофосфата, гидроарсената, карбоната, гидрокарбоната, гидросульфита, н е и о н и з и р о в а н н ы е вещества: борная кислота, кремневая кислота, и г а з ы: водород, гелий, аргон, эманации радия, эманации тория, азот, угольный ангидрид («углекислота»), сероводород, углеводороды.

Поэтому минеральные воды обладают характером обычно сильно разжиженных растворов солей и газов.

С течением времени способ изображения результатов анализов подвергался изменениям в соответствии с успехами химии и физики растворов. Определявшиеся путем анализа элементы и группы элементов прежде относили к солям, причем в выборе принципа группировки господствовал известный произвол.

В 1871 г. Бунзен (Bunsen) предложил производить группировку в том порядке, как выкристаллизовывались бы соли при испарении при определенной температуре. Р. Фрезениус насытил самые сильные кислоты наиболее сильными основаниями, а остальные в нисходящем порядке соответственно их силе. Так как анализы сами по себе никоим образом не дают понять, связываются ли элементы в соли вообще и каким образом, и так как результаты анализов с различным принципом группировки не поддаются сравнению, то К. Тан уже в 1864 г. предложил отказаться от группировки анализов по солям, а приводить лишь фактические результаты анализов. На это предложение сначала почти не было обращено внимания. Лишь открытие Сванте Арениусом (1887) электролитической диссоциации растворов и применение ее Вильгельмом Оствальдом сделали в этой области переворот.

¹ Кнетт (Knett) (87) дает таблицы известных до сих пор веществ, содержащихся в термальных или минеральных водах.

В настоящее время мы знаем, что молекулы так называемых электролитов¹ расщепляются в растворе на более мелкие части, ионы, обладающие электрическим зарядом определенной силы. Вследствие этого нормальные свойства элементов не выявляются; хлор-ион бесцветен, Натрий-ион не разлагает воды и т. д. В то время как Оствальд и его школа полагали, что эта диссоциация распространяется лишь на часть растворенных веществ, которая с растущим разжижением должна была увеличиваться (степень диссоциации), Бьеррум (Bjerrum) и Дебей (Debye) позднее доказали, что соли сильных кислот, независимо от концентрации, полностью диссоциированы.

Поэтому в настоящее время результаты анализов вносятся в таблицу ионов, в которой в виде нерасщепленных молекул встречаются лишь слабые электролиты, как, например, кремневая и борная кислоты. Если этой таблице ионов и в настоящее время еще противопоставляется группировка на соли, т. е. старая таблица солей, то этим лишь идут навстречу бальнеологам, привыкшим к прежним способам начертания; однако эта группировка не соответствует действительному положению вещей.

Изображение в ионах тем более правильно, так как ионы являются собственно носителями физиологических действий веществ, столь важных для терапии.

Анализ выражает количество данного иона в исследованной массе минеральной воды в граммах, и полученное число, перечисленное на граммы в литре, стоит в первой графе таблицы ионов. Их конечную сумму дает растворенное в литре количество твердых составных частей. Наряду с этим абсолютным количеством материала бальнеолога интересует также и число имеющихся налицо молекул и ионов отдельных веществ, так называемая осмотическая концентрация, так как она определяет осмотическое давление, а с ним и интенсивность, с которой происходит обмен жидкости и растворенных веществ через проницаемые мембраны (стенки клеток). Выбор единицы, в которой выражаются эти числа, базируется на том законе, что весовые количества веществ, режим которых соответствует поведению молекулярных весов веществ, обладают тем же числом молекул. Молекулярный вес веществ, даже принимаемый в качестве весового количества в граммах, так называемая грамм-молекула, или моль, содержит, следовательно, при всех веществах одинаковое число молекул, а именно $6,1 \times 10^{23}$ молекул.

Так как эта единица оказалась практически слишком большой, то обычно расчет ведется с ее тысячной частью, 1 миллимоль равен $6,1 \times 10^{20}$ молекулам. Аналогично говорят о грамм-ионах и миллиграмм-ионах. Поэтому во второй графе анализа мы находим составные части, выраженные в миллимолях или миллиграмм-ионах. По Раульту, понижение точки замерзания раствора по сравнению

¹ Вещества, которые, вследствие распада их молекул на электрически-заряженные ионы, делают раствор электропроводным (кислоты, основания, соли и т. д.).

с чистой водой пропорционально осмотической концентрации. Точка замерзания понижается на каждый миллимоль или миллиграмм-ион на $0,00185^\circ$. Поэтому полный анализ содержит и определение понижения точки замерзания.

Наконец, можно рассчитать осмотическую концентрацию минеральной воды по сопротивлению, которое она представляет электрическому току, или ее электропроводность. Поэтому и эта постоянная величина находится среди результатов полного анализа.

Третья графа содержит так называемые эквивалентные веса, представляющие собой веса ионов на химическую единицу валентности (атомность). Один грамм-эквивалент содержит столько граммов, сколько от веса ионов приходится на единицу валентности = вес ионов. Поэтому данные третьей графы совпадают при одновалентности. Поэтому данные третьей графы совпадают при одновалентных ионах с данными второй графы, при n — валентных ионах они выражают собой n , кратное последних. Эквивалентные суммы анионов и катионов должны совпадать между собой.

Теперь часто в четвертой графе приводятся эквивалентные веса, выраженные в процентах от общей суммы. Таблица эквивалентных весов, особенно перечисленная на проценты, используется, главным образом, для характеристики минеральной воды и для подразделения на отдельные группы (Кнетт, 87).

Полный анализ минеральной воды содержит помимо того еще и радиоактивность (стр. 172), концентрация водородных ионов, каталитическое действие воды, а при источниках, содержащих газы, — и состав свободно выделяющегося газа.

Концентрация водородных ионов (рН). Число водородных ионов, находящихся в литре, вследствие электролитической диссоциации, дает точную меру реакции жидкости. Концентрация водородных ионов (к.в.и.) представляет собой концентрацию H -ионов в грамм-эквивалентах на литр. Совершенно чистая, следовательно, нейтральная вода, содержит, по Кольраушу, 10^7 грамм-эквивалентов H -ионов. По Сёренсену (Sørensen), концентрация водородных ионов измеряется по их отрицательному логарифму; у нейтральной воды она равняется, согласно этому, $pH = 7$. Значения меньше 7 соответствуют кислой, а выше 7 — щелочной реакции. Тилманс принял для своего способа обозначения концентрацию нейтральной минеральной воды в миллиграмм-эквивалентах равной 10^{-4} , а в качестве единицы $h = 1$. Получаем:

рН по Сёренсену	h по Тилмансу
8	0,1 щелочная
7	1 нейтральная
6	10 кислая
5	100 »

Каталитическое действие минеральных вод, т. е. их свойство вызывать химические процессы, как, например, разложение перекиси водорода (88), без того, чтобы их минеральное

содержание принимало в самих этих процессах участие и подвергалось химическим изменениям, возбудило в последнее время большой интерес. Так как это свойство с течением времени теряет интенсивность («состаривание» катализатора), то в этом пытаются искать причину особенного терапевтического действия свежевывитой воды у источника. В качестве носителей этого каталитического действия принимаются во внимание по преимуществу ферро- и марганец-ионы. Их интенсивность выражается скоростью реакции κ .

В качестве современного химического и физико-химического анализа может служить следующий, приведенный в выдержках, анализ Карлсбадского Мюльбруннена, сделанный химической лабораторией Фрезениус-Висбаден в 1932 г.

Удельный вес при 15°C , отнесенный к воде в 4°C : 1,0055.

Температура $52,2^{\circ}\text{C}$ при температуре воздуха в $17,0^{\circ}\text{C}$ и показании барометра в 732 мм.

В 1 кг воды содержатся:

Катионы	Граммы	Миллимоль	Миллиэквиваленты
Калий-ион (K^+)	0,09574	2,4480	2,4480
Натрий-ион (Na^+)	1,69000	73,5000	73,5000
Литий-ион (Li^+)	0,002897	0,4174	0,4174
Аммоний-ион (NH_4^+)	0,000132	0,0073	0,0073
Кальций-ион (Ca^{++})	0,13030	3,2510	6,5010
Стронций-ион (Sr^{++})	0,000249	0,0028	0,0057
Магний-ион (Mg^{++})	0,04477	1,8410	3,6820
Ферро-ион (Fe^{++})	0,001254	0,0225	0,0449
Марганец-ион (Mn^{++})	0,000198	0,0036	0,0072
			86,6100
Анионы	Граммы	Миллимоль	Миллиэквиваленты
Хлор-ион (Cl^-)	0,601300	16,96000	16,9600
Бром-ион (Br^-)	0,000722	0,00900	0,0090
Иод-ион (I^-)	0,000003	0,00003	0,0003
Фтор-ион (F^-)	0,002063	0,10860	0,1086
Сульфат-ион (SO_4^{--})	1,641000	17,09000	34,1800
Гидрофосфат-ион (HPO_4^{--})	0,000291	0,00300	0,0060
Гидроарсенат-ион (HASO_4^{--})	0,000199	0,00140	0,0028
Гидрокарбонат-ион (HCO_3^-)	2,157000	35,36000	35,3600
	6,368000	151,00000	86,6300
Борная кислота (мета) (HBO_3)	0,002678	0,0611	
Кремневая кислота (мета) (H_2SiO_3)	0,089600	1,1480	
	6,46000	152,2000	
Свободная угольная кислота (CO_2)	0,7177	16,31	
	7,1780	168,50	

Минеральная вода соответствует по своему составу раствору, который в 1 кг содержит:

	Граммы
Хлористого калия (KCl)	0,182500
Хлористого натрия (NaCl)	0,347700
Бромистого натрия (NaBr)	0,000920
Иодистого натрия (NaI)	0,000004

	Грамы
Фтористого натрия (NaF)	0,004560
Сернистого натрия (Na ₂ SO ₄)	2,427000
Двууглекислого натрия (NaHCO ₃)	2,076000
Двууглекислого лития (LiHCO ₃)	0,028360
Хлористого аммония (NH ₄ Cl)	0,000390
Двууглекислого кальция [Ca(HCO ₃) ₂]	0,526200
Гидрофосфата кальция (CaHPO ₄)	0,000412
Гидроарсената кальция (CaHAsO ₄)	0,000256
Двууглекислого стронция [Sr(HCO ₃) ₂]	0,000595
Двууглекислого магния [Mg(HCO ₃) ₂]	0,269400
Двууглекислого железа [Fe(HCO ₃) ₂]	0,003993
Двууглекислого марганца [Mn(HCO ₃) ₂]	0,000637
Борной кислоты (мета) (HBO ₃)	0,002678
Кремневой кислоты (мета) (H ₂ SiO ₃)	0,089600
	6,461000
Свободная углекислота (CO ₂) = 432,0 см ³ при 52,2° С и 760 мм давления	0,7177 7,1790

Сумма растворенных твердых веществ составляет, примерно, 6,46 г в 1 кг, причем преобладают ионы натрия, гидрокарбонатов, сульфата и хлора. Содержание свободной углекислоты составляет, примерно, 0,72 г. Принимая во внимание вышесказанное и температуру (52,2° С), Мюльбруннен считают теплым щелочно-сульфатно-соляным источником. Достоинно внимания содержание фтор-ионов (2 мг).

Электропроводность. Удельная электропроводность воды Мюльбрунненского источника при 48,5°, т. е. электропроводность слоя длиной в 1 см с поперечным сечением в 1 см², составляет 0,01161 обратных ом. Если разделить это число на эквивалентную концентрацию кубического сантиметра воды 0,00008709, то получим среднюю эквивалентную электропроводность, отнесенную к 1 (см-ом) при 48,5° С, равную 133, 3.

Понижение точки замерзания. Понижение точки замерзания воды Мюльбруннена составляет — 0,276°. Вычисляемая отсюда осмотическая концентрация равняется 149,19 миллимолям в каждом литре.

Радиоактивность. Радиоактивность была определена при помощи фонтаскопа Енглера и Зивекинга равной 2,4 единицы махе. Время полураспада (стр. 171) составляет 2,27 дней; из этого следует, что наряду с растворенной эманацией имеются и небольшие количества солей радия.

Концентрация водородных ионов. Она была определена калориметром тетраэдрической формы Бьерруме и Арениуса.

Было получено:

После минут	pH	Температура (в °C)	После минут	pH	Температура (в °C)
4	6,50	42,5	80	7,06	29,5
10	6,55	42,0	170	7,20	26,5
20	6,55	41,5	250	7,25	25,5

Каталитическая активность. Опыты показали очень сильную способность разлагать перекись водорода в каталитическом смысле. Значения постоянной величины $k \cdot 10^3$ являются, за исключением найденных в Карлсбадском шпруделе, наивысшими по сравнению с наблюдавшимися по настоящее время.

Испытание на каталитическую активность (при помощи бензидиновой реакции) показало сначала довольно сильное действие, которое, по мере перехода имеющих налицо ферро-ионов в ферри-ионы, уменьшается и, наконец, исчезает.

Спектральный анализ. Этим исследованием было обнаружено наличие натрия, калия, кальция, стронция, магния, алюминия, железа, марганца, силиция, очень небольших количеств лития и мышьяка и следов меди, серебра, молибдена, бериллия, бария, рубидия, цезия, титана и бора.

2. КЛАССИФИКАЦИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД

По исходной температуре минеральные источники подразделяются на холодные и теплые, или термы. Геологи и бальнеологи пользуются для этого подразделения различными предельными точками. Для геолога средняя годовая температура, равная температуре нейтральной зоны земной коры (на глубине, примерно, 20 м под поверхностью земли), представляется нормальной; вода, обладающая более высокой температурой, считается «теплой». Следовательно, с геологической точки зрения термами являются все источники, температура которых превышает среднюю годовую температуру. Бальнеологи же пользовались с давних пор для такого различия тепловым ощущением, воспринимаемым кожей. В Германском бальнеологическом сборнике, оказавшем стандартизирующее действие в этой области, в качестве предельной была принята температура в 20°C .

Г и н ц и Г р ю н х у т (86) предлагают в руководстве по бальнеологии следующую классификацию:

	Температура
А. Холодные источники.....	ниже 20°C
В. Теплые источники, или термы.....	свыше 20°C
а) гипотермальные источники между.....	20° и 34°C
б) гомеотермальные источники между.....	34° и 38°C
в) гипертермальные источники свыше.....	38°C

Для дальнейшего подразделения использовали температуру кожи человека, так называемую точку разности температур ($34-38^{\circ}$).

К. Ш т е й д е р (89) подразделяет термы (свыше 20°) на теплые источники ($20-50^{\circ}$) и горячие источники ($50-100^{\circ}$). По его мнению, температура в 50° является в природе границей, потому что как кремнистый, так и известковый туфы терм были бы при температуре ниже 50° мягкими и рыхлыми, а при температуре выше 50° — твердыми и плотными. То обстоятельство, что при 50° белковые

вещества начинают коагулироваться, также подтверждает эту предельную температуру. Гюмбель называет эту ключевую воду с постоянной температурой гомотермальной, а такую с колеблющейся температурой — гетеротермальной.

Осмотическое давление также представляет собой важный принцип для подразделения минеральной воды. При этом осмотическая концентрация человеческой кровяной сыворотки, на которую действуют минеральные воды и период питьевого курса лечения, является решающей (303 миллимоль + миллиграмм-ионы в 1 л с 7,70 атм. осмотического давления). Бальнеолог называет минеральные воды с одинаковым осмотическим давлением изотоническими, при более высокой концентрации — гипертоническими, при более низкой — гипотоническими, причем он придает этим обозначениям, употребляемым в физике в относительном смысле, абсолютный характер.

Самым важным принципом подразделения минеральных источников является классификация их по их химическому составу. При этом решающими являются, в первую очередь, преобладающие анионы, а во вторую очередь — катионы. Ниже мы приводим краткий обзор классификации Гинца и Фрезениуса (85).

а) Простые теплые источники (акратотермы). С химической точки зрения они характеризуются тем, что в 1 кг воды содержат менее 1 г растворенных составных частей. Их относят к минеральным источникам на основании их неменяющейся температуры, превышающей 20° С.

б) Радиоактивные источники. К этой группе относятся воды с практически значительной радиоактивностью, независимо от их химического состава.

в) Простые углекислые минеральные источники. Эти минеральные воды богаты свободной углекислотой, более 1 г, и бедны растворенными твердыми составными частями, менее 1 г в 1 кг воды.

г) Земельно-углекислые минеральные источники. К этой важной группе относятся те минеральные воды, которые содержат в 1 кг воды более 1 г свободной углекислоты и более 1 г растворенных твердых составных частей. Среди анионов преобладает гидрокарбонат-ион, среди катионов — кальций и магний-ион.

д) Щелочные источники. Последние содержат в 1 кг воды более 1 г растворенных минеральных составных частей, среди которых преобладает гидрокарбонат-ион и натрий-ион.

е) Источники, содержащие поваренную соль. Они содержат в 1 кг воды более 1 г растворенных твердых веществ, среди анионов которых преобладает хлор-ион, а среди катионов — натрий-ион.

ж) Горькие источники. Эти минеральные воды содержат в 1 кг воды более 1 г растворенных твердых веществ, среди анионов которых преобладает сульфат-ион. Присутствие этой составной части придает воде настолько ярко выраженный характер,

что не только ее преобладание является решающим, но что уже каждая минеральная вода, содержащая, при отсутствии щелочи в более узком смысле слова, сульфат-ион в более значительном количестве, должна рассматриваться как горькая вода.

з) Железистые источники. Железистыми источниками являются такие источники, которые содержат в 1 кг воды более 0,01 г ферро- или ферри-ион и наиболее сильное действие которых может быть объяснено содержанием железа.

и) Мышьяковистые источники. В качестве мышьяковистых источников рассматриваются воды, имеющие в отношении своего общего химического состава характер железистых вод или соляных источников, характеризующихся, однако, тем, что они содержат мышьяк в фармакологически значительном количестве, в пяти- или в трехвалентном состоянии.

к) Серные источники. Серными источниками являются источники, содержащие сульфидат-ион, в данном случае и ионы солей серноватистой кислоты, а очень часто и свободный сероводород, в количествах, соответствующих в целом содержанию в 1 кг воды 0,001 г серы, поддающейся титрованию. При этом их сильнейшее действие, несомненно, обусловлено содержанием этих составных частей.

л) Иодистые источники. Иодистые источники характеризуются наличием клинически значительного количества иода, в остальном же эти источники обнаруживают довольно разнообразный химический характер.

3. РАДИОАКТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ

Радиоактивные вещества характеризуются излучением известных лучей. Г. Бекерел впервые наблюдал это свойство на элементе уране в 1896 г. В 1898 г. Г. С. Шмидт открыл радиоактивность тория. Супруги Кюри изолировали в 1898 г. из похимстальной «урановой смолки» высокоактивный элемент — радий. В 1899 г. Дебюрне находит в урановой смолке актиний. В 1902 г. Зелла и Поссетино впервые констатируют радиоактивность ключевых вод.

Причиной радиоактивности является распад атомов радиоактивных элементов. Согласно данным современной науки о строении атомов, последние состоят из положительно заряженного ядра, вокруг которого — наподобие планеты вокруг земли — движутся по круговым путям отрицательные электрические заряды — «электроны». Ядро состоит из материальных частиц, электронов и положительных электрических зарядов. Алгебраическая сумма электрических единиц ядра дает всегда положительную зарядку ядра, а выраженная в элементарных единицах — «порядковое число» элемента в периодической системе элементов.

Атомы элементов с наивысшими порядковыми числами не всегда стабильны; вследствие выбрасывания материальных частиц (α -лучей)

или электронов (β -лучей) из ядра они переходят в элементы с другим порядковым числом, в первом случае, и с другим (меньшим) атомным весом. Это снарядное лучеиспускание, а также вызванное им родственное рентгеновским лучам волнообразное излучение («гамма-излучение») радиоактивных веществ используются медицинской для лечебных целей (терапия лучеиспусканием). Постепенно возникающие друг от друга, вследствие вышеописанного расщепления атомного ядра, элементы образуют «ряд диссоциации». До сих пор известны лишь два исходных элемента таких рядов диссоциации¹: 1) уран, последовательно превращающийся в ионий, радий, радиоэманации (газообразно), радий *A-E*, полоний, радиосвинец или, пропуская кратковременные промежуточные ступени, через протактиний, актиний, эманации актиния в активный свинец; и 2) торий с главными ступенями: мезоторий, радиоторий, эманации тория, торий *B* и торийсвинец. В каждом из этих рядов диссоциации существует газообразная ступень, «эманация». Эта последняя, в особенности эманация радия, в связи с ее относительно длинным существованием, имеет для радиоактивных источников особенно важное значение.

Так как в одинаковое время распадается всегда одинаковая дробная часть имеющегося налицо атомного числа, то число остающихся атомов являет собой показательную функцию времени. Если N_0 представляет собой первоначальное наличие радиоактивного вещества (атомное число), то количество N_t по истечении времени t равняется:

$$N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda t}.$$

Правда, согласно этому, радиоактивный элемент теоретически никогда полностью не исчезает (так как для $N_t = 0$; $t = \infty$), однако он зависит от величины постоянной λ («постоянная диссоциация»), коль скоро количество станет небольшим. Для суждения об этом «сроке существования» ступеней распада было введено время полураспада T , т. е. время, по истечении которого остается половина первоначального количества элемента. $N_t = 1/2 N_0$ дает $T = \frac{\log 2}{\lambda}$.

Так, например, время полураспада

радия	1750 лет	эманации радия	3,85 дней
актиния	30 >	эманации актиния	3,9 сек.
мезотория	6,7 >	эманации тория	54,5 >
радиотория	1,9 >		

По истечении десятикратного времени полураспада количество снижается, примерно, на тысячную первоначального.

Если из субстанции с относительно длительным сроком существования последовательно возникают кратковременные ступени,

¹ По всей вероятности, радиоактивному распаду подвергаются и другие основные вещества, а может быть и все; однако он лишь у немногих происходит настолько быстро, что может быть нами установлен. Удалось установить радиоактивность калия и рубидия.

то с течением времени устанавливается состояние равновесия, при котором в каждой промежуточной ступени распавшееся количество равняется новообразовавшемуся, и поэтому количество остается постоянным; это явление называется «радиоактивным равновесием». В этом случае количество вещества обратно пропорционально скорости распада.

Радиоактивные источники содержат или только растворенную эманацию, или же наряду с ней и растворенные твердые радиоактивные субстанции. И в последнем случае активность эманации играет также главную роль, и общие указания о радиоактивности источников относятся к их содержанию эманации. Содержит ли вода эманацию в качестве «самостоятельной составной части» или нет, показывает с течением времени режим эманации. Если радиоактивность падает соответственно постоянной распада эманации (эманации радия — 3,85 дней), то эманация имеется налицо; такая вода становится по истечении 30 дней совершенно неактивной. Если в растворе имеются предшественники эманации, то активность падает медленнее и остается некоторое время постоянной; вода обладает «остаточной активностью». Она может быть с достоверностью доказана благодаря ее повторному появлению после отгонки самостоятельной эманации путем кипячения минеральной воды. В качестве самостоятельной составной части эманации, ввиду кратковременного существования обеих других, принимается во внимание лишь эманация радия. В качестве остаточной активности в редких случаях обнаруживалась также эманация тория. В этом случае она является спутником эманации радия.

Так как растворимость эманации как газа с температурой уменьшается, то условия для наличия ее в более холодных источниках благоприятнее, чем в горячих. Горячая вода гейзеров с температурой точки кипения не может содержать эманации.

Если радиоактивная ключевая вода соприкасается с газами, то эманация, в зависимости от температуры, распадается на обе составляющие. По данным Махе и Мейера, при двух объемах воды и воздуха, находящихся в растворном равновесии, воздух содержит при (градусы Цельсия):

0	1,96	40	6,20
10	2,85	50	7,25
20	3,94	70	8,55
30	5,13	100	9,26

раз больше эманации, чем вода. Поэтому в газированных термах сопровождающий газ должен содержать в состоянии равновесия всегда больше эманации, нежели вода. Это явление подтвердилось в природе, главным образом, для источников, бедных газами.

Измерение радиоактивности. Измерение радиоактивности источников охватывает всегда собой и определения содержания в них эманации. Однако абсолютное количество эманации, встречающееся в радиоактивных источниках, настолько мало, что непосред-

ственный аналитический способ путем определения объема и взвешивания не применим. Измерение производится косвенным путем. Излучаемое эманацией в течение определенного времени количество лучей пропорционально количеству эманации. Интенсивность излучения может быть, в свою очередь, измерена при помощи одного какого-либо его действия; для этой цели пользуются ионизацией воздуха, наступающей под влиянием излучения. При распаде эманации выброшенные альфа-частицы вырывают вдоль своего пути из газовых молекул воздуха по одному электрону. Остаток разрушенных молекул газа обладает положительной зарядкой, свободный электрон заряжает молекулу газа, к которой он присоединяется, отрицательно; воздух таким образом частично ионизируется. Если ввести в измененный таким образом воздух два электрода и сообщить им разность напряжения, то ионы двигаются к неодинаково заряженным электродам, и двухсторонняя нейтрализация количества электричества соответствует соединительному току; следовательно, воздух стал электропроводным. Интенсивность тока зависит от числа ионов, достигающих электродов в единицу времени. При слишком малой разности потенциалов ионы на электродах двигаются настолько медленно, что большее число их, вследствие взаимной нейтрализации, теряется; если же, наоборот, напряжение слишком велико, то быстро передвигаемые ионы действуют на своем пути даже снова ионизирующе. В обоих случаях интенсивность тока не является правильным мерилем ионизации. Однако в пределах известного интервала напряжения в транспорте тока принимают участие почти все (и только они) порожденные действием излучения ионы. В таком случае говорят о «насыщенном токе», интенсивность которого является мерилем ионизации, а через нее мерилем интенсивности лучеиспускания, а через последнее и мерилем количества эманации.

Единицы измерения. Так как показания насыщения в амперах или в электростатических единицах (ESE) в секунду в большинстве случаев выразились бы в очень маленьких цифрах, то была введена так называемая единица махе¹. Одна единица махе равняется $\frac{1}{1000}$ электростатической единицы, отнесенной к 1 л воды.

В физике в качестве интернациональной единицы ввели количество эманации, радиоактивно уравниваемое 1 г радия (см. выше). Эта единица измерения была названа «кюри». Один кюри соответствует $2,75 \cdot 10^3$ единиц махе; одна единица махе равна $3,636 \cdot 10^{-20}$ кюри. На одном съезде исследователей радия в Фрейберге в 1921 г. было предложено ввести в качестве единицы измерения радиоактивности ключевых вод единицу «эман», связывавшуюся с прежними единицами измерения соотношением: 1 единица эман = 10^{-9} единицам кюри = 0,275 единицы махе (90).

Весьма интересно, насколько мало истинное содержание эманации даже в сильно радиоактивных источниках. Одна единица кюри содержит $0,6 \text{ мм}^3$ эманации (при 0° и давлении в 760 мм), весит

¹ По имени знаменитого исследователя радия Г. Махе (Mache).

$5,9 \cdot 10^{-6}$ г и составляет, следовательно, около 6 миллионных грамма. Самый сильный источник Брамбах (в Саксонии) с 3000 единицами махе содержит, таким образом, в одном кубометре воды $0,000655 \text{ мм}^3 = \frac{1}{1527} \text{ мм}^3$ эманации. 1 куб. км этой воды содержит 0,655 л эманации весом в 6,5 г.

Способы измерения и аппаратура. Для определения содержания эманации в воде какого-либо источника существует два пути [П. Лудевиг (90)]:

А. Измеряют интенсивность ионизирующего тока в электростатических единицах в секунду на литр.

Б. Ионизирующий ток сравнивается с током, произведенным точно известным количеством эманации.

А. В настоящее время в большинстве случаев применяется еще первый метод, хотя он по сравнению со вторым способом и обладает некоторыми недостатками. В качестве измерительного прибора служит фонтатоскоп, получивший особенно широкое распространение в конструкции Энглера и Зивекинга (рис. 184). Прибор этот состоит из 10-литрового сосуда, на котором помещен электрометр (E). Последний установлен герметично в отношении газа, причем соединенный с ним рассеивающий шпинт (Z) опущен в сосуд, от которого он изолирован. Перед установкой электрометра определенное количество подлежащей исследованию воды встряхивается

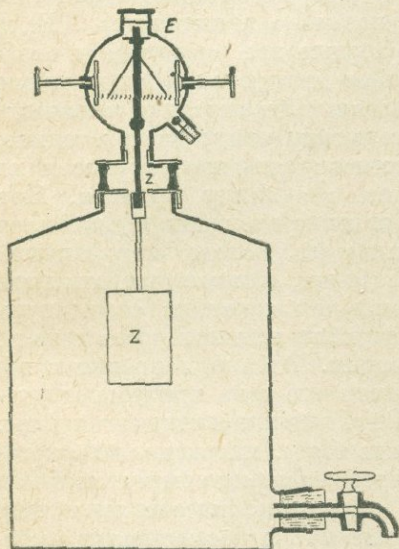


Рис. 184. Фонтатоскоп Энглера и Зивекинга.

в сосуде для получения равновесия в растворе эманации, в воздухе и в воде. После этого устанавливают электроскоп, снабжают его электрической зарядкой и наблюдают потенциальное падение в секунду. Если прибор показывает до и после истечения времени T напряжения V_1 и V_2 , выраженные в вольтах, и если емкость электроскопа составляет C , то интенсивность тока

$$i = \frac{V_1 - V_2}{T} \cdot C.$$

Однако определенная таким путем интенсивность тока страдает еще целым рядом ошибок, которые должны быть по возможности исправлены путем введения поправочного коэффициента.

1. Путем встряхивания удаляется из воды не вся эманация, но достигается лишь равновесие в распределении ее в воде и в воздухе.

Распределение определяется соотношением объемов воды (W) и воздуха (L) и температурой. Количество эманации, содержащейся в воздухе (E_L), и количество ее в воде (E_w) подчиняется следующему условию:

$$\frac{E_L}{E_w} = \frac{L}{\alpha_w}.$$

Пусть A — поправочный коэффициент, при помощи которого должна быть исправлена найденная эманация, содержащаяся в воздухе:

$$A \cdot EL = EL + Ew;$$

$$A = 1 + \frac{Ew}{EL} = 1 + \frac{\alpha_w}{L}.$$

2. Одна часть альфа-лучей для действия ионизации теряется, так как отдельные альфа-частицы ударяются непосредственно о стенку сосуда или о рассеивающий шпинт. Если V — объем сосуда, S — его внутренняя поверхность, то, согласно Д у а н е (Duane), соответствующий поправочный коэффициент составит:

$$f = \frac{1}{1 - 0,52 \frac{S}{V}}.$$

Примечание. Формула действительна только для альфа-излучения; все эманации излучают таковые.

Таблица 23

Коэффициент распределения эманации радия α
(по Людевику)

Температура в °С	α	Температура в °С	α
0	0,506	31,6	0,193
10,0	0,340	51,0	0,138
20,0	0,245	91,0	0,108

Этот коэффициент с течением времени после наполнения меняется вследствие ионизации твердыми продуктами распада эманации. По истечении 3 часов действительно выражение:

$$f^1 = \frac{1}{1 - 0,572 \frac{S}{V}}.$$

Для обычно принятого 10-литрового сосуда фонтаноскопа $f = 1,15$ и $f^1 = 1,17$.

3. При установке электрометра рассеивающий шпинт вытесняет часть эманации. Поправочный коэффициент зависит от размера прибора и приложен к последнему.

4. Атмосферный воздух во многих местах частично ионизирован. В этом случае действие этой имеющейся ионизации слагается с действием искомой ионизации. Кроме того, вследствие осаждения продуктов распада эманаций на стенках сосуда при прежних исследованиях, может начаться сильное ионизирующее действие. Прибор «заражен». Вследствие этого прибор может стать до известной степени непригодным. Во избежание этих ошибок перед исследованием ключевой воды определяют так называемую «нормальную потерю» прибора и вычитают ее из последующих результатов. Она не должна превышать 30 вольт в час. Ввиду равенства условий желательно перед каждым определением нормальной потери ополаскивать прибор неактивной (речной) водой.

5. Так как твердые продукты распада эманации (*Ra A* и т. д.) действуют в свою очередь ионизирующе, то это действие, слагаясь с действием эманации, становится тем сильнее, чем больше с течением времени увеличивается их количество. Вследствие этого ионизирующий ток с течением времени усиливается и достигает по истечении 3 часов при эманации *Ra* своего максимума. Поправка этой ошибки может быть произведена:

а) по способу определения разности, путем возможно быстрого выделения эманации после отсчета по электрометру, и определения ионизации только на основании продуктов распада и вычитания из первого измерения;

б) отмечается протекшее после наполнения время, и результат уменьшается на поправочный коэффициент, соответствующий упомянутому выше приросту в это время (метод прироста);

в) по истечении 3 часов измеряется максимум излучения, и результат умножается на понижающий коэффициент 0,46.

Таблица 24

Прирост излучения в пространстве, наполненном эманацией (по Г. В. Шмидту)

Время после встряхивания (в минутах)	Излучение, исходящее только от эманации (в %)	Поправочный коэффициент
0	100,0	1,000
1	88,3	0,883
1,5	84,5	0,845
2	81,0	0,810
3	76,1	0,761
4	72,6	0,726
5	70,3	0,703
6	68,6	0,786
7	67,1	0,671
8	66,2	0,662
9	65,3	0,653
10	64,7	0,647
15	62,5	0,625
30	61,5	0,615
180	46,0	0,460

Наконец, следует еще упомянуть неточности, не поддающиеся точной корректировке. Сюда следует отнести, например, то обстоятельство, что у многих электрометров емкость не постоянна, а является функцией напряжения. Кроме того, едва ли можно при помощи обычно применяемых напряжений достичь тока насыщения, и, следовательно, измеряется неполное действие ионизации.

В настоящее время во многих случаях фонтатоскоп Энглера и Зивекинга заменяется прибором, в котором сосуд для встряхивания и пространство для эманации разделены, а содержащий эманацию воздух продувается при помощи циркуляционного дутья, посредством резиновых баллонов и шлангов, через ионизирующую камеру. Прибор для осуществления этого «циркуляционного» метода был изобретен Г. В. Шмидтом (рис. 185).

Циркуляционный метод обладает тем преимуществом, что стенки ионизирующего пространства остаются сухими, между тем как разница в их смоченности являла собой как раз источник ошибок однокамерного фонтатоскопа. Разжижение эманации, вследствие увеличения пространства, должно быть принято в расчет. Если 1_1 представляет собой пространство сосуда для встряхивания, 1_2 — емкость шлангов и баллонов, 1_3 — ионизирующее пространство, то получаемый соответствующий поправочный коэффициент

$$f = \frac{1_1 + 1_2 + 1_3}{1_3}.$$

Вследствие такого количества поправок способ непосредственного измерения настолько усложняется, а число возможных ошибок настолько повышается, что неудивительно, если полученные таким путем результаты сильно расходятся. Фрейбергский съезд принял

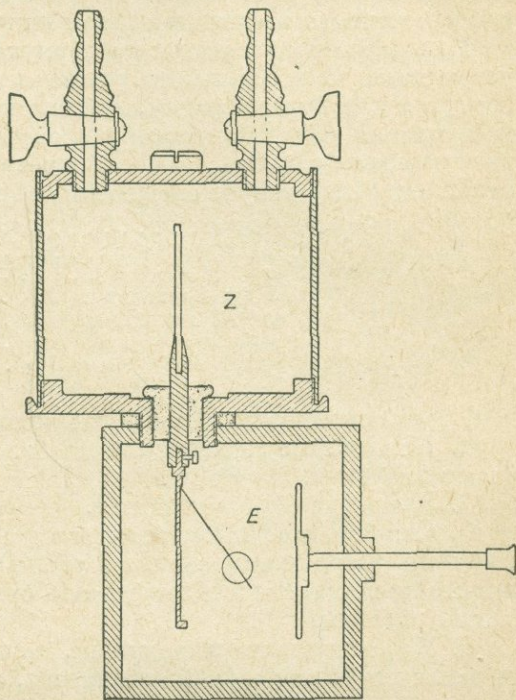


Рис. 185. Прибор для измерения радиоактивности по циркуляционному способу (системы Г. В. Шмидт).

во внимание это обстоятельство (1921) и предложил для измерения радиоактивности ключевых вод следующий способ:

Б. При применении той же аппаратуры, что и при первом способе, производится сравнительное измерение ионизации при помощи выверенного нормального раствора соли радия и ионизация при помощи подлежащей исследованию ключевой воды. Из соотношения интенсивностей тока можно вычислить активность ключевой воды непосредственно в единицах кюри или эман.

Измерение производится по циркуляционному методу. Эманация устраняется из нормального раствора или протекающим через него воздухом или выпариванием. Раствор может быть использован после наступления радиоактивного равновесия (приблизительно через 39 дней или даже раньше), если принять во внимание, что после употребления он регенерирует следующим образом:

Через 1 день на	16,5	%
» 2 дня примерно на	30	%
» 3 » »	42	%
» 3,85 дня примерно на	50	%
2 раза по 3,85 дня примерно на	75	%
3 » » 3,85 » »	87,5	%
10 раз » 3,85 » »	99,9	%

от максимального количества эманации.

Второй способ измерения обладает следующими преимуществами:

1. Ненадежное значение емкости электрометра в этом способе не имеет значения.
2. Поправка Дуане отпадает.
3. Ошибка, проистекающая вследствие недостаточного тока насыщения, устраняется, если при обоих измерениях напряжение одинаково и интенсивность излучения сравниваемых жидкостей не очень различна.
4. Необходимость в поправке, вследствие одновременного измерения индуктированной активности, отпадает, если оба измерения производятся в одинаковый промежуток времени и если неизменность нормальной потери контролируется.

Недостатком второго способа является получение нормального раствора. Последний может быть приготовлен из соли радия (более точный, но стоящий дороже) или из урановой смолки (стоит дешевле, но менее точен, так как содержание радия в урановой смолке известно лишь в определенных пределах). Нормальный раствор может употребляться до тех пор, пока в нем нет осадка твердой субстанции, так как последний сгущает эманацию на поверхности (адсорбция). Нормальные растворы с 10^{-6} мг радия могут быть получены от Физико-технического государственного института в Берлине — Шарлоттенбурге.

Несомненно, что преимущества второго способа перевешивают и что с точки зрения получения правильных данных в отношении радиоактивности источников приходится пожалеть, что вследствие небольших недостатков этого способа он был отклонен даже выдающимися учеными.

4. ОСАДКИ, ВЫДЕЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКАМИ: ТУФЫ, ОХРА, ШЛАМ

Многие минеральные источники обладают свойством отлагать осадки в своих путях, каптажах и трубопроводах. Отложения источников, обильно выделяющих туфы, состоят в большинстве случаев из углекислого кальция, гидрата окиси железа или кремневой кислоты. Кроме того, встречаются самостоятельно или в виде составных частей отложений еще сернокислый кальций, окись марганца, сера и другие вещества.

Выделение известкового туфа является прежде всего следствием ослабления напора воды во время подъема и вытекания источника.

Наряду с понижением давления происходит выделение из раствора углекислоты, согласно законам растворимости; после выделения этого газа тотчас же гидрокарбонат-ион переходит в карбонат-ион; в конце концов, это сводится к простому выпадению нерастворимой углекислой извести. По видимому, выделение последней ускоряется охлаждением, так как известковые отложения часто накап-

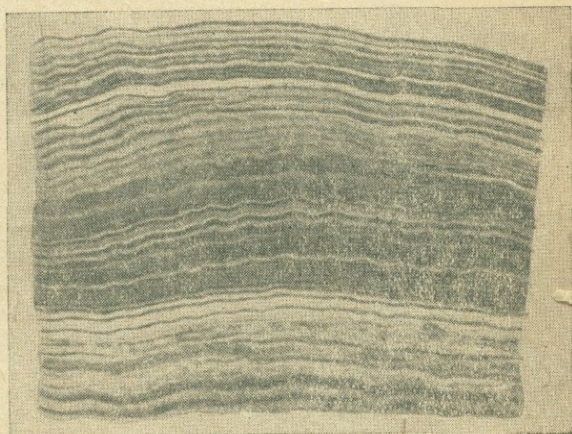


Рис. 186. Карлсбадский шпрудельштейн (см. Кейльгак).

ливаются в трубопроводах в местах, охлаждаемых снаружи. При более высокой температуре или при наличии определенных спутников, например, стронция, углекислая известь кристаллизуется в виде арагонита ромбически, а в виде кальцита — ромбоэдрически.

Широко известен отлагаемый карлсбадскими горячими источниками так называемый шпрудельштейн, представляющий собой кристаллический арагонит, лентообразно окрашенный гидратом окиси железа. Своеобразной (оолитовой) формой шпрудельштейна является гороховый камень. Он состоит из отдельных, концентрически слоистых шариков, образовавшихся в результате обрастания арагонитом взвешенных в источнике зернышек, цементировавшихся после осаждения арагонитом.

Ввиду того что главной причиной образования известкового натека является понижение давления, образование его начинается уже в подводящих путях, до вступления воды в каптаж. Выделение железной охры является, наоборот, прежде всего процессом окисле-

ния при образовании нерастворимого гидрата окиси железа и начинается при соприкосновении с кислородом воздуха или при соприкосновении с почвенной водой, содержащей кислород. Она образуется не путем выкристаллизовывания на стенках и т. п., но в виде мелкозернистого осадка, отлагающегося, если он осаждается как самостоятельный осадок, в виде шлама, окрашенного в цвета от желтого, переходящего в красный, а затем в черный. Отложившаяся охровая масса находится с обычно господствующей в месте отложения скоростью течения в известном «равновесии»; увеличение скорости влечет за собой взмучивание охры. Этим и объясняется то обстоятельство, что при понижении напора, а иногда и при внезапных падениях барометрического давления, выделяющие охру источники

начинают замутиаться. Если выпадение охры происходит одновременно с отложением известкового туфа, то охра окрашивает последний в коричневый цвет.

Кремневая кислота встречается в виде составной части многих известковых отложений; в самостоятельном виде она образует массы туфа в исландских и многих североамериканских гейзерах (Иелоустовский парк). Она выделяется вследствие понижения температуры, так как ее растворимость при этом сильно снижается.

Таким образом, снижение давления, охлаждение и доступ кислорода являющиеся факторами, способствующими образованию отложений; однако при прочих одинаковых условиях в медленно

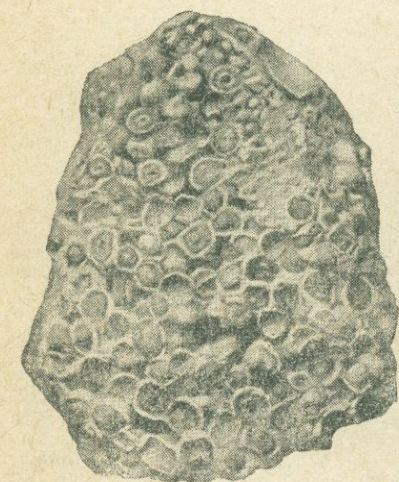


Рис. 187. Карлсбадский гороховый камень (оолитовый арагонит).

текущих минеральных источниках отложение происходит скорее, нежели в быстротекущих.

Туфы и охра источников с остаточной радиоактивностью воспринимают большую часть последней, в связи с чем туфы бывают часто высокордиоактивными. Согласно Е. Эблеру (E. Ebler) и М. Фельнеру (M. Felner) (91), обогащение происходит путем адсорбции, особенно сильной при коллоидной кремневой кислоте и перекиси марганца. Этим путем объясняется высокая активность Гаштейнерского минерала рейссахерита, содержание радия которого составляет как будто $\frac{1}{20}$ такового урановой смолки.

Большой интерес представляют собой формы туфов, отлагаемых источниками в нетронutom, естественном состоянии. Если место истечения источника расположено на небольшом склоне, то туфы отлагаются в форме замкнутого вала, окружающего устье источника и постепенно поднимающего место истока. Мощные туфовые конусы

образовались именно таким путем. Так, например, изливается в Словакии источник *Siva Brada* на вершине холма, состоящего из известкового туфа, на котором ныне построена церковь. Минеральная вода стекает по склонам и оставляет за собой издали заметные белые туфы (натечи), от которых источник и получил свое название «Серая борода». Таким путем источник, отлагающий туфы в виде конуса, должен, наконец, поднимаясь, достичь своего пьезометрического уровня и иссякнуть (рис. 188).

Если минеральная вода изливается по пологому склону, то всегда выявляется тенденция к образованию террас; поток минеральных вод образует всегда последовательный ряд ступеней. Эту своеобразность можно наблюдать как у маленьких ручьев, так и у обильных горячих источников (терм) в виде мощных сооружений (рис. 189).

Специалисту по источникам приходится иногда, в зависимости от обстоятельств, предохранять натечные отложения от разрушения, а иногда бороться с ними, как с врагом. То обстоятельство, что охлаждение и медленная циркуляция благоприятствуют образованию туфов, ведет к тому, что небольшие боковые пути, ведущие к не-

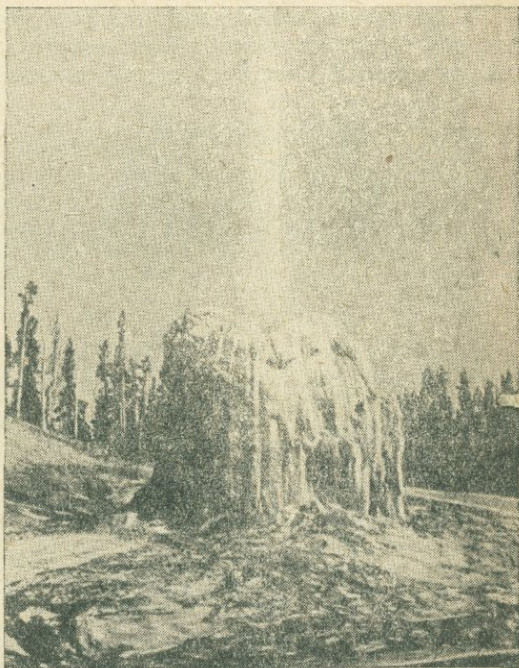


Рис. 188. «Lone-star» Geisir. Йеллоустонский национальный парк, Северная Америка. Туфовый конус (из «Geologische Charakterbilder» von K. Andree).

каптивированным выходам, покрываются туфами быстрее, нежели главный исток. Соприкосновение с пресными грунтовыми водами, даже в том случае, когда они содержат и небольшое количество кислоты, ведет к образованию выделений в контактной зоне. Процесс этот основан на окислении. Выделяющий осадки источник сам исправляет таким путем нарушения, возникающие часто в местах, неизвестных или недоступных инженеру. Так, например, Карлсбадский шпрудель окружен мощным арагонитовым панцирем («оболочка шпруделя»). (Горячие источники Бадена близ Вены, вследствие естественной цементации гальки реки Швехат, образовали защитный слой из черного конгломерата («термальная оболочка»), предохра-

няющий их от проникновения в них пресной речной воды. О. Гакель (O. Haskel) обнаружил в связующем веществе этого конгломерата чистую углекислую известь.

Так как выделение углекислой извести из самих источников не может иметь место, то последняя происходит, повидимому, из доломитовой гальки (92). Такие защитные оболочки, созданные источниками для ограждения от пресной воды, инженер должен по возможности стараться сохранить.

В остальном же выделения туфов и охры часто вызывают необходимость больших работ и доставляют много хлопот. Пожалуй, отложение тонкого слоя туфа на всех каптажных и подводящих воду

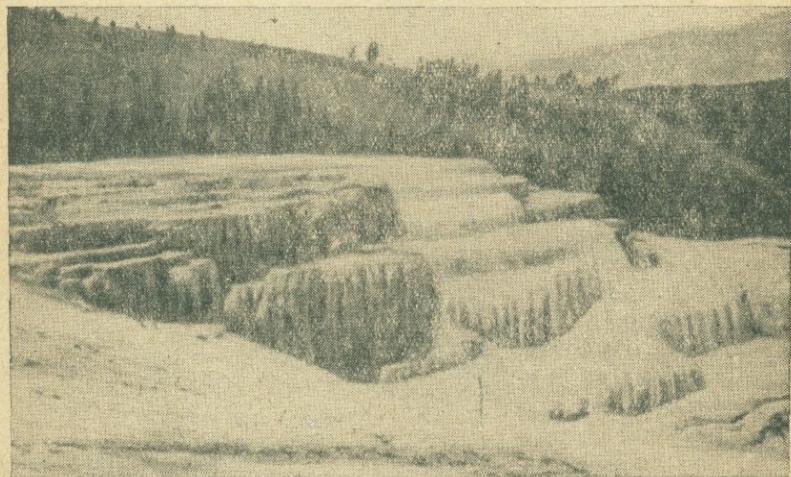


Рис. 189. Террасы из известкового туфа «Mammuth hot Springs», Йеллоустонский парк (из Кейльгака, 19).

сооружениях, соприкасающихся с водой минеральных источников, было бы в известном отношении даже желательным, так как в этом случае минеральная вода постоянно соприкасалась бы с родственным ей веществом. Однако очень быстро туфы настолько сильно суживают сечение каптажа и трубопровода, что последние должны периодически подвергаться чистке или замене; отделившиеся корки натеков застревают в коленах трубопровода и т. п. и препятствуют потоку. Стенки резервуаров для минеральных вод покрываются толстым слоем туфа. Наконец, в сточных каналах источников туфы нарастают настолько быстро, что, например, в Карлсбаде ежегодно сбивается киркой и удаляется 30 м³ туфов.

Грязи. Следует делать различие между туфами и охрой, происходящими из самой минеральной воды, и минеральной грязью (шламом), механически увлекаемой и транспортируемой некоторыми источниками. Грязи некоторых минеральных источников уже с давних

пор использовывались для целебных целей. Современная бальнеотерапия уделяет лечению целебными грязями особое внимание. О. Г и н и (O. Guille) и И. К у т е к (I. Koutek) изучили происхождение и характер важнейших видов европейских родниковых грязей и составили наглядную сводку полученных результатов (93). Нижеследующие данные частично позаимствованы из этой работы.

Грязь, соприкасающаяся с минеральной водой, или поверхностного происхождения, или увлекается ключевой водой на поверхность из глубины (глубинное происхождение). Во втором случае она представляет собой механическую суспензию мелких частиц

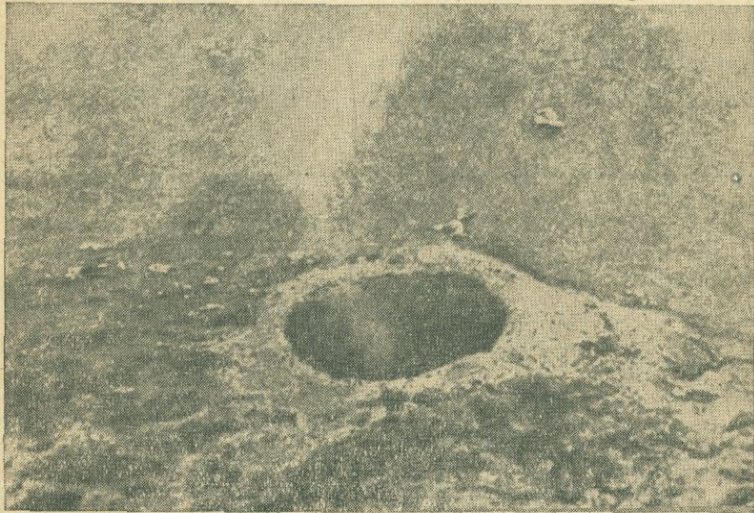


Рис. 190. Грязевой кратер в притоке реки Вааг в Пистиане (по О. Гини и И. Кутек).

горных пород, увлеченных источником во время подъема воды. В этом случае контакт частиц грязи с минеральной водой особенно интенсивен. Грязь источников содержит наряду с преимущественно минеральными составными частями обычно и органические субстанции. Часто под действием минеральной воды происходит изменение субстанции грязей. Некоторые виды грязи приобретают терапевтически ценные свойства лишь под действием специальной микрофлоры.

Уже с давних пор известны целебные грязи Баттаглии в Италии (Fongo di Battaglia).¹ Они представляют собой грязь поверхностного происхождения, взмучивающуюся со дна грязевых бассейнов, питаемых радиоактивной горячей водой (до 70° С). Грязь приобретает

¹ Fongo (по-итальянски) — грязь.

свой химический характер под действием термальной воды и биологических процессов.

Пистианские грязи в Словакии осаждаются у каптированных и естественных выходов горячих источников (радиоактивные, сульфатные и содержащие сероводород горькие источники). Источник «Крато» выносит их на поверхность во взвешенном состоянии; в местах выхода, в районе поймы реки Вааг, они перерабатываются на поверхности земли (грязевые вулканы, рис. 190), причем они обогащаются минеральным содержанием горячих источников и изменяются под действием биохимических процессов (сернистые бактерии). По данным Махе, Пика (Pick) и Вейнбергера (Weinberger) (1928), пистианская грязь содержит от 8^{-11} до 10^{-11} г радия на 1 кг.

Интересны также грязи горячего источника Гевиз в Венгрии. Источник изливает 1000 л/сек. воды в термальный пруд площадью

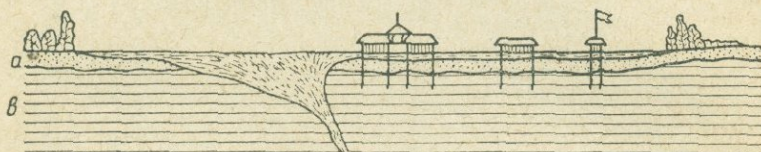


Рис. 191. Горячий источник Гевиз (Венгрия) (по О. Гини). а — залежи торфа, б — юные третичные отложения.

в 5 га с воронкообразным профилем дна (рис. 191). Благодаря бьющему на глубине 36 м мощному ключу с температурой в 39°C поверхность пруда находится в постоянном движении. Пруд расположен в торфяном бассейне; лежащий бок месторождения состоит на глубину 5—6 м из понтических глин. Вода перерабатывает торф в обогащенную минеральными веществами грязь. Ее радиоактивность составляет 44 единицы махе. Сама вода содержит лишь 0,5166 г минеральной субстанции в литре.

II. ЕСТЕСТВЕННЫЙ МЕХАНИЗМ МИНЕРАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ПРОИСХОЖДЕНИЕ ВОДЫ

Большая часть минеральных источников берет свою воду, подобно пресным источникам, в пределах своего района питания из общего круговорота, причем вода атмосферы проникает в почву или путем инфильтрации выпадающих осадков, или путем конденсации водяных паров воздуха. Пути, по которым вода проникает в глубины, где господствуют условия для обогащения ее минерального состава, обычно весьма длинны и извилисты, а пути, по которым она медленно течет на глубине, имеют большое протяжение, благодаря чему для

такого обогащения имеется достаточно времени. Тот факт, что весьма многие минеральные источники обнаруживают небольшую и временами сильно запоздалую связь с выпадающими осадками и небольшие колебания в концентрации, позволяет заключить о задерживающем действии обширных подземных водоемов.

По ш е п н и (Pösepný) (94) различает вадозную и глубинную (profundum) циркуляцию воды в толщах земной коры. Термин вадозная охватывает собой ту подземную воду, которая со значительной скоростью проникает с поверхности земли в глубину и по истечении сравнительно короткого промежутка времени снова вытекает на поверхность. Под термином «глубинная» (profundum) разумеют зону, лежащую ниже области, в которой циркулирует вадозная вода. В этой зоне происходит застой или крайне медленное, обусловленное диффузией, движение через поры горных пород.

Б е р г (95) говорит о «стоячих глубинах океана грунтовых вод, наполняющего под уровнем грунтовых вод все капиллярные, субкапиллярные и сверхкапиллярные пустоты. Здесь движение может происходить лишь вследствие неравенства удельного веса глубинных грунтовых вод, обуславливаемого различным содержанием растворов или различной температурой», и далее: «для нас очень важно, что вадозная грунтовая вода с удлинением подземных путей вступает с горными породами, через которые она протекает, в возрастающее химическое равновесие. Глубинная грунтовая вода должна всегда находиться с окружающими горными породами в химическом равновесии. Всюду там, где вода вадозной циркуляции прошла длинный путь по легко растворимым горным породам, или там, где восходящие воды из области глубинной циркуляции выступают на поверхность земли, ... должны образоваться минеральные источники». Это представление освещает то обстоятельство, что лишь в редких случаях можно с уверенностью указать и ограничить район питания минеральных источников на поверхности земли, как бы это ни было важно, например, в отношении охраны минеральных источников.

В е й т г о ф е р (Weithofer) (96) в свою очередь делит подземные воды, во-первых, на т е к у ч у ю в о д у, выше (естественных) дренирующих стоков (с нисходящими источниками), и, во-вторых, на стоячую воду, ниже дренирующих стоков (с восходящими источниками). Он приходит к выводу, что в большинстве горячих источников, — особенно во всех тех, которые расположены в нагорной местности, — теплота, а с ней во многих случаях и их минеральный характер (оставляя в стороне спорную ювенильную¹ воду) обуславливаются стоячей водой недр земли.

Для распространения глубинной воды имеет значение та глубина, до которой возможны водоносные поры, а для жидкого состояния ее — давление и температурные условия в глубинах земной коры. По мнению Е. Г а н г а (E. H a n g), открытые пустоты горных

¹ От лат. juvenilis — девственная.

пород достигают глубины 10—12 км; к тому же мнению приходит и Ван-Гайс (van Hise). На основании опытов Адамс (Adams) считает возможным наличие открытых пор даже до глубины 18 км, а Кинг (King) — до 30 км. Зиберг считает открытые трещины возможными вплоть до зоны излома, что составляет 50 км глубины.

Критическая температура воды равняется 365,0° С. Так как эта температура (см. стр. 190, «Геотермический градиент») должна была бы господствовать на глубине 12 100 м, а давление там безусловно превышает критическое давление в 200,5 атм., то капельно-жидкая вода могла бы существовать лишь до глубины в 12 км.

Е. Зюсс (97) противопоставил всем источникам, принимающим — хотя бы окольным путем участие во всеобщем круговороте воды, тип источников, который подводит в круговорот постоянно новую, не принимавшую еще участия в циркуляции воду, воду, которая в виде эксгалиции остывающих и затвердевающих вулканических масс магмы течет к поверхности земли. Зюсс назвал эту воду ювенильной, а всю остальную воду — вадозной, изменив значение этого слова, приданное ему Пошепни.

«Вадозными источниками, — говорил Е. Зюсс на 74 съезде германских натуралистов и врачей в 1902 г. в Карлсбаде, — мы называем те источники, которые произошли от инфильтрации поверхностных вод; термин ювенильные относится ко всем тем источникам, которые поднимаются из недр земли как последствие вулканической деятельности и воды которых впервые попадают на поверхность земли».

Теория Зюсса о существовании вулканической воды и о питании ею источников стала предметом широкой дискуссии; еще и в настоящее время все соответствующие специальные труды уделяют этому вопросу место. Зюсс сам изменил в 1909 г. (98) свое мнение следующим образом: ювенильной водой является вода, возникающая при соединении выступающего под очень высоким давлением и очень высокой температурой из недр земли водорода с кислородом атмосферного воздуха. Однако позднейшие исследования не подтвердили этого объяснения. Следует здесь же отметить, что высокая температура не представляет собой препятствия для существования воды как таковой, в недиссоциированном состоянии. Диссоциация воды при относительно высокой температуре очень мала и составляет, по данным Нерста (Nerst) и Вартенберга (Wartenberg), при давлении

1 атм. и 1124° С	0,0078%
1 > > 1207° С	0,0189%
1 > > 1288° С	0,0340%

К тому же повышение давления противодействует диссоциации. Из наиболее ярых противников теории Зюсса следует, в первую очередь, назвать Л. Бруна (Brun). Его тезис «Le volcan est anhydre» — вулкан безводен — (99) Г. Берг считает парадоксом,

принимая во внимание чудовищные облака водяного пара, поднимающиеся из кратера почти при каждом более значительном вулканическом извержении. Б р у н установил, что самые горячие вулканические эксгаляции часто вовсе не содержат воды. Вся вода, сопровождающая прочие фумарольные газы, — вторичного происхождения. В противоположность этому он видит, в поддающейся установлению зависимости дебита источников от количества выпадающих осадков, существенное доказательство вадозного происхождения воды горячих источников. Независимо от того, что эта зависимость присуща не всем термам, как, например, и Карлсбадскому шпруделю, выставленному З ю с с о м как тип ювенильного источника, влияние количества выпадающих осадков проявится и в термальных источниках, возникающих из ювенильной и вадозной составляющей (Берг). Наконец, и косвенное влияние количества дождей представляет собой нередкость, поскольку некаптированные, побочные выходы терм встречают различное сопротивление, вызываемое колеблющимся горизонтом грунтовых вод (стр. 226).

Б е р г объясняет отсутствие водяного пара в горячих эксгаляциях высоким содержанием хлоридов и хлора. Хлориды и хлор превращаются при высокой температуре в соединении с первоначально имевшимся водяным паром в окиси и хлористый водород или свободный кислород и хлористый водород. Кислород окисляет все имеющиеся налицо окисляющиеся вещества. Ввиду того что в этом процессе принимают участие и хлориды, обогащенные путем сублимации в потоке эксгаляций, неудивительно, что самые горячие фумаролы сухие.

Наконец, и установленный Б р у н о м экспериментальным путем факт, что известные вулканические породы, при их нагревании в температурном промежутке 826—1200° С, выделяют при обстоятельствах, напоминающих собой взрыв, большие количества безводных газов, также не говорит ничего о количествах воды, содержащихся в первоначальной магме до ее затвердения. Б р у н приписывает этим взрывам при вулканических извержениях существенную роль. Это объясняется тем, что ювенильная вода поглощается в воде эксгаляций при остывании магмы, но не при нагревании уже остывших пород.

Р. Л е п с и у с (R. Lepsius) (100) «не разделяет остроумную, но практически неприменимую мысль Е. З ю с с а».

Ряд исследователей убежден в эксгаляции вулканического водяного пара и в существовании ювенильной ключевой воды. Большинство из них, правда, утверждают, что ювенильная вода может во многих случаях на пути к поверхности смешиваться с вадозной водой, в связи с чем источники чисто ювенильного происхождения весьма мало вероятны.

Ювенильный характер горячих источников должен приниматься во внимание особенно в местностях, являвших собой в более юные геологические эпохи арену вулканической деятельности. Повидимому, исток Карлсбадского шпруделя лежит в эрупционной трещине

базальтовой горы Вейтберг, которая принадлежит к горному кряжу Дупшау третичного возраста. К е й л ь г а к в том же смысле указывает на горячие гейзеры Исландии,¹ Новой Зеландии и Иелоустонского Парка, а в Германии на термальную Ейфельскую область.

Ф. Р и н н е (F. Rinne) считает (101) наличие горячих источников в областях затухающей вулканической деятельности характерным явлением. «Конечно, — пишет он, — ювенильные воды, происходящие из магмы и впервые попадающие в круговорот воды, на своем длинном пути из глубин к поверхности земли могут существенно изменить свой состав, вследствие смешения с вадозными притоками или вследствие растворения веществ. С другой же стороны, весьма вероятно, что соли примешаны непосредственно к ювенильной воде». Повидимому, этот случай имеет место в горячих карлсбадских источниках, а также в источниках, содержащих бор и соду. Р и н н е отрицает мнение Б р у н а и ссылается на тщательные исследования Дейя (Day) и Шефферда (Shepherd), твердо установивших в газах магмы Килауеа, помимо N , CO_2 , CO , SO_2 , H , S , Cl , F , еще и наличие воды.

А. Ш т е й е р (A. Steuer) (102) хотя в принципе и не является противником взглядов З ю с с а, тем не менее он отрицает частое применение этого принципа без достаточного обоснования. Он видит, например, в Наугеймском термальном источнике вадозную глубинную воду, поднятую на поверхность ювенильной углекислотой.

Удовлетворительное решение проблемы ювенильной воды может быть достигнуто лишь химико-физическим изучением процесса затвердевания магмы. Б е р г (103) дает исчерпывающую сводку результатов изучений в этой области, вплоть до настоящего времени. Ниже приводятся наиболее характерные выдержки из этого труда, касающиеся данного вопроса.

Затвердение магмы никоим образом не происходит в виде единообразного процесса. Скорее сначала происходит небольшая «первичная кристаллизация» наиболее трудноплавких или в известных случаях трудно растворимых составляющих общей массы магмы. После этого в сравнительно ограниченном температурном интервале происходит «главная кристаллизация» наибольшей части магмы, в то время как остающаяся часть магмы остается сравнительно долго в жидком состоянии, пока она не затвердевает в «остаточной кристаллизации». Большая, а нередко даже значительно большая часть остатка, подлежащего кристаллизации, состоит из воды, вследствие чего остаточная кристаллизация никогда не ведет к полному затвердеванию. При затвердевании под небольшим давлением и при быстром охлаждении остаток состоит почти исключительно из газа и водяного пара. Экстальция магмы состоит тогда из простых горячих, водных растворов и свободного газа. Если внутренняя упругость пара магмы была невелика, или же если она стала небольшой вслед-

¹ К. Ш н е й д е р (K. Schneider) (89), наоборот, отрицает участие ювенильной воды в исландских гейзерах.

ствие обильного предварительного дегазирования, то происходят длительные выделения горячих термальных вод, вулканические термы.

Поскольку с возрастающим отдалением магмы от очага и снижением температуры наступает конденсация эксгаляций, постольку термальные растворы смешиваются с неювенильными водами глубинной циркуляции, находящимися в химическом равновесии с горными породами, в которых они в застойном состоянии были заключены в течение тысячелетий или даже в течение целых геологических периодов. Таким путем, вследствие смешивания с неювенильными водами, химический состав терм может получить связь с горными породами, через которые они протекают. Поэтому, то, что с точки зрения бальнеологии называется минеральными источниками, отнюдь не представляет собой чисто магматогенного явления; с другой стороны, большая часть минеральных источников, несомненно, имеет вулканическое или глубинно-магматическое происхождение. Комплексная природа каждого отдельного источника, однако, исключает всякую возможность деления на магматогенные и немагматогенные, на ювенильные и вадозные, в смысле Е. З ю с с а.

По мнению автора, проф. Б е р г при стилизации этого предложения пошел слишком далеко. Термы, по дебиту которых нельзя обнаружить непосредственного влияния осадков, газовое содержание которых несомненно вулканического происхождения и минерализация которых не может быть обусловлена материнской горной породой, следует, по всей вероятности, рассматривать как ювенильные или, по крайней мере, высокопроцентно-ювенильные. Правда, таким образом в качестве ювенильных или смешанных источников рассматривалось бы гораздо меньше, чем их существует в действительности; поэтому подразделение на ювенильные и вадозные источники, полностью соответствующее действительности, не может быть проведено. В этом смысле и следует рассматривать формулировку Б е р г а.

Ради полноты здесь следует еще упомянуть, что современная петрография обнаружила в многочисленных рудных жилах и минеральных месторождениях гидротермальные образования, другими словами, осадки из ювенильных эксгаляций и терм.

Наконец, следует указать на высокое содержание воды в раскаленных парах (104) и в вулканических шламах при современных вулканических извержениях (105). Они представляют собой по своей консистенции жидкие или вязко-жидкие массы выброса, состоящие из рода эмульсии твердых зольных составных частей в смеси с водяным паром и газами с высокой температурой.

2. СОДЕРЖАНИЕ ТЕПЛА В ТЕРМАХ

Содержание тепла в термах определяется следующими первоначальными возможностями:

- 1) тепловой запас недр земли,

- 2) теплообразовательные химические процессы,
- 3) теплота трения.

В прежнеё время теплообразовательным химическим процессам охотно приписывалась роль источника тепла терм. Примерное определение возможного количества освобождающегося в недрах земли тепла под влиянием окислительных или иных, экзотермических химических процессов и подсчет количеств тепла, доставленных обильным термальным источникам на поверхность, уже с одной только количественной точки зрения заставляют отклонить это объяснение.¹

Возникающая при протекании по мелкопористым массам теплота трения в общем недооценивается. Достойные внимания опыты А д а м с а (106) показали, что эта теплота может покрыть содержание тепла отдельных теплых источников или, в крайнем случае, компенсировать потери, происходящие вследствие охлаждения.

Однако главным источником содержания тепла терм, несомненно, является тепловое богатство недр земли. Температурные условия в самой верхней части земной коры известны благодаря многочисленным измерениям. Мы знаем, что температура земной поверхности следует среднегодовым колебаниям температуры наружного воздуха. Амплитуда этих колебаний с глубиной уменьшается и на глубине 20—25 м равна в Германии нулю. В этой зоне (нейтральной) господствует довольно устойчиво средняя годовая температура. Ниже этой зоны температура с глубиной возрастает. Этот температурный градиент можно приблизительно выразить в градусах Цельсия на 1 м или на 100 м; однако уже с давних пор принято измерять возрастание в метрах на каждый градус Цельсия и обозначать эту единицу как «геотермический градиент». Наблюдавшиеся в различных точках земной поверхности в шахтах и буровых скважинах геотермические градиенты не всегда одинаковы. В одной таблице Р. А. Д е л и (R. A. Daly) (107) приведены измерения в 28 буровых скважинах глубиной от 407 до 2 295 м с геотермическими градиентами в 27,4—53,7 м. Наблюдения, произведенные в Америке, дают всюду более высокие геотермические градиенты, чем в Европе. Температурный градиент составляет в Америке в среднем 2,5° С, а в Европе 3,0° С на 100 м. Что касается температуры в более значительных глубинах недр земли, то здесь еще имеется известная неясность. Было бы неправильно судить о температуре, господствующей на больших глубинах, на основании экстраполяции данных, полученных в пределах изученных глубин. Вопрос этот еще осложнился благодаря открытию теплопродукции радия.²

По мнению Г у т е н б е р г а (Gutenberg) (107), температура в глубине должна нарастать гораздо медленнее, чем у поверхности, и безусловно не должна достигать 8000° С и, вероятно, даже 2000° С.

¹ Висбаденский Кохбруннен выносит ежедневно на поверхность около 36 000 000 калорий тепла, Карлсбадский шпрудель около 200 000 000 калорий, а Гаштейнские термы около 210 000 000 калорий.

² Согласно Резерфорду (Rutherford), 1 г радия производит в час 0,2 калории.

Таким образом, мы должны рассчитывать на то, что в Германии температура на глубине 1000 м составляет, примерно, 30° , на глубине 2000 м — 60° и на глубине 3000 м почти 100° С. Поэтому воды глубинной циркуляции имеют возможность поглотить на глубине тепло и могут, поднявшись, образовать на поверхности земли вадозные термы. Правда, при этом области, отдающие свою теплоту, должны непрерывно охлаждаться, причем необходимо предположить, что это охлаждение выравнивается непрерывным потоком тепла, идущим из недр земли к ее поверхности, иначе температура терм должна была бы обязательно постепенно понижаться.

Однако со времени начала проведения точных периодических измерений о подобных падениях температуры до сих пор еще ничего неизвестно.

При подъеме и протекании по более холодным почвенным зонам, термы снова отдают тепло и только сохранившийся остаток обуславливает температуру изливающейся воды. То обстоятельство, что при этом сохраняется такой остаток тепла, следует, с одной стороны, приписать медленной глубинной циркуляции на протяжении длинного пути, дающей возможность почти полному уравниванию температуры между водой и горной породой, а с другой стороны, сравнительно быстрому подъему в канале источника.

Интересно вычислить пространственную область теплового потока, используемого каким-либо вадозным горячим источником. Тепловой поток, непрерывнодвигающийся в земной коре в вертикальном направлении к поверхности земли, составляет в среднем 0,00001714 калорий в секунду на квадратный метр (Ш о к л и ч — Schoklitsch) (108). Поэтому 1 л/сек. чисто вадозного термального источника требует на каждый градус Цельсия превышения среднегодовой температуры теплового потока в $58,300 \text{ м}^2$. При этом мы пренебрегаем охлаждением в восходящем канале и предполагаем, что весь тепловой поток вычисленной области был бы израсходован на согревание источника. Тогда бы, например, четыре наиболее обильных термы Бад-Наугейм потребовали бы тепловой поток в $37,5 \text{ км}^2$, если бы они в качестве источника тепла имели бы только тепловые потоки. Поэтому можно полагать, что при подобных обильных вадозных термах наряду с тепловым потоком действуют еще и другие источники тепла. В областях молодых вулканических извержений в качестве источника тепла принимается отдача тепла горячими очагами магмы вблизи поверхности земли.

Многие авторы видят в горячих эксгаляциях таких очагов, в особенности в несомненно вулканическом газе, углекислоте, передатчиков этого тепла. Математическая проверка доказывает невероятность, даже невозможность этого предположения. Пригодность какого-либо вещества для накопления тепла находит себе выражение в своей «удельной теплоте», каковая представляет собой количество тепла, которое поглощает (отдает) весовая единица при повышении (понижении) ее температуры на 1° С. В газах эта величина

зависит от изменения состояний, которым они могут подвергаться при поглощении тепла. Можно приблизиться к естественным условиям, если оперировать «удельной теплотой при постоянном давлении» (C_p), так как теплоотдача происходит всегда в пределах одной определенной глубинной зоны. Величина C_p более чем двукратных газов (следовательно, и CO_2) увеличивается с возрастающей температурой и возрастающим давлением; согласно данным Видемана (*Wiedemann*) (109), C_p для углекислого газа составляет:

При температуре (в °C)	Удельн. теплота C_p (кал. в кг)
0	0,1952
100	0,2169
200	0,2387

Эти числа действительны, примерно, вплоть до давления в 12 атм. По Винкельману (110), C_p для углекислоты составляет при 79,2° C и 24,25 атм. давления 0,2537 кал/кг. Отсюда приблизительная удельная теплота составит для интервала 100° до 35° C и 24,25 атм. 0,2507 кал/кг, а для интервала 200—100° C = 0,2713 кал/кг. Давление в 24 атм. соответствует глубине приблизительно на 30 м ниже наиболее глубокой Наугеймской буровой скважины. Наугеймские источники переносят 640,7 кал. в секунду. Следовательно, для их подогревания в секунду потребовалось бы 14,76 кг углекислоты с температурой в 200° C, соответственно 508 м³/мин. углекислого газа с температурой источника при 1 атм. давления (при нагревательной температуре CO_2 в 300° потребовалось бы 323 м³/мин.). Эти числа настолько велики, даже принимая во внимание произвольные предположения, сделанные для их расчета, что подогревание терм этим путем весьма мало вероятно.

Гораздо вероятнее передача тепла ювенильным водяным паром. Высокая теплота испарения или конденсации воды допускает нагревание самых горячих и обильных терм сравнительно небольшими количествами пара. Скрытая теплота парообразования воды составляет при 1 атм. 539,7 кал. При 20 атм. давления, следовательно, на глубине, примерно, в 200 м 1 кг конденсированного водяного пара отдает 4579 кал., причем образуется конденсационная вода с температурой в 211,3° C. Если бы подогревание Наугеймских терм последовало благодаря смешению вадозной воды с тамошней среднегодовой температурой в 8,6° C с ювенильным водяным паром с 200 атм. давления, то достаточно было бы добавления 0,66 л/сек. ювенильной воды, что составляет около 2,5% общего количества, для достижения конечной температуры в 35° C.

Карлсбадский шпрудель, рассматриваемый в качестве смешанного источника, имел бы, при общем дебите округло в 2000 л/мин., при t в 72° C ювенильную воду, составляющую 219 мин./л, что составляет 11% от дебита. Согласно этим соображениям, вполне вероятно, что ювенильные воды принимают участие в подогревании терм значительно чаще, чем то обычно предполагают, и что многие

источники с кажущимся вадозным характером относятся к смешанным. По мнению З о с м а н а (111), магматическая интрузия мощностью в 1000 м с 5-процентным весовым содержанием воды, если охлаждение ее длится 1 миллион лет, дает в течение этого времени на каждые 10 км² поверхности земли 23,8 л/мин. ювенильной воды. Если принять ювенильную воду в смеси с вадозной водой в соотношении 1 : 9, то она могла бы питать горячие источники с дебитом в 238 л/мин. каждый, расположенные друг от друга на расстоянии в 6,5 км. Однако, по мнению Б е р г а, процесс этот в природе должен протекать таким образом, что сначала выбрасывались бы огромные массы горячей воды в лежащих тесно друг возле друга гейзерах,



Рис. 192. «Долина десяти тысяч паров». Место основной деятельности (по Р. Ф. Григгсу).

после чего наступала бы спокойная термальная деятельность отдельных источников на протяжении многих тысячелетий.

В качестве примера выброса огромных количеств водяного пара, в связи с вулканической катастрофой, служит «долина десяти тысяч паров», возникшая вследствие извержения вулкана Катмая на Аляске, происшедшего в 1912 г. По данным Г р и г г с а (Griggs) (105), здесь из почвы долины длиной в 24 км выбиваются несколько десятков тысяч фумарол с температурой в 100—645° С. Тысячи из этих паровых струй достигают высоты более чем в 150 м, а некоторые из них видны до высоты в 300 м. Пары состоят на 98,4—99,9% из воды; важнейшими остальными газами являются хлористый водород, угольный ангидрид, сероводород, азот, фтористый водород и некоторые болотные газы. Их сублиматы содержат хлористый аммоний, калийные квасцы, серу, мышьяк, алюминий, железо и т. п. По мнению Г р и г г с а, большая часть воды должна быть вулкани-

ческого происхождения (ювенильной); по мнению же Аллена (Allen) (112), вопрос о том, содержится ли первоначально вода или водород в газах или нет, вообще не может быть разрешен, однако он склоняется к тому, чтобы приписать им вадозное происхождение.

Газ, расширяющийся от более высокого к более низкому давлению, связывает теплоту («производит холод», холодильные машины). Эта теплота в газодержащих термах при снижении давления во время подъема отбирается от термальной воды. Точный подсчет этой потери невозможен, так как род изменения состояния газа неизвестен. Однако все же необходимое в углекислотной промышленности для сжижения охлаждение дает возможность приблизи-

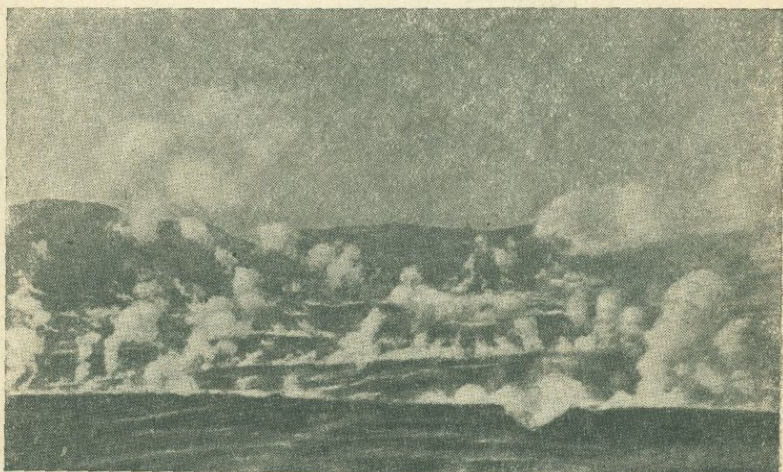


Рис. 193. «Долина десяти тысяч паров». Фумаролы на поперечных трещинах.

тельно судить о порядке величины этой потери; согласно этому вероятно, что вызванное расширением охлаждение даже в газообильных источниках весьма невелико. В Карлсбадском шпруделе оно составляет приблизительно 1°C .

3. ПРОИСХОЖДЕНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СОДЕРЖАНИЯ И ГАЗОВ

Растворенные в минеральной воде вещества могут иметь двойное происхождение:

- 1) они были при вадозной или глубинной циркуляции воды выщелочены из грунта или
- 2) они поднялись в виде вулканических эксгаляций из глубины и растворились: а) в почвенной воде вадозного происхождения или в) в сопровождающей ее ювенильной воде.

Если минеральные вещества какого-либо источника являются неувенильного происхождения, то характер минерализации определяется химическим составом горных пород, с которыми вода по преимуществу соприкасается на своем подземном пути и с которыми у нее установилось химическое равновесие. Уже в 200-х годах нашей эры греческий врач Галенос писал: «Tales sunt aquae, quales terrae, per quas fluunt». (Воды таковы, каковы почвы, через которые они текут).

Большой интерес представляет собой сводка германских минеральных источников и их геология, описанная Кейльгаком (86). Оказалось, что 50% «обыкновенных теплых источников» берут свое начало в древних кристаллических горных породах; 45% земельно-углекислых минеральных источников вытекают из девонских отложений, что Кейльгак объясняет широким пространственным распространением этих отложений в областях более юного вулканизма. Еще в большей степени это относится к щелочным источникам, которых из девона вытекает 78%. Весьма ясно выступает связь в хлорно-натриевых источниках, 25% которых берут свое начало в цехштейне и 12% — в среднем раковистом известняке — двух формациях, богатых солью. 66% горьких источников получают свое минеральное содержание в раковистом известняке, богатом гипсом и доломитом. 90% серных источников вытекает из образований, залегающих выше раковистого известняка, и лишь два минеральных источника берут свое начало в древних горных породах.

Ниже кратко излагаются современные взгляды на происхождение наиболее важных веществ, встречающихся в минеральных источниках.¹

А. Катионы

Калий встречается в очень многих минеральных водах, но сравнительно в небольших количествах. Хотя силикатные горные породы, продукты разложения которых имеют преобладающее значение для минерального состава источников, обычно содержат гораздо более калия, чем натрия, тем не менее в большинстве случаев в минеральных водах мы имеем обратное соотношение. Дитрих показал на лабораторных опытах, что хлорно-калиевые растворы при соприкосновении с разложившимися силикатными горными породами меняют калий-ион на натрий-ион.

Содержание натрия в минеральных источниках колеблется, правда, в широких пределах, но полностью он никогда не отсутствует. Берг считает его преобладающим катионом. Много натрия содержится в щелочных, углекислых и соляных источниках, а в насыщенных солями источниках — в количестве свыше 100 г в литре. Его присутствие, подобно наличию хлора, объясняется выщелачиванием соляных месторождений. Однако существуют (Берг)

¹ Более подробные данные см. Гинц и Грюнхут (86).

«источники и в вулканических областях, натрий в которых должен рассматриваться как ювенильный или, по крайней мере, как поддерживающийся в растворе благодаря ювенильному аниону».

Л и т и й, в качестве составной части минерального остатка воды источников, был впервые обнаружен Ш т е й н м а н о м (Steinmann) в 1823 г. в Карлсбадском Шлоссбруннене, а в следующем году В е р ц е л и у с о м (Berzelius) в Карлсбадском шпруделе. В большинстве случаев содержание лития невелико. И в горных породах он обычно встречается в небольшом количестве в виде трудно выветривающегося силиката. Между тем в настоящее время его относят к вероятным ювенильным веществам.

А м м о н и й, присутствие которого в пресной воде указывает на соприкосновение с гниющими белковыми веществами, встречается в минеральных источниках, в которых такого рода происхождение исключается. Его присутствие в вулканических fumarолах (например, в fumarолах Этны, Везувия, Катмая и т. п.) указывает на возможность его образования на глубине без участия органических веществ. Г о т ь е (Gautier), С т о к л а з а (Stoklasa) объясняют его возникновение действием нагретого пара на азотистые соединения силиция и металлов.

К а л ь ц и й содержится почти в каждой воде. Его частое присутствие в минеральных источниках объясняется широким распространением этого иона в земной коре. По данным Т а м а н н а (Tamann), содержание кальция в изверженных горных породах составляет в среднем 3,6%. Он обычно встречается в соединениях, растворимых уже в чистой воде, но особенно в воде, содержащей углекислоту. Для растворимости двууглекислой соли большую роль играет парциальное (частичное) давление углекислоты, с которой раствор соприкасается. Вследствие этого карбонат кальция при улетучивании двуокиси углерода часто выпадает у выхода источника в виде кальцитового или арагонитового туфа.

М а г н и й можно встретить почти во всех минеральных водах; особенно часто он встречается в землястых и горьких водах, которые получают свой минеральный состав из лежащих близко к поверхности зон выветривания.

Ж е л е з о, составляющее, примерно, 5,46% земной коры, встречается в любой воде глубинного происхождения. Оно может быть случайным образом ювенильного происхождения; но все же, по данным Г у м м е л я (Gummel) (113), содержание железа в германских минеральных источниках не позволяет признать ясного отношения к вулканизму. Железо, подобно кальцию, также играет роль при образовании ключевых осадков; однако его выпадение основано на окислительных процессах (охра).

В минеральных источниках встречаются отдельные тяжелые металлы, однако в таком небольшом количестве, что они едва ли играют какую-либо терапевтическую роль. Тем не менее их присутствие может иметь значение для научного изучения происхождения источника. По данным М и х о л и ч а (Miholic) (114), подробно

занимавшегося этим вопросом и исследовавшего минеральные источники Югославии с точки зрения содержания в них тяжелых металлов, следует различать три группы: 1) воды, в которых среди тяжелых металлов преобладают никель и кобальт (например, Гомбург, Ронценьо в Италии, Роннеби в Швеции и т. д.); 2) воды в которых преобладает о л о в о (Виши, Киссинген, Врдник в Югославии и т. д.); 3) воды, в которых преобладают с в и н е ц и ц и н к (Пирмонт, Левико, Борачова в Югославии). М и х о л и ч находит закономерную связь между этими группами и их геологическим возрастом. Группа 1 должна соответствовать архейскому складкообразованию, 2 — варискийскому и 3 — альпийскому. Он надеется на успешное использование этой связи для изучения тектоники и исторической геологии.

Б. Анионы

Х л о р относится к важнейшим анионам минеральных источников. Он может быть ювенильного происхождения. Сам хлор, как и хлористый водород, был обнаружен в вулканических эксгаляциях. Карлсбадский шпрудель дает в год 650 000 кг хлора, хотя во всей округности нет горных пород, содержащих хлор. В большинстве случаев хлор заимствуется из месторождений соли. В Германии он происходит по преимуществу из среднего или верхнего цехштейна, выщелачиванием которого и объясняются большие количества хлора в германских соляных источниках. По мнению К е й л ь г а к а, М е с т в е р д т а (Mestwerdt) и др., и соляные источники (например, Крейцнах), вытекающие из более древних формаций, должны были бы получить свой минеральный состав из цехштейна на своем длинном пути по трещинам. К е с с л е р (Kessler) (115) отрицает этот взгляд и считает содержание хлора этих источников ювенильным. Соляные залежи юры также минерализуют многочисленные германские соляные источники. В Австрии, Эльзасе, Испании и т. д. содержание хлора в соляных источниках объясняется выщелачиванием соляных месторождений третичного возраста.

Б р о м является в небольших количествах частым спутником хлора; это объясняется тем, что оба эти вещества встречаются вместе в соляных месторождениях.

И о д встречается в источниках, вытекающих из горных пород с высоким содержанием органических веществ растительного происхождения, например, в источниках позидониевых сланцев или кремнистых сланцев кульма (Б е р г).

Ф т о р был обнаружен И. И. Б е р ц е л и у с о м в Карлсбадском шпруделе; он встречается обычно в очень небольших количествах; большое содержание фтора рассматривается как типичное для воды ювенильного происхождения.

Су л ь ф а т-и о н представляет собой один из важнейших анионов. Преобладающее количество серной кислоты происходит, повидимому, из широко распространенного в земной коре сульфата

кальция (гипса). Присутствие хлор-иона и натрий-иона значительно повышает растворимость гипса в воде. Второй возможностью для возникновения серной кислоты является окисление сернистых металлов. Однако нельзя приписывать такое происхождение всем источникам, содержащим сульфаты. В ближайших и более далеких окрестностях карлсбадских и Мариенбадских источников, например, ни сульфатные, ни сульфидные минералы не встречаются в таком количестве, чтобы можно было объяснить ими огромное количество серной кислоты, содержащееся в этих источниках. Карлсбадский шпрудель выносит ежедневно 46 666 кг сульфат-ионов. В таких источниках серная кислота должна рассматриваться как вулканический продукт, следовательно, как ювенильная составная часть. Двуокись серы (SO_2) встречается часто в виде вулканической экзгаляции. В интэр у (B. Winter) удалось путем лабораторных опытов обнаружить образование сульфатов при воздействии SO_2 на гранит.

Гидрокарбонат-ион также относится к важнейшим анионам минеральных источников. Он характеризует щелочные и земельные источники (о происхождении углекислоты см. стр. 199).

В. Неэлектролиты

Борная кислота была впервые обнаружена Фрезениусом в Висбаденском кохбрунне. В вулканических термах она ювенильного происхождения. Однако Кнетт (Knett) (87), ввиду большого числа борных вод, рекомендует не рассматривать борную кислоту в качестве указателя глубинного происхождения минерального состава.

Кремневая кислота содержится в большинстве минеральных источников лишь в небольшом количестве. Отдельные гейзеры (Исландия, Йелоустонский парк, Новая Зеландия) содержат ее более значительные количества. Здесь образуются мощные отложения кремневого туфа. Растворимость кремневой кислоты возрастает с температурой воды и содержанием в ней щелочей. Берг видит в кремневой кислоте вулканический продукт, возникающий чаще вследствие гидролиза силикатов под действием сильно перегретой воды, нежели из эманации остаточных растворов силикатных магм.

Г. Газообразные составные части

За исключением некоторых лишь редко встречающихся газов, в минеральных источниках содержатся, главным образом, двуокись углерода («углекислота»), сероводород, болотный газ, азот, кислород, эманации радия, и реже эманации тория, небольшие количества благородных газов и др. Если количество газа на литр минеральной воды не превышает коэффициента растворимости Оствальда, то газ полностью в воде растворен и для глаза невидим. В противном

же случае в минеральной воде газ находится в виде «газовых пузырьков». Если этот нерастворенный газ имеется в таком количестве, что он оказывает заметное влияние на механический режим воды источника, то мы имеем дело с газированным источником (стр. 213).

Углекислота (правильнее «двуокись углерода») относится к важнейшим составным частям минеральных источников. Более старые авторы пытались объяснить все естественные появления углекислоты химическими процессами, происходящими в толщах горных пород. Углекислые соли и в особенности углекислая известь рассматривались как залежь углекислоты, из которой природа ее черпает. Объясняли, что газ выделяется из известняков под действием серной кислоты, возникающей вследствие окисления серного колчедана. Другая теория объясняет образование углекислоты естественным процессом горения известняка, попавшего, вследствие вулканических процессов или тектонических перемещений, в зоны высокой температуры. Л е п с и у с (Lepsius) (100), ярый защитник этой теории, полагает, что карлсбадский гранитный массив был передвинут как «гранитная плита» через древнепалеозойский сланцевый хребет и что углекислота Карлсбадского шпруделя возникла вследствие нагревания силурийских известняков. По его мнению, подобным же путем образуется углекислота нижнерейнских сланцевых гор и в Веттерау. Л е п с и у с предполагает при этом замещение углекислоты при высокой температуре кремневой кислотой.

Г и н т л (Gintl) (116) видит в процессе насыщения углеродом буроугольных пластов первоисточник углекислоты кислых источников северо-западной Богемии и в особенности Билинского Заубрунна. Теория эта должна быть отклонена в связи с необходимостью сложной предпосылки о наличии герметических пространств, в которых должен накапливаться и передвигаться газ.

Следует также упомянуть о подводе углекислоты из растворенного в грунтовой воде двууглекислого железа, выделяющего последнюю под действием окисления. В и т т е (W. Witte) полагает, что большинство кислых источников обусловлены этим процессом.¹

По Г е ф е р у (Höfer) (118), двуокись углерода кислых источников «хотя обычно и ювенильного происхождения, но может в отдельных случаях иметь и иное происхождение, ... однако эти источники двуокиси углерода... в газообильных кислых источниках мало вероятны».

В настоящее время все шире и шире признается, что главная часть углекислоты источника имеет вулканический характер.

Выделения углекислоты (мофетты) происходят не только в окрестностях действующих вулканов, но они характерны и для древних вулканических областей третичного периода. «Куда бы мы на земной поверхности не обратили наш взгляд, — говорит К е й л ь г а к (9), — в областях, в которых происходили сильные базальтовые извержения

¹ Сопоставление теории о невулканическом происхождении углекислоты см. Д е л ь к е с к а м п (Delkeskamp) (120).

в третичном периоде, мы повсюду видим еще и в настоящее время углекислоту, выступающую на поверхность земли, частично в газообразной форме или смешанную с водой, а частично абсорбированную». По мнению этого ученого, массы углекислоты, составляющие одну из важнейших составных частей кислых источников, происходят, весьма вероятно, исключительно из недр земли и являются поэтому вулканического (ювенильного) происхождения.

К. Гуммель (113), для опровержения взглядов Витте (стр. 199), нанес на карту Германии количества углекислоты, даваемые минеральными источниками, по тем данным, которыми он располагал, и эта карта ясно показала связь между эксгаляциями углекислоты и неовулканизмом (рис. 194).

Гуммель не считает, что вся углекислота выделяется непосредственно из магмы, но полагает, что она накапливается в пористых горных породах, медленно ее выделяющих. Такого же мнения придерживается и Мествердт (85). Далее Гуммель полагает, что в холодных простых или землистых кислых источниках смешивание углекислоты с (вадной) водой происходит лишь в верхних горизонтах; если бы газ смешивался с теплой водой уже на более значительной глубине, то, вследствие разложения полевых шпатов и т. п., возникли бы щелочные горячие источники. Кроме того, он предполагает в щелочных источниках больше ювенильных составных частей, чем в других источниках.

Произведенные И. Кадисем (119) исследования швейцарских минеральных источников не подтвердили взглядов Гуммеля. Например, в Пассуге и в Шульс-Тараспе земельные воды обнаруживают почти всюду немного более высокую температуру, чем щелочные.

По мнению Берга (103), углерод при затвердении магм не входит ни в первичную кристаллизацию, так как она сульфидноокислая, ни в главную кристаллизацию, так как она чисто силикатная, но остается в остаточной магме. При вулканических условиях, т. е. при наличии меньшего давления, преобладающая часть элемента, даже обидее количество, переходит, следовательно, в атмосферу в виде вулканических эксгаляций углекислоты или в виде углекислых минеральных источников. В то время как Кейльгак считает теории образования двуокиси углерода из известняка маловероятными, Берг все еще придает им известное значение. Опыт показывает, что $\frac{9}{10}$ всех содержащих углекислоту источников и как раз самые значительные из них, находятся в вулканических областях и что поэтому вся углекислота, выделяющаяся из земли в виде газа или в виде углекислой воды, является вулканического происхождения. Однако не вся вулканическая углекислота является в строгом смысле ювенильной, так как под действием очень горячих эксгаляций карбонаты на глубине в соединении со свободной кремневой кислотой превращаются в силикаты, причем углекислота освобождается. «Таким образом можно обосновать происхождение значительной части вулканических выделений углекислоты».

Содержание растворенной углекислоты придает воде особую способность растворения и является, таким образом, причиной дальнейшей минерализации. Этим путем в кислых источниках возникают гидрокарбонаты щелочей, щелочных земель, железа и т. п. Образованию бикарбонатов щелочных земель способствует наличие давления, следовательно, оно происходит на большой глубине. Однако, согласно О. Генелсу (O. Hähnels), существует предельное

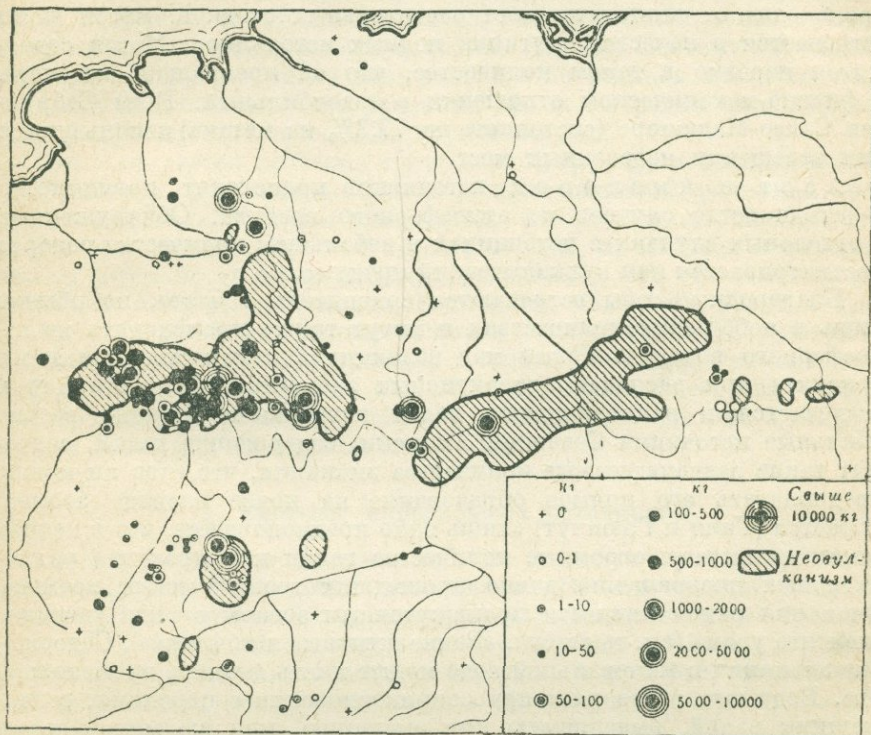


Рис. 194. Связь между суточным количеством углекислоты, даваемым германскими минеральными источниками, и неовулканизмом (по Гуммелю).

давление, выше которого растворимость карбонатов перестает возрастать. Но бикарбонаты, образовавшиеся под давлением, превышавшем предельное, обнаруживают больше постоянства, нежели бикарбонаты, возникшие под меньшим давлением.

Сероводород также имеет двойное происхождение. Сухие выделения этого газа у действующих вулканов — «сульфаторы» — подтверждают воззрение, что сероводород минеральных источников, вытекающих в вулканических областях, обладает послевулканическим характером и может, следовательно, рассматриваться как ювенильный. Однако в большинстве источников, содержащих сероводород, газ этот мог бы происходить от сульфатов (особенно

сернистого кальция, гипса) в результате восстановительного процесса под воздействием органических субстанций.

Хотя углекислый водород был обнаружен и в вулканических эггалациях, тем не менее содержание такового и в особенности метана (CH_4) может быть почти всегда объяснено поглощением его из битуминозных осадков. Метан образует главный продукт разложения органических субстанций и является постоянным спутником нефти. Ввиду того что содержание иода в минеральных источниках происходит от выщелачивания растительных осадков, метан часто встречается в качестве спутника иодных источников. Метан содержится нередко в таком количестве, что он превращает источник в физико-механическом отношении в газообильный. Газы Собрунен Салзо-Маджиоре (состоящие на 77,3% из метана) используются для освещения населенных мест.

Азот и кислород источников происходят, повидимому, в большинстве случаев из атмосферного воздуха. Обнаруженный в отдельных случаях в источниках в небольшом количестве водород рассматривается как вулканический продукт.

Благородные газы встречаются сравнительно часто, но обычно лишь в небольших количествах и могут также происходить из атмосферного воздуха. Гелий мог возникнуть в качестве конечного продукта при распаде радиоактивных элементов, он постоянно и встречается в радиоактивных водах источников. Однако весьма обильные источники Северной Америки, содержащие гелий, содержат такие незначительные количества эманации, что едва ли можно предполагать его прямое образование на почве распада атомов. Остается (Гинц и Грюнхут) «лишь одно предположение, что в недрах земли накоплены огромные количества гелия как продукта радиоактивных превращений давно прошедших геологических времен». Эманация радия является промежуточным звеном в ряде распадов элемента урана (см. также гл. «Радиоактивные источники»). Содержание эманации в минеральной воде может иметь двойное происхождение. Вода или растворяет при соприкосновении с породами, содержащими радий, выделяемую ими эманацию, или же минеральная вода сама содержит радий-ион, а следовательно, и находящуюся в равновесии с его количеством эманацию.

Особенно богаты радиоактивными источниками сиениты, граниты и порфиры. Эманации тория и актиния встречаются в источниках реже, нежели эманации радия. В связи с быстрым распадом они играют в терапии лишь незначительную роль.

4. ПУТЬ И ДВИЖЕНИЕ ВОДЫ

В общем все сказанное в первой части этой книги о естественных условиях для возникновения и существования механизмов источников может быть полностью отнесено и к минеральным источникам. Минеральные воды могут циркулировать в толщах горных пород как в виде грунтовых вод, так и в форме подземных водотоков. Для

процессов растворения и химических процессов, ведущих к образованию минеральных вод, создаются одинаково благоприятные условия как в грунтовом потоке, так и в медленно движущемся потоке, заключенном в сильно трещиноватых горных породах. И в том, и другом случае вода имеет длительное соприкосновение с горными породами. К земной поверхности минеральная вода обычно подводится, повидимому, подземными водотоками в виде трещинных вод. Только так может вода, с сравнительно небольшим сопротивлением, подняться из значительных глубин, пересекая мощные водонепроницаемые кристаллические горные породы. Поэтому мы видим, что преобладающее число минеральных источников питается подземными водотоками и что сравнительно более редко минеральные воды получают свое питание от грунтовых вод.

Это выявляется особенно ярко в географическом распределении минеральных источников. На недислоцированных равнинах они встречаются в небольшом количестве; в гористых местностях, где трещины и сбросы пересекают горные породы, их больше, и выходят они на поверхность земли или непосредственно, или через небольшой мощности слой рыхлых пород. Источники, главным образом, сосредоточены в областях, подвергавшихся тектоническим нарушениям в недавние геологические времена, в особенности если тектонические нарушения сопровождались извержениями магм. Здесь еще открытые трещины и расселины служат путями для подъема вулканических газов или смешанных с ними вод.

А. Системы минеральных источников

Одно и то же тектоническое событие может послужить причиной возникновения нескольких источников. В этом случае говорят о системе источников. Если отдельные источники лежат на трещине сброса, то места источников, отмечая выходы трещины, группируются в ряд. Если источники используют в зоне разрушения различные трещины одного общего пучка сбросов, то образуется область ключей.

Если ключевые жилы одной системы являются ответвлением одного общего первоначального канала или выходят из одного общего очага, то отдельные ключи находятся в большей или меньшей гидравлической зависимости друг от друга. В этом случае можно говорить о системе источников в более узком значении слова. Эта зависимость ясно обнаруживается, когда, например, в новом каптаже, вследствие изменения сопротивлений при выходе, дебит какого-либо отдельного источника изменяется; в этом случае дебиты других источников системы реагируют на это искусственное мероприятие в обратном направлении. В некоторых системах источников происходит иногда без внешнего вмешательства человека смещение дебитов отдельных источников («замещение источников»). Причина таких постепенных или внезапных замещений может крыться в непрерывно продолжающемся образовании туфов, закупоривающих

каналы, а также в удалении шламообразных осадков (охры) вследствие возросшей скорости течения.

Так, например, в карлсбадских термах наблюдали скачкообразное замещение после резких падений барометрического давления (стр. 256). При ответвлении струй источников, содержащих газ, распределение свободного количества газа на обе ветви имеет значение для их дебита. Это служит, повидимому, причиной того, что в системе газированных источников особенно наблюдается склонность к замещению. Минеральные источники более узкой системы обнаруживают в химическом составе обычно лишь небольшую разницу. Обыкновенно дело касается разницы в концентрации или, в горячих источниках, небольших разниц, например, в растворении газа, вызванных температурными различиями. Однако известны и узкие системы источников, отдельные выходы которых обнаруживают в химическом характере значительную разницу, как, например, мариенбадские источники в Чехословакии; здесь химический характер слагается из нескольких различных составляющих, и разницы в источниках объясняются изменяющимся соотношением смеси последних.

Если дислоцированная зона (сброс, зона разрушения) имеет значительное протяжение, то она может заключать в себе ключевые жилы, не имеющие ни взаимной гидравлической связи, ни одинакового химизма. В этом случае дело касается системы источников в «более широком смысле». Однако и здесь существуют переходы, а в некоторых случаях все же может быть имеется связь, хотя она и не обнаруживается при происходящих изменениях; связь эта обнаружилась бы, быть может, лишь при более серьезных вмешательствах.

Б. Примеры систем источников

Горячие источники Аахена (121) вытекают из девонских известняковых пластов «Аахенского седла». Здесь палеозойские пласты (девон, карбон) образуют систему сжатых, опрокинутых к северу складок с надвигами, представляющими собой, по Д е к е н у (Decken), продолжение большого надвига по южному краю бельгийского угольного бассейна. Трещиноватые верхнедевонские известняки, носители термальной воды, заключены в кровле и в почве водонепроницаемых отложений. Выход двух параллельных вершин складок этих известняковых пластов образует у поверхности земли две полосообразные зоны, идущие в одном направлении: термальная зона Аахена и Буртшейда. У отдельных термальных источников каждой зоны была установлена взаимная гидравлическая связь, однако зоны сами по себе не обнаруживали до сих пор никакой зависимости. Здесь мы имеем дело с системой источников в более широком смысле, состоящей из двух систем. Сами складки обнаруживают слабую сводчатость, ось которой нормально направлена к оси складки; также были найдены трещины, направленные перпендикулярно к оси складок. Бейссель приписывает таким

глубоким трещинам роль проводящих путей для термальной воды, район питания которых он ищет у северного подножья Феннских гор, где в долинах Весдер, Реренского ручья, Фалкенбаха и Вихтенбаха выходит на поверхность полоса девонских известняков. Аахенско-Буртшейдские горячие источники дают вместе 35 000 — 42 000 л воды в минуту; температура отдельных источников достигает почти 74° С. Бейссель объясняет их нагревание тепловым потоком земной коры. Из сказанного на стр. 189 следует, что нагревание их ювенильным водяным паром более вероятно. Отсутствие в породах хлора также указывает на наличие ювенильных составных частей.



Рис. 195. Геологический разрез Аахена (по Бейсселю).

Южный обрыв Рудных гор, названный Лаубе (Laube) «Богемской термальной трещиной», открывает многочисленным горячим, минеральным и кислым источникам путь к поверхности земли (карлсбадские термы, Теплиц, Гисгобельский Зауербруннен, Крондорф, Билин и т. п.). Углекислота и прочие ювенильные составные части этих источников выделяются из затвердевающих на глубине магматических очагов, о наличии которых можно судить по многочисленным неовулканическим породам (базальт, фонолит). Если и нужно признать в целом зону излома Богемской термальной трещины как систему источников в широком смысле, то, тем не менее, наблюдались случаи



Рис. 196. Карлсбадская терминальная трещина. Выход у Мюльбруннена (из «Balneologie u. Balneotherapie», Jena, 1922).

взаимного влияния и трещинных вод (см. главу «Охрана источников», стр. 295).

Карлсбадские горячие источники образуют ключевую систему в более узком смысле. Они выступают на поверхность земли по сбросу, прорезающему Карлсбадские гранитные горы, простирающиеся с северо-северо-запада на юго-юго-восток и падающие почти вертикально. Источники эти дают всего около 2000 л термальной воды в минуту и приблизительно 6000 л в минуту углекислоты. Отдельные горячие источники системы расположены частично на



Рис. 197. Карлсбадская термальная трещина. Работы по вскрытию в заново каптируемом Шлосс-бруннене в 1911 г. Термальная вода образует в зияющей трещине парующую поверхность; в воду опущены две трубы (из «Balneologie u. Balneotherapie», 1922)

главной трещине, а частично на различно падающих боковых трещинах зоны сброса. Шпрудельные источники вытекают из арагонитового туфа (шпрудельштейн, шпрудельшале), созданного когда-то термальной водой, повидимому, в озероподобном бассейне. Карлсбадские источники являются щелочно-сульфатно-соляными источниками, насыщенными углекислотой и с температурой в 43—73° С. Весьма интересны разницы температур отдельных источников системы, кото-

рые ввиду небольших разниц в концентрации должны быть отнесены за счет охлаждения на пути родниковой воды.

Независимость карлсбадских источников от атмосферных осадков, их богатство ювенильными газами, постоянная высокая температура и их своеобразный химический состав, который не мог быть создан их материнской породой — гранитом, заставили Е. Зюсса (97) создать в 1902 г. теорию ювенильных источников. Богатые углекислотой мариембадские источники берут свое начало в дислокационной зоне у южной границы плато Кайзервальда, в западной Чехии. Они служат интересным примером системы источников, отдельные индивидуумы которых обладают совершенно различным химическим характером. Винтер (Winter) (122) объясняет это различным геологическим характером материнской породы отдель-

ных ключевых путей. Первоначально поднимающаяся из глубины соляно-щелочная-солянокислая термальная вода частично образует выходы источников не смешиваясь, частично же она в качестве более или менее сильной составляющей примешивается к другим, вадозным источникам, обзанным своим минеральным содержанием действием насыщенной углекислотой грунтовой воды на различные горные породы.

Естественный механизм соляных источников Бад-Рейхенгалл можно сравнить с «зинкверком» соляных разработок (Гиллицер) (123). Северный склон гор Lattengebirge образует район питания. Здесь вертикальный сброс, простирающийся с востока на запад, отделяет Рамзайский доломит от выпученных сольсодержащих горных пород. Вдоль этого сброса и особенно через многочисленные, простирающиеся с севера на юг разломы сольсодержащих пород в последние проникает пресная вода. Если бы действие воды началось с висячего бока, то длительное образование рассола было бы

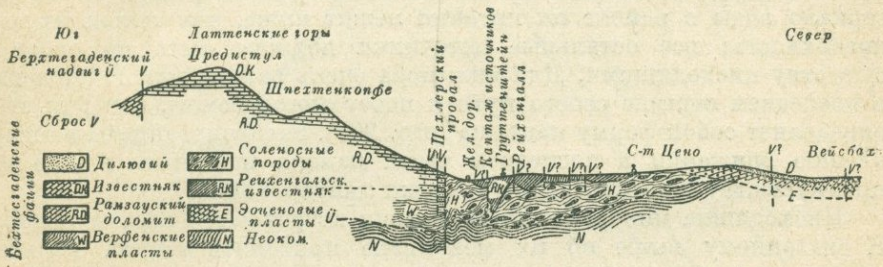


Рис. 198. Предполагаемый разрез через Рейхенгалл (по Гиллицеру).

невозможно, так как, согласно опыту, в этом случае глина сольсодержащих горных пород (выщелоченная соленосная глина) постепенно образовала бы непроницаемый защитный слой. Однако поперечные изломы способствуют «разъеданию» каменной соли снизу вверх, причем опускающаяся выщелоченная соленосная глина не может создать препятствия. Как только распространяющееся сверху разъедание достигло глыб рейхенгалльского доломита, глубоко погруженного, вследствие тектонических процессов в сольсодержащих горных породах, оно освободило пространство для восходящего пути рассола к поверхности земли для образования соленых источников. Дальнейшее продвижение рассола к северу ограничивается подъемом неокома в лежащий бок сольсодержащих горных пород и выклиниванием последних. Гиллицер вычисляет по температуре рейхенгалльского рассола и геотермическому градиенту глубину их очага в 300—400 м. Наблюдаемое постепенное понижение температуры источников может быть объяснено непрерывным подъемом зоны разъедания. Согласно этому, последняя должна была бы в течение 100 лет подняться у Эдельского источника («Edelquelle») на 72—99 м. Горячие источники Висбадена берут свое начало в сбросе, в котором серицитовый гнейс примыкает к третичному мергелю.

В качестве выводящего на поверхность земли углекислоту источников Зальцбруннен в Силезии служит обвал кульмских пластов у южного края гнейсовой котловины Зейтендорф — колония Зандберг — Зальцбруннен. Кислые моравские и карпатские источники (Лухачовик, Криница и т. д.) следуют за трещинами молодых третичных андезитовых извержений; то же самое относится и к источникам Рогич-Зауербруннен, в южном Штейрмарке и т. п.

В. Механизм восходящих минеральных источников

Минеральные источники относятся почти всегда к «восходящим» источникам, другими словами, в большинстве из них питающий поток движется к месту источника, по крайней мере, в последней части своего пути, в вертикальном направлении. Возражения против подразделения источников на восходящие и нисходящие направлены именно в этом смысле. Кегель (124), например, хотел бы, чтобы восходящими назывались только те источники, в которых зеркало воды в районе их питания лежит ниже, чем выход их на поверхность; все остальные источники должны быть по своему существу нисходящими. Для инженера очень важно, как течет вода в последнем отрезке своего пути к поверхности земли, так как это определяет собой форму каптажа (стр. 265). Распознавание по направлению движения в последней части канала источника важно по преимуществу с точки зрения техники каптирования.

Нисходящие минеральные источники встречаются весьма редко. К сказанному выше об их механизме прибавить нечего. Только одна группа минеральных вод, горькие воды, встречаются, правда, всегда в форме нисходящих грунтовых вод. Горькие воды возникают вследствие выщелачивания продуктов выветривания, лежащих близко к поверхности земли, и в большинстве случаев такие воды искусственно поднимаются на поверхность. В этом случае они не представляют собой собственно источников, что, конечно, никоим образом не отражается на их терапевтическом значении.

На рисунке 199 схематически показан восходящий источник, питаемый вадозной водой. Путь E — уровень давления района питания, Q — место источника, $v - o$ — разность их уровней. Если бы ключевой канал был у U закрыт, то линии $Q - o$ и $E - v$ слева и $Q^1 - u^1$ и $E^1 - v^1$ справа означали бы линии давления обеих ветвей. Слева уровень, до которого в скважине поднялась бы вода, например, у C до c , причем $K - c = K^1 - c^1$; у D до d , причем $P - d = P^1 - d^1$. В текущем состоянии вместо этих статических линий давлений выступают гидродинамические $E - p - Q$ или $E^1 - W - Q^1$. Динамическое давление в нисходящей ветви меньше статического, а в восходящем канале больше. Вертикальное расстояние между линиями $E - Q$ и $E - N$ или горизонтальное отдаление линий $E^1 - W - Q^1$ и $E - U^1$ соответствует высоте давления, потребовавшейся для преодоления сопротивления движению до этой точки. Форма линий $E - p - Q$ и $E^1 - W - Q^1$ зависит поэтому от сопротивлений

пути источника, обусловленных поперечным сечением, неровностями и закруглениями. На рисунке 199 были взяты прямые линии давления.

Если бы источник был у Q абсолютно плотно каптирован, то можно было бы поднять воду по трубам («напором»). Если это достигается до точки H , то линия давления принимает положение $E-H$; падение давления тогда меньше, поэтому и скорость течения и дебит уменьшаются. Если нанести дебит в виде абсцисс, на соответствующую высоту напора, то получим горизонталь дебита e_1-e_2-N .

В точке N , пьезометрическом уровне источника, находится вершина точки, соответственно дебиту O в «стоячем» источнике при отсутствии стока. Следовательно, дебит является функцией высоты напора или уровня выхода источника. Если источник питается под-

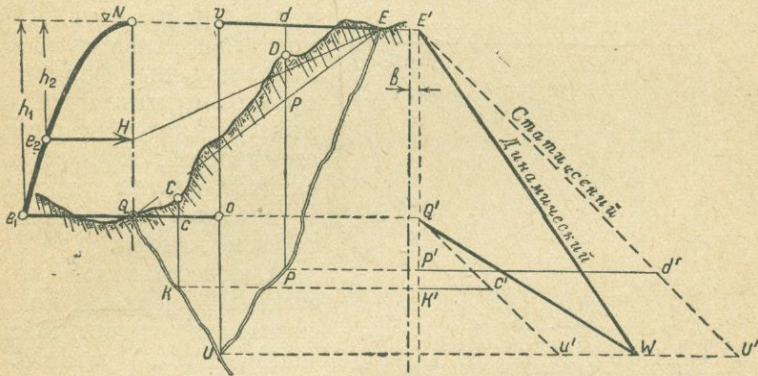


Рис. 199. Соотношения давления и дебита в вадозном восходящем источнике.

земными водотоками, то можно ожидать, что, аналогично законам течения под давлением в наполненных трубках, квадрат дебита пропорционален потере высоты напора: $e^2 = c \cdot h$, причем коэффициент проводимости выражает собой сопротивление пути источника; в этом случае кривая дебита является параболой.

Если питающий поток имеет характер грунтовых вод только на промежуточных участках, то c в вышеприведенной формуле уменьшается, а горизонталь дебита приближается к прямой. В обоих случаях для построения кривой теоретически были бы достаточны две точки, т. е. два измерения дебита при различных высотах напора. Принимая во внимание сомнительность характера кривой и вследствие вывода заключения «от малого к большому», на практике определяют возможно большее число точек, приспособляя форму кривой к их положению. Нередко функция дебита носит не единообразный характер, но составляется последовательно из отдельных ветвей, указывающих на плавный или на нарушенный в местах неперестояния характер кривой.

Это явление можно наблюдать, когда ответвляющийся в глубине боковой выход источника начинает изливаться, начиная с определенного уровня напора главного источника. Схема этого случая приведена на рисунке 200; пусть источник каптирован у A , его пьезометрический уровень находится у PN , а вершина параболы дебита $PN - Z - R$. У B находится устье бокового ответвления родниковой пути, которое благодаря водонепроницаемому налегающему слою может ускользать из поля зрения. Чем глубже точка ответвления C бокового рукава, тем выше в последнем будет стоять ключевая вода, так как разность уровня между зеркалом в боковом рукаве и выходом A является мерилом падения давления, следовательно, сопротивлений движению в отрезке канала $C-A$, и тем больше, чем последний длиннее. Линия $U-C^1-A$ схематически отражает направление кривой давления ключевого потока от исходной точки

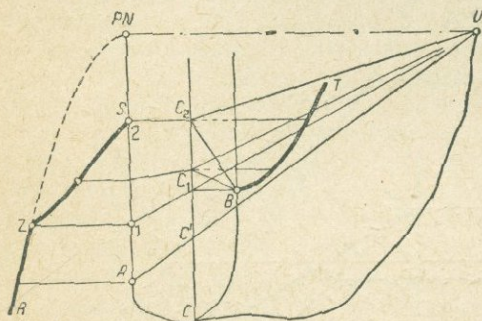


Рис. 200. Влияние, оказываемое некаптированным боковым выходом, на кривую дебита восходящего источника.

через C к выходу A . Истинное направление обусловлено, конечно, формой и сопротивлениями пути источника. Для эмпирического определения кривой дебита следует затем произвести в каптаже A постепенный подъем напора. Соответственно подъему выхода A , зеркало под B повышается и достигает при напоре I (в A) устья B . При продолжающемся подъеме ключевой поток разделяется у C на две ветки: $C-A$ и $C-B$; дебит источника распадается на две составляющие. Чем выше мы создадим напор у A , тем больше возрастет за счет изливания невидимая составляющая B ; она следует кривой дебита $B-T$ (парабола) в зависимости от высоты давления в C . При высоте напора 2 падение давления C_2-B , наконец, достаточно, чтобы излить весь дебит через боковую трещину $C-B$, другими словами, выход A начинает свою деятельность и останавливается у S . Согласно этому, действие бокового выхода выражается следующим образом: на участке $A-I$ производительность источника подчиняется параболе дебита $R-Z-PN$ с вершиной в точке PN . Начало деятельности бокового выхода проявляется во внезапном более сильном падении дебита с высотой, следовательно, в изгибе кривой у Z . Начиная от этой точки неустойчивости, кривая дебита идет круче по отношению к оси и заканчивается в кажущемся пьезометрическом уровне в S^1 .

В вышеизложенном разность высот водяных столбов в нисходящей и восходящей ветвях принималась как единственная причина

¹ Из Z. f. Kurortenwissenschaft, 1931, 5 статья автора.

необходимого для подъема падения напора. Однако падение напора может быть вызвано или усилено и другими причинами. Так как статическое давление столба жидкости зависит не только от его вертикальной высоты, но и от удельного веса жидкости, то разность давления между восходящей и нисходящей ветвями может быть также вызвана различным удельным весом в последних. В литературе нередко для обоснования падения давления принимают уменьшение веса, вследствие нагревания и вследствие абсорбции газа.

На основании математического расчета видно, что разность температур дает настолько малую разницу давлений, что последняя может в крайнем случае оказывать влияние на скорость течения, но едва ли может рассматриваться в качестве единственной причины, обуславливающей движение в канале источника. Для горячего источника с температурой у выхода в 35°C при среднегодовой температуре в 8°C , равной температуре в нисходящей ветви, падение

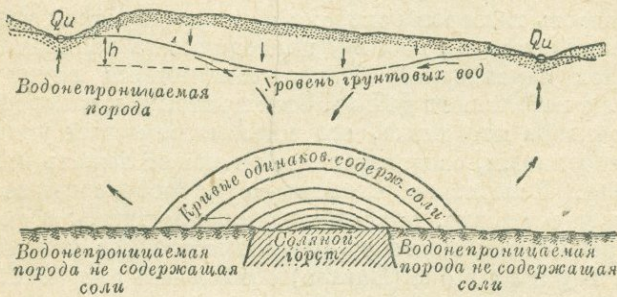


Рис. 201. Восходящие соленые источники, обусловленные различием концентрации раствора [по Кегелю (124)].

давления, согласно расчету, составит не более 0,0058, что создает при глубине очага в 900 м (соответственно геотермическому градиенту) избыточное давление в 5,2 м. При огромном сопротивлении, противопоставляемом естественными подземными путями течению, эта величина является совершенно незначительной. Поэтому автор не может согласиться со значением изменения веса от температуры для вытекания источников, которое ему приписывает, например, Кегель (124).

Для объяснения падения напора, особенно у соленых источников, Кегель также прибегает к разностям веса, вызванным разной концентрацией. Рассол более высокой концентрации, вследствие выщелачивания соли из сольсодержащих пород, образует тяжелую нисходящую ветвь, а рассол, стекающий отсюда, постепенно разжиженный пресной грунтовой водой, — более длинную, поднимающуюся выше восходящую ветвь (рис. 201).

Кегель этим путем объясняет механизм соленых источников линии Зальцкоттен-Кенигсборн в Вестфалии, вследствие выщелачивания в Мюнстерском бассейне.

Уменьшения удельного веса, вследствие абсорбции (поглощения) газа, как раз при углекислоте, т. е. газе, сопровождающем минеральные воды в огромном большинстве случаев, не происходит, так как вследствие растворения этого газа удельный вес увеличивается. Однако если в минеральном составе источника примешана избыточная, нерастворенная часть газа в форме пузырьков, то удельный вес воды может быть настолько снижен, что уже это одно может вызвать истечение источника, даже в тех случаях, когда уровень района питания лежит ниже выхода источника. В этом случае действует накопленная в газе на глубине потенциальная энергия, вызывающая избыточный подъем, вследствие работы расширения. Об этих «газированных источниках» и трактует следующая глава.

Г. Гейзеры и газированные источники

Деятельность гейзеров основана на периодическом наполнении и опорожнении канала; поэтому периодичность излияния является для гейзеров характерной. Канал заполняется грунтовой водой сравнительно небольшого дебита. Этот приток как таковой не должен носить характера источника, его пьезометрический уровень может быть отрицательным, следовательно, он может лежать ниже поверхности земли. Вследствие внезапного парообразования или расширения газа в канале, последний опорожняется в форме извержения, нередко являющего собой величественное явление.

Данное Бунзен (Bunsen) объяснение для механизма паровых гейзеров является наиболее простым и наиболее вероятным. Содержащаяся в канале вода нагревается притоком тепла вулканического происхождения. Подогревание может происходить благодаря переходу тепла от породы, но вероятнее всего благодаря вулканическому пару. Вследствие повышения точки кипения с давлением, вода достигает в глубине канала температур свыше 100° без кипения. Бунзен определил, опуская в канал Большого гейзера в Исландии термометр, температуру его до $127,5^{\circ}$ С. Если, наконец, в каком-либо месте канала начинается кипение, то образовавшийся водяной пар поднимает водяной столб, и перегретые водяные массы попадают благодаря этому в зоны меньшего давления и, следовательно, более низких температур кипения. Процесс кипения распространяется на все увеличивающиеся количества воды, и образовавшиеся внезапно огромные количества пара выбрасывают воду выше поверхности земли. Этим представлен лишь принцип. В природе механизм гейзеров может быть много сложнее благодаря, например, примыкающим к каналу подземным пустотам, нескольким местам нагревания и т. п.

Известны гейзеры острова Исландии, находящиеся в состоянии медленного отмирания, и величественные паровые гейзеры в Йеллоустонском парке в штатах Вайоминг и Монтана, в Соединенных Штатах.

Причиной извержения газовых гейзеров является эксгаляция газа, принужденная к периодическому расширению вследствие запора водой в канале. А л ь т ф е л ь д (Altfeld), параллельно с описанием деятельности открытого скважиной гейзера Намеди, объясняет следующим образом механизм газовых гейзеров. Буровая скважина питается небольшими притоками, требующими для ее наполнения несколько часов; в буровую скважину открываются трещины, содержащие углекислоту, давление которых на большой глубине снижено узким поперечным сечением. При опорожненной скважине весь газ, содержащийся в трещинах, дающих углекислоту, и в прилегающих к ним пустотах, выходит, вследствие чего давление газа понижается. Наполняющая канал вода проникает тогда в газовые пути и запирает их. Давление газа выше места сужения поперечного сечения, вследствие постоянного притока, постепенно усиливается, причем восстающий столб воды еще уравнивает его. Начинаясь, наконец, выделение газа снижает, путем вытеснения воды, давление в скважине, поэтому пузыри газа начинают расширяться, и происходит извержение. А л ь т ф е л ь д (125) экспериментально доказал возможность своей теории.

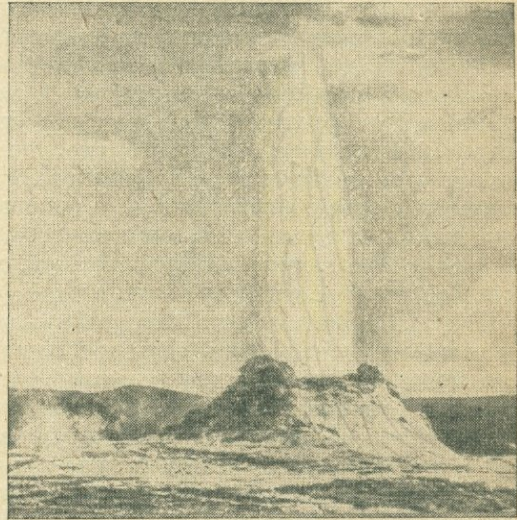


Рис. 202. Гейзер «Кестл» во время извержения. Иелоустонский парк (из *Andrée Geologische Charakterbilder*).

Вскрытые буровыми скважинами зимой 1930/31 г. д-ром А. Г а р т м а н о м (A. Hartmann) в Тараспе, в Швейцарии, на глубине, примерно, 100 м два кислых источника являются ярко выраженными газированными гейзерами. В апреле 1931 г. одна буровая скважина фонтанировала каждые 15 минут, а вторая через интервалы в 2,5 часа (119). В газовых гейзерах в качестве активных газов принимаются во внимание, главным образом, вулканическая углекислота и углеводороды.

Газированные источники. Детальное изучение газированных источников имеет большое практическое значение, так как большинство важнейших и ценнейших целебных источников относится к этому типу. Они принципиально отличаются от гейзеров. Из гейзеров вода выбрасывается в виде снаряда из канала источника, благодаря периодическому расширению газа или пара, причем с точки

зрения механики отдача воспринимается по принципу равенства действия и противодействия, что и характеризует действие гейзеров. Их извержение можно сравнить с сильным вытеканием воды из откупоренной неохлажденной бутылки с зельтерской водой. Газированные источники изливаются непрерывно. Распределенный в газированном источнике объем газа действует путем уменьшения удельного веса; работа расширения газа увеличивает этот объем, причем расширяющиеся газы не оказывают реактивного давления на дно канала: такового не существует.

Газированные источники аналогичны насосам маммут, в которых жидкость, благодаря нагнетанию воздуха в подъемную трубу, поднимается с более низкого уровня на более высокий. Энергия, сообщаемая таким воздушным насосом при сжатии и нагнетании воздуха в воду, в газированных источниках с самого начала содержится в качестве потенциальной энергии давления. При улетучивании и расширении газа она постепенно превращается в энергию движения. Следовательно, насос маммут сходен лишь с последним отрезком канала газированного источника. Сравнение может оказаться полезным как в отношении техники каптирования газированных источников, так и в отношении выбора наиболее целесообразной конструкции насоса маммут, так как результаты испытаний в одной области могут быть с успехом использованы и в другой.

В восходящем канале газированных источников (126) циркулирует механическая смесь воды и газовых пузырьков, для образования которой имеются две возможности: в восходящую ветвь восходящего источника впадает источник газа; вода абсорбирует соответственно давлению и температуре часть газа, в то время как избыток его примешивается к воде механически. Этим путем образуется, повидимому, большинство углекислых источников. Однако газ может с самого начала подниматься с водой из глубины (например, в ювенильных газированных источниках). В этом случае газ, вследствие большого давления на глубине, полностью растворен и, вследствие понижения давления при подъеме, выделяется постепенно из раствора.

В огромном большинстве случаев углекислота образует в газированных источниках газообразную составную часть. В нефтяных районах встречаются также газированные источники и газовые гейзеры, с углеводородами в качестве газообразной части. Они обычно искусственно вскрываются при бурении на нефть.

Газированные источники текут непрерывно. В них поэтому по мере углубления падение давления должно превышать статическое увеличение давления. Однако природа создала эту разность давлений не за счет большего давления, вследствие более высокого положения бассейна питания, как у обыкновенных восходящих источников (рис. 199), но за счет снижения статического давления в восходящем канале источника. Удельный вес смеси воды с газом меньше удельного веса воды и тем меньше, чем больше объемное процентное содержание газа в смеси. Так как статическое давление столба

жидкости падением удельного веса понижается, то создается необходимое для движения вверх избыточное давление. Согласно сказанному, статическое увеличение давления с глубиной в механизме восходящих источников также является обстоятельством, препятствующим движению. В несжимаемых жидкостях удельное давление, определяется произведением удельного веса на вертикальную высоту столба жидкости, вследствие неизменяемости веса, пропорционально глубине. В графическом изображении давление, как функция глубины, дает для таких жидкостей прямую, тангенс угла наклона которой к вертикали выражает удельный вес.

Смесь воды с газом является сжимаемой жидкостью. Объем газа при высоком давлении уменьшается, во-первых, вследствие его упругости, а во-вторых, вследствие повышенной абсорбции в воде. Поэтому удельный вес смеси является функцией давления и возрастает с глубиной, подобно тому как и угол наклона линии давления, и потому линия давления на глубине является кривой, тангенсы угла наклона которой к вертикалям по направлению кверху уменьшаются. Наличие свободного газа ведет к более медленному увеличению давления с глубиной — меньшее статическое падение давления. Поэтому то же самое давление на глубине может в газированном источнике поддерживать более высокий столб жидкости, чем в источнике, не содержащем газа, или, другими словами, может поднимать большие количества воды на ту же высоту.

Давление как функция глубины в газированных источниках. При определенных упрощающих допущениях уравнение линии статического давления (так же как нормальный случай) выводится следующим образом (127):

G — вес количества газа, сопровождающего единицу веса,

η — удельный вес газа при давлении 1 и господствующей температуре,

λ — коэффициент растворимости Оствальда в воде при господствующей температуре,

p — существующее удельное давление,

h — глубина поперечного сечения струи под выходом, тогда удельный вес смеси газа и воды при давлении p :

$$\gamma = \frac{\text{абсолютный вес}}{\text{объем}} = \frac{1 + G}{1 + \frac{G}{\eta \cdot p} - \lambda}$$

Величиной G , входящей в числитель, ввиду ее небольшого значения можно пренебречь. Вместо $\frac{G}{\eta}$ мы подставляем постоянную r , выражающую собой общий объем газа, сопровождающий весовую единицу воды, измеренную при давлении = 1, и получаем

$$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{r}{p} - \lambda} \quad (1)$$

В пределах дифференциала высоты dh допускаем пропорциональность давления с глубиной, так как допущенная при этом ошибка при интегрировании исчезает. Следовательно, это бесконечно малое увеличение давления с глубины

$$\begin{aligned} h &\propto h + dh. \\ dp &= \gamma \cdot dh. \end{aligned} \quad (2)$$

Мы решаем в отношении dh и подставляем значение γ :

$$dh = \frac{dp}{\gamma} = dp - \lambda dp + r \frac{dp}{p}.$$

Интегрируя в пределах $p = p$ и $p = b$ (давление воздуха):

$$\int dh = \int dp - \lambda \int dp + r \int \frac{dp}{p} + \text{const.}$$

или

$$h = p - b - \lambda \cdot (p - b) + r \cdot \log \text{nat} \frac{p}{b}. \quad (3)$$

Пусть уравнение $h = p - b$ соответствует линии давления в чистой воде; члены $r \cdot \log \text{nat} \frac{p}{b} - \lambda \cdot (p - b)$ показывают, насколько глубже то же самое давление наступает в газированном источнике.

При определенном минимальном давлении P , принимаемом нами как предельное, весь газ поглощен водой; ниже зоны предельного давления давление возрастает так же, как в обыкновенных источниках, т. е. пропорционально глубине. Предельное давление вычисляется из уравнения; объем газа равен абсорбированному объему, следовательно

$$\frac{G}{\eta P} = \lambda, \quad (4)$$

причем

$$p = \frac{G}{\eta \lambda}.$$

На рисунке 203 графически изображены соотношения давления и дебита газированного источника, питаемого подземным водотоком. $A-B$ — давление воздуха на месте источника A , $B-W$ — прямая статического увеличения давления в воде, $B-E$ — линия давления смеси газа и воды в спокойном состоянии. На глубине T господствует предельное давление P ; здесь еще весь газ находится в растворенном состоянии, линия давления переходит тангенциально в прямую. Пусть $U-D$ внутреннее давление на глубине U . Так как $U-D$ меньше $U-W$, то для приведения в действие обыкновенного восходящего источника оно было бы недостаточным; вода в канале имела бы отрицательный пьезометрический уровень у точки S . При откачке воды, при депрессии до M или R дебиты были бы

e_2 и e_1 , которые при условии, что источник питается подземным водотоком, должны быть ординатами параболы с вершиной в точке D .

Если мы примем точки оснований этих ординат за исходные точки линий давлений газированного источника, то верхние концы их дадут высоты напора, относящиеся к соответствующим количествам изливаемой воды, следовательно, кривую дебита источника, в этом случае также представляющую собой параболу.

В текучем источнике давление следует, конечно, динамической функции давления (линия $D - B$), которая отражает постепенное уничтожение избыточного давления $E - D$, обуславливаемое сопротивлениями движению; ее форма зависит от формы и сечения канала и не поддается вычислениям.

В уравнении (3) нет значения для поперечного сечения, поэтому статическая функция давления в газированных источниках должна была бы, как в чистых жидкостях, не зависеть от геометрической формы поперечного сечения струи. Тем не менее, в природе дело обстоит иначе. Соотношения поперечного сечения пути источника, действительно, оказывают на режим газированного источника значительное влияние. Причиной этого противоречия является

делавшаяся до сих пор и сделанная при составлении уравнения (1) предпосылка одинаковой скорости газа и воды, что фактически имеет место лишь до известной степени.

В общем газ обладает по сравнению с поднимающейся водой относительно большей скоростью. Причиной этого является стремление к подъему, которое испытывают газовые пузырьки в воде. Смесь воды с газом представляет собой систему масс, части которой подвергаются взаимному смещению; такая система движется, понятно, под влиянием силы тяжести до тех пор, пока центр тяжести не займет наиболее глубокое возможное положение. Не поддающиеся смещению жидкости поэтому расслаиваются таким образом, что отдельные слои располагаются тем выше, чем менее их удельные веса, и в смесях воды с газом это расслаивание происходит

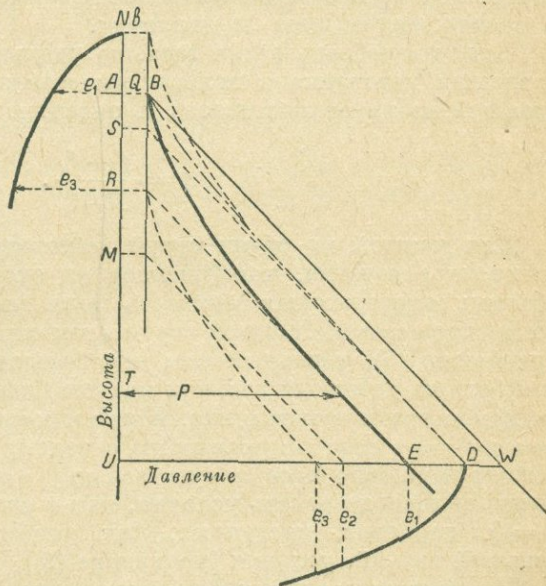


Рис. 203. Соотношения давления и дебита газированного источника.

постоянно, выражаясь в подъеме более легких пузырьков. Поэтому пузырьки совершают два одинаково направленных движения: с водой и относительно по отношению к воде, откуда равнодействующей является сумма обоих этих движений.

Если представить себе в каждом горизонтальном сечении ключевой струи поверхность сечений газовых пузырьков объединенными в одно общее поперечное сечение газа, то эти непрерывно следующие друг за другом сечения образуют идеальную газовую струю, сопровождаемую воображаемой водяной струей таким образом, что обе вместе везде без остатка заполняют канал. В результате ничего не изменится, если ввести эти воображаемые условия в соображения о соотношениях веса и давления.

Если пренебречь весом газа, то удельный вес минерального содержания источника в поперечном сечении f ключевой струи, состоящей из поверхности газа и поверхности воды $f - f_g$

$$\gamma = \frac{f - f_g}{f}. \quad (5)$$

Для каждой из обеих струй действительно уравнение потока: поперечное сечение, помноженное на скорость, равно секунднему объему; опережающая скорость газа уменьшает, следовательно, поперечное сечение газовой струи и тем самым увеличивает, согласно уравнению (5), удельный вес; чем больше опережающая скорость, чем больше удельный вес, тем меньше благоприятное действие, оказываемое газом в источнике. При теоретически относительной скорости $c = \infty$ газа по сравнению с водой, поперечное сечение газовой струи должно было бы сузиться до $f_g = 0$, следовательно, должны были бы господствовать условия, как в свободной от газа воде; при $c = 0$, наоборот, наступают, как наиболее благоприятный предельный случай, условия [уравнение (3)], рассмотренные выше.

На величину опережающей скорости оказывает большое влияние форма поперечного сечения ключевой струи. В струе с круглым поперечным сечением диаметром в 150 мм она была определена автором равной в среднем 0,4 м/сек. В более широких путях источника она быстро возрастает, в узких она приближается к нулю.

А л л е н (128) нашел, как это было уже определено Ньютоном (Newton), что сопротивление восходящих газовых пузырьков пропорционально квадрату их скорости. Бишоф (Bischof) (129) находит при опытах с узкими трубками $c = 24$ см/сек. Генрих (Henrich, 130) также определяет $c = 24$ см/сек., однако эта величина кажется ему слишком малой. Дарпский (Darapsky) (131) применяет трубы диаметром до 96 мм и получает тоже небольшое значение. Гёфер (Höfer) определяет ряд скоростей пузырьков помощью своеобразных и оригинальных приборов. Он определяет величины c до 34 см/сек. Путем увеличения притока воздуха в насосах маммут он вычисляет величины вплоть до 161 см/сек. и выше. Сомнительно, чтобы эти величины еще соответствовали нашему

понятию об опережении скорости. Здесь дело касается, повидимому, больше непрерывного газового потока, увлекающего за собой некоторые количества жидкости. Экнер (Exner) (133) произвел опыты в озере Лунц. Пузырьки имели диаметр от 2 до 20 см и поднимались из глубины 30 м. Он нашел, независимо от глубины, для первых величин $c = 0,26-0,86$ м/сек., а для пузырьков диаметром в 20 см — скорости в $0,63-0,68$ м/сек. Следует отметить, что эти пузырьки поднимаются также и в бесконечно широких трубах.

Принимая во внимание опережение скорости c , находим для удельного веса смеси:

$$\gamma = \frac{1}{2n} \cdot \left(n + \frac{r}{p} - 1 \right) \pm \sqrt{\left[\frac{1}{2n} \cdot \left(n + \frac{r}{p} - 1 \right) \right]^2 + \frac{1}{n}}. \quad (6)$$

При этом $n = \frac{fc}{Q}$, где f (постоянное) поперечное сечение и Q — дебит.

Уравнение показывает, что наряду с опережением скорости на вес влияют также и поперечное сечение и дебит, другими словами — скорость течения. Эти

частичные зависимости изображены графически на рисунке 204. Путем подстановки значения формулы (6) для γ в дифференциальное уравнение (2) и интегрирования получаем вы-

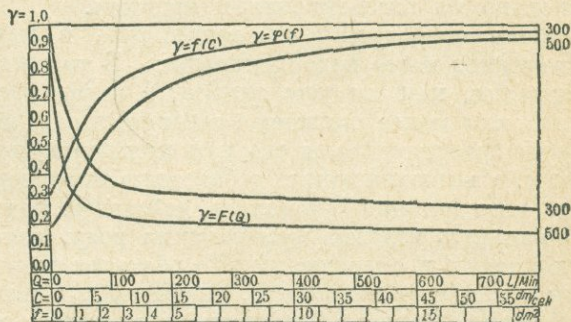


Рис. 204. Удельный вес воды газированного источника как функция поперечного сечения, опережения и дебита.

сотную функцию давления в газированных источниках с опережением газа, каковое в связи с его размером для практического применения непригодно. Что касается выведенного автором графического способа для построения определенных линий давления, следует сослаться на литературный указатель (127).

Законы оптимума поперечного сечения и максимального дебита в газированных источниках. Изучение вышеупомянутой функции дает некоторые данные, имеющие большое значение как для понимания сущности газированных источников, так и для техники каптирования. Прежде всего обнаруживается ожидаемое, согласно вышесказанному, влияние поперечного сечения струи на условия дебита. Чем меньше поперечное сечение струи, тем круче кривая давления и поэтому тем больше дебит. Но так как, с другой стороны, уменьшающееся поперечное сечение увеличивает сопротивление движению, следовательно, снижает дебит, то для каждого газированного источника существует точно соответствующий каждой данной

глубине оптимум поперечного сечения в отношении дебита. Этот закон ясно выступает и при применении труб равномерного поперечного сечения для напорных ключевых трубопроводов; поэтому рекомендуется при подъеме воды газированных источников определять эмпирическим путем наиболее выгодный диаметр выводных труб.

Характер кривой дебита отражает особую своеобразность газированных источников. Они имеют минимум дебита; в то время как обыкновенный восходящий источник можно, путем повышения его напорного уровня или путем сужения его выхода, заставить пройти все промежуточные значения дебита вплоть до 0, дебит газированного источника, достигнув свойственного ему значения, внезапно обрывается, и зеркало спокойного состояния устанавливается на уровне, лежащем ниже уровня при последнем изливании источника. Этим объясняется также и тот факт, что некоторые вскрытые газированные источники требуют, прежде чем начать непрерывно изливаться, одноразового всасывания. Искусственно вызываемое в некоторых целебных источниках состояние покоя путем накачивания столба пресной воды («перекрытие» в зимний период времени) также основано на вышеописанном явлении.

Роль опережения движения газа в механизме газированных источников часто недооценивалась. В то время как это опережение движения, как мы уже видели, в зависимости от своей величины более или менее снижает благоприятное действие газа, некоторые авторы рассматривали его как прямую причину самого этого действия, а вышеописанные добавочные производительности газированных источников объяснялись действием подъема, каковое должны производить газовые пузырьки на воду, вследствие их стремления к поднятию и опережению. То обстоятельство, что этот взгляд проник в наиболее серьезную, специальную литературу, не исключает его неправильности (см. литературу автора по № 128 и 135 в литературном указателе).

Минеральные источники, вскрытые бурением. Ряд терапевтически и промышленно важных минеральных источников был вскрыт глубоким бурением. В большинстве случаев бурение производилось в местах, уже обладавших естественно изливавшимися источниками; в этих случаях неправильно говорить об искусственно вскрытых бурением источниках; буровая скважина представляет собой тогда лишь специальную форму каптажа. С другой же стороны, минеральные и горячие источники вскрывались бурением и случайно, при бурении на минералы, нефть, питьевую воду; это, конечно, не оказывает никакого влияния на их терапевтическое значение, с точки зрения которого решающим является только характер минеральной воды.

Буровые скважины, закладываемые вблизи естественных выходов источников с целью вскрыть минеральную воду (каптажное бурение, см. стр. 266), могут в случае успеха во многих отношениях улучшить существующие условия. Естественные пути источника восходящей минеральной воды обычно не обладают очень большим

сопротивлением движению. Даже в зияющих трещинах с отвесными стенками обычно путь источника ограничен обломками горных пород и осадками, отложившимися в узком русле. Вода течет по сильно извилистому пути, поглощающему напор, благодаря неровностям стенок, постоянному изменению направления и поперечного сечения.

Чем глубже место пересечения буровой скважины с ключевой жилой, тем длиннее богатый сопротивлениями отрезок пути заменяется гладкой, прямой трубой буровой скважины. Источник пре-

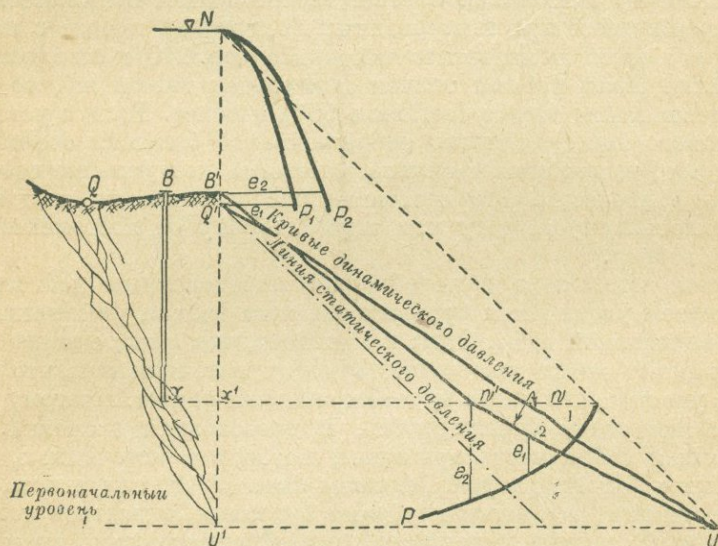


Рис. 205. Усиление дебита восходящего минерального источника буровой скважиной.

Источник Q изливает e_1 . Буровая скважина B дает после закрытия Q , благодаря небольшому сопротивлению, количество e_2 . Пьезометрический уровень N сохраняется. Парабола дебита P_1 отклоняется в сторону P_2 .

вращает полученный благодаря этому напор в скорость, другими словами, он выигрывает в дебите. Выигрыш этот может быть частично отнесен за счет неизвестных некапированных выходов, снижающих напор и дебит. На рисунке 205 схематически изображено влияние бурения. Источник имеет пьезометрический уровень N . При естественном изливании в Q в ключевой жиле происходит динамическое падение напора $U-w-Q^1$. В буровой скважине $B-X$ линия давления, благодаря небольшому сопротивлению, несмотря на большую скорость, отклоняется к B^1-w^1 , вследствие чего новая линия давления делает в w^1 изгиб и напор ниже этого места возрастает (B^1-w^1 круче, чем $U-w^1$). Бурение способствует, таким образом, отклонению горизонтали дебита в смысле увеличения дебитов; пьезометрический уровень остается неизменным. Чем глубже буровая скважина

встречает путь источника, тем больший отрезок последнего она выключает, и тем вероятнее успех. Заново вскрытые бурением источники требуют для установления равномерного излияния известный промежуток времени. Продолжительность этого периода зависит от ряда факторов и не может быть определена заранее, но может лишь быть подтверждена наблюдениям. Грунтовая вода реагирует на обусловленное вскрытием снижение давления сначала сильным толчком. Постепенно образуется сильный напор, направленный к новому месту отбора, приближающийся с течением времени асимптотически к устойчивому состоянию. Соответственно с этим понижается и дебит, стремящийся при газированных источниках иногда с положительными и отрицательными колебаниями (стр. 240) к стационарному состоянию. Если первый толчок измеряется тотчас же, то последующее снижение может составить 50% и более. Если с установлением нового напора связано опораживание больших объемов пор или пустот, то это может сильно замедлить наступление состояния полного равновесия. Это состояние распознается по постоянному или колеблющемуся, в ту или иную сторону от постоянной величины k , дебиту.

Всякая подземная вода обладает определенным дебитом; поэтому путем увеличения буровых скважин нельзя увеличить количество изливаемой воды. Опыт показывает, что каждое новое вскрытие понижает дебит уже существующих источников и что общий дебит с увеличением числа буровых скважин падает. Поэтому весьма уместна известная бережливость, и дроссельная заслонка, представляющая собой часть арматуры, которая в источниках, каптированных с помощью шурфа, должна быть строго запрещена, может для источников, вскрытых глубоким бурением, оказаться полезной. На курортах с ярко выраженной летней сезонностью, на которых в течение нескольких месяцев в году потребность в минеральной воде увеличивается, можно, если установлено, что буровые источники обладают известной способностью накапливания, путем закрытия их в промежуточные сезоны, дать источникам возможность «отдохнуть» (см. также «Всасывание» и «Закрытие» газированных источников, стр. 220).

Классическим примером успешного бурения на минеральные воды служат горячие источники Бад-Наугейм (135, 102). Наугеймские источники были известны уже в доисторические времена и эксплуатировались для добычи соли. В 1816 г. было произведено первое глубокое бурение, после которого последовал ряд дальнейших бурений, увенчавшихся различным результатом (рис. 206).

Большой интерес представляет собой извержение буровой скважины VII в 1846 г., через $5\frac{1}{2}$ лет после прекращения бурения (стр. 257). После того как скважина VII, вследствие повреждения обсадных труб, прекратила дебит, в 1852—1855 гг., на расстоянии в 9,8 м восточнее от нее, была успешно задана новая буровая скважина. Однако и буровая скважина VII, благодаря новому ее закреплению обсадными трубами, повысила снова дебит. В 1899 г.

Л е п с и у с задал буровую скважину, которая на глубине 209,43 м, не пересекая самого сброса, получила воду.

По Ш т е й е р у (Steuer), наугеймские источники питаются вадозным потоком соленой воды, протекающим по длинному пути с востока или с востоко-юго-востока под базальтовой горой Фогель-

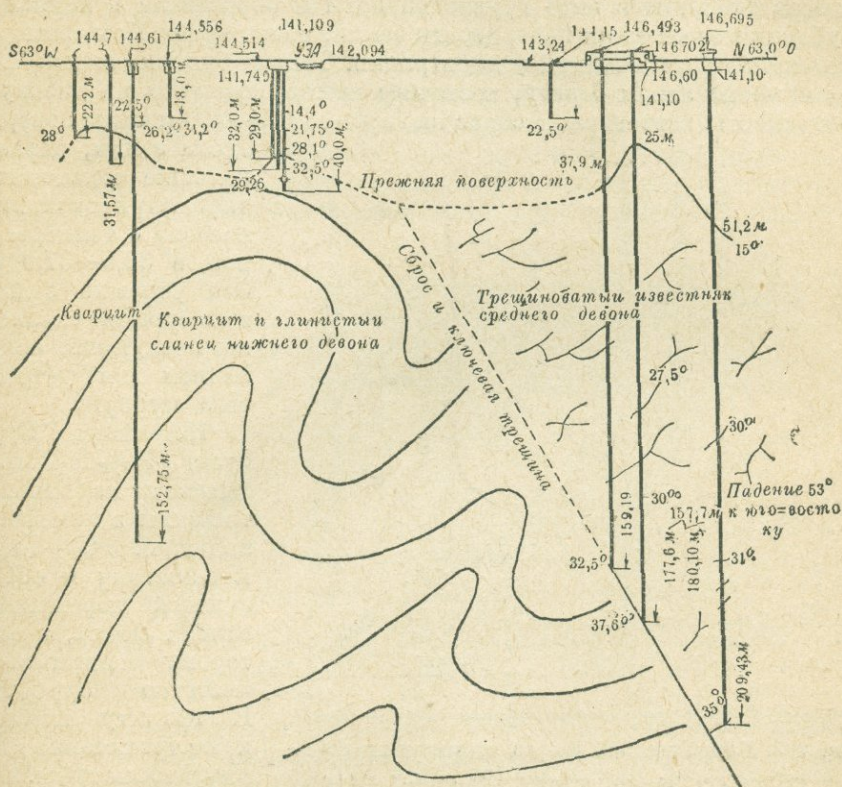


Рис. 206. Геологический разрез (ЗЮЗ — ВСВ) курорта Наугейм.

Сбросовая трещина между среднедевонским известняком, известняком и кварцитом и сланцем нижнего девона является, повидимому, главной ключевой трещиной. Ее выход перекрыт талганскими отложениями Узы; этим объясняется, что термальные источники были вскрыты там бурением на небольшой глубине (из «Grundwasser und Mineralquellen». Tagung der Deutschen geologischen Gesellschaft in Frankfurt a/M., 1933).

берг. Штейер считает, что вода нагревается от теплового потока земной коры или благодаря содержанию тепла в ювенильной углекислоте (стр. 191). Пьезометрический уровень этого соленого потока является сам по себе отрицательным, рассол под действием собственного давления не достиг бы поверхности. Благодаря притоку больших масс ювенильной углекислоты, эксгаляций подземных магматических очагов горы Фогельберг, рассол приобретает способность заливать выше уровня в виде газированного источника. Путь источника образуется сбросом, простирающимся с юго-юго-востока

на северо-северо-запад с падением в 60° к востоку, благодаря которому стрингоцефаловый известняк среднего девона примыкает к водонепроницаемым кварцитам и сланцам нижнего девона. Так как древняя поверхность пород перекрыта осыпями слоем мощностью в 20—30 м, то термальная вода распространялась прежде от выхода сбросов трещины в виде грунтовой воды и образовала в наиболее глубоких понижениях поверхности земли, вблизи реки Изы, выходы источников разжиженной концентрации. Только буровые скважины, заданные на левом берегу, восточнее выхода трещины на дневную поверхность, встретившие сброс на глубине 160—210 м ниже поверхности земли, давали

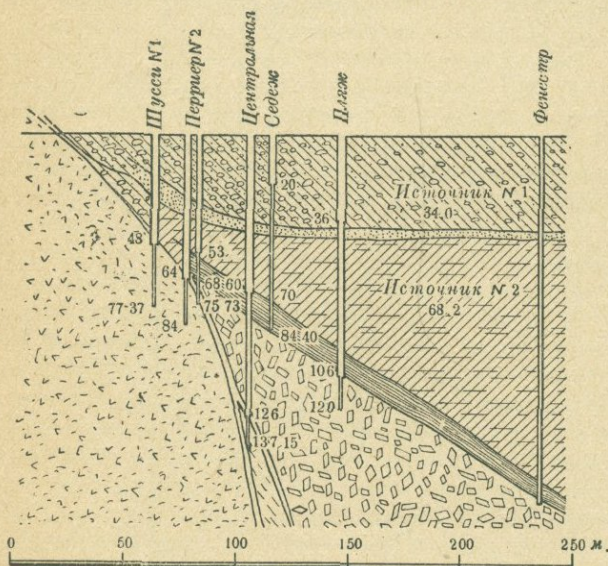


Рис. 207. Геологический разрез термальных источников Бурбуле, Пуи-де-Дом [по Добре (77)].

большие количества концентрированного рассола с температурой в $32,5\text{--}37,6^\circ\text{C}$. Эти успешно заданные буровые скважины послужили основанием для устройства курорта.

Источники Бурбуле (Puu-de-Dome) вытекают из большой трещины в граните с падением в $60\text{--}70^\circ$ к юго-востоку и образующей перекрытие склона скалы, к которому примыкает местечко Бурбуле. К граниту примыкают трахитовые или риолитовые туфы. Между гранитом и туфом выклинивается кверху массив брекчиеобразного разрушенного гранита, по которому распространяется поднимающаяся из глубины по трещине термальная вода. Гранитная брекчия отделена от водонепроницаемых туфов слоем водонепроницаемого, глинистого туфа («tuf plastique»). Местами термальные воды проникают через этот разделяющий слой и образуют в туфах отдельные горизонты термальной воды. Прежде термальная вода поднималась между гранитом и туфом до дневной поверхности и питала у выхода трещин ряд источников. Однако последние после проходки буровых скважин иссякли (77).

Связь минеральных источников с пресной подземной водой. Большинство восходящих минеральных источников пересекают в последнем отрезке своего пути, вблизи поверхности земли, зону вадозной воды. Наличие такой зоны везде вероятно; так как место

выхода источника находится, как правило, в наиболее низкой точке выхода трещины, что имеет место обычно при пересечении выхода трещины с эрозионной долиной, то ключевая струя пересекает поток грунтовой воды этой долины. Однако система трещин, служащая путем для источника, может одновременно содержать пресную трещинную воду. Если между обеими водами существует связь, например, вследствие выхода боковых трещин в бассейне грунтовых вод, то возможны два случая. В соединительной трещине господствует напор от ключевой струи к грунтовой воде, или наоборот. В первом случае минеральная вода непрерывно теряется в почвенной, во втором же случае пресная вода проникает в ключевую струю и уменьшает концентрацию минеральной воды, а также и ее качество. Статическое давление почвенной воды как бы борется с гидравли-

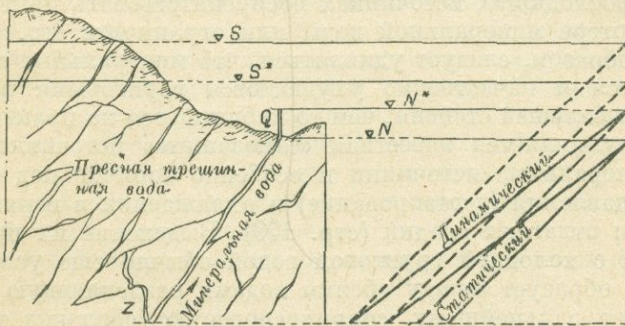


Рис. 208. Связь между минеральной и почвенной водой.

На уровне выхода N в источник Q у Z притекает трещинная вода. Для установления взаимного равновесия зеркало трещинной воды S должно было бы быть поднято до S' или выход источника до уровня N' .

ческим давлением ключевой струи. Так как динамическое давление струи, благодаря напору, всегда больше чисто статического давления, то источник остается всегда победителем, когда высота его выхода находится на уровне зеркала грунтовой воды. Высота выхода, на которой источник не теряет минеральной воды и не воспринимает пресной, может лежать тем глубже, чем глубже в ключевой струе находится место слияния обеих вод (рис. 208). В природе эти условия, вследствие наличия ответвлений на различной высоте, могут быть весьма сложными.

Все сказанное относится к источникам, совсем не содержащим газа или содержащим его в таком лишь количестве, которое не оказывает влияния на условия давления в них; в газированных источниках давление с глубиной возрастает (стр. 215) медленнее, и уровень грунтовой воды, находящейся с источниками в равновесии, может лежать ниже выхода источника.

При каптировании минеральных источников, на материнской породе которых залегают мощные наносы, часто, несмотря на тщательность выполнения каптажа, невозможно герметически изоли-

ровать боковые трещины. Если переместить в таком случае изливание источника на дневную поверхность (путем создания подпора), то у неизолированных выходов трещин источник теряет воду, и в толщах горных пород образуются невидимые «дикие» выходы. Если места диких выходов лежат ниже зеркала грунтовых вод, то им приходится преодолевать их давление. В таком случае повышающийся уровень грунтовых вод уменьшает дебит диких выходов и увеличивает дебит каптированного источника. Поэтому нередко наблюдали, что с подъемом уровня в соседних водоемах (с подъемом зеркала грунтовых вод) дебит каптированного источника возрастает, причем концентрация источника не падает (стр. 253). Нередко путем правильного выбора уровня источника, с одной стороны, или регулированием уровня грунтовых вод, с другой стороны, можно в каптированных восходящих источниках воспрепятствовать притоку пресной или потере минеральной воды или ограничить его.

Таким образом, следует удивляться, что минеральные источники разжижаются и качественно ухудшаются грунтовыми водами не чаще и не в большей степени, чем то наблюдается на практике. Причиной этому является известная «самозащита» источников. Очень многие минеральные источники и особенно горячие под влиянием снижения давления (дегазирование) и охлаждения в верхней части своего пути отлагают осадки (стр. 179). Выделение их при соприкосновении с холодной грунтовой водой обычно еще усиливается, постепенно образует между обеими водами разделяющую стенку и препятствует дальнейшему соприкосновению (оболочка шпруделя в карлсбадских горячих источниках, «термальная оболочка» баденских источников и т. п.).

III. НАБЛЮДЕНИЕ НАД ИСТОЧНИКАМИ

Индивидуальный характер отдельных минеральных источников никоим образом не представляет собой чего-либо абсолютно постоянного; все их свойства испытывают с течением времени более или менее значительные изменения и колебания, характер которых дает в свою очередь индивидуальную характеристику источника.

Помимо этих нормальных колебаний могут еще происходить чрезвычайные изменения, вызванные природными явлениями (например, землетрясения) или вмешательством человека, нарушающим механизм источника.

Наука в своем стремлении все более ярко отразить характер минеральных источников обнаруживает большой интерес к установлению этих колебаний, измерению их размера и наблюдению временного режима; в результате она пытается открыть причины, вызвавшие изменения.

И для инженеров, занимающихся каптажем минеральных источников, эти наблюдения имеют большое значение; им приходится предпринимать меры, которые уничтожали бы или уменьшали бы нежелательные колебания в дебите или в химизме вод.

Для бальнеолога, который при классификации минерального источника должен учитывать правильную дозировку, необходимо знание колебания в химизме и в физических свойствах источника.

Картина нормального режима источника является базой для своевременного распознавания ненормальных, вызванных внешними нарушениями изменений и их величины и являет собой, следовательно, важное орудие для охраны источника.

Поэтому настоятельно рекомендуется путем постоянных наблюдений проверять колебания и изменения в каждом минеральном источнике по их роду и величине.

Учитывая значение этих наблюдений над источниками, в настоящее время большинство владельцев целебных источников (в Германии) содержат собственные наблюдательные станции, оборудованные необходимыми приборами и лабораториями, под руководством специалистов. Государственные управления также, принимая во внимание общественное значение целебных источников, постепенно начинают путем предписаний и законодательных постановлений оказывать влияние на проведение этих наблюдений. В Чехословакии контроль над наблюдениями входит в обязанность специальной государственной инспекции по источникам.

Наблюдения должны производиться над всеми поддающимися измерениям свойствами источника, т. е.:

дебит источника: а) в отношении минеральной воды и в) сопровождающих газов;

температура;

напор (где он изменчив);

химизм (включая радиоактивность, электропроводимость, точку замерзания, каталитическое действие (см. «Контрольные анализы», стр. 251); содержание бактерий, если бы таковые имелись.

Наблюдения должны производиться не только непосредственно над свойствами источника, но и над всеми обстоятельствами, которые могли бы оказывать на эти свойства влияние или находиться с ними в какой-либо связи.

Предметом этих наблюдений могут, например, быть:

атмосферное давление,

температура воздуха,

температура почвы,

количество выпадающих осадков,

уровень стояния по футштоку соседних вод,

уровень стояния грунтовых вод в окрестностях источника и в предполагаемом районе питания.

1. ИЗМЕРЕНИЕ ДЕБИТА

А. Дебит воды

В природе не существует естественных источников с постоянным дебитом; все источники обнаруживают даже в ненарушенном состоянии индивидуальные колебания или регулярно-периодические,

или нерегулярные, повторяющиеся через различные промежутки времени, в зависимости от вызывающих их причин.

Механизмы источников, нарушенные какими-либо внешними обстоятельствами, обнаруживают помимо того тенденцию к падению или повышению дебита. Газированные источники отличаются от негазированных или с небольшим содержанием газа всегда некоторой нерегулярностью дебита. Выраженная в процентах величина этих кратковременных периодических колебаний (прерывистость) возрастает, согласно опыту, с повышением напора источника. Период времени колебаний может исчисляться секундами и даже часами, днями и более длительными промежутками времени.

Если бы изливаемое источником количество воды накапливалось и если бы Q_t представляло собой накопленный по истечении времени t объем воды, то частное:

$$\frac{Q_t}{t} = E$$

представляет собой предполагаемый постоянный дебит, дающий в то же самое время t то же количество, как и колеблющийся дебит источника; E — является средним дебитом или средним дебитом за промежуток времени t ; например, «средний суточный дебит».

Если постепенно уменьшать время t , а с ним и количество Q_t до нуля, то частное обеих величин стремится к определенной для каждого момента предельной величине:

$$e = \frac{dQ_t}{dt}$$

e — мгновенный дебит в данный момент t .

Определение мгновенного дебита источника, в течение определенного промежутка времени, дает дебит источника как функцию времени, исчерпывающе характеризуя тем самым источник с точки зрения этого свойства. Поэтому такие методы измерения применяются преимущественно для научных целей, особенно тогда, когда должно быть исследовано влияние какого-либо внешнего фактора, величина которого сама по себе подвержена периодическим изменениям. Для этой цели служат регистрирующие мгновенные измерительные приборы.

Если дело касается определения количества лечебных или столовых вод, или если приходится иметь дело с исследованием влияния факторов, лишь медленно изменяющихся, например, с замерами и т. п., то определение среднего дебита является более целесообразным. В этом случае обычно пользуются объемным измерением или применяют суммарные измерительные приборы (регистрирующие водомеры).

Объемное измерение. Объемным измерением определяют две связанные между собой величины: объем изливаемого количества и время (Q_t и t). При этом объем можно принять постоянным, равным емкости наполненного мерного сосуда, — полное измерение; или

измеряются время и объем, — измерение высоты уровня. Наиболее простым и распространенным, хотя и не лучшим, является способ полного измерения. Сосуд известной емкости (J) наполняется до определенной отметки (или края) и необходимое для наполнения время измеряется помощью секундомера. Для измерения уровня мерный сосуд снабжен объемной шкалой, позволяющей отсчитывать каждый раз емкость после установления спокойного состояния зеркала воды в сосуде. Частное $E = \frac{J}{t}$ дает средний дебит в течение времени измерения. Дебит минеральных источников обычно указывается в литрах в минуту; так как секундомер указывает секунды и дробные части последних, получаем

$$\frac{J(\text{литров}) \cdot 60}{t(\text{секунд})} = E(\text{л/мин.}).$$

Уравнение $E \cdot t = J$ (постоянное) представляет собой уравнение гиперболы. Для каждого J (мерный сосуд) действительна такая гипербола; последняя, точно нанесенная на миллиметровку, может служить для быстрого и достаточно точного отсчета дебита при длительных повторных измерениях ($J = \text{постоянная}$). Еще удобнее пользоваться таблицей дебитов, разбитой на десятые доли секунд и на охватывающие известное время амплитуды колебаний дебита источника.

Практический способ измерения дебита источников. В соответствии с условиями, существующими во время измерения, мерный сосуд должен действительно обладать тем объемом, который вводится в расчет, а при измерении уровня шкала делений, по которой производится отсчет, должна быть безусловно точной. Математическое определение емкости сосудов, служащих для объемного определения, допускается лишь в крайнем случае при определениях, требующих небольшой точности. В противном случае сосуд выверяется, причем по возможности при тех же условиях, каковые господствовали при измерении, например при одинаковом положении сосуда и той же температуре измеряемой воды. Чем массивнее конструкция мерного сосуда, тем меньше приходится опасаться изменений объема вследствие деформации. Железные сосуды цилиндрической формы, с поперечными связями устойчивее, чем таковые с плоскими стенками. Высокие сосуды с небольшим основанием дают более точные измерения, чем низкие с большим зеркалом, так как ошибка в отсчете по шкале пропорциональна площади зеркала воды.

Вызванное струей волнение зеркала затрудняет установление момента наполнения сосуда и мешает быстрому отсчету по шкале; для успокоения воды в мерный сосуд вставляются перегородки с соответствующими отверстиями.

При искусственном освещении отсчет стояния уровня удается лучше всего, когда электрическая лампочка погружается рядом со шкалой до половины в воду.

Абсолютно правильные числа дебита источника были получены путем улавливания всего изливаемого источником количества воды. Однако этот способ для минеральных целебных источников, в связи с работой курорта и по другим причинам, обычно неприменим. Путем установки вибрационных водомеров в таких источниках, химический состав которых допускает такую установку, могла бы быть достигнута такая же степень точности. Однако это позволяют лишь очень немногие минеральные источники; исключаются все минеральные воды, разрушающие металлические части водомера, и все воды, выделяющие осадок. Для минеральных и горячих источников, не дающих осадков или дающих их в небольшом количестве, пригоден суммарный водомер, например, «барабанный счетчик» Сименса, принцип устройства которого показан на рисунке 209. После наполнения камеры I вода поступает через b_2 в камеру II ;

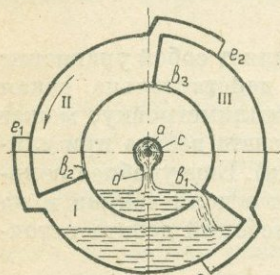


Рис. 209. Барабанный счетчик (по Сименсу).

перемещение центра тяжести обуславливает вращение в направлении стрелок, опораживание камеры I через e_2 и наполнение камеры II и т. д. Обороты суммируются счетным механизмом. Фирма Сименс-Гальске выпускает эти водомеры с погрешностью максимумо $\pm 1\%$ для наивысшей нагрузки до 200 л/мин.; кроме того, фирма выпускает специальную конструкцию с максимальной погрешностью 0,2% с предельной нагрузкой до 15 л/мин.

Обычно прибегают к помощи периодических, кратковременных объемных измерений, производимых как бы наудачу, и по ним заключают об общем дебите; однако, ввиду того что при таком выводе «от малого к большому» ошибки увеличиваются, эти измерения должны производиться особенно точно.

Целесообразно устанавливать у выхода источника по возможности большие, стационарные мерные сосуды, так называемые «мерные станции». Однако ряд обстоятельств ограничивает их размер: недостаток в месте, ограниченность времени, в течение которого источник должен быть выключен из эксплуатации, рабочее время обслуживающего персонала и т. п. Донный сток у стационарных мерных сосудов должен быть рассчитан таким образом, чтобы паузы для опораживания требовали не слишком много времени. Если нужно экономить время, то, производя ряд измерений, пользуются двумя или несколькими сосудами. Направление струи источника в мерный сосуд достигается при небольших мерных сосудах путем подстановки последнего под струю вручную. Стационарные замерные станции снабжаются для этой цели специальными приспособлениями в форме труб или жолобов. Способ замера должен по возможности приспособляться к режиму изливания источника, что лучше всего достигается при помощи регистрирующих мгновенных мерных приборов или производством ряда измерений небольшими мерными сосудами.

Негазированные минеральные источники меняют обычно свой дебит через такие большие промежутки времени, что вполне достаточно одно измерение в сутки приспособленным к количеству изливаемой воды мерным объемом. Если, например, при измерении хотят достигнуть точности не менее 1 или 0,5% в отношении времени, затрачиваемого на включение и выключение секундомера, что, по данным автора, занимает максимально около 0,4 секунды, то емкость сосуда в литрах должна быть в 0,67 или 1,3 раза больше дебита в литрах в минуту. Большие объемы дают соответственно бо-

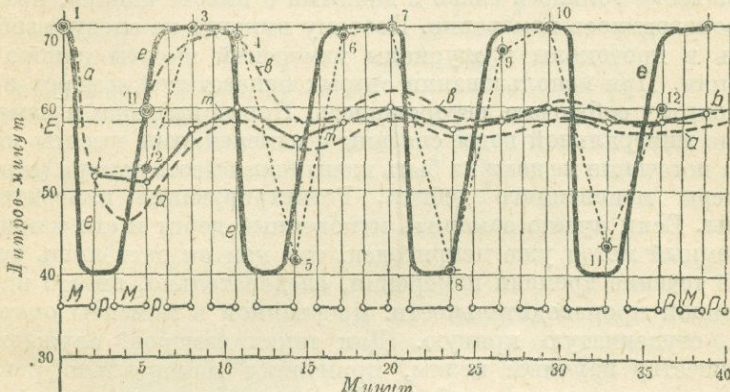


Рис. 210. Замеры дебита идеального источника с равномерной периодичностью.

Дебит максимум = 70 л/мин. Дебит минимум = 40 л/мин. Период = 10 минут. Истинное среднее количество изливаемой воды $E = 58,31$ л/мин. e — линия мгновенного дебита a — линия истинного среднего дебита с момента I . b — то же с момента II . c — Отдельные замеры мерным объемом $V = 100$ л; пауза на опораживание = 78 сек. M — продолжительность измерения; P — пауза на опораживание. $1-2-3$ — линии кажущихся колебаний дебита на основании отдельных замеров. t — линия среднего дебита на основании отдельных замеров.

лее точные величины; можно также уменьшить размер \pm ошибки путем производства ряда замеров, из которых выводится среднеарифметическая величина.

Газированным источникам, помимо уже упомянутых медленных колебаний, обычно свойственны довольно регулярные колебания через небольшие промежутки времени (прерывистость). Оказываемое ими влияние на точность замеров тем меньше, чем больше мерный сосуд. При ряде измерений следует, конечно, иметь в виду, чтобы время наполнения одного сосуда и пауза для опораживания другого случайно не совпали с разными крайностями (пиками) колебаний дебита. На рисунке 210 показано влияние, оказываемое мерным объемом на результат. В основу положен режим изливания идеального источника с регулярными колебаниями от 40 до 70 л/мин. в промежутков времени в 10 минут.

Средний дебит $E = 58,31$ л/мин. Линии a и b выражают изменения результатов измерений, начинающиеся у I или II при возрастающей продолжительности измерения или при увеличивающемся мерном объеме. Величины, отмеченные кружками, представляют собой отдельные измерения с сосудами емкостью в 100 л, произведенные с паузами для опоражнивания в 78 секунд. Ломаная кривая m изображает среднее арифметическое этих измерений.

Так как дебит восходящих источников является функцией высоты напора (стр. 208), то показатель дебита имеет научное и практическое значение только в связи с данными о высоте напора, при которой производилось измерение. Поэтому никогда не следует забывать вносить в протоколы и журналы измерений высоты напора и их изменения. При использовании старых показателей замеров необходимо поэтому соблюдать осторожность. Новые каптажи и изменения в отводе минеральной воды связаны с изменениями высоты напора. Высота истечения не должна быть идентична высоте напора (стр. 289).

Замеры мгновенного дебита. Регистрирующие измерительные приборы. Если нужно замерить мгновенный дебит и его изменения, то объемный метод уже непригоден, так как он дает лишь средний дебит в течение времени измерения, следовательно, вместо постоянной кривой производительности, прерванной в моменты опоражнивания, ступенчатую кривую. Для таких замеров, служащих по преимуществу научным целям, применяют моментально регистрирующие измерительные приборы. Ниже описываются принципы, на которых основаны такие приборы.

Данаиды. Эти приборы¹ состоят из сосуда, воспринимающего изливаемую источником воду и в то же время спускающего ее через отверстие в дне. До тех пор пока приток больше стока, уровень в сосуде повышается; но так как количество стекающей воды с высотой уровня увеличивается, то последний, при соответственно рассчитанном отверстии в дне, достигает стояния, при котором приток и сток одинаковы и зеркало занимает спокойное положение. Каждому дебиту соответствует разное положение зеркала, другими словами, движения зеркала отражают колебания дебита, но, конечно, не пропорционально, так как сток возрастает пропорционально корню квадратному из высоты уровня. Кроме того, зеркало требует, в зависимости от поперечного сечения сосуда, определенного времени, чтобы приспособиться к измененному дебиту, следовательно, показания прибора отстают во времени и не достигают соответствующих максимальному дебиту высот. Обе ошибки могут быть математически или графически устранены.

Если мы обозначим:

e_t — моментальный дебит в момент t ,

A — сток из сосуда,

¹ Название «данаиды» введено Е. Брауером (E. Brauer) (136) в 1892 г. Независимо от этого Ф. Штейнер (F. Steiner) описал этот измерительный прибор в 1900 г. (137).

F — поперечное сечение цилиндрического сосуда,
 f — поперечное сечение спускного отверстия,
 h_t — высота подпружинного зеркала в момент t ,
 k — присущая прибору постоянная,
 μ — коэффициент стока,

то сосуд опорожняется или наполняется за время dt на

$$F \cdot dh = (e_t - A) \cdot dt,$$

откуда

$$e_t = F \cdot \frac{dh_t}{dt} + A,$$

и так как между A и h_t существует соотношение:

$$A = \mu \cdot f \sqrt{2gh_t} = k \sqrt{h_t},$$

то

$$e_t = F \cdot \frac{dh_t}{dt} + k \cdot \sqrt{h_t}.$$

Конечно, μ является величиной не строго постоянной, но даже функцией h . Тем не менее эта ошибка не играет роли, если кривая $A = k \cdot \sqrt{h}$ определяется графически по точкам, определенным эмпирическим путем.

На рисунке 211 показано, как можно получить выражение для e_t для отдельных точек кривой зеркала данаиды. Кривая эта наносится

при помощи поплавка на ленту барабана с часовым механизмом. Прибор обладает достоинством, заключающимся в его простоте. Он легко поддается чистке, если источники выделяют много осадков.

В настоящее время для моментального замера и регистрирования колебаний дебита нередко пользуются принципом измерения Вентури.

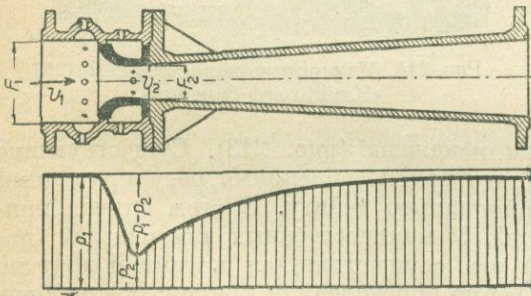


Рис. 212. Измеритель Вентури (конструкции Бопп-Рейтер).

Если F_1 и F_2 (рис. 212) обозначают нормальное и суженное поперечное сечение трубки Вентури, v_1 и v_2 — скорости течения в этих сечениях и p_1 — p_2 — соответствующие гидродинамические давления, то

$$p_1 - p_2 = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g};$$

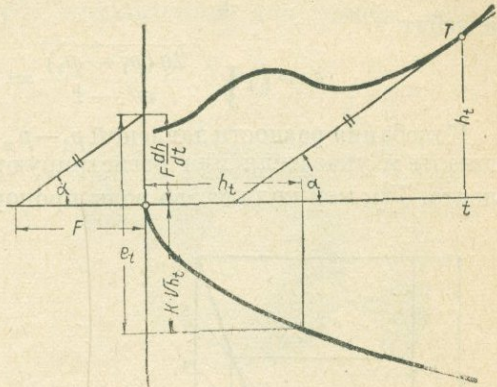


Рис. 211. Построение правильного моментального дебита e_t по ординате h_t кривой зеркала данаиды.

и если

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{v_2}{v_1} = m,$$

то

$$v_1 = \frac{\sqrt{2g(p_1 - p_2)}}{m^2 - 1},$$

а дебит

$$e = F_1 \sqrt{\frac{2g(p_1 - p_2)}{m^2 - 1}} = \text{konst.} \sqrt{p_1 - p_2}.$$

Колебания разности давлений $p_1 - p_2 = h$ отсчитываются при помощи шкалы и указателя или регистрируются на движущейся бумажной ленте. Так как количество воды пропорционально не h , а \sqrt{h} , шкала

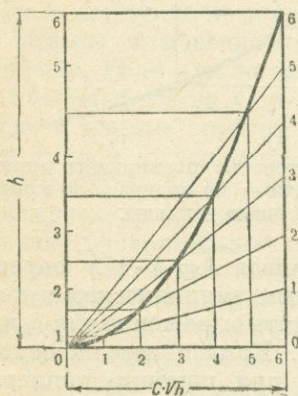


Рис. 213. Построение шкалы для отсчета показаний дебита.

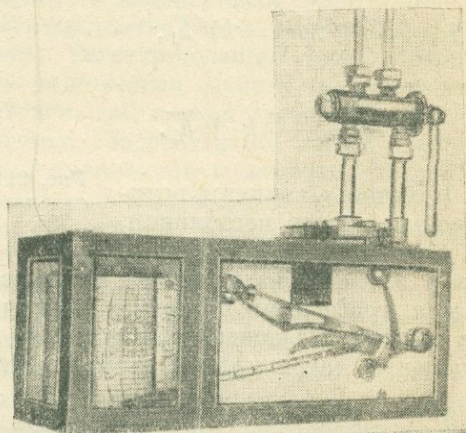


Рис. 214. Измеритель количества. Патент «Клинкгофф-Зеленко».

должна быть параболически искажена (рис. 213). Существующие приборы снабжаются, кроме того, приспособлениями, регулирующими отклонение стрелки пропорционально дебиту. В этом случае приборы имеют линейные шкалы. У количественных измерителей (патент «Клинкгофф-Зеленко») это осуществляется катанием друг по другу двух рычагов (рис. 214) по определенной кривой. У приборов фирм Бопп-Рейтер, Сименс-Гальске разность давлений выражается в разнице уровней в наполненной ртутью в качестве запорной жидкости U-образной трубке; вследствие того, что одно колено U-образной трубки имеет постоянное поперечное сечение, второе же согнуто по параболе, колебания зеркала в первом колене пропорциональны квадратному корню разности уровней, следовательно, пропорциональны колебаниям дебита. Подобно трубке Вентури действует всякий заделанный в трубопровод дроссельный клапан, как, например, так называемые «измерительные фланцы», «стан-

дартные заслонки», «стандартные сопла», «подпорные колосники» и т. п. (рис. 215).

Для выбора подобных моментальных измерителей дебитов обычно решающим моментом является неперемное условие: как можно меньшие потери давления¹.

В водомере Вентури (например, фирмы Сименс-Гальске, Берлин) принцип Вентури используется для замера дебита

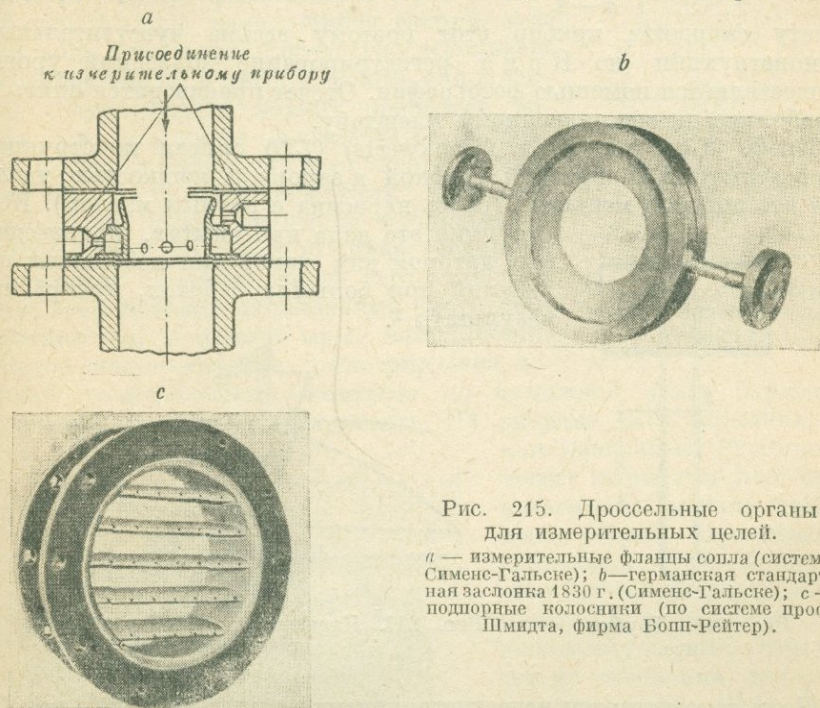


Рис. 215. Дроссельные органы для измерительных целей.

a — измерительные фланцы сопла (система Сименс-Гальске); *b* — германская стандартная заслонка 1830 г. (Сименс-Гальске); *c* — подпорные колосники (по системе проф. Шмидта, фирма Бопп-Рейтер).

воды, текущей в открытом канале; как и все измерители Вентури, он вызывает лишь небольшие потери напора. Для источников с сильным выделением осадка в связи со сравнительно большим влиянием, оказываемым хотя бы небольшим изменением поперечного сечения на точность измерений, применять измерители Вентури не рекомендуется. На принципе трубок Пито можно строить моментальные измерители различных конструкций. Устройство, по Коле (Cole), описанное Мюллером (138), состоит из U-образной трубки с запорной жидкостью, удельный вес которой σ лишь немногим отличается от удельного веса воды (рис. 216). Состояние равновесия требует соотношения $p + h = h\sigma$; и так как

$$p = \alpha^2 \frac{v^2}{2g},$$

¹ См. также «Правила для измерения притока помощью стандартных сопел заслонок». Strömungsausschuss des V.D.I. Din — Normalblatt, 1952.

получаем для дебита:

$$e = F \cdot v = \frac{F}{\alpha} \sqrt{2gh \cdot (\sigma - 1)} = k \cdot \sqrt{h}.$$

Постоянная k определяется помощью выверки. Если, например, $\sigma = 1,25$, то $\frac{1}{\sigma - 1} = 4$, т. е. отсчет k дает четырехкратную высоту скорости; прибор этот поэтому весьма чувствительный. В конструкции по Коле регистрирование колебаний уровня осуществляется помощью фотографии. Отсчет производится опять по параболически искривленному масштабу.

Проф. Данквертс (Dankwerts) (139) описал конструкцию с перевернутой U-образной трубкой и запорной жидкостью, удельный вес которой меньше 1 (смесь керосина с репным маслом). Конструкция эта дала при опытах, произведенных автором для измерения небольших колебаний при больших дебитах, прекрасные результаты ¹.

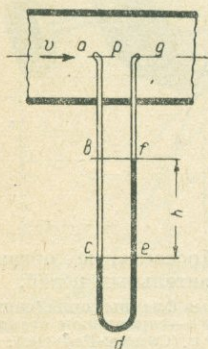


Рис. 216. Трубки Пито.

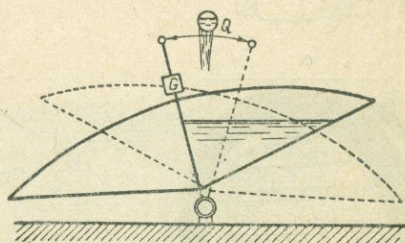


Рис. 217. Качающийся прибор старой конструкции.

Если дело касается не регистрирования самых коротких колебаний (прерывистость), но графического изображения изменений более длинных периодов, то очень хорошие результаты могут быть достигнуты помощью объемного измерения, связанного с регистрирующим приспособлением. Для этой цели служат так называемые опрокидные или качающиеся приборы. На рисунке 217 изображена наиболее простая их конструкция. ² Прибор поворачивается во второе положение, когда вертикаль проходит через общий центр тяжести вправо от оси вращения. Качания регистрируются. Недостатком являются неточности, вследствие колебаний содержания воды и сильных ударов о концевые щеки B . ³

¹ Этот «масляный сифон» Данквертс-Иордана производится фирмой Р. Фюсс, Штеглиц.

² Из журнала «Gasbeleuchtung und Wasserversorgung», 1908.

³ Из имеющейся в распоряжении автора рукописи Ф. Молденгауера (Moldenhauer) можно видеть, что последний произвел в 1901—1902 гг. в Бор-

Автор сконструировал для нанесения дебита отдельных карлсбадских источников маятниковый прибор, схематически изображенный на рисунке 218а. Его конструкция, разработанная механиком И. Катнером (Прага), показана на рисунке 218в.

Прибор состоит из двух мерных сосудов, диаметрально прикрепленных к горизонтальной оси. В сосуд, находящийся сверху, втекает вода источника. Вследствие небольшой эксцентричности в расположении, наполненный сосуд создает момент вращения вокруг оси, но в своем положении он закреплен. В момент окончания наполнения поплавок, благодаря электрическому контакту, освобождает запор, вращение начинается и продолжается до тех пор, пока сосуды не поменяются местами, после чего задвижка снова заскакивает; наполненный сосуд опорожняется, а пустой снова наполняется. Каждое опорожнение регистрируется помощью электрического контакта на бумажной ленте барабана, снабженного часовым механизмом. На рисунке 219а показана такая диаграмма. Расстояние между штрихами указывает в масштабе времени наполнение сосуда. При помощи гиперболы дебита можно соответствующие дебиты снять циркулем и перенести на диаграмму дебита. Этим путем на основании диаграммы на рисунке 219в, ясно отражающая влияние атмосферного давления на источник.

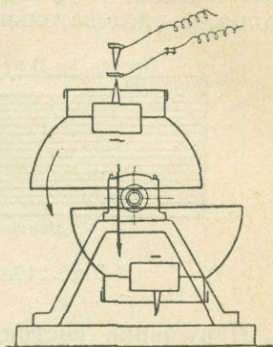


Рис. 218а. Качающийся прибор системы Кампе (принцип).

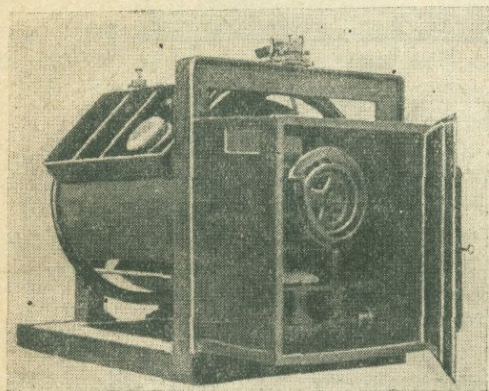


Рис. 218в. Качающийся прибор системы Кампе (Из «Balneologie u. Balneotherapie», том X, Иена, 1929).

Значение ненарушенного состояния равновесия при измерениях, производимых над источниками. Главным условием для избежания

жоме, на Кавказе, измерение дебита и напора Екатерининского источника, чтобы не только изучить индивидуальный характер источника, но чтобы установить и влияние землетрясений (стр. 258). Конструкция примененного им прибора, к сожалению, из рисунка не ясна.

жоме, снабдить электрическим контактом, записывающим каждый оборот, и барабанные водомеры Сименса (стр. 230) и подобные им приборы.

ошибок при измерениях дебита является ненарушенность состояния равновесия. Источник должен измеряться в том состоянии, в котором он постоянно равномерно изливается. Все измерительные приспособления, нарушающие такое нормальное истечение, изменяют напор, а следовательно, и дебит источника.

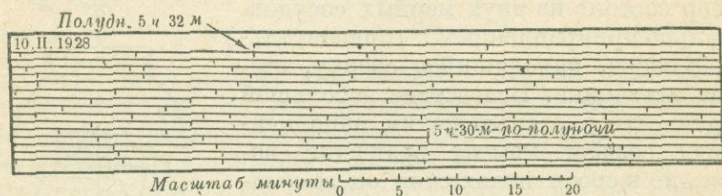


Рис. 219а. Диаграмма маятникового прибора.

Нарушение состояния равновесия у восходящих источников. Естественные пути источников всегда сообщаются с более или менее пространственно обширными пустотами, расселинами и т. п., которые в зависимости от своего положения и соединительных путей наполнены газами или водой.¹

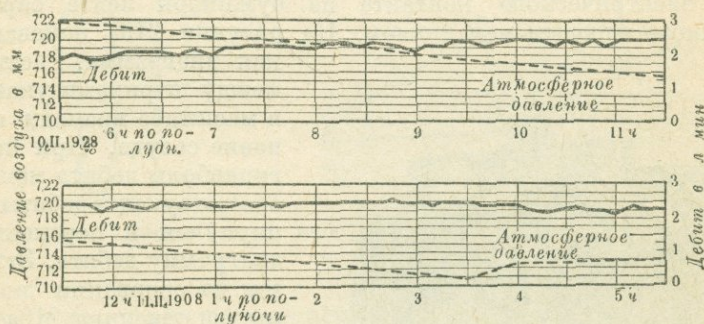


Рис. 219в. Кривая дебита к диаграмме, изображенной на рис. 219а. Влияние атмосферного давления на дебит газированного источника.

Для интенсивности и продолжительности изменений дебита, вызванных нарушением состояния равновесия, в восходящих источниках эти пустоты в материнской горной породе источника приобретают особенно большое значение. Это явление поясняется на примере восходящего источника, схематически изображенного на рисунке 220а. Пусть *E* представляет собой район и бассейн питания, *F* — каптаж источника трубой *St*, *H* — пустое пространство, сообщаемое с ключевой жилой. Нормальная высота выхода источника находится у единицы. Изливаемое при этом уровне количество воды

¹ Из работы автора: «Über Quellmessungen in Balneologie u. Balneotherapie», 1925. Иена; Gustav Fischer, 1926.

иллюстрируется диаграммой дебита во времени (рис. 220в) у единицы. Напор, передаваемый от бассейна питания, постепенно уничтожается вдоль струй при преодолении сопротивлений движению и созданием скорости течения. Возникающее при этом падение напора изображено схематически кривой. В пустом пространстве II зеркало воды вписывается в падение напора таким образом, что количество воды, получаемое от E , равно количеству воды, текущему дальше к источнику. При замере высота напора снижается с 1 на $1'$. Прямым последствием этого является отклонение отрезка линии давления $2-1$ в положение $2-1'$, следовательно, увеличение падения напора на участке струи, в результате чего приток воды к F усиливается. Дебит источника возрастает поэтому скачками (рис. 220в, II). Так как количество воды, текущее по участку $4-3$ к пустому пространству, остается сначала таким же, как и прежде, то пустое пространство отдает к F больше воды, чем оно получает от E , и уровень воды в нем начинает вследствие этой недостачи понижаться. Вследствие этого, с одной стороны, постепенно снова уменьшается падение на участке $2-1'$, а с ним и дебит источника (рис. 220в, III); с другой же стороны, падение $4-3$ возрастает, а с ним и количество воды, текущее от бассейна питания. Оба эти процесса продолжают до тех пор, пока в линии давления от $4-3'$ до $2'-1'$ снова не наступит новое состояние равновесия (рис. 220в, IV). Таким образом,

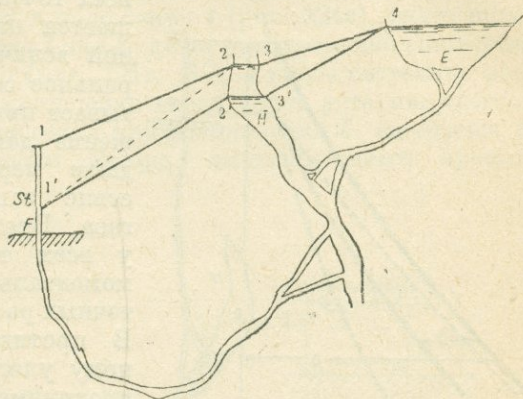


Рис. 220а. Нарушение состояния равновесия вадозного восходящего источника.

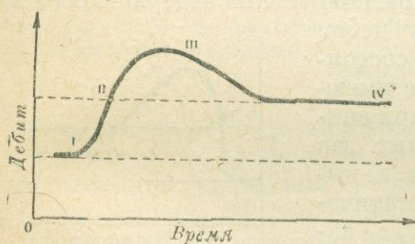


Рис. 220в. Колебания дебита вследствие нарушения, изображенного на рисунке 220а.

дебит обнаруживает сначала скачкообразное увеличение, а затем постепенное снижение к новому дебиту. Производимый во время этих изменений замер дает, конечно, неправильные результаты.

При нарушении состояния равновесия в газированных источниках создаются еще более сложные условия. На рисунке 221а изображен конец канала такого источника. Пусть F — каптаж со стоячей трубой, N — нормальная высота напора. В приложенной диаграмме давления кривая I изображает увеличение статического

давления с глубиной; начальным давлением является давление, оказываемое атмосферой на вытекающий на поверхность источник.

Вследствие перемещения места выхода от N к F состояние равновесия было бы нарушено. Кривая статического давления соответственно перемещается в положение 2, вследствие чего давление у

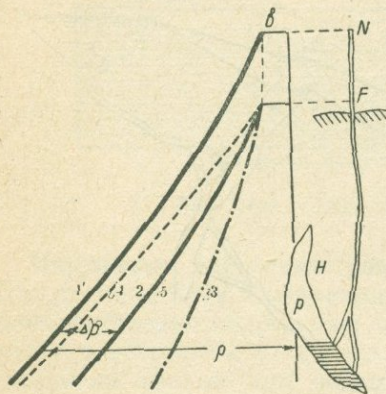


Рис. 221а. Нарушение состояния равновесия газированного источника. Колебания кривой дебита.

всех точек ключевой струи уменьшается на возрастающую с глубиной величину Δp . Так как минеральное содержание источника испытывает при подъеме постоянное снижение давления, вода насыщена и даже перенасыщена газом вследствие запаздывания улетучивания газа. Внезапное снижение давления у всех точек струи способствует моментальному освобождению избыточных растворенных количеств газа. В противовес обычному постепенному улетучиванию газа по пути, проходимому водой в зонах с постепенно уменьшающимся давлением, в этом случае происходит внезапное увеличение объема на протяжении сравнительно длинного отрезка выходного канала источника. Следствием этого является выброс больших количеств воды из выходного канала источника кверху и — на основе равенства действия и противодействия — одновременно с этим отдача, направленная книзу, кратковременно задерживающая приток воды к источнику. Поэтому дебит обнаруживает заметно неспокойное состояние. Сюда же проявляется действие имеющихся, быть может, пустот. Благодаря снижению давления накопленный в них газ расширяется, и избыток поступает в выходной канал источника. Кривая статического давления получает, в связи с наступающим уменьшением удельного веса, более крутое направление (рис. 221а, 3), т. е. статическая величина давления в выходном канале уменьшается, и, так как статическое давление создает препятствие движению, источник реагирует на это повышенной скоростью течения, и, следовательно, дебит увеличивается (рис. 221в, II). Вышеупомянутое уменьшение статического давления ведет впрочем к усиленному выделению газа из пустот, что, в свою очередь, обуславливает дальнейшее снижение давления. Только когда газовое содержание пустот постепенно урегулировалось соответственно снижению давлению, выдувание прекращается, вследствие чего газовое

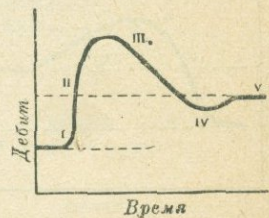


Рис. 221в. Колебания дебита вследствие изображенного на рисунке 221а нарушения.

содержание в выходном канале снова уменьшается, удельный вес содержимого источника возрастает, статическое давление увеличивается, и поэтому дебит падает (рис. 221в, III).

Пустоты, находящиеся под постепенно усиливающимся давлением, начинают поглощать газ, заимствуемый из выходного канала, в связи с чем кривая статического давления, вследствие повышения удельного веса, отклоняется в положение 4 (рис. 221а), более пологое, чем начальное положение 1 или 2; дебит одновременно снижается ниже нормального значения (рис. 221в, IV), и новое состояние равновесия достигается лишь постепенно снизу после установившегося давления в пустотах (статическая кривая давления 5, идентична 2, рис. 221а). Согласно данным автора, вышеописанный процесс

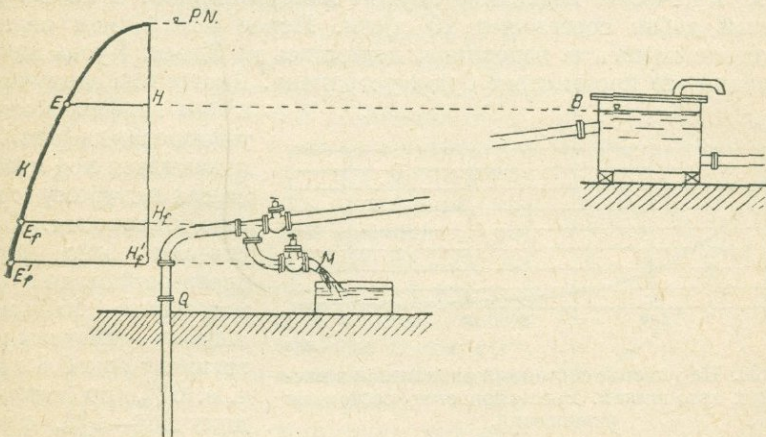


Рис. 222. Неправильная установка: выброс под водой. Нарушение состояния равновесия во время измерения. Сифонное действие измерительного трубопровода.

может потребовать нескольких часов. Поэтому замеры, проводимые в течение этого времени, не дают ни абсолютно правильных, ни пригодных для сравнения результатов.

На рисунке 222 изображен случай неправильной измерительной станции. Пусть источник a изменяет свой дебит с высотой напора по кривой K — $P.N.$ Он нормально течет по восходящей трубе в резервуар B , в который он входит ниже зеркала воды; эта высота зеркала, умноженная на высоту сопротивления подводящей трубы, определяет высоту напора H , вследствие чего источник дает нормальный дебит E . Высота сопротивления подводящей трубы может при длинных трубопроводах и в особенности при источниках, выделяющих осадок, быть весьма значительной (на рисунке она не изображена). Открытие измерительного клапана у M обуславливает понижение напорного уровня с постепенным приближением к H_f с дебитом E_f или, если измерительный трубопровод действует до M как сифон, то до H_f^1 с дебитом E_f^1 .

Нарушение состояния равновесия у нисходящих источников. Каптаж нисходящих источников представляет собой всегда водоприемник, в который минеральная вода втекает или из грунтового потока, или из подземных водотоков. Водослив этого резервуара образует исток источника. При небольшом падении притока действие обратного подпора этого резервуара может передаваться на подводящие трещины или щели, или штольни и т. п. В этом случае даже незначительное перемещение высоты истечения создает впечатление нарушения¹ дебита, приспособление которого к новому состоянию равновесия требует длительного времени.

В качестве примера следует здесь привести каптажную штольню, в которой вода образует зеркало водослива шириной в 1 м и длиной в 50 м; в качестве водослива служит жолоб шириной в 25 см. Нормальный дебит составляет 10 л/сек. Перед измерением зеркало, вследствие смещения водослива, поднялось на 32 мм. Пусть вначале измерения это препятствие будет устранено. Диаграмма, полученная

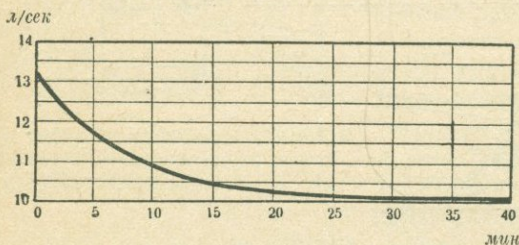


Рис. 223. Нарушение состояния равновесия в нисходящих источниках. Восстановление состояния равновесия.

путем графического интегрирования (рис. 223), показывает ход приближения к старому состоянию равновесия. Теоретически оно длится чрезвычайно долго. По истечении 15 минут ошибка измерения составляет еще 0,6 л/сек., т. е. 6%, по истечении получаса—1%, а затем уменьшается лишь чрезвычайно медленно. Подпор зеркала может быть, например, обусловлен скоплениями охры, каковые образуются в железистых источниках.

Измерение дебита источников со стесненным истечением. Понятия «высота истечения» и «высота напора» не идентичны.² Высота истечения и высота напора практически совпадают только тогда, когда истечение происходит как свободный перелив, без стеснения сечения, так как необходимый тогда для создания скорости переливания избыточный подпор составляет не более нескольких сантиметров. Если же принудить каптированный источник изливать свою воду через трубу, диаметр которой меньше диаметра восходящего колена трубопровода, или если сузить свободный сток путем устройства запорного приспособления, то напор повышается на величину скорости, затраченной на ускорение истечения и высоту, а дебит соответственно уменьшается.

¹ Истинный дебит ключевого потока при этом не нарушается; принципиальную разницу между восходящим и нисходящим источниками см. на странице 208.

² Эта глава позаимствована из труда автора: «Die Ergiebigkeit von Mineralquellen als Funktion ihrer Spannungshöhe», Z. Kurortwiss, 5, 1931.

Подобное истечение искажает изменения дебита источника, будь то нормальные или другие, вызванные какими-либо внешними причинами колебания его, так как всякое изменение дебита связано с изменением высоты напора. Происходящие при этом процессы иллюстрируются рисунком 224. Подаваемое спускной трубой количество воды пропорционально корню квадратному из высоты столба воды, стоящего над точкой истечения. Если, согласно этому закону, в виде абсцисс нанести количество воды, заливаемого на этом уровне при разных подпорах, то конечные точки абсцисс расположатся на определенной, характерной для данного истечения параболе. На рисунке 224 эта парабола истечения A представлена кривой $A-P$. Пусть кривая $PN-U$ представляет собой кривую дебита. Тогда на основании простого рассуждения следует, что источник должен поддрудиться вплоть до E , т. е. до высоты точки пересечения обеих кривых, причем мы имеем высоту истечения в A , а высоту напора в E . Дебит источника представлен линией $E-S$, хотя при свободном сливе источник мог бы дать в A количество $A-Q$. Пусть теперь режим истечения подвергнется исследованию при изменениях дебита; таковые могут быть подразделены на две группы: они обусловлены или изменениями в сопротивлении в выходном канале и находят тогда свое отражение в повороте кривой дебита при сохранении пьезометрического уровня. Пусть, например, вследствие увеличения сопротивления течению кривая дебита $PN-U$ будет заменена кривой $PN-U'$. В состоянии свободного слива на высоте E это повело бы к уменьшению дебита $E-S$ до $E-T$, однако в связи с одновременным снижением напора на $E-E^1$ дебит падает лишь до $E^1-S^1 > E-T$, следовательно, на меньшую величину.

Вторая возможная причина изменений дебита находит себе выражение в изменении пьезометрического уровня, следовательно, в параллельном смещении кривой дебита по вертикали (так, например, колебания дебита под влиянием атмосферного давления, вскрытия источника в другой точке и т. п.). Если бы пьезометрический уровень на рисунке 224 переместился от PN к PN^* , то при свободном сливе на высоте E это повело бы к увеличению дебита $E-S$ до $E-V$. Но так как в состоянии избыточного напора необходимо одновременное повышение напора до E , чтобы увеличенное количество воды в A принудить к стоку, дебит увеличивается лишь до $E^*-S^* < E-V$, следовательно, меньше, чем при свободном сливе.

Вследствие уже объясненного выше искажения колебаний дебита при стесненных истечениях источников, измерения дебита при таких условиях имеют некоторое относительное значение, лишь тогда,

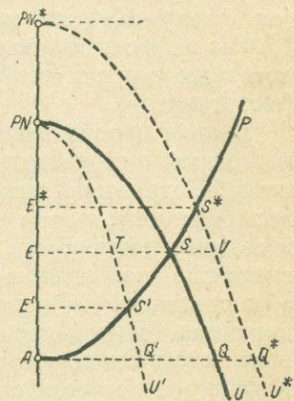


Рис. 224. Искажение результатов измерений при запруженных источниках.

когда одновременно, при помощи открытой пьезометрической трубки или на манометре, каждый раз отсчитывается и отмечается высота напора, но абсолютные колебания дебита остаются и тогда неизвестными; даже если бы кривая дебита была точно определена, все же в каждом отдельном случае никогда не известно, вызвано ли изменение дебита изменением или параллельным смещением кривой дебита.

Б. Измерение количества выделяющихся ключевых газов

Если нужно измерить количество выделяющихся газов, то необходимо чтобы каптаж источника был сооружен таким образом, чтобы эти газы могли бы быть отведены без соприкосновения с наружным воздухом. Такое устройство имеется во всех случаях, когда газ должен улавливаться для бальнеологических или других целей (см. главу «Каптаж источников»).

Газ и собственно источник не должен вытекать прямо в атмосферу; источник должен выбиваться в герметически закрытое устройство (амортизатор).

В этом пространстве происходит выделение газа. Газ, поглощенный водой в соответствии с атмосферным давлением, остается в растворе. Вода после выхода содержит даже большие количества газа поглощенного, чем то соответствовало бы господствующему давлению и ее температуре; так как при подъеме она испытывала постоянное снижение давления, а улетучивание газа происходит не внезапно, а постепенно, то освобождение газа запаздывает против падения давления (запоздание улетучивания), и вытекающая минеральная вода содержит всегда в растворе избыток газа, постепенно улетучивающегося в течение следующих минут после ее излияния. Поэтому при очень газообильных источниках необходимо изолировать бассейны, в которых накапливается минеральная вода для ванн и других целей, и оборудовать их устройствами для улавливания газа.

О конструкции амортизаторов будет сказано в главе «Каптаж источников» (стр. 264). Выделение газа источником происходит обычно толчками; каждый толчок производит мгновенное повышение давления в амортизаторе и временное увеличение скорости в отводящем трубопроводе. Однако такие внезапные изменения скорости создают, вследствие действия инерции, причины ошибок при измерении газа. Поэтому для достижения точных замеров рекомендуется выбирать объем амортизатора не слишком малый, чтобы повысить его амортизирующее действие; кроме того, измерительные приборы включаются в трубопровод по возможности дальше от амортизатора.

Выделяющийся из источника газ — обычно дело касается углекислотного ангидрида — соответственно своей температуре насыщен паром. Поэтому в особенности выделяющаяся из горячих источников углекислота увлекает с собой значительные количества воды, которые при отводе, в соответствии со снижением температуры, конденсируются. Конденсационная вода не должна препятствовать свободному движению газа. Газопроводы прокладываются с пилообразным продольным профилем; в наиболее глубоких местах помещаются водо-

отделители, благодаря чему достигается почти на всем пути одинаково направленное движение газа и конденсационной воды.

В качестве водоотделителей следует применять не U-образные трубки (так как их гидравлический затвор, особенно при узких трубах, легко выбрасывается пульсирующим газом и не возобновляется), а горшки с погруженными в них трубками (рис. 225).

Наиболее простым способом измерения газа является объемное измерение, аналогичное измерению воды, путем улавливания газа в выверенный сосуд; для таких измерений, дающих только приближительные значения дебита, пользуются приспособлением, аналогичным пневматической ванне химических лабораторий. Они имеют практическое значение только для количеств газа менее 100 л/мин., а при более сильных выделениях газа — только для приближительных определений.

Продажные измерительные приборы основаны или на непосредственном объемном измерении, или на косвенном определении количества по скорости течения, или по падению давления у какого-либо суженного места. Первые представляют собой всегда суммарные измерительные приборы. Они позволяют отсчитывать протекший в любой отрезок времени объем газа и вычислить отсюда средний дебит $\left(= \frac{\text{объем}}{\text{время}} \right)$.

Измерительные приборы для косвенного измерения построены или в виде суммарных измерителей, или в виде мгновенных счетчиков и позволяют в последнем случае отчет моментального дебита $e = \frac{dv}{dt}$.

В приборах для измерения газа с объемным замером используется или принцип и конструкция пневматической ванны (мокрые счетчики газа), или в них наполняются и опоражниваются попеременно мешки определенного постоянного объема из гибких мембран («сухие газометры»). В качестве примера приводятся приборы фабрик «Эльстер» (Берлин, Вена, Брюнн и т. д.), давшие на протяжении ряда десятилетий хорошие результаты. Точно работающие экспериментальные газометры «Эльстер», с барабанами по К р о с л е й (Krosley), можно получить в размерах 7,5—250 л/мин.; части, соприкасающиеся с газом, состоят из металла «британия» или латуни, меди, свинца. Они работают с пределом погрешности в $\pm 0,2\%$. Сухие высокопроизводительные счетчики «Эльстер» имеют кожаные мембраны; их можно получить для замера выделений газа в 25—7 500 л/мин. Их погрешность при избежании перегрузок значительно меньше $\pm 2\%$. Известны также новые «стационарные газометры» Ширмера, Рихтер и К^о (Лейпциг). Из не волюметрически работающих газометров наиболее

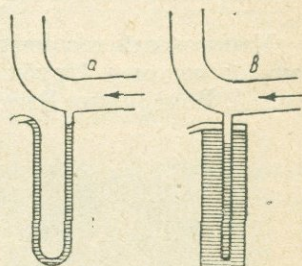


Рис. 225. Водоотделитель в газопроводах источников: а — нереконструируемый, в — конструкция, давшая хорошие результаты.

пригодны для суммарного измерения крыльчатые газометры. Точность их немного уступает точности волюметрических приборов; их показания особенно страдают от толчкообразного выделения газа вследствие действия инерции. Преимуществом являются их небольшие размеры, допускающие их заделку в узкие трубы.

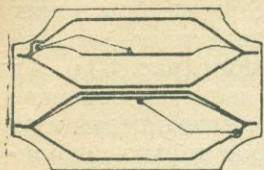


Рис. 226. Сухой газометр «Эльстер». Горизонтальный разрез через измерительные ящики и мембраны.

На рисунке 228 показана кривая погрешности крыльчатого газометра системы «Ротари» (конструкция С) фирмы Ширмер, Рихтер и К°, при различной нагрузке. При 40—90% нагрузки номинальной мощности она показывает менее 1/4% погрешности. Вне этих границ она возрастает, причем особенно быстро при меньшей нагрузке.

Мгновенный газометр построен на том же принципе, что и мгновенный водомер (трубка Вентури, подпорное сопло, трубка Пито и т. д.). Измерители Рота (рис. 229), германских заводов Рота (Аахен),

состоят из вертикальной, слегка конической, стеклянной трубки, в которой вращающийся поплавок поддерживается потоком газа; чем

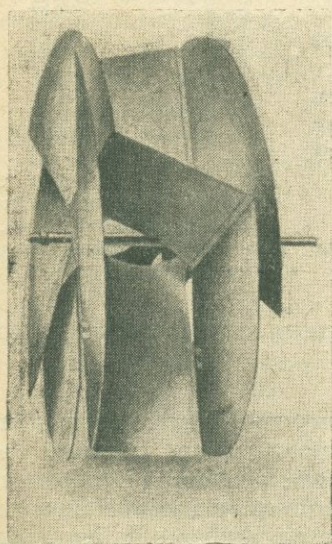


Рис. 227а. Барабанный газометр (системы Ширмер, Рихтер и К°). Барабаны системы Крослей.

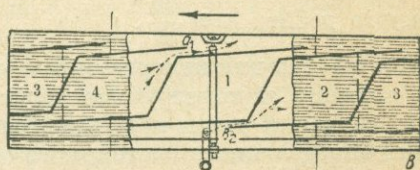
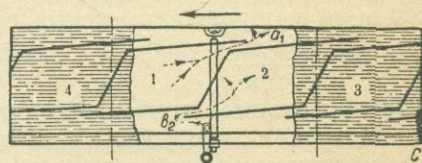


Рис. 227б. Барабанный газометр:

а — камера I наполнена, 2 — начинает наполняться, с — камера I начинает опорожняться, 2 — почти полная, 4 — пустая.

больше количество газа в секунду, тем выше поднимается поплавок. Количество газа отсчитывается по шкале, прикрепленной к самой трубке. Шкала рассчитана лишь на газ определенной плотности (давления) и температуры. При одинаковых показаниях измерителя Рота истинные количества различных газов относятся друг к другу, как квадратные корни из их плотностей. Если замер производится

при другом давлении и температуре, не соответствующих градуировке шкалы, то в отчет вносится поправка согласно уравнению:

$$v_0 = v \sqrt{\frac{T_e}{T_m}} \sqrt{\frac{B_m + p_m \cdot 735,51}{B_e + p_e \cdot 735,51}}$$

где

- | | |
|---|------------------|
| T_e — выверенная температура, | } обе абсолютные |
| T_m — измеряемая температура, | |
| B_e — барометрическое давление при выверке, | |
| B_m — барометрическое давление при измерении, | |
| p_e — избыточное давление в кг/см ² при выверке, | |
| p_m — то же при измерении, | |
| $v_{\frac{1}{2}}$ — показания поплавка, | |
| v_0 — уменьшенное количество. | |

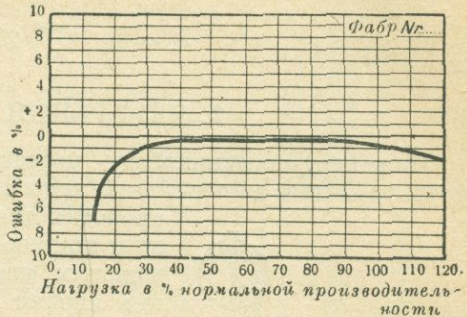


Рис. 228. Точность замера крыльчатым газометром «Ротари».

Зависящая от веса поплавка потеря давления при протекании через измеритель Рота составляет [по С. Гардебек (С. Hardebeck)] для прибора с максимальным пропуском в 2 000 л/час. 15—20 мм водяного столба, т. е. невелика. Так как вес поплавка от смачивания конденсационной водой изменяется, то измерители Рота могут применяться для ненасыщенного или сухого газа. На рисунке 230 изображен регистрирующий измеритель Рота.

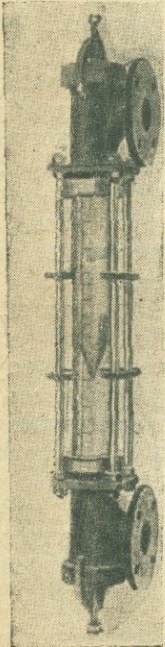


Рис. 229. Мгновенный газометр Рота (германские заводы Рота, Аахен).

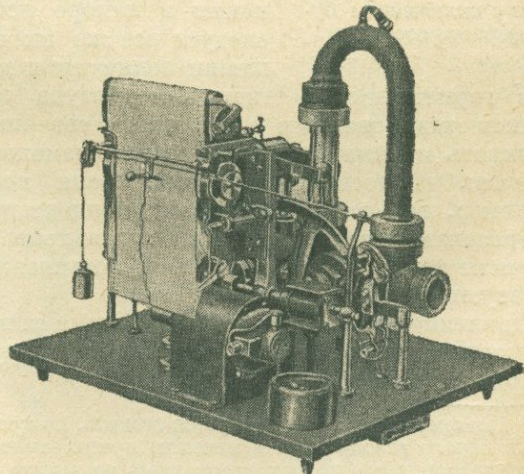


Рис. 230. Регистрирующий газометр Рота (германские заводы Рота, Аахен).

Принцип устройства измерителя Рота используется и для изготовления мгновенных водомеров.

Количество газа, правильно измеренное каким-либо путем, при давлении p и температуре t до $p = 1$ и $t = 0^\circ$ производится по уравнению:

$$v_0 = \frac{pv_1}{1 + \alpha t}; \alpha = \frac{1}{273} = 0,003665.$$

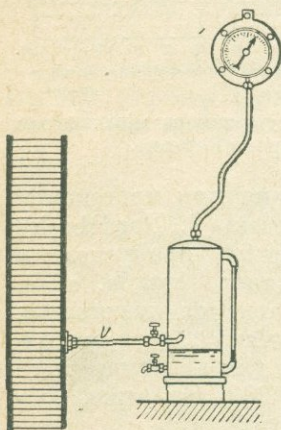
2. ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

Инженеру-источниковеду нередко приходится производить замеры давления минеральной воды или газа в каптажах или трубопроводах для чисто технических целей; однако и при периодических наблюдениях, производимых над источниками, замеры давления играют известную роль.

Так как давление в трубопроводах находится в функциональной зависимости от скорости течения, а следовательно, и от дебита, то колебания последнего отражаются на колебаниях давления. Поэтому нередко манометры прикрепляются к обсадным трубам, закрепляющим буровые шпрудели или вступающие трубопроводы каптажей.

Замеры давления в каптажах необходимы особенно в тех случаях, когда курорт требует для лечебных целей мероприятий, которые за отсутствием нужных сооружений отражаются на режиме источников. Если такие изменения в напоре источников неизбежны, то следует все же их точно проверять в отношении величины и длительности.

Рис. 231. Измерение давления с включением бурового сосуда.



У герметичных в отношении доступа воздуха амортизаторных ящиков газированных источников совершенно необходимо устанавливать манометры, чтобы иметь возможность постоянно контролировать внутреннее давление. Если последнее увеличивается, например, вследствие закупорки конденсационного водоотделителя и образования водяного мешка в газопроводе, то это оказывает на источник такое же действие, как повышение высоты напора, соответствующее увеличению давления.¹

Давление измеряется или открытыми жидкостными манометрами, наполненными водой или ртутью, или пружинными манометрами (например, Бурдона).

¹ Поэтому весьма рекомендуется ставить, по крайней мере, один водоотделитель в начале газопровода в качестве предохранительного клапана, гидравлический затвор которого находится лишь на высоте, до которой хотят, в случае какого-либо нарушения, поднять напорный уровень. Спуская газ, этот отделитель дает возможность избежать дальнейшего повышения давления.

Если дело касается замера давления газа, то все измерительные приборы могут присоединяться к трубе (резервуару) непосредственно или при помощи соединительных трубопроводов. При этом высотное положение прибора может быть выбрано любым, так как давление в несколько метров газового столба не имеет практического значения.

При замера водяных давлений можно манометр Бурдона привинчивать непосредственно у места замера. Однако если для более удобного наблюдения прибор должен быть укреплен выше или ниже, или должны быть применены жидкостные манометры, то давление должно передаваться газом (воздухом, улекислотой). Автор применяет в таком случае небольшой промежуточный буферный сосуд, как показано на рисунке 231. Высота подъема в соединительной трубке V делается обычно лишь в несколько миллиметров (замер давления точен лишь до давления, соответствующего этому водяному столбу). Вода в буферном сосуде от времени до времени спускается.

В зависимости от того, хотят ли установить кратковременные периодические колебания давления (прерывистость) или постепенное изменение средней величины давления, либо используют полное сечение соединительной трубки, либо погашают быстрые колебания при помощи включенного в трубопровод вентиля.

Если хотят точно зафиксировать все колебания давления, то применяют самопишущие манометры. Для небольших разностей давления такие самопишущие манометры строятся по принципу открытых манометров с водяным столбом (рис. 232). В качестве пружинных манометров, подобных самопишущим барометрам-анероидам, фирмы выпускают регистрирующие приборы для любой амплитуды колебаний давления и различных скоростей движения бумажной ленты.

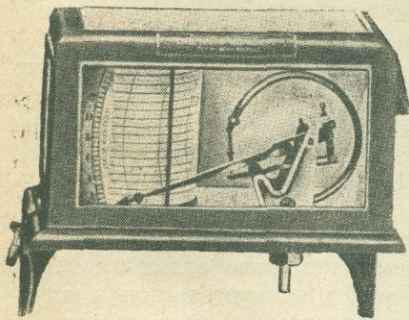


Рис. 233. Самопишущий манометр (конструкция Клинкагоффа).

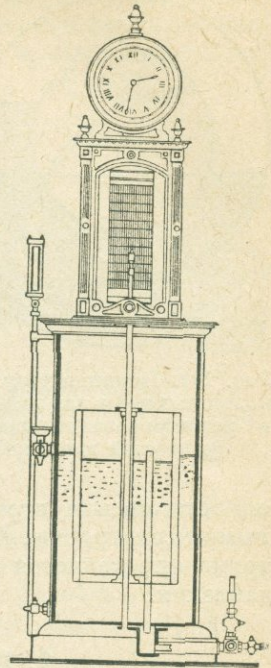


Рис. 232. Самопишущий манометр с поплавком Крослей (Ширмер, Рихтер и К°).

Для точного измерения и регистрирования и очень малых давлений, а также и разностей давлений, и вместе с тем для регистрирования результатов измерителей Вентури и т. п., весьма пригодны кольцевые весы (рис. 234). Они

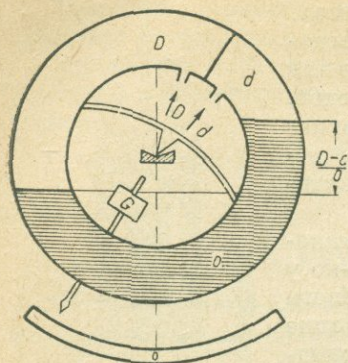


Рис. 234. Принцип устройства кольцевых весов для измерения и регистрирования давлений (разностей давлений).

ске отклонение стрелки пропорционально исправляется включенным эксцентриком. Подобным же образом помощью такого эксцентрика определяется квадратичная зависимость дебита от разницы давления.

состоят из полого, вращающегося на опорной призме кольца, наполовину заполненного запорной жидкостью. Пространство над последней разделено стенкой на две камеры. Подлежащее замеру давление передается воздухом или газопроводом в одну камеру. Противовес, размер и положение которого определяют чувствительность прибора, ограничивает своим моментом вращения угол отклонения весов. При измерении разности давлений присоединяются обе кольцевые камеры. Так как момент вращения противовеса возрастает с синусом угла отклонения, то этот последний не пропорционален увеличению давления. В кольцевых весах конструкции фирмы Сименс-Гальске

3. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Постоянные измерения температуры должны производиться во всех минеральных источниках, но особенно в горячих. Здесь следует производить измерения ежедневно в одно и то же время.

Для измерения применяют ртутные термометры различной конструкции; автор в течение многих лет пользуется приборами из стекла со вплавленной шкалой из молочного стекла с делениями, равными $\frac{1}{5}$ градуса Цельсия ($\frac{1}{10}$ градуса может быть достаточно точно определена на-глаз). Принимая во внимание ясность делений, с одной стороны, и чтобы, с другой стороны, прибор не был слишком длинным и хрупким, термометры заказываются лишь для амплитуды колебаний принимаемых во внимание температур.

Если нельзя сделать отчет по термометру непосредственно в момент его погружения, то применяют максимальный термометр. Для сбрасывания ртути в таких термометрах в настоящее время изготовляют ручные приборы, приобретение которых окупается более редкой поломкой термометра (рис. 235).

Относительно места, в котором должна измеряться температура, на практике существуют различные взгляды. С научной точки зрения правильно производить измерения в наиболее отдаленном, но еще доступном месте ключевой струи, чтобы по возможности исключить все факторы, оказывающие влияние на изменения температуры и изменяющиеся сами по себе. Однако в большинстве случаев температура определяется у бьюета источника, где температура имеет

большое значение для использования источника для лечебных целей, особенно в питьевых источниках. Во всяком случае измерение должно производиться всегда в одном и том же месте и при одинаковых всегда условиях, и место это должно заноситься в протокол измерений. Градусное подразделение термометра действительно для полностью погруженной нити термометра; поэтому при лучеобразно изливающихся источниках целесообразно применять специальный сосуд для погружения термометра.

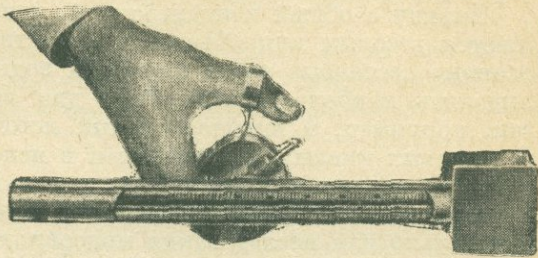


Рис. 235. Прибор для погружения максимального термометра («Pchlägel und Eisen», Теплиц-Шонау).

Для точного нанесения кривой температурных колебаний горячих источников применяются электрические термометры с самопишущим приспособлением, которые могут быть устроены и как дальностирующие термометры. О подобных приборах можно получить точные сведения у всех больших фирм, строящих подобные аппараты (например: Сименс-Гальске, В. С. Гереус, Ганау; Клинкгофф, Берлин, Вена и т. д.).

4. КОНТРОЛЬНЫЕ АНАЛИЗЫ

Одной из наиболее важных задач наблюдения над источниками является контрольный анализ его химического состава. Так как частое проведение полных анализов невозможно, то исследование производится лишь на некоторые важные составные части. Кнетт (140) указывает на двоякую цель контрольных определений: во-первых, установление изменений в концентрации при неизменном относительном соотношении составных частей и, во-вторых — установление изменений в соотношении составных частей. Для наблюдений, производимых над концентрацией, достаточно определения сухого остатка после выпаривания или удельного веса воды, например, при помощи ареометра, и еще точнее при помощи пикнометра. Быстрая проверка концентрации и случайных колебаний в последней может быть достигнута путем наблюдения преломления света минеральной водой. Для этой цели пользуются, например, рефрактометром Пульфриха, погружаемым в воду.

При изменениях концентрации без изменения относительного соотношения составных частей хорошим критерием для суждения о колебаниях является электропроводность. Поэтому для постоянного фиксирования колебаний концентрации могут применяться самопишущие измерители электропроводности. Фирма Сименс-Гальске (Берлин) изготовляет самопишущий определитель электро-

проводности, при котором, благодаря заделанному компенсатору температуры, полностью устранено влияние температурных колебаний на электропроводность. Прибор строится для погружения в резервуары или для включения в побочную сеть.

Наряду с общей концентрацией, контрольным анализом определяются весовым или объемным аналитическим путем и некоторые главные составные части ключевой воды, причем нужно, конечно, выделять наиболее характерные для источника составные части; так, например, в высокоактивных источниках — радиоактивность, в питьевых кислых источниках и в используемых для углекислых ванн — содержание углекислоты и т. п. В разработке практических методов для быстрого определения важнейших составных частей специально для исследования минеральных источников много было сделано д-ром Вагнером (Wagner) (101). Следует также отметить методы определения столь важной с точки зрения бальнеологии углекислоты, проработанные Цörкендöрфер-Дитл (Zürken-dörfer-Dietl) (142). Для приблизительного, но все же довольно точного определения свободной углекислоты, весьма пригодным прибором является встряхивающий прибор Рейхгарда-Гертль.¹ При работах по каптажу источников прибор этот может быть весьма полезным для инженера для первого сравнения углекислых ключевых жил. Проведение, относящихся к текущему наблюдению над минеральными источниками, контрольных анализов является задачей специалиста-химика.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

Записям полученных результатов наблюдений необходимо уделять соответствующее внимание; запись должна оставаться разборчивой в течение ряда лет. Протоколы измерений являются важнейшими документами и требуют соответствующего обращения. Они заносятся в книги одинакового формата, а законченные томы сохраняются в безопасном от пыли и в пожарном отношении месте.

Задачей инженера, занятого наблюдениями над ценным минеральным источником, является не только собирание материала наблюдений, но и его проработка. Он должен проследить причины зафиксированных изменений, вскрыть существующую изменчивую взаимную связь и взаимовлияние наблюдавшихся факторов и использовать полученные сведения для усовершенствования каптажных и эксплуатационных установок источника (о чрезвычайном значении этих записей для охраны источников против внешних повреждений см. гл. «Охрана источников», стр. 295).

Эта работа существенно облегчается путем сопоставления результатов наблюдений в форме таблиц и особенно путем графического изображения наблюдаемых изменений. Диаграмма правильно отражает законы изменения какой-либо величины только в том случае,

¹ Например, встряхивающая трубка «карат» Д. и Г. Либберг, Кассель.

когда ордината, соответствующая данному изменению, полностью помещается на бумаге, т. е. когда на бумаге имеется еще и нулевая ось. Изображения, которые ради получения возможно большего масштаба дают лишь полосу, содержащую самую кривую, искажают картину и ведут к неправильным выводам.

Кривые, характеризующие такие величины, между которыми предполагается существование связи или уже установлено наличие такой связи и которые хотят исследовать, объединяются в одном графике.

А. Изменения дебита и их причины

Влияние атмосферных осадков. Во многих случаях на дебит вадозных минеральных источников оказывают влияние условия выпадения атмосферных осадков. Непосредственное влияние атмосферных осадков на питание источников следует отличать от косвенного их влияния на дебит, без происходящего при этом питания, когда они увеличивают количество грунтовой воды, сообщаемой с источником через боковые трещины и некаптивированные выходы (см. следующую главу). В то время как в этом последнем случае влияние атмосферных осадков проявляется обычно очень быстро, в случае непосредственного питания источника атмосферными осадками их влияние на дебит сказывается часто только через длительные промежутки времени, что объясняется длинным путем, который должна пройти вода, чтобы приобрести свое минеральное содержание и в известных случаях высокую температуру.

Кадиш (Joos Cadisch) (119) сообщает об интересной, строго закономерной связи между выпадающими осадками в Юрских горах и дебитами горячих источников в Бадене, в Ааргау, обнаруженной Ф. Мюльбергом (F. Mülhberg) (рис. 236). Здесь максимумы и минимумы дебита источников запаздывают по отношению к соответствующим колебаниям кривой осадков на 12 месяцев. Эта закономерность настолько строга, что Петеру (H. Peter) удалось путем изучения вычислить заранее на продолжительное время вперед дебит баденских горячих источников с точностью до 6%. Поэтому нужно всегда включать в круг обязанностей наблюдательной станции и запись выпадающих осадков в окрестностях источника, и в особенности в предполагаемом районе его питания.

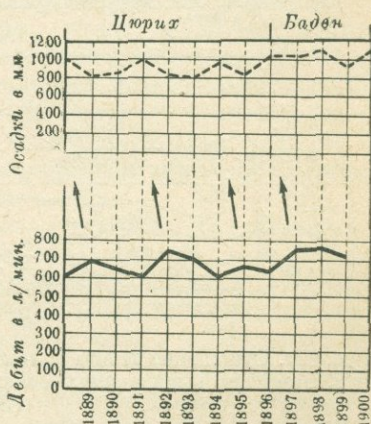


Рис. 236. Связь между выпадающими осадками и дебитом горячих источников Бадена, в Ааргау (по Мюльбергу) (119).

Влияние, оказываемое пресной грунтовой водой. Условия такого влияния были уже рассмотрены (стр. 224). Если дебит источника возрастает параллельно с уровнем стояния грунтовых вод или ординаром соседней реки, то род оказываемого влияния определяется режимом концентрации, а в термах — температурой. Если концентрация остается неизменной, или температура остается нормальной, или же она поднимается с увеличивающимся дебитом, то увеличение дебита вызывается ростом сопротивления, оказываемого грунтовой водой на некаптированные выходы. Если концентрация и температура понижаются, то пресная вода поступает в ключевую струю и примешивается к минеральной воде. В таких случаях необходимо предусматривать изоляцию ключевого района, регулирование

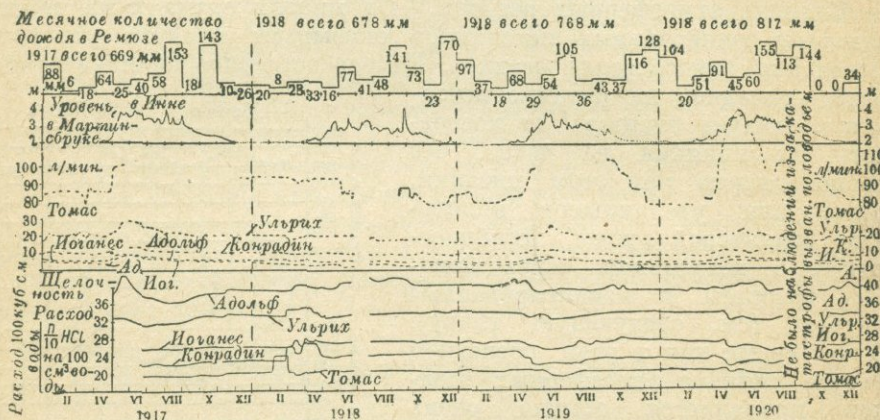


Рис. 237. Отношение дебита и щелочности минерального источника Валь-Синестра к количеству выпадающих осадков и величине стока в окружающих горах (по И. Кадшу).

уровня стояния грунтовых вод или изменение высоты подпора источника.

В качестве примера можно привести описание системы мышьяковокислых источников Валь-Синестра в Швейцарии, по Кадшу (119) (рис. 237). Линия источников направлена поперек долины реки Лиммат. Термальная вода выступает на обоих берегах и в самом ложе реки. Если уровень воды в реке Лиммат повышается, то дебит горячих источников, расположенных на берегах, повышается; температура в 47°C , остающаяся постоянной, указывает на то, что смешение речной и термальной воды не имеет места.

Колебания уровня грунтовой воды сказываются на дебите источников во времени очень скоро, обычно моментально. В круг наблюдений включают соответствующие уровни стояния грунтовых вод, производя наблюдения по возможности в нескольких расположенных по соседству точках. Для последней цели, в случае когда устройство собственных наблюдательных трубчатых колодцев невозможно, могут служить соседние домашние колодцы с небольшим расходом

воды. В графике уровни стояния грунтовых вод отсчитываются от нуля.

Некаптированные выходы источников. Не всегда удается объединить в один каптаж весь дебит источника. Выходы источников теснятся к наиболее пониженному месту выхода трещины, т. е. к зонам пересечения последней с эрозионными долинами. На дне этих долин нередко залегают мощные наносы, покрывающие выход трещины, но не закрывающие их герметически в отношении воды или газа. Правда, в русле долины грунтовая вода образует своим давлением препятствие для подземных некаптированных выходов минеральной воды, так называемых «диких выходов», подпирая их вплоть до высоты своего уровня. Однако у стенок и склонов, где выход трещины или соединяющихся с ней боковых трещин может быть перекрыт галькой или осыпями склонов, это частичное сопротивление некаптированных выходов не всегда принимается в расчет.

Число таких некаптированных выходов может увеличиться за счет каптированного источника. В этом случае дебит источника медленно, постепенно падает. Эта опасность имеется особенно в источниках, высота напора которых по курортным техническим причинам выбрана сравнительно высокой. Отсюда вытекает необходимость в вспомогательных мероприятиях: отыскание и заделка трещин и боковых расселин, возможное снижение напора источника, поскольку то позволяют другие решающие обстоятельства.

Влияние, оказываемое выделением осадков источниками. Источники, выделяющие осадок, постепенно сужают поперечное сечение своих каналов, вследствие осаждающихся осадков. Так как обстоятельства, способствующие выпадению осадков: падение температуры, снижение давления, освобождение газа с приближением к поверхности земли, усиливаются, то выпадение осадка происходит особенно интенсивно именно в этих местах, а также в самом каптаже. С уменьшением поперечного сечения связано увеличение скорости течения. Поведет ли это стеснение к полному иссяканию источника, зависит от его механизма; накипь нарастает тем быстрее, чем медленнее течет минеральная вода; если увеличивающееся сопротивление вызывает постоянное повышение скорости, то последняя сама ограничивает осаждение накипи, и подобный источник едва ли иссякнет под действием накипи. С другой же стороны, все же это будет иметь место, если в другом месте имеется возможность образования выхода и, следовательно, падения давления. Поэтому может случиться, что, вследствие осадка, ощутительно нарушится соотношение в распределении минеральной воды между отдельными источниками системы путем постепенного обмена дебита между двумя или несколькими связанными между собой источниками. При этом общий дебит падает, так как общее поперечное сечение уменьшается, и еще больше потому, что в большинстве случаев и некаптированные выходы увеличиваются за счет покрывающегося осадками каптажа. Однако при добросовестном ведении наблюдений над источниками такие изменения могут быть своевременно обнаружены.

Наконец, возможно также, что, вследствие накопления осадков в выходах, давление в каналах настолько возрастает, что источник в каком-либо месте, обладающем сопротивлением, прокладывает себе новый путь, причем это сопровождается явлением, напоминающим собой взрыв. Таким образом объясняют происходившие прежде в Карлсбаде прорывы шпруделей. В буровых источниках накопившийся на обсадных трубах осадок может быть удален буром.

Очень часто осадок накапливается сначала в виде мягкого шлама, который лишь постепенно затвердевает. Шлам или охра легко смывается, если скорость течения увеличивается толчками. Поэтому источники, выделяющие охру, после внезапного понижения высоты

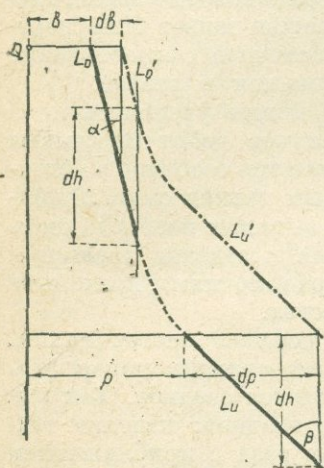


Рис. 238. Влияние, оказываемое атмосферным давлением на газированные источники.

истока изливают мутную воду. Подобные источники для сохранения дебита их каптажей весьма успешно один или два раза в год «прочищаются» путем внезапного уменьшения их высоты подпора (о накипи и шламе см. также стр. 179, 226).
Влияние, оказываемое атмосферным давлением на дебит. В многочисленных источниках была установлена ясная связь между атмосферным давлением и дебитом. Противодействие воздушного столба является последним препятствием, которое источник должен преодолеть при выходе. Повышение барометрического давления на n миллиметров должно было бы так же точно снизить дебит обыкновенного источника, как и повышение напора источника на $13,6 \cdot n$ мм, и наоборот. Конечно, при условии полной непрерывности течения одинаковое повышение атмосферного давления над всем районом питания должно было бы снова уничтожить это действие. Влияние атмосферного давления должно обязательно проявиться и в ювенильных источниках. Особенно сильно оно проявляется в газированных источниках, что объясняется своеобразным увеличением давления в этих источниках с глубиной (стр. 215). Кривая, отражающая это увеличение давления, изогнута вверху наиболее круто, к глубине она становится положе, пока, наконец, у «предельного давления», при полностью освобожденном газе, тангентально переходит в прямую давления не содержащей газа воды. На рисунке 238 L_0 изображает верхнюю часть этой кривой начиная от источника и L_u — часть ее ниже предельного давления. Если атмосферное давление возрастает с b до $b + db$, то вся линия давления смещается на высоту dh вверх и приходит в положение $L'_0 - L'_u$.

Так как $db = dh \cdot \operatorname{tg} \alpha$ и $dp = dh \cdot \operatorname{tg} \beta$, то действительно уравнение:

$$\frac{dp}{db} = \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

Однако тангенсы углов наклона кривой давления пропорциональны удельным весам минерального содержания источника. Если, например, источник содержит у выхода одинаковые объемы воды и газа, то $\frac{dp}{db} = 2$, т. е. изменение ртутного столба барометра на n миллиметров оказывает то же действие, что и смещение высоты напора на $13,6 n$ мм, умноженное на два. Следовательно, действие тем больше, чем больше газа содержится в источнике.

О влиянии атмосферного давления на карлсбадские источники упоминал уже д-р Шпрингфельд (Springfeld) в 1749 г. В 1860 г. д-р П. Картелиери (P. Cartellieri) (близ Гааза, Прага) опубликовал свой труд: «Die Franzensquelle in Eger-Franzenbad und der atmosphärische Luftdruck».

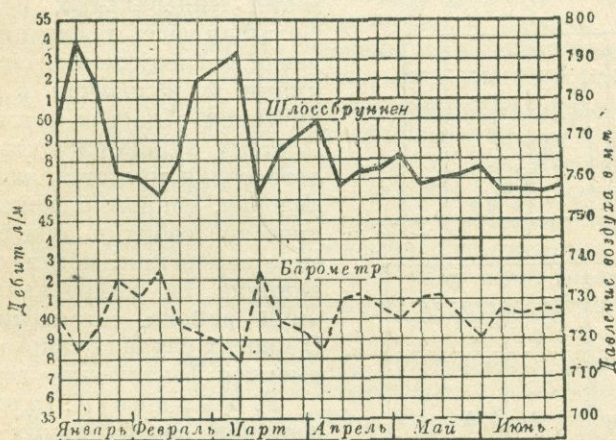


Рис. 239. Влияние атмосферного давления на Шлоссбруннен в Карлсбаде.

На рисунке 239 показано влияние, оказываемое атмосферным давлением на газированный источник Шлоссбруннен в Карлсбаде (см. также рис. 219, стр. 211).

Большой интерес представляет собой извержение буровой скважины VII в Бад-Наугейме в 1846 г., происшедшее вследствие чрезвычайно низкого атмосферного давления (102). Проведение этой буровой скважины было начато в 1839 г. и в связи со слишком слабым рассолом и небольшим напором было в 1841 г. остановлено. В ночь на 22 декабря 1846 г., когда над Наугеймом наблюдалась барометрическая депрессия, из скважины неожиданно прорвался сильный шпрудель рассола.

Интенсивное влияние атмосферного давления на многие минеральные источники заставляет включить наблюдения над ним также в круг обязанностей наблюдательной станции на источниках.

Так как возрастающее внимание, оказываемое в бальнеологических кругах климатическим условиям курортов, требует еще дальнейших метеорологических наблюдений, то целесообразно сооружать также и метеорологические станции. Помимо атмосферного давления следовало бы еще, по крайней мере, измерять температуру и влажность воздуха и количество выпадающих осадков, что должно производиться по возможности при помощи самопишущих приборов.

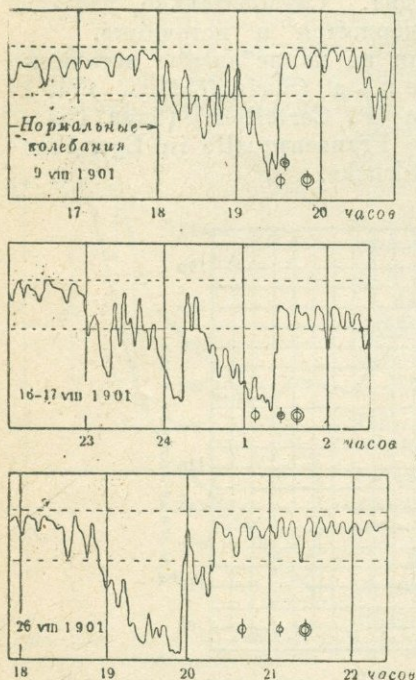


Рис. 240. Влияние землетрясений на дебит минеральных источников. Наблюдения над Екатерининским источником в Боржоме, произведенные Ф. Мольденгауером.

Показания сейсмографов в Тифлисе:

- ⊕ предварительные сотрясения,
- ⊙ начало } землетрясения.
- ⊗ максимум }

Мольденгауер (Moldenhauer) при помощи своего самопишущего измерителя дебита и давления «биограф источника» наблюдал ясно выраженное влияние зарегистрированных сейсмографом в Тифлисе землетрясений на Екатерининский источник в Боржоме (на Кавказе). Источник показывал не только во время землетрясений, но обычно уже за несколько часов до него, необыкновенный режим прерывистости и дебита. Мольденгауер объясняет это разгрузкой, предшествующей наступлению напряжения в пластах земной коры. Во всяком случае он справедливо отмечает, что подобные реги-

производиться по возможности при помощи самопишущих приборов.

Влияние, оказываемое землетрясениями на дебит. Технические нарушения, складки пластов, трещины и расселины нередко служат местом образования путей источника, а следовательно, и возникновения минеральных источников. Большая часть последних обусловлена послевулканическими явлениями и находится в неовулканических областях земной коры. Поэтому нужно ожидать, что землетрясения, представляющие собой явление, сопровождающее вулканические события или тектонические изменения, могут оказывать влияние на минеральные источники района сотрясения земли. О многих случаях такого влияния имеются фактические данные.

Р. Г ö р н е с (R. Hoernes) (143) составил сводку таких наблюдений. Влияние это проявляется в усилении или сокращении дебита, даже в иссякании или в новообразовании источников, в изменении температуры в т. п. Влияние это в большинстве случаев бывает временным, однако оно может быть и длительным.

М о л ь д е н г а у е р (Moldenhauer) при помощи своего само-

стрирующие наблюдения над источниками могут быть весьма полезны не только с хозяйственной и научной (в отношении источников) точки зрения, но и для учения о землетрясениях (рис. 268).

Е. Маурер (E. Maurer) сообщает о значительном увеличении дебита минеральных источников Боснии вследствие землетрясения, имевшего место осенью 1926 г., и т. п.

Утверждали также о действии на минеральные источники землетрясений, эпицентр которых находился за тысячи километров от района источников (отдаленные землетрясения). Так прошли через всю литературу сообщения о предполагаемом действии большого землетрясения в Лиссабоне в 1755 г. на Карлсбадский шпрудель и горячие источники Теплица. Кнетт ссылается на то, что крайне добросовестный историограф д-р Дав. Бехер (Dav. Becher) в 1772 г. определенно отмечает, что эти сведения относятся к Теплицу, а что в Карлсбаде какого-либо нарушения в режиме источников не было обнаружено. Влияние, оказанное на источники Теплица, Лаубе (Laube) считает доказанным; здесь главный источник как будто изливал мутную воду, несколько минут бездействовал, после чего дебит снова восстановился при сильном напоре воды, сильно окрашенной охрой. Предполагая, что это весьма сомнительное сообщение соответствует истине, Фр. Зюсс (144) дает следующее правильное объяснение данному феномену: сотрясательное движение освобождает внезапно из перенасыщенных газовых растворов большие количества газа, вытесняющие воду и оказывающие этим путем влияние на дебит; выпадение охры является тогда само собой понятным следствием.

Однако необходимо иметь в виду, что владельцы минеральных источников придают влиянию землетрясений, а особенно их разрушающему действию, большее значение, чем то фактически следует. Автор мог из неоднократных запросов, обращенных к нему в течение его деятельности в качестве инженера-источниковеда, заметить это необоснованное опасение. В областях молодой складчатости и разломов влияние на близлежащие минеральные источники относительно частых здесь землетрясений, которые могут рассматриваться как последние отзвуки тектонических процессов, как, например, «стайное землетрясение» (Schwarmbeben) в Рудных горах, до сих пор пока не доказано. Катастрофические землетрясения, которые вызывают большие разрушения на поверхности, могли бы нарушить строение трещин, к которым приурочены пути источников.

Однако это не должно служить помехой для установки сейсмографов на больших наблюдательных станциях. Наоборот, записи этих приборов будут оказывать успокаивающее влияние.

Б. Изменение температуры источников

И температура горячих источников не является абсолютно неизменной постоянной величиной; точные наблюдения показывают нередко периодические колебания по временам года. Во всяком

случае — особенно в районах с континентальным климатом — годовая разность температур почвы оказывает некоторое влияние на температуру источника, которое может быть обнаружено в ювенильных термах. В вадозных горячих источниках не исключена возможность, что меняющаяся температура питающей воды в районе питания источника проявлялась в виде таких колебаний.

Если по эксплуатационным условиям курорта приходится от каптажа источника прокладывать трубопроводы, то этим самым дается возможность изменяться температуре источника в месте его излияния из трубопроводов. При этом изменения температуры не имеют ничего общего с естественными ее колебаниями.

Если температурная кривая горячего источника обнаруживает независимо от этих колебаний ненормальную тенденцию к изменению, то это может быть вызвано одной из следующих причин. Температура в месте излияния является конечным результатом процесса охлаждения по пути кверху: чем скорее вода проходит по каналам, тем меньше времени она имеет для охлаждения. Поэтому у горячих источников наблюдают, что с изменяющимся дебитом температура закономерно изменяется в том же направлении. Лепсиус (Lepsius) (100) говорит об этой взаимной связи следующими словами: «Чем больше количество воды, вытекающей из источника, тем выше температура источника». Однако он дает этому закону иное обоснование.

Если при одновременном уменьшении дебита температура уменьшается, то можно с большей вероятностью предполагать проникновение в источник холодной пресной воды, что тотчас же обнаруживается контрольным анализом.

В. Изменчивость химического состава

Изменения условий течения минерального источника могут оказать влияние на его химический состав. Если у минерального источника, сообщающегося с пресной водой, взаимное соотношение давления обеих вод меняется, то это до тех пор не оказывает никакого влияния на химический состав источника, пока давление в канале источника еще перевешивает. Если же наступает обратный случай, то пресная вода проникает в каналы источника и разжижает минеральную воду. Причиной этого может быть, с одной стороны, понижение напора источника (например, при неправильном устройстве вследствие выкачивания воды из каптажного колодца, «перенапряжения источника»), а с другой стороны, необычное повышение напора грунтовой воды (например, во время половодья). Изменению в этом случае подвергается только концентрация.

В некоторых случаях химический состав источника создается вследствие смешения двух или нескольких составляющих с различным химическим составом, а их соотношение смеси в свою очередь есть функция напора источника. Поэтому, если создаются измененные условия течения, то в общем изменится и соотношение смеси,

а следовательно, и химический характер таких минеральных источников. Контрольный анализ обнаружит тогда, наряду со случайными изменениями концентрации, и смещения в относительном количестве составных частей.

Винтер (Winter) (122) в 1920 г. установил в старом каптаже источника Фердинанда в Мариенбаде, что при перенапряжении источника, вследствие выкачивания воды из колодца, наступало уменьшение в концентрации при одновременном смещении процентного соотношения миллиграмм-эквивалентов анионов. Количество хлора и сульфата снижалось ниже нормального значения, в то время как гидрокарбонат резко увеличивался.¹

В этом случае одна из составляющих представляла собой минеральный источник с небольшой концентрацией и высоким содержа-

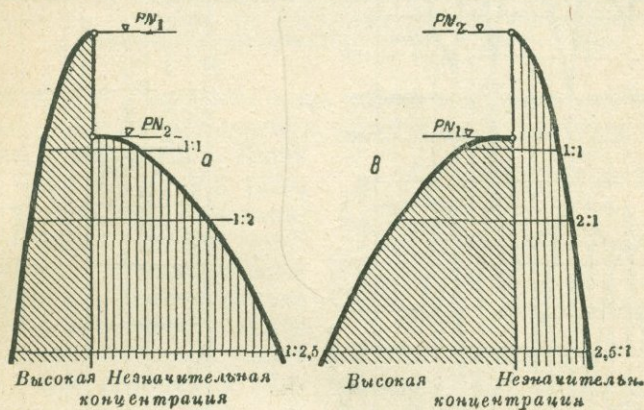


Рис. 241. Концентрация как функция высоты напора при составляющих различной концентрации.

нием гидрокарбонатов. Увеличение дебита не всегда должно быть связано с уменьшением концентрации; в более редких случаях наблюдают обратное явление. Изменение зависит от формы кривой дебита, согласно которой отдельные составляющие реагируют на изменения напора. На рисунке 241—*a* и *b* изображены кривые дебита двух источников, каждый из которых составляется из одной высоко концентрированной и одной менее концентрированной составляющей. Обе струи, как показано, могут иметь различный пьезометрический уровень.

В случае «а» при увеличении дебита концентрация уменьшается, у «в» концентрация с дебитом возрастает. И в этом случае мы обязаны Винтеру интересными наблюдениями. В то время как источник Фердинанд с повышением дебита теряет в концентрации (рис. 242), Мариенбадский Крейцбруннен обнаруживает колебания обеих величин в одинаковом смысле (рис. 243).

¹ Винтер в 1925 г. заново каптировал источник Фердинанд и создал устойчивое состояние равновесия в его стоке.

То обстоятельство, что даже само атмосферное давление может оказывать влияние на химический состав, показывают интересные результаты наблюдений над Ламшейдерским Штальбрунненом (66), обнаруживающих ясный параллелизм между гидрокарбонатом, сво-

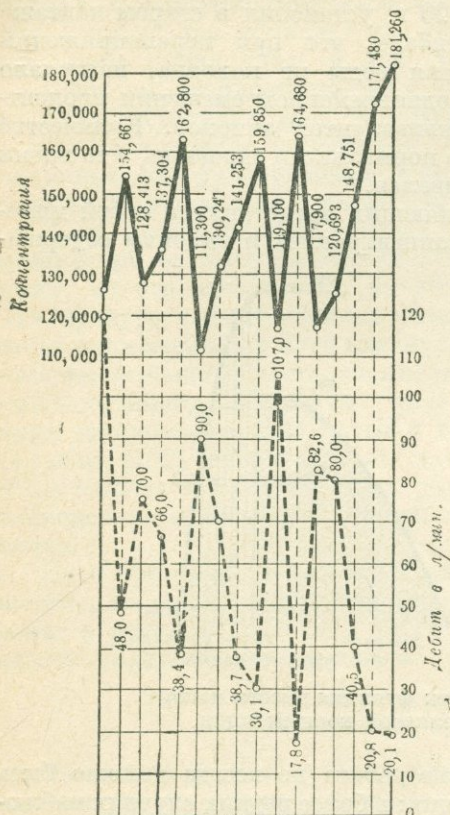


Рис. 242. Неодинаково направленные колебания концентрации и дебита у источника Фердинанда в Мариенбаде (по Винтеру). Концентрация равна сумме анионов миллиграмм-эквивалентов. Пробы через интервалы в 3 минуты.

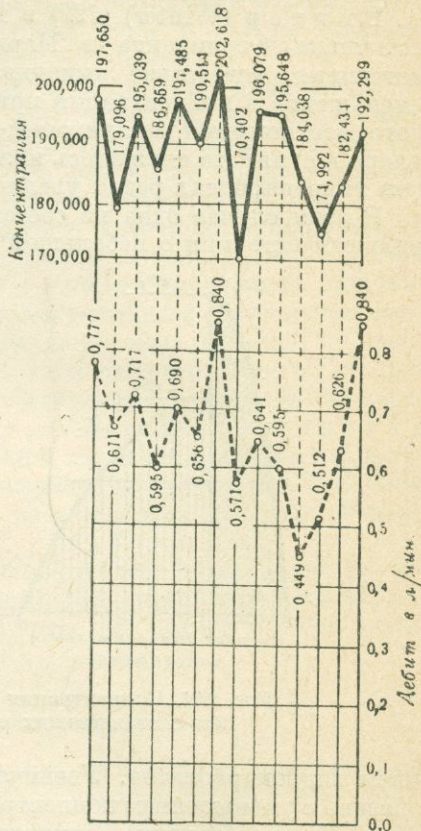


Рис. 243. Согласно направленные колебания концентрации и дебита у источника Крейцбруннена в Мариенбаде (по Винтеру). Пробы через интервалы в 3 минуты.

бодной углекислотой, а также содержанием железа и барометрической кривой (рис. 244). В. Ц ö р к е н д ö р ф е р (145) попутно с произведенными в 1930 г. опытами над Бродлерским источником в Кшига, близ Мариенбада, мог также ясно обнаружить связь между атмосферным давлением и содержанием углекислоты (рис. 245).

В последних примерах дело касается колебаний в химическом составе, происходящих в источнике без внешнего вмешательства. Такие колебания могут быть, конечно, действительно обнаружены

во всех источниках. В некоторых они очень незначительны, в других же они проявляются яснее. Они, как и все прочие свойства, относятся к характеру источника и сами по себе еще не являются

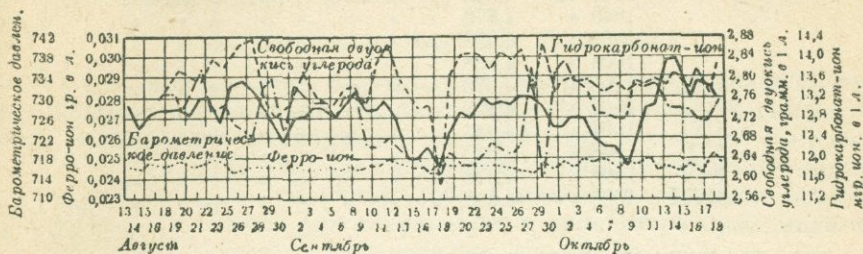


Рис. 244. Зависимость содержания свободной углекислоты, гидрокарбонат-иона и ферро-иона от атмосферного давления. Наблюдения, произведенные над Ламшейдерским Штальбрунненом в 1913 г. (86).

недостатком. Это убеждение лишь позже приобрело значение. Очень долго предполагали абсолютную неизменность химического состава минеральных источников. Лишь в 1894 г. Фрезениус (146) доказал, что во всех минеральных источниках следует ожидать колебания в минеральном содержании. Во всяком случае причиной, в особенности более значительных колебаний, может служить несвоевременный каптаж, и установление этой причины должно служить указанием на необходимость устранения этого дефекта.

В качестве примера источника с небольшими колебаниями могут служить Карлсбадский шпрудель и Кохбруннен в Висбадене.

Исследования Карлсбадского шпруделя, произведенные государственной химической лабораторией (дир. д-р Г. Ланг), показали в течение последних 10 лет:

Январь 1924 г.	1,4019	г/л	кг	SO ₄
» 1925 »	1,3965	»	»	»
» 1926 »	1,3913	»	»	»
» 1927 »	1,4006	»	»	»
» 1928 »	1,3935	»	»	»
» 1929 »	1,3886	»	»	»
» 1930 »	1,3966	»	»	»
» 1931 »	1,3931	»	»	»
» 1932 »	1,3960	»	»	»
» 1933 »	1,3947	»	»	»

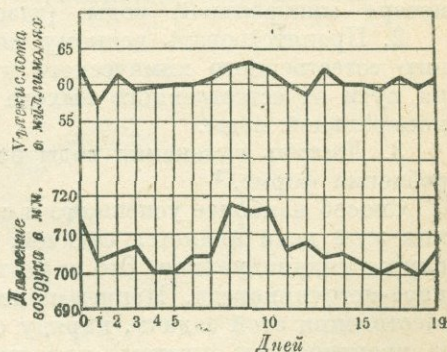


Рис. 245. Зависимость содержания углекислоты от атмосферного давления. Бродлерский источник в Кшиге, близ Мариенбада (по В. Цоркендёрферу).

Анализы Кохбруннена, произведенные Фрезениусом, Гинцом и Грюнгутом (Grünhut) (86), показали (по Ф. Ладе):

	1847 г.	4,678	г/л	кг	хлор	+	бром	+	под-ион
	1849 »	4,670	»	»	»	+	»	+	»
	1885 »	4,659	»	»	»	+	»	+	»
	1904 »	4,658	»	»	»	+	»	+	»
19/III	1907 »	4,673	»	»	»	+	»	+	»
27/VI	1907 »	4,642	»	»	»	+	»	+	»
2/XI	1907 »	4,644	»	»	»	+	»	+	»
5/II	1908 »	4,640	»	»	»	+	»	+	»
4/IV	1908 »	4,678	»	»	»	+	»	+	»
6/VII	1908 »	4,648	»	»	»	+	»	+	»

IV. КАПТАЖ МИНЕРАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Под каптажем понимают искусственные изменения естественного выхода источника, преследующие главным образом следующие цели:

1. Вскрыть максимальное количество содержимого источника, которое природа может длительно отдавать; препятствовать всякой потере минеральной воды (газа).

2. Препятствовать всякому поддающемуся устранению изменению естественного химического и физического характера источника на пути от естественного выхода источника до места потребления минеральной воды.

3. Достичь вытекания воды из источников в удобной для употребления форме.¹

Способ наиболее успешного и с наименьшими расходами достижения этой цели является задачей, разрешаемой в каждом отдельном случае индивидуально. Это входит в обязанности специалиста инженера-источниковеда. Непременным условием для правильного осуществления этой задачи, наряду с общими специальными знаниями и практическим опытом, является глубокое знание подлежащего каптированию источника, его геологических условий, его химизма, короче говоря, его общего механизма в широком смысле этого слова. Все, что можно в общем сказать о каптажах минеральных источников, является правилами и ориентировочными данными. Какие из этих указаний имеют значение для отдельного случая и каким путем они должны при этом применяться и приспособливаться, должен решить сам инженер на основании основательного изучения. Предостерегая от недостаточно глубокого подхода к разрешению этих задач без достаточных общих знаний и опыта, следует все же отбросить существующее представление о том, что данная отрасль инженерного дела является специальностью, покрытой дымкой таинственности и доступной лишь небольшому кругу посвященных. За этим

¹ Литература, касающаяся минеральных источников вообще и их каптажа в частности, рассеяна в различных специальных изданиях. Д-р Кнетт собрал литературные данные, касающиеся этого вопроса, в австрийском бальнеологическом сборнике (140).

нередко скрывается простая шаблонная работа, повторение которой в самых различных условиях исключает необходимую индивидуальность в разрешении возникающих сугубо индивидуальных проблем.

А. Каптаж нисходящих источников

Так как минеральные источники являются в своем большинстве восходящими источниками, то инженеру-источниковеду приходится реже каптировать нисходящий минеральный источник. Каптажи обоих типов источников принципиально совершенно различны; это и является главным основанием для сохранения в силе этого принципиального подразделения.

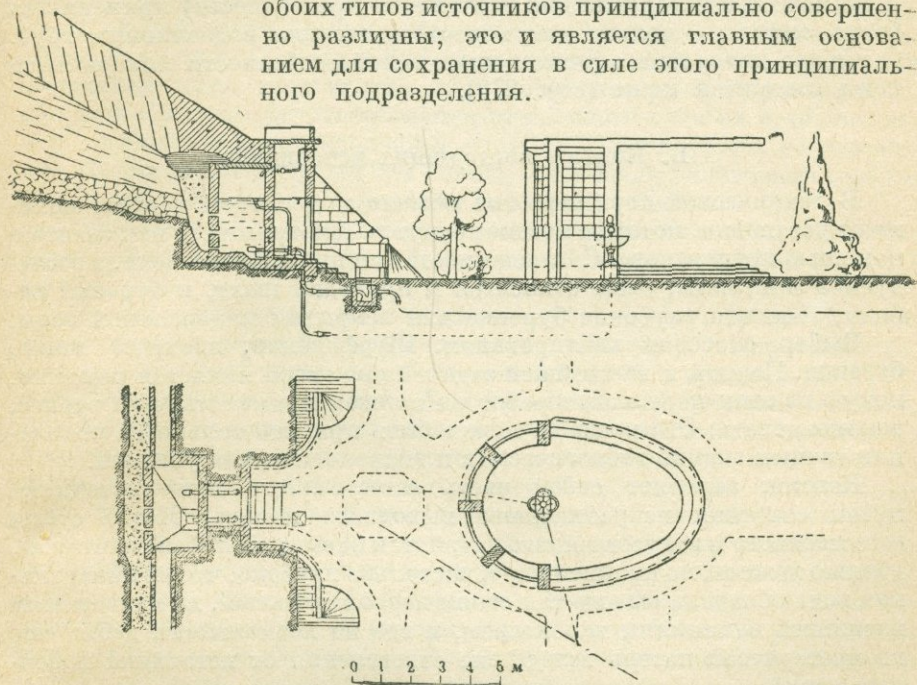


Рис. 246. Каптаж нисходящего минерального источника (по И. Граски)
(J. Hrásky, Balneotechnika, Прага, 1929).

В то время как каптаж восходящего источника является всегда (в зависимости от необходимости пути более короткий или более длинный) продолжением естественного пути источника при возможном избегании нарушения непрерывности давления и течения, каптаж нисходящего источника, за исключением индивидуальных различий, является родом улавливающего сосуда, с наличием или с отсутствием возможности накопления в нем воды, из которого источник стекает под давлением воды в сосуде или в виде перепада.

Минеральная вода может притекать в минеральный источник в форме грунтовой воды, например, некоторые выступающие в виде «нисходящего пластового источника» гипсовые воды, или в виде подземного водотока (нисходящий трещинный источник).

Форма каптажа в принципе ничем не отличается от формы, применяемой при нисходящих пресных источниках. Для того чтобы удовлетворить повышенные гигиенические требования при пластовых источниках, место каптажа по возможности отодвигается дальше назад навстречу потоку минеральной воды, в известных случаях помощью длинных, проходимых по положению пласта, штолен. Поверхностную и пресную воду над каптажем следует в случае надобности отводить помощью глиняных изоляций или дренажей.

В качестве материала для каптажа по преимуществу применяется бетон, металл — только для водоотводных или водосливных труб. О выборе материала с учетом химической особенности минеральной воды говорится ниже (стр. 279).

Б. Каптаж восходящих источников

В технической терминологии обычно под словом каптаж понимают установки, которые позднее будут рассматриваться как «каптаж помощью котлованов». Согласно поставленной сначала цели, преследуемой каптажем, сюда относятся и проходки шахт, и буровые работы, включая глубокое бурение для вскрытия минеральной воды.

Выбор способов каптирования. Шурфование, проходка шахт, бурение. Первой и важнейшей задачей инженера является решение, какую из этих каптажных работ он должен применить, или вернее, рекомендовать. Это решение может быть принято только на основании точных знаний геологических и гидрологических условий.

Каптаж заменяет собой часть естественного пути источника путем создания искусственного выходного канала. Место стыка естественного и искусственного путей, так называемая «база каптажа», должно лежать, по крайней мере, настолько глубоко, чтобы минеральная вода обладала бы еще там своим первоначальным, не измененным внешними влияниями характером, и где по возможности дебит еще не претерпевал потерь вследствие ответвления от источника побочных струй.

Зону, лежащую над базой каптажа, в которой имеется опасность таких влияний, особенно вследствие контакта с пресной грунтовой водой, источник должен протекать в будущем внутри защитной оболочки каптажа.

Во многих случаях на небольшой глубине под отложениями аллювиального характера или какого-либо иного происхождения в толщах горных пород имеется поверхность коренной породы, на которой можно проследить выход ключевой трещины. Если поверхность эта оказывается достаточно прочной, чтобы можно было присоединить к ней корпус каптажа, и водонепроницаемой, так что не приходится опасаться того, что минеральная вода «обойдет» каптаж, то эта горная порода может быть выбрана базой каптажа. В известных случаях рыхлые от выветривания и ставшие проницаемыми слои последней приходится удалять, чтобы создать подходящую поверхность для присоединения каптажа и примыкающего изолирующего

тела. Этот преимущественно горизонтальный способ каптирования со сравнительно небольшим протяжением в глубину носит название каптажа при помощи устройства котлована.

При мощных налегающих породах или если коренная порода разрушена и пронизана трещинами на большую глубину, необходимо прибегать к помощи экономического подсчета и, в зависимости от наличия средств, решать вопрос о том, следует ли все же каптировать источник в котловане, вскрыв всю площадь каптажа, или отдать преимущество устройству каптажного колодца (шахты). При выборе этого способа каптирования обычно пренебрегают большими площадями изоляции. Так как близко расположенные к месту выхода источника пути, по которым происходит потери и инфильтрация, по всей вероятности, отходят от главного пути на незначительной глубине, а более отдаленные — на большей глубине, то каптажная шахта заменяет собой тем большую площадь уплотнения (изоляция), чем глубже она пересекает струю источника.

Бурение обладает преимуществами над каптажными шахтами, но имеет известные недостатки, которые нельзя не принимать во внимание.

Буровая скважина, выводящая с глубины воду, заменяет собой значительную часть естественного пути источника. Сопротивление, оказываемое этой почти прямолинейной трубой с правильным круглым, следовательно, наиболее благоприятным поперечным сечением, с гладкими стенками, является бесконечно малым по сравнению с сопротивлением естественного пути источника с его многочисленными извилинами, изменениями поперечного сечения и шероховатыми стенками. На меньшую потерю напора, обуславливаемую меньшим сопротивлением в буровой скважине, источник реагирует повышенной скоростью течения и, следовательно, повышенным дебитом; с этим повышением дебита в горячих источниках всегда связано повышение температуры. Необходимость в поверхностном уплотнении отпадает, так как благодаря общему снижению напора в ключевом районе уровень воды в некаптированных выходах падает ниже уровня выхода источника. Это обстоятельство может быть весьма желательным при системах источников, сообщающихся через широко разветвленную систему трещин с обширными аллювиальными отложениями, и где основательное уплотнение (изоляция) стоило бы слишком дорого или вообще невозможно.

Этим несомненным преимуществам бурового способа, к сожалению, противопоставляются важные недостатки. Прежде всего, некоторая неизвестность, нечто лотерейное, связанное с решением производить бурение. Программа бурения должна, конечно, базироваться на геологических условиях. С известной уверенностью бурение производится в тех случаях, когда дело касается вскрытия пластов, содержащих минеральную воду (как, например, во многих соляных растворах, содержащих уголекислоту). Немного меньше уверенности в успешности бурения тогда, когда путь источника отыскивается в глубине на трещине сброса, простирание и падение которой прибли-

зительно известны. Тогда имеется уверенность встретить буровой скважиной трещину и можно, кроме того, выбрать место бурения таким образом, чтобы пересечь трещину на приблизительно определенной глубине. Однако подход скважины к струе воды все же зависит от удачи.

Иногда линией источников отмечено только приблизительное направление выхода трещины, а падение должно устанавливаться в известных случаях временной буровой скважиной. Поэтому, если решают производить глубокое бурение, приходится задавать с самого начала несколько (по крайней мере четыре) буровых скважин, рассчитывая в результате на возможную неудачу.

То обстоятельство, что при успешном бурении нередко в результате минеральная вода может отличаться в химико-физическом отношении от каптированных ранее источников, может иногда рассматриваться также как недостаток. Так, например, при горячих источниках, состоящих из нескольких, различно минерализованных составляющих и обнаруживающих при умеренной температуре высокое содержание растворенной углекислоты, вскрытие горячего источника с очень высокой температурой и концентрацией при незначительной абсорбции газа может оказаться нежелательным с точки зрения терапии, рассчитывающей на иной химический характер.

Поэтому, особенно при вскрытии горячих источников, предназначенных для питья и о терапевтическом значении которых имеются обширные сведения, лучше выбирать при сооружении нового каптажа более осторожный способ вскрытия, предохраняющий от неожиданностей.

Если производить бурение в более узкой системе источников, то нужно быть готовым к тому, что успешное глубокое вскрытие может полностью нарушить существующее равновесие в распределении минеральной воды и связанные с ним свойства отдельных источников (температура, химизм, газированность); напор в старых каптажах может настолько понизиться, что эти источники могут совершенно иссякнуть, если заново вскрытому источнику дать возможность изливаться беспрепятственно.

Выбор одного из трех способов каптирования является серьезным решением, и инженер может со спокойной совестью остановиться на том или ином решении только после того, как он основательно взвесит все особые местные условия.

В особых случаях бывает также выгодным комбинированный способ каптирования, например, каптаж в котловане и шахтный каптаж или каптаж в котловане с мелкими буровыми скважинами. Во всяком случае следует совершенно отклонить распространение какого-либо определенного метода на все встречающиеся случаи.

Предварительные изыскания и проекты. Подлежащий каптированию источник находится или в еще нетронutom природном состоянии, или же дело касается нового каптажа источника, старый каптаж которого не выполняет больше своих функций.

При каптаже первого рода нередко геологическая карта окрестностей представляет собой единственную предварительную работу. Однако и при наличии более старых каптажей обычно не имеется ни планов, ни чертежей. Если приходится составлять более подробную геологическую карту, а районы с минеральными источниками побуждают к этому, то результаты каптирования должны быть использованы. Если же геологические данные отсутствуют или недостаточны, то необходимо выяснить геологические условия; при этом инженер не может обойтись без специалиста-геолога. Если даже он и должен дать окончательное заключение о выбираемом методе каптирования и о своеобразности его проведения, то для этого он должен иметь в распоряжении надежные геологические основания.

Геолог должен исследовать геологическое строение местности в общих чертах, а ближайшие окрестности источника изучить детально. Он должен охарактеризовать все встречающиеся горные породы и виды почв. Результаты этой работы он должен занести в детальную геологическую карту с относящимися к ней профилями и описанием. Кроме того, он должен распространять свои исследования и на морфологию местности. Так как восходящие источники выступают обычно в наиболее пониженных местах выхода трещины на поверхность, то мы находим их на дне эрозионных долин, где они могут продолжать существовать и после занесения старой долины и заграждения водотока. Путем отыскания таких оставленных долин и путем вскрытия шахтой точки пересечения их с выходом трещины можно достигнуть значительных результатов.

Если имеющиеся налицо естественные и искусственные вскрытия, руководящие образцы пород и т. п. не дают для изучения толщи горных пород достаточных данных, то следует добыть дальнейший руководящий материал путем проходки разведочных шурфов и скважин. Инженер задает их с согласия геолога таким образом, чтобы одновременно получить данные для выбора метода каптажа, о распространенном протяжении будущего каптажа и площади уплотнения, о размере необходимых земляных работ, о наиболее благоприятных местах расположения скважин при возможных глубоких бурениях и т. п. Эти зондировки должны, кроме того, пролить свет на имеющуюся пресную грунтовую воду или на притекающую в нее из некаптированных выходов минеральную воду (наблюдения над уровнем грунтовых вод, измерения температуры, химические анализы).

Как для всех работ инженера глубокого бурения, так и для работ по каптированию действительно положение, основанное на том, что экономия на изысканиях ведет обычно к горьким последствиям при производстве сооружений, а основательная своевременная и надлежащая разведка дает многократную экономию.

Если на основании предварительных изысканий условия, существующие в толщах горных пород, полностью освещаются, то, учитывая имеющиеся денежные средства, можно выбрать способ каптирования. При обширных работах по каптированию, особенно при каптировании системы источников и большом протяжении района

выхода источников, совершенно необходима точная топографическая съемка, по крайней мере в масштабе 1 : 1000 или, еще лучше, 1 : 500.

На предполагаемые работы составляется письменный проект, снабженный соответствующими картами и планами. Проект этот должен дать владельцу источника приблизительную картину предстоящих работ; кроме того, он служит и

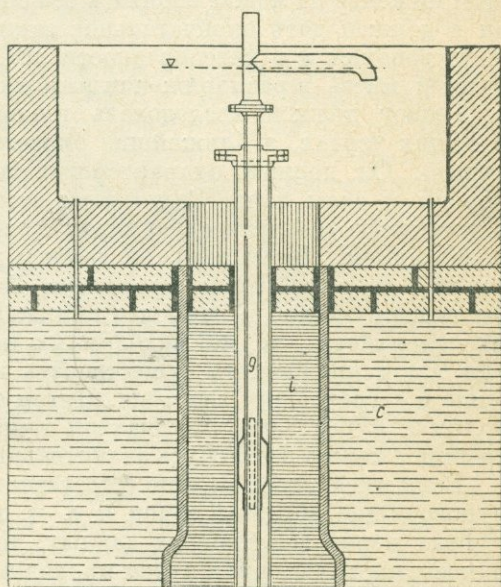
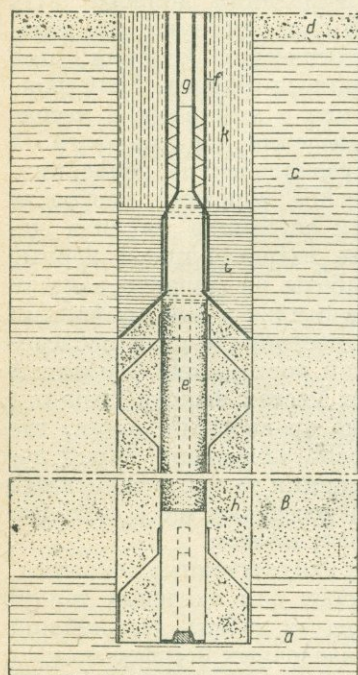


Рис. 247. Каптажная буровая скважина кислого источника, вскрытого бурением в Богемии в 1933 г.

Минеральная вода поступает в буровую скважину на глубине 18 м из мелких кварцевых песков. Опасность заилиния предотвращается фильтром из гравия и фильтром Германа; кроме того, бронзовая восходящая труба может для очистки выниматься *a*, *c* — водонепроницаемый мергель; *b* — водоносный кварцевый песок; *e* — фильтр; *f* — внешние обсадные трубы; *g* — внутренняя восходящая труба, вынимаемая; *h* — фильтрующий гравий; *i* — уплотняющий суглинок; *k* — окаменевший (зацементированный) песок.

для приблизительного подсчета стоимости и для предъявления в надлежащие управления для получения разрешения на производство работ.

Однако не следует забывать того, что этот проект представляет собой лишь более или менее приближенную схему предполагаемых работ; фактическое выполнение должно приспосабливаться к результатам, полученным при вскрытии грунта. Лишь законченные работы по устройству котлована показывают наиболее подходящие места для каптажа и поверхностей, подлежащих уплотнению. При шахтных каптажах можно указать заранее лишь место расположения шахты, размеры ее поперечного сечения, род временного или окон-

чательного крепления; при глубоком бурении — первоначальное место закладки, метод бурения и начальный диаметр.

Проходка и бурение. Каптажи помощью проходки шахт относятся к горным работам. В отношении производства отдельных работ: проходка, временное или окончательное крепление шахты, водоотлив, спуск и подъем, вентиляция и т. п., следует пользоваться соответствующей специальной литературой.

И техника глубокого бурения уже с давних пор завоевала себе отдельную, большую техническую область. Производство глубокого бурения поручается только предприятиям, инженеры которых получили в этой области богатый опыт и знакомы с возможными в процессе этих работ случайностями.

Иногда неглубокое бурение, требующее несравненно меньших расходов, может дать такие же результаты, как и дорогостоящие котлованы и шахты. На рисунке 247 показан процесс каптирования кислого источника в Чехословакии в 1933 г. помощью буровой скважины глубиной в 18 м. Минеральная вода циркулирует в кварцевых песках, проникновение которых в каптаж было предотвращено фильтром Германа. Так как вода выделяет большой осадок, пришлось применить двойную водоподъемную трубу, внутренние трубы которой можно для очистки вынимать. Уплотнение между стенкой буровой скважины и внешним поставом труб было достигнуто песком, который утрамбовывался по способу Иостена (стр. 283).

На рисунке 248 показана (1929) буровая скважина на солянощелочный кислый источник в Чехословакии, периодическое пульсирование которого через продолжительные паузы было преобразовано в непрерывное изливание путем применения соответствующего диаметра трубы и устройства «гидравлического тормоза».

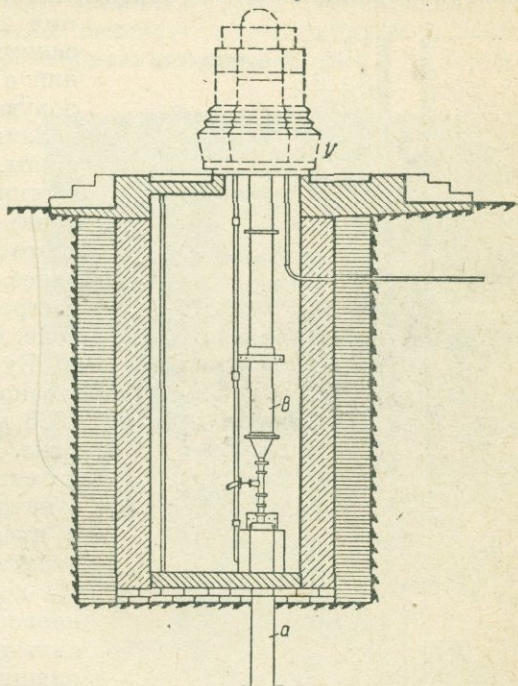


Рис. 248. Газированный источник, вскрытый бурением в Чехословакии в 1930 г.

Арматура обсадных труб. Источник изливался слишком длинными периодами с продолжительными паузами. Благодаря применению наиболее благоприятного диаметра труб буровой скважины и насадке сверху широкой трубы («водяной тормоз») был достигнут равномерный сток.

Буровая скважина II, пройденная глубоким бурением в Бад-Зальцфлене (147), должна была служить резервом к вскрытому бурением в 1905—1906 гг. в раковистом известняке шпруделю Леопольд на случай нарушения эксплуатации. Для того чтобы не нарушить дебита Леопольдского шпруделя, место заложения буровой скважины должно было отстоять от него, по крайней мере, на расстоянии 1 км; в связи с этим и на основании имевшихся тогда сведений о геологических условиях буровую скважину пришлось задать в Зальцетале, выше первой скважины. Но так как раковистый известняк здесь должен был залегать менее глубоко, чем у Леопольдского шпруделя, было решено заранее пройти скважину вплоть до пестрого песчаника, чтобы вскрыть более теплые горизонты.

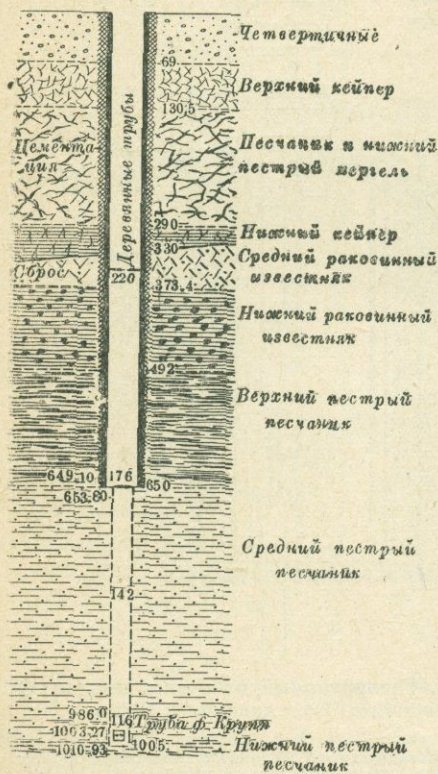


Рис. 249. Разрез по буровой скважине II термального шпруделя в Бад-Зальцфлене (по Мествердту).

бурению. На глубине 803,6 м был вскрыт источник с дебитом в 1000 л/мин. с 3,5% содержанием соли и с температурой в забое в 40° С. Для того чтобы достигнуть еще более высокой температуры, продолжали бурение с диаметром в 91 мм и вскрыли в 1921 г. на глубине 1003—1023 м источники, из которых, после изоляции других горизонтов и окончательного последующего бурения, изливалось 1500 л/мин. воды при температуре у места излива в 37° С.

Более холодные источники раковистого известняка были изолированы путем цементации. Для сохранения тепла вод пестрого песчаника была устроена деревянная трубчатая рубашка длиной в 650 м

Бурение было начато в 1919 г. и закончено в 1927 г. на глубине 1023 м в нижнем пестром песчанике. На рисунке 249 показан разрез скважины. Бурение было начато с начальным диаметром в 675 мм. в пределах кейперского мергеля диаметр был уменьшен до 390 мм. На глубине 370 м, в нижнем раковистом известняке, был вскрыт сильный источник, не удовлетворявший требованиям вследствие своей низкой температуры; чтобы отделить ожидавшиеся в пестром песчанике источники от вскрытого, начиная отсюда бурение продолжается с диаметром в 142 мм, а на глубине 633 м оно сужается до 120 мм. Начиная с глубины в 720 м, пришлось перейти к алмазному бурению.

с внутренним диаметром в 220 мм и внешним в 380 мм, и внешнее промежуточное пространство было зацементировано. Отрезок выше и ниже 1000-метровой глубины был зацементирован перфорированной трубой из нержавеющей стали длиной в 25 м и диаметром 92 мм, изготовленной фирмой Крупша в Эссене. Рассол подводится в настоящее время к ваннам по трубопроводу длиной в 1500 м, изолированному от потери тепла, причем рассол вытекает с температурой в 36° С. Геологические вопросы консультировались проф. А. М е с т в е р д т (Mestwerdt).

Калтажные шурфы. Работы по вскрытию начинаются лучше всего у самого источника, если тому не препятствуют особые причины. Следовательно, они требуют тотчас водоотлива, соответствующего притоку.

Трудности, которые могли быть прежде связаны с водоотливом, в настоящее время отпадают, так как инженер располагает не только насосами для различного назначения и различной мощности, но почти везде имеется и ток высокого напряжения для питания моторов. В тех случаях, когда он все же отсутствует, прекрасной заменой его служат современные двигатели внутреннего сгорания.

Наилучшие результаты достигаются водоструйными насосами (эжектор), непрерывным условием для которых является наличие достаточно производительного напорного трубопровода. Они очень надежны в работе и почти не требуют ухода. Они могут легко перемещаться с места на место; кроме того, при достаточной мощности напорного трубопровода можно присоединять сравнительно много трубопроводов, что очень облегчает проведение работ по цементации.

Для водоотлива необходимо всегда иметь хотя бы небольшой запас насосов и двигателей, благодаря чему затопление котлована во время ведения работ, вследствие каких-либо причин, полностью исключается. Если работы ведутся при помощи электрической энергии, то в качестве резервного привода применяются двигатели внутреннего сгорания, чтобы обеспечить себя от последствий выключе-



Рис. 250. II термальный шпрудель в Бад-Зальцфлене, вскрытый бурением 28/II 1927 г. (по Мествердту).

чения тока. Неисправность в водоотливе может поставить под угрозу успешность всей работы. На случай осушения небольших котлованов необходимо располагать переносными, ручными насосами.

Задачей работ по вскрытию является обнажение поверхности, выбранной в качестве основания для каптажа и площади цементации. Если место производства работ загорожено отдельными постройками (домá), то можно последние, при более широком объеме работ, «подхватывать» и ставить на подведенные фундаменты, не препятствуя

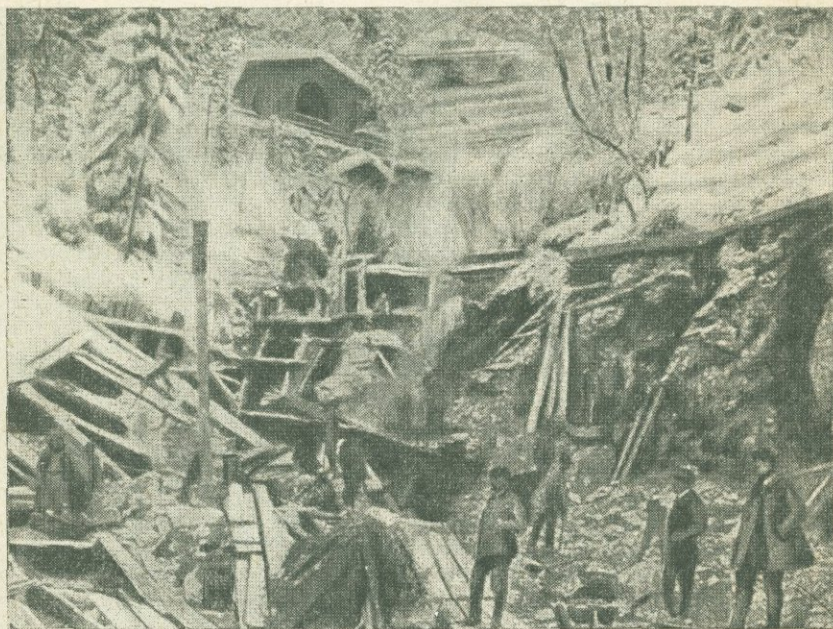


Рис. 251. Каптаж Рейссахского источника в Бад-Гастейне. Пример вскрытия источника.

щие работам под ними. Но так как это обусловило бы в густо населенных местностях слишком большие расходы, то в таких случаях приходится отказываться от непосредственной цементации. В подобных случаях можно прибегать к попытке закрыть некаптированные выходы источников путем регулирования (повышения) уровня стояния грунтовых вод.

Поверхность горных пород, выбранная в качестве основания для каптажа, в большинстве случаев непригодна для непосредственного наложения цементирующего материала; рыхлые валунные слои по возможности удаляют и пытаются создать здоровую поверхность примыкания. Однако нет абсолютно необходимости устраивать ее горизонтальной; напротив того, неровная поверхность горных пород обеспечивает лучшее примыкание цементирующего слоя.

Постепенное углубление подошвы часто способствует смещению отдельных выходов источников и изменению их дебита, температуры и концентрации. Кроме того, нередко с глубиной уменьшается и их число. Для суждения о взаимной связи весьма целесообразно наблюдать за этими ступенчатыми изменениями.

Расмотрение притоков минеральной воды. Видимые на подошве вскрытого участка выходы трещин и щелей, а также выходы воды замеряются и наносятся на план (по крайней мере 1 : 100). Затем

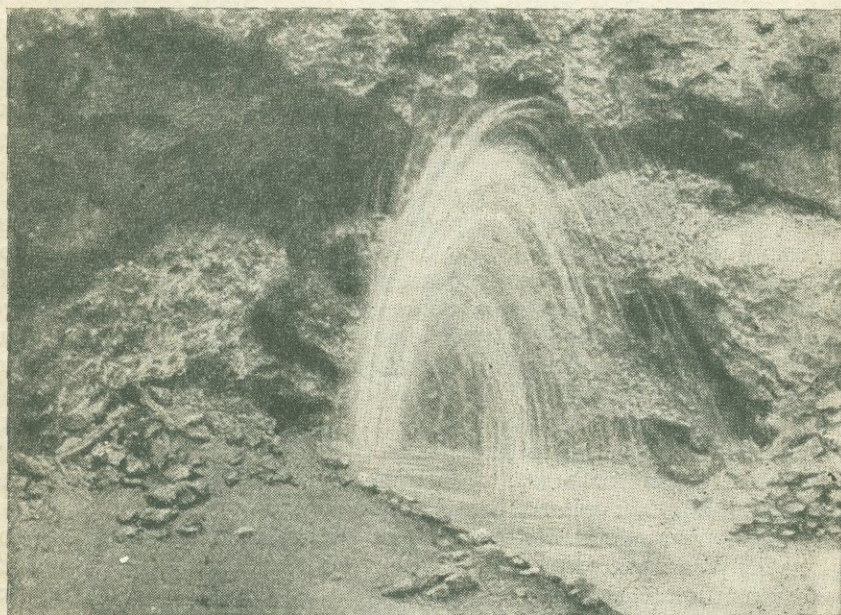


Рис. 252. Елизаветинский источник в Бад-Дорзеу (Румыния) после окончания работ по вскрытию.

стремятся группировать отдельные выходы воды по температуре, концентрации и возможной связи и разделяют отдельные группы небольшими плотинами из суглинка с перепадами для дальнейших наблюдений. Прежде всего отделяют выходы пресной воды от минеральной.

Вследствие созданной в системе источников депрессии, благодаря вскрытию и водоотливу, минеральная вода противопоставляет пресной воде в местах соприкосновения сниженное давление. Это обстоятельство проявляется в увеличении дебита и уменьшении концентрации, в горячих источниках — в снижении температуры, т. е. в изменениях, постепенно снова исчезающих при позднейшем подпруживании. Путем попеременного подпруживания отдельных групп выходов, производя одновременно наблюдения над другими, можно

установить дальнейшую связь и уменьшить число независимых друг от друга или обладающих небольшой лишь связью групп. В результате все находящиеся во взаимной связи и соответствующие по химическим и физическим свойствам выходы объединяются одним каптажем.

В особенности следует стремиться к тому, чтобы объединять лишь ключевые жилы, обладающие одинаковым пьезометрическим уровнем, в противном случае существовала бы опасность при повышении подпруживания источника превысить пьезометрический уровень одной из составляющих; другими словами — достигнуть такого предела, в котором дебит источника будет отрицательным, где, следовательно, источник не только не изливает воду, но поглощает воду другой составляющей. Эта опасность угрожает в особенности у выходов, обладающих тем же химическим характером, что и другие выходы, но в сильном разжижении, и слагающихся, следовательно, из слабого минерального и обильного пресного потока, обладающего обычно более низким пьезометрическим уровнем. Этот случай схематически изображен на рисунке 253. Выход Q_1 изливает концентрированную минеральную воду с пьезометрическим уровнем PNm . На подошве каптажа он изливает количество E_1 . Выход Q_2 составляется из слабого притока минеральной воды M и пресной W ; первый обладает, конечно, тем же пьезометрическим уровнем, что Q_1 , но W обладает меньшей максимальной высотой напора PNw . На подошве каптажа Q_2 обладает дебитом $E_2 = m + w$. Линии дебита приняты в виде парабол. Если подпрудить источники Q_1 и Q_2 вместе до высоты N' , то Q_1 изливает количество E'_1 , у Q_2 преобладает потеря, он поглощает количество E'_2 , так что в общем дебит составляет количество воды e , а у N_0 — пьезометрического уровня объединенных выходов — общий дебит равнялся бы нулю. По этой причине важно разделение на группы по концентрации. Если позднее при опытах с подпруживанием получается достаточный положительный дебит, то, когда равнодействующая концентрация соответствует бальнеологическим требованиям, можно дебиты перед истоком отвести в один общий амортизатор.

Не следует увлекаться каптированием отдельных составляющих, — автор видел каптажную камеру, напоминающую многочисленными слабыми подводными трубками телефонную центральную, — но нельзя также впасть в противоположную (худшую) крайность; и здесь средний путь является наилучшим.

Каптаж. Если подразделение по группам в одном каптаже сделано, то рекомендуется подошву каждой группы еще углублять отдельно с падением в сторону главной жилы, где монтируется всасывающая труба водоотлива (эжектор). Если приходится иметь дело с очень газообильным источником и если пути источника имеют настолько большое поперечное сечение (редко), что они, видимо, способствуют опережению газовых пузырьков (стр. 218), то всякое углубление основания каптажа обуславливает увеличенный напор или, вернее, дебит будущего каптажа; в таких случаях рекомен-

дуются проходить навстречу потоку каптажную шахту. Судить в этом смысле о поперечном сечении жилы по внешнему виду можно только на основании опыта. Непременным условием для успешного подобного углубления основания каптажа является, конечно, установление и применение наиболее выгодного сечения (стр. 219) для восстающего выходного канала каптажа.

Каптаж состоит, по существу, из четырех частей:

- 1) корпуса каптажа;
- 2) восстающего трубопровода каптажа;
- 3) устья источника со всей относящейся к нему аппаратурой;
- 4) уплотняющих, цементирующих, изолирующих устройств.

Пространство, окружающее корпус каптажа, осуществляет собой переход воды из естественного пути источника в трубопровод.

Если дело касается только одного выхода источника или нескольких расположенных рядом на устье какой-либо трещины и настолько хорошо сообщающихся друг с другом выходов, что может быть устроен один общий каптаж, то устраивают трубчатый каптаж, т. е. в устье источника вставляют трубу соответствующего размера (через эту трубу должна проходить всасывающая труба водоотлива, не соприкасаясь с ней) и окружают

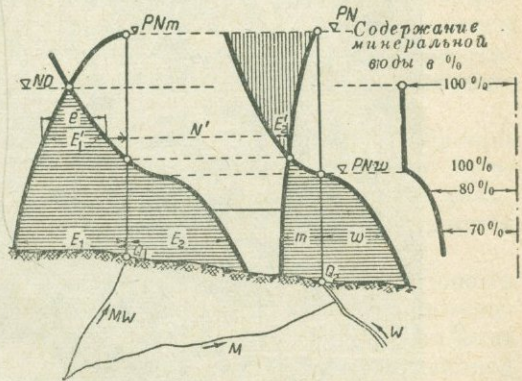


Рис. 253. Сопряжение источников с различными напорами и концентрацией.

слоем жирного бетона или клинкерной кирпичной кладкой на цементе. Если труба вставляется в каменную плиту, снабженную отверстием с примыкающим уплотнением (как сказано выше), то такое устройство представляет собой принципиальную схему наиболее древних каптажей. Этой схемы придерживались, например, в Карлбаде в прежнее время при старых каптажах шпруделя и других горячих источников (рис. 254).

Если дело касается объединенного каптажа какой-либо группы выходов источников, то охватываемое корпусом каптажа пространство должно, с одной стороны, распространяться над рассеянными на основании каптажа выходами источников, а с другой стороны, оно должно, постепенно суживаясь, подводить их воду к восходящему трубопроводу. Отсюда возникли воронкообразные, колоколообразные, ящичные и бутылкообразные корпуса каптажей, происхождение которых также берет свое начало в глубокой древности. Каптажи, осуществляемые при помощи плиты, снабженной отверстием, также использовались для этой цели, причем в основании каптажа создавалось пустое пространство и перекрывалось каменной плитой.

Исключительно ради исторического интереса, который представляют собой колодезные каптажи, в узком смысле этого слова, мы здесь о них упоминаем. Эти каптажи представляют собой обыкновенную форму колодцев для пресной воды и в прежнее время часто применялись и для каптажа минеральных источников. В них отсутствует перекрытие, а пространство, заключенное в корпусе каптажа в форме цилиндра, достигает поверхности земли. Медленное возобновление их содержимого кроет в себе опасность химического изменения минеральной воды (дегазирование, выпадение железа); если

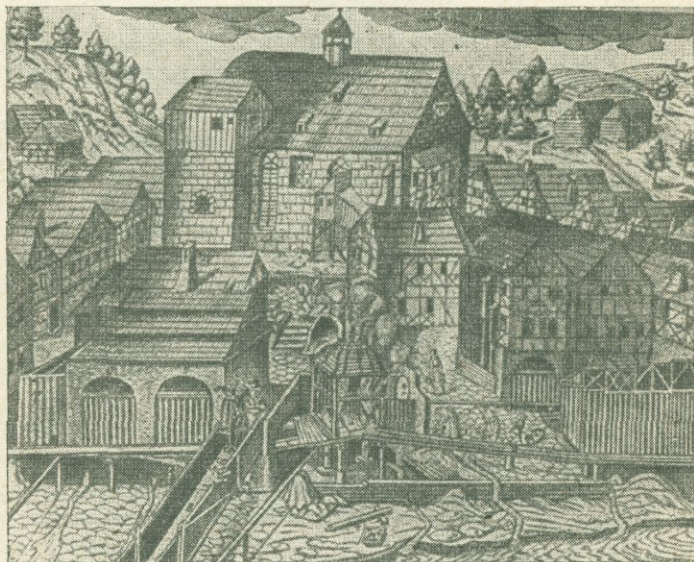


Рис. 254. Карлсбадский шпрудель в 1600 г. На рисунке показан старый каптаж.

На переднем плане лежит камень, снабженный отверстием, и деревянная восходящая труба (из журнала *Balneologie et Balneotherapie*, том III, 1922).

они использовались одновременно и в качестве хранилища минеральной воды, что бывало нередко, то источник испытывал при опораживании и повторном наполнении постоянное изменение напряжения со всеми вытекающими отсюда вредными последствиями. Хуже всего они отражались на газированных источниках; широкая шахта колодца способствует опережению газа; свойство последнего уменьшать вес воды вследствие этого отпадало, и содержимое колодца всем весом ложилось на выступающий источник. Теми же недостатками страдают и расширенные каптажи горячих источников для ванн, охотно применяемые еще до сих пор в некоторых странах.

Однако само пустое пространство воронок и колоколов действует при газированных источниках в этом смысле как вредное простран-

ство и должно поэтому быть по возможности меньшим. Колоколообразная форма каптажей вообще не должна применяться, вследствие ее ненужно больших размеров, даже независимо от того, что в некоторых случаях такого рода колоколообразные каптажи возводились над одним единственным устьем ключевой струи в полном пренебрежении той целью, которая преследуется корпусом каптажа; если необходим суживающийся корпус, то следует применять воронкообразную форму; под этой формой следует подразумевать не обязательно круглый конус, но коническую поверхность с определенным положением каптируемых им струй, в известных случаях с совершенно неправильной направляющей и прямой образующей. Однако переход к восходящему трубопроводу не должен осуществляться под острым углом, а обязательно в виде плавного закругления. Для того, чтобы избежать какого бы то ни было вредного пространства, конусу придают по возможности плоскую форму; наклон образующих в 1 : 10 вполне достаточен. Неверно утверждение, что такие плоские воронки при газированных источниках вызывают нарушения истечения.

Для того, чтобы еще уменьшить вредное пространство воронок и воспрепятствовать в газированных источниках опережению газа, пустое пространство воронки заполняется каменной мелочью величиной с горох или лесной орех. Для этой цели лучше всего подходит кварц или какой-либо другой индифферентный материал.

Воронки делаются гончарными или металлическими из одного куска или — при более значительных размерах площади поверхности их кожуха — из бетона, клинкера или цементных плит или плит из литого асфальта (при холодных источниках) и т. п. Можно, наконец воронку устроить и в виде небольшого центрального конуса и лучеобразных дренажей. Однако эти подводящие дренажи должны на всем своем протяжении иметь хотя бы небольшой подъем к центру.

Выбор материала для корпуса каптажа и восходящего трубопровода определяется химическим характером минеральной воды; с точки зрения гигиены и срока службы каптажа нельзя применять материал, который поддавался бы разрушающему действию воды или газа. Особой осторожности в этом отношении требуют серные источники. Абсолютно индифферентными являются фарфор и глазированные гончарные изделия. Применение их наталкивается лишь на трудности создать плотное соединение на месте стыков, особенно при горячих источниках. При холодных источниках прекрасные результаты дает литой асфальт. Поэтому для воронок и восходящих трубопроводов горячих источников охотно применяют металл. Если приходится соблюдать экономию, то во многих случаях, особенно для источников, служащих для ванн, можно применять чугун. Если первоначальная поверхность чугуна не повреждена последующей обработкой, то чугун обладает, например, в отношении углекислой минеральной воды, необходимой стойкостью. Чугунные каптажные трубы Карлсбадского шпруделя хорошо прослужили полвека.

При агрессивных водах и в особенности для питьевых источников особенно прочным оказалось олово без примеси свинца. Однако

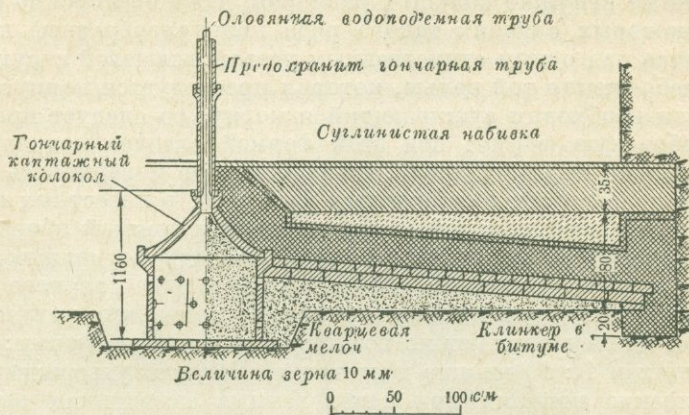


Рис. 255. Каптаж газированного минерального источника в Константинбаде, в Богемии, в 1935 г.

помимо своей высокой стоимости оно обладает тем недостатком, что при более высокой температуре становится текучим. Свободно

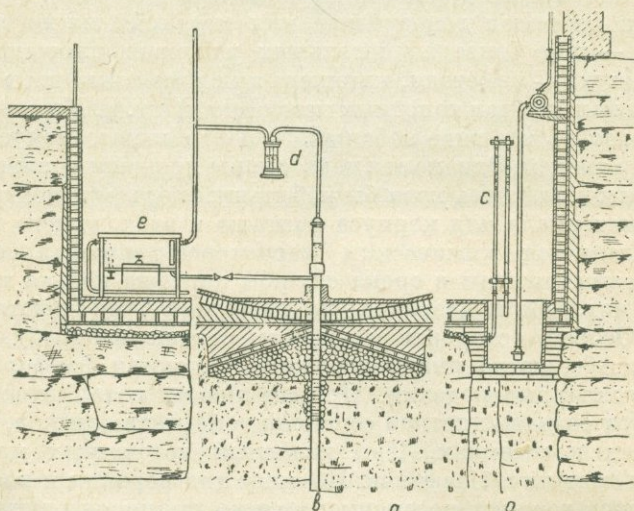


Рис. 256. Каптаж газированного источника в Богемии.

a — материнская горная порода источника (гранит); *b* — буровая скважина; *c* — устройство для регулирования уровня стояния пресной грунтовой воды; *d* — сифон для спокойного выделения газа; *e* — стол для наполнения бутылок.

несущие части со временем прогибаются под действием собственного веса. Оловянные водопроводы для подачи термальной воды должны

поэтому по всей своей длине подпираться. Примесь свинца в олове исключается не только по гигиеническим соображениям: такое олово обладает также и меньшей сопротивляемостью.

Во многих минеральных водах хорошие результаты дала фосфористая бронза. Медь, оцинкованная горячим способом, особенно пригодна для извилистых трубопроводов благодаря тому, что ей легко можно придавать различную форму. Лучше всего выбирать материал для трубопроводов на основании опытных данных. Источники, выделяющие осадки, очень быстро затягивают свежие поверхности пустых пространств каптажа защитным слоем, благодаря чему стенки каптажа больше не омываются минеральной водой. Это свойство является по сравнению со многими недостатками выделения осадка — преимуществом, значение которого нельзя недооценивать.

В качестве материала для уплотнительного слоя, сооружаемого у самого каптажа и вокруг него, применяют следующие: песчаный бетон, хорошо обожженный кирпич или плиты из цементного раствора или с асфальтовой заливкой трамбованную глину или суглинок. Заделанные в каменную кладку металлические листы иногда, правда, применялись для уплотнения больших площадей, но вопрос о том, оправдывают ли они себя, остается открытым.

По мнению автора, бетон, уложенный на неподатливом и способном к схватыванию грунте, является во всех случаях лучшим материалом для копуса каптажа и уплотнительного слоя. Песчаный бетон применяется в смеси от 1 : 2 до 1 : 4, в зависимости от напора воды и толщины бетонного слоя. Цементный раствор без примеси песка дает трещины усыхания и непригоден для уплотнения. Всегда лучше покрывать слой тощего и не водонепроницаемого бетона тщательно приготовленным слоем, служащим для уплотнения, толщиной всего в несколько сантиметров. Этому способу всегда следует отдавать предпочтение перед сооружением толстых слоев бетона со средним содержанием в нем цемента. Песчаный бетон не является сам по себе ни водонепроницаемым, ни стойким в отношении химических влияний, как, например, углекислых вод. Он приобретает эти свойства лишь благодаря известным добавлениям. В качестве последних рекомендуется целый ряд материалов. Автор достиг на практике вполне удовлетворительных результатов при добавлении церезита, трикозала и сика. (О добавлениях для быстрого схватывания цемента в особых случаях см. стр. 284).

Некоторые специалисты предпочитают применение глины и суглинка для уплотнения, а при сильно углекислых минеральных водах отдают им предпочтение перед бетоном. На податливом мягком основании, с которым бетон не может схватываться, наилучшие результаты достигаются суглинистой набивкой; на твердых поверхностях автор всегда отдает предпочтение водонепроницаемому бетону. При больших площадях, подлежащих уплотнению, известную роль играет, конечно, цена. Следует применять только жирную глину с не слишком большим содержанием песка. Утрамбовка хорошо обожженного кирпича в слой глины улучшает качество последнего

и уменьшает образование трещин. Суглинок применяется весьма успешно для утяжеления бетонного слоя и заполнения. Заполнение пустых пространств жидкой намытой глиной не ведет к цели, так как глина при этом очень медленно осаждается и большие пространства остаются незаполненными. Бетонные слои поверх набивного слоя суглинка, каковые автор встретил в одном каптаже, являются бессмыслицей. В практике глубокого бурения глина находит себе широкое применение в качестве изолирующего материала. Наконец, глина хорошо используется для временной изоляции выходов источников для измерения, взятия проб и т. п.

Во время производства бетонных частей и частей из кирпичной кладки каптажа, а также суглинистых уплотнений, зеркало источника должно, как правило, поддерживаться ниже уровня основания каптажа и зоны уплотнения до тех пор, пока цемент не схватится и достаточно не затвердеет. Если происходит затопление котлована во время этих работ, то результат может подвергнуться серьезной опасности, так как минеральная вода или газ отделяют наполовину затвердевший бетон от основания. Кроме того, многие минеральные воды препятствуют схватыванию и затвердеванию цемента. Поэтому исправно работающая откачка является главным условием успешного ведения работ.

Там, где места каптажа образуют одновременно насосные колодцы, насосные всасывающие трубы проводятся через присоединительные трубопроводные патрубки каптажных воронок; они должны быть хорошо укреплены в двух местах и не должны соприкасаться с воронкой; в противном случае их вибрация мешала бы плотному примыканию бетона к воронке. В насосных колодцах, не являющихся каптажными, делают простые трубчатые каптажи, которые позднее закрываются; для этой цели наиболее пригодны широкие чугунные фланцевые трубы.

Подобные трубчатые каптажи закладываются и во всех местах вскрытия пресной воды; при последующих опытах с запруживанием устанавливается, должны ли последние закрываться, или, быть может, лучше длительно спускать воду.

У газированных источников отдельные сухие выходы газа каптируются при помощи труб, впоследствии закрываемых. Такие выходы часто могут быть обнаружены только путем покрытия уплотняющего основания тонким слоем воды.

При очень большом числе расположенных по соседству выходов газа можно сначала путем набивки очень быстро схватывающегося цементного раствора уменьшить их число. Для этой цели выходы газа предварительно выбуриваются в форме ласточкиного хвоста. Если такие истечения газа пропускаются незамеченными, то позднее они могут создать в схватывающемся бетоне выходные каналы, которые должны после затвердевания бетона закрываться таким же образом.

Очень быстро схватывающийся цемент получают путем добавления калийного жидкого стекла к приготовленной для раствора

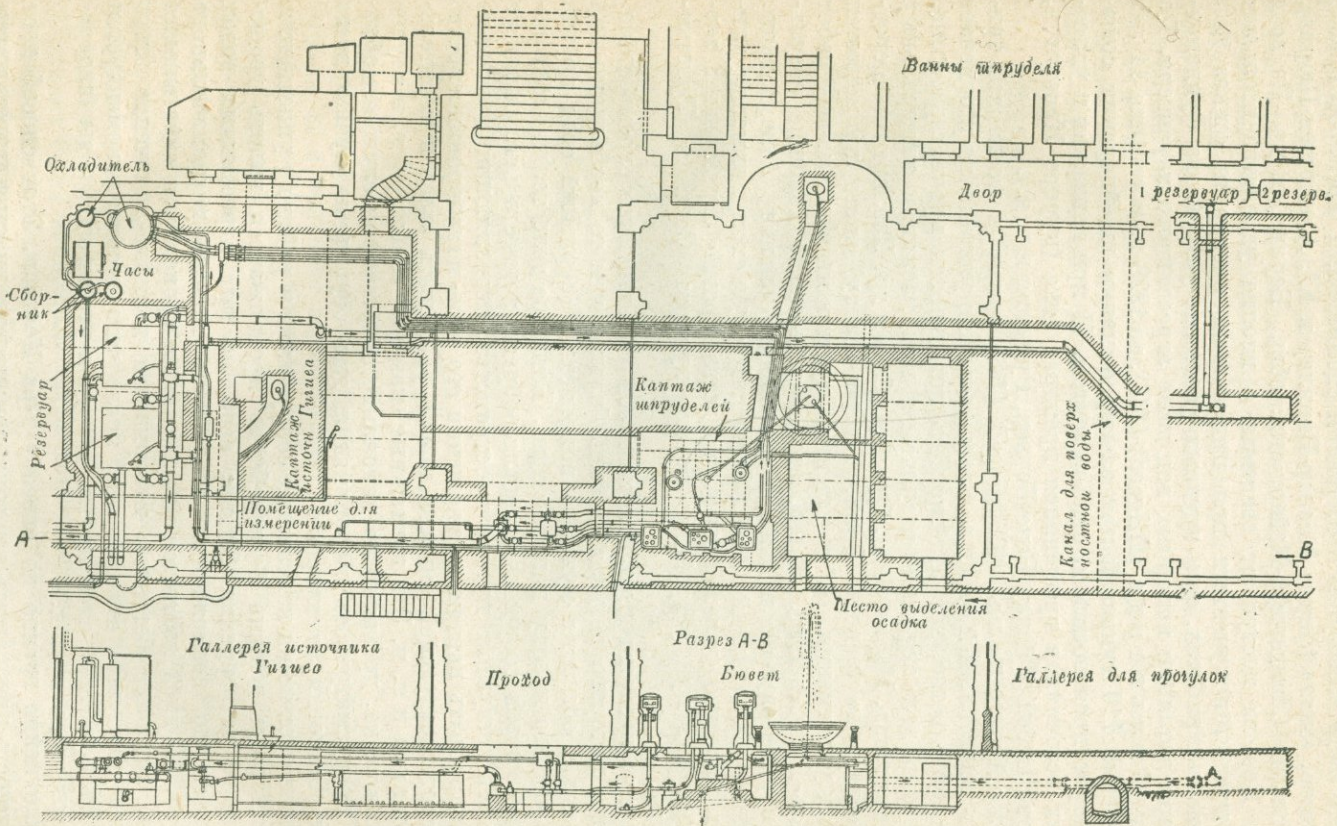


Рис 257. Внутренность каптажного сооружения Карлсбадского шпуделя.

цемента воде или путем применения специальных препаратов, как, например, «сика» (фирма Каспар-Винклер и К^о, Алштеттен-Цюрих), «трикозаль» (Ландсгофф-Мейер, акц. общ., Берлин) и др. Из всех стран Европы поступают сведения о вполне удовлетворительных результатах, полученных при применении препарата «сика» при туннельных работах, при трудных условиях устройства фундаментов, при изоляции напорных вод даже агрессивного характера. По данным Гильгарда (Hilgard) (148), до 1928 г. в течение 11 лет уплотнение 110 туннелей при электрификации швейцарских союзных дорог производилось сика-цементом. И при каптажах и уплотнениях источников применялся препарат сика (курорт Киссинген, курорт Штебен, Фёзлау Беле Борзек, Румыния и т. д.).

Клейнлогель (Kleinlogel) (149) видит в препарате трикозаль решительный сдвиг в области техники уплотнения и отмечает то обстоятельство, что эта примесь повышает и прочность бетона. Трикозаль дал хорошие результаты при изоляции минеральных вод Карлсбада, Мариенбада, Франценсбада и др. Изоляционное средство «алитоль» (заводы Эрка, Теплиц-Шенау) часто применяется в целях уплотнения. По сообщениям предприятия подземных работ Питтель-Браузеветтер, Прага, это средство дало хорошие результаты в ряде случаев и даже в отношении большого напора воды. Архитектор Сцалатнай (Arch. Szalatnai) с успехом применял алитоль в качестве уплотняющего средства против агрессивных термальных вод при устройстве нового курорта Сина в Третчин-Теплице.

Корпус каптажа и уплотненная зона защищаются слоем бетона, толщина которого не должна быть больше, чем то необходимо для нагрузки и создания нужного напряжения (обратный свод против действующего кверху напора воды). Бетонное тело толщиной в несколько метров сооружать нецелесообразно; вместо него выгоднее создавать доступные пустые пространства, позволяющие длительно контролировать каптаж в отношении его водо- и газопроницаемости. При соответствующей емкости можно размещать здесь измерительные станции и т. п. Эти каптажные «камеры» снабжаются, в случае наличия стока, дренажными каналами; в противном случае необходимо предусматривать мероприятия для осушения (лучше всего путем установки эжекторов).

После окончания каптажных сооружений и работ по уплотнению откачка воды должна бесперебойно продолжаться вплоть до достаточного затвердения бетона; особенно при агрессивных водах стараются по возможности отодвинуть момент первоначального подпора. 10 дней являются минимальным сроком для схватывания бетона. Внешние бетонные поверхности должны в течение этого времени постоянно смачиваться, после чего весьма рекомендуется наносить защитный слой против действия углекислой воды (зидерстен, инерталь и т. п.).

Уплотнение грунта по способу д-ра Иостена. Этот способ дает возможность превращать в водонепроницаемые участки грунта путем

инъекции в водонепроницаемые грунты, причем и в отношении агрессивных минеральных вод способ этот действителен. Силикатизация основана на выделении коллоидальной кремневой кислоты вследствие химического превращения.

Этот способ многократно применялся при изоляции минеральных вод; сведения о достигнутых при этом результатах весьма благоприятны.

Сведения о применении этого способа при ликвидации одного прорыва минеральной воды на курорте Франценсбад в Чехословакии были опубликованы городским самоуправлением. После окончания

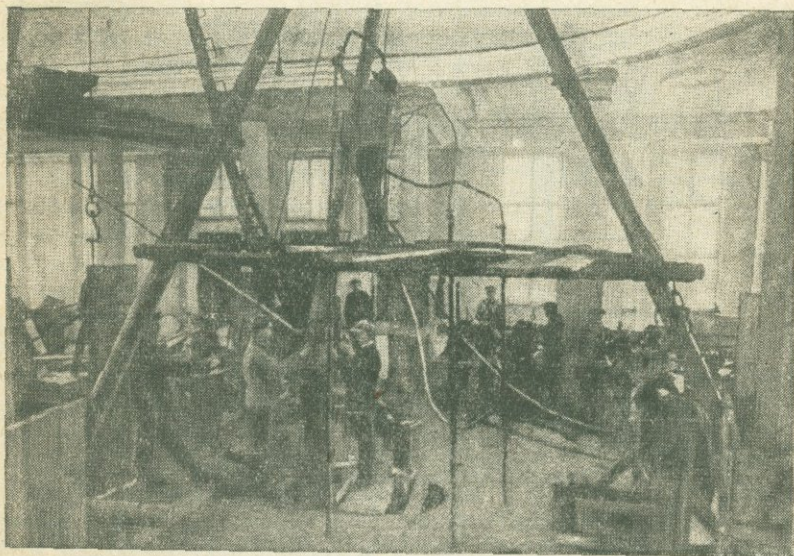


Рис. 258. Способ силикатизации д-ра Иостена. Работы по силикатизации под новой галлерей источника в Франценсбаде.

отстройки новой галлерей источника вчерне, в июле 1929 г. обнаружился сильный прорыв воды у наружных стен. Прорвалась минеральная вода с большим содержанием углекислоты, подобная воде во вскрытых в течение последних 10 лет бьющих источниках. Исследования показали, что это была минеральная вода, вытекающая из разрушенной ею буровой скважины глубиной 11,8—19,3 м. Разведочными буровыми скважинами тут же были обнаружены большие пустые пространства в пласте лигнитового угля. На глубине 24,55—29,30 м был силикатизирован слой песка, а на глубине между 6,60—10,60 м — второй. Во время затвердевания минеральная вода была отведена из лигнитовоугольного пласта через отводную скважину. Пустоты были заполнены путем инъекции цемента, смешанного для утяжеления с порошком молотого тяжелого шпата, и затем засиликатизированы по способу д-ра Иостена. Сток воды стал скоро умень-

шаться и затем полностью прекратился. Таким путем была устранена опасность, угрожавшая как источникам, так и зданию (150).

Окончательный подпор источников. Принципиально всякое более значительное повышение напора минерального источника должно производиться постепенно, ступенчато. Если хотят на отдельных ступенях проследить за влиянием повышения уровня стока на дебит, температуру и качество воды, то следует на каждой ступени выждать наступления состояния равновесия в отношении этих свойств. Насту-

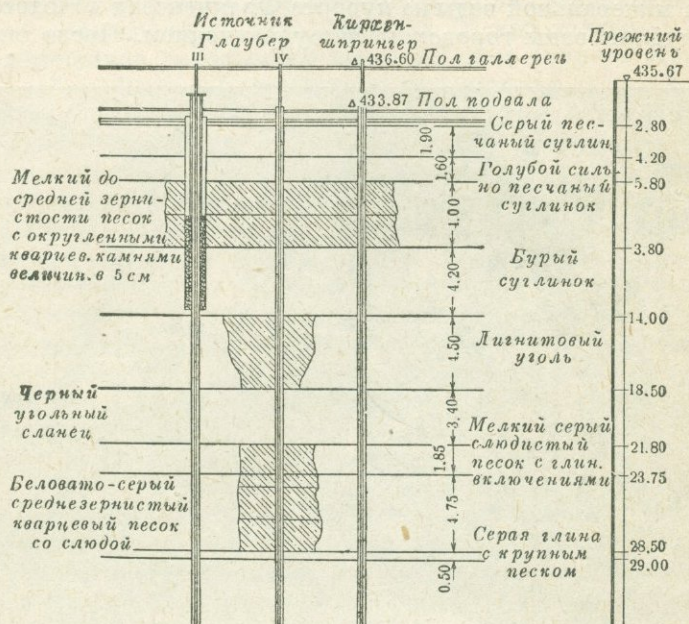


Рис. 259. Геологический разрез по буровой скважине в Франсбаде с показанием слоев, силикатизированных по методу Иостена.

пившее состояние равновесия обнаруживается наблюдениями по исчезновению тенденции к изменениям и по наступлению \pm колебаний. Определение наиболее выгодного подпора источника при соблюдении этих правил требует много времени. Это обстоятельство является причиной того, что этой важной части каптажных работ часто не уделяется достаточного внимания. Если для основательного проведения опытов с подпруживанием не хватает времени, то источнику следовало бы сначала давать временный сток и использовать следующий сезонный перерыв для установления наиболее благоприятной высоты подпора источника.

Допустим, что источник имеет вообще постоянную высоту напора. Режим источника, при котором уровень его временно, в целях получения большего дебита, понижается или во время сезонного перерыва

подпирается на большую высоту, вследствие чего состояние равновесия источника нарушается, вряд ли может считаться рациональным, особенно если дело идет о питьевых источниках. При минеральных водах, служащих по преимуществу для ванн, для которых небольшие колебания в качестве не играют никакой роли и каштаж которых не вызывает опасений в отношении серьезных повреждений механизма источника, — вскрытие глубоким бурением может оправдать изменения подпора.

Имеющийся запас высоты для выбора уровня стока ограничен следующими крайними пределами: с одной стороны, самой низкой точкой стока и уклона, обеспечивающего самотек, и с другой стороны — теоретически — пьезометрическим уровнем, т. е. высотой напора, при котором дебит равен нулю.

Если не приходится считаться с сообщающимися источниками, на выбор высоты подпора влияют главным образом два обстоятельства: для достижения возможно большего дебита следовало бы уровень поддерживать возможно низко. Однако, чем ниже уровень стока, тем больше опасность, что у возможных мест соприкосновения с пресной грунтовой водой напор последней превысит, и притекающая грунтовая вода окажет вредное действие на качество минеральной воды, а в горячих источниках — на ее температуру.

В таком случае постепенный подпор, осуществляемый указанным выше образом, даст тот наиболее благоприятный уровень, при котором при безукоризненном качестве изливается максимально возможное количество воды. На рисунке 260 приведен случай, когда восходящий минеральный источник сообщается через боковую трещину с пресной грунтовой водой. Высотное положение соединительной трещины или, вернее, ее устья принципиально не имеет значения; решающим моментом является относительное высотное положение зеркала грунтовых вод по отношению к высоте подпора источника. Если бы боковой трещины не существовало, то источник с кривой дебита $V - Z - PN$ обладал бы пьезометрическим уровнем PN . До тех пор пока напор источника будет поддерживаться на высоте, превышающей зеркало грунтовых вод, в соединительной трещине господствует падение напора в сторону грунтовых вод, и источник терпит потерю, возрастающую с высотой напора. Потеря в качестве функции высоты напора представлена параболой $O - V$ при условии, что в самом бассейне грунтовых вод, вследствие притока в него минеральной воды, не будут вызваны достойные внимания изменения давления, что, следовательно, по преимуществу можно принимать в расчет течение в каналах. В противном случае кривая могла бы быть и более

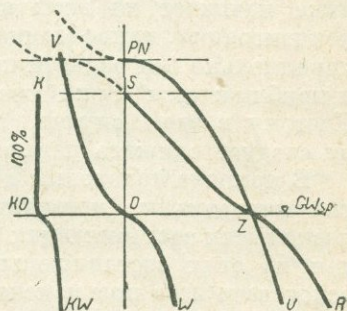


Рис. 260. Дебит и концентрация в зависимости от высоты напора при сообщении с пресной грунтовой водой.

вытянутой; это не внесло бы существенного изменения в чертеж, изображающий лишь принцип. Если вычтеть соответствующие абсциссы кривой $O—V$ в качестве потерь из кривой дебита $PN—Z$, то возникнет фактическая функция дебита $Z—S$ с пьезометрическим уровнем в точке S . С понижением высоты напора источника потери непрерывно уменьшаются, поэтому увеличение дебита относительно больше, чем при отсутствии боковых выходов; потеря на уровне зеркала грунтовых вод равна нулю и становится ниже последнего отрицательной, т. е. грунтовая вода поступает в минеральный источник соответственно превышению зеркала пресной воды. Абсциссы ветви кривой $O—W$ следует теперь прибавить к абсциссам кривой источника. Концентрация минерального источника начинает на этой высоте постепенно уменьшаться; кривая концентрации, направленная в пределах $S—O$, как прямая $K—KO$, параллельно оси области питания $S—O$, имеет на уровне O перегиб и приближается ниже последнего выпуклым закруглением к оси. Поэтому в этом случае, при отсутствии к тому веских причин, не следует снижать напор ниже уровня O .

В природе положение дела нередко бывает еще запутаннее. Многие минеральные источники состоят первоначально из двух или нескольких составляющих различного химического характера. Каждая из этих составляющих обладает собственной кривой дебита, вследствие чего при изменениях высоты напора соотношение смеси может измениться. В таком случае при выборе высоты напора необходимо считаться и с терапией (см. пример Мариенбад, стр. 260).

Для экспериментального подпруживания пользуются временными восходящими трубами с лестницеобразно расположенными патрубками, постепенно закрываемыми в направлении снизу вверх. У газированных источников следует одновременно с опытами на подпруживание устанавливать и оптимальное поперечное сечение (стр. 219).

Если в связи с положением отдельных выходов источников или разницей в концентрации и т. п. решено заложить несколько каптажей, то подпруживание в последних должно производиться одновременно; это относится также и к случайно каптированным одновременно выходам пресной воды. При этом каптажи подвергаются одновременному, параллельному и одинаковому ступенчатому подъему с одновременным наблюдением за распределением дебита и концентрации. Если получена ясная картина, то можно путем изменения уровня у отдельных каптажей регулировать их участие в общем дебите. При этом также выяснится, является ли при каптажах пресной воды остающийся сток благоприятным и на каком уровне, или выгоднее их изолировать.

Если остающаяся высота подпора таким путем установлена, то временный восходящий трубопровод заменяется постоянным.

Устье источника. В устье восходящего источника заканчивается непрерывность напора, направленного из глубины вверх; она характерна главным образом тем, что изменения в состоянии тече-

ния или напора воды источника за устьем не могут оказывать никакого влияния на механизм источника; если же это имеет место, то устье является лишь кайкущимся.

Устье источника может быть расположено на напорном уровне источника; в таком случае источник «свободно переливается». Оно может быть устроено и ниже высоты напора, вследствие чего минеральная вода вытекает под напором, — в этом случае говорят о стесненном истечении. Источник может помимо свободного истечения питать еще и стесненные выходы. Тем не менее общее количество воды, изливаемое всеми выходами, всегда одинаково и равно количеству воды, которое источник давал бы только одним свободным излиянием. Следовательно, для механизма источника и его дебита имеет значение только высота подпора, но не высота устья. Высота напора определяет собой

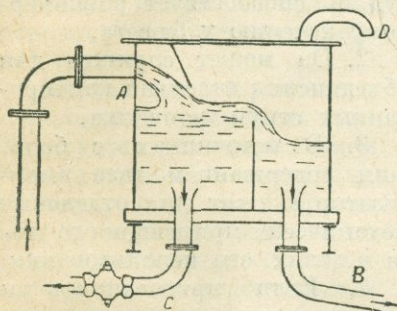


Рис. 261. Амортизатор.

А — впуск из каптажа; В — сток к колодезю и т. п.; С — измерительный трубопровод; D — отводный трубопровод для газа и слива при переливании.

дебит. Только при сильно газированных источниках можно путем отбора участков с неравномерным распределением газа и одновременным свободным истечением изменять его общий дебит. Исток в смысле техники каптажа не должен совпадать с официальным истоком (бюветом), служащим для питья и наполнения сосудов. Если последние включать последовательно друг за другом, то можно извлечь из этого некоторые преимущества. Источник течет тогда сначала в бассейн (амортизирующий ящик в техническом смысле этого слова) и под давлением свободного зеркала воды в последнем — к бювету.

Амортизатор не должен быть герметически закрытым, так как в таком случае напор при поступлении воды источника не был бы

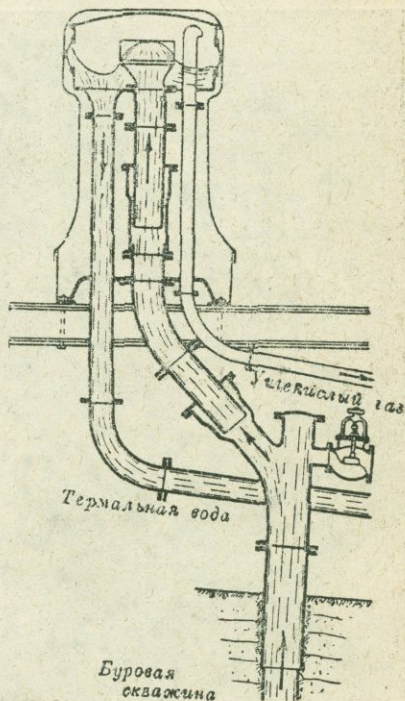


Рис. 262. Сливная башня одного из больших шпрудельных источников в Карлсбаде.

постоянным, а восходящий трубопровод к амортизатору и нисходящий трубопровод к сливу могли бы действовать тогда как колена сифона (кажущийся исток). Амортизатор должен, следовательно, иметь трубку для удаления воздуха, а при газированных источниках газоотводную трубку (рис. 261).

Сливные баины больших шпрудельных источников в Карлсбаде представляют собой в принципе такие амортизаторы. Путем устрой-

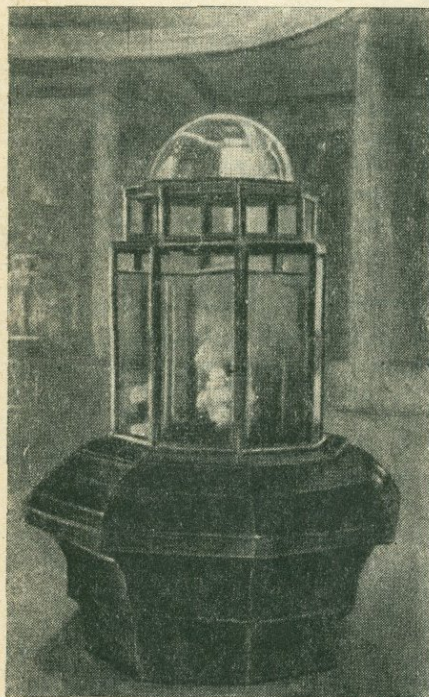


Рис. 263. Ваза Глауберового источника
III в Франценсбаде.

ства окошек и внутреннего освещения можно наблюдать эти мощные горячие источники без того, чтобы их вода и газ приходили в соприкосновение с воздухом.

Промежуточное включение амортизатора может осуществляться и быть полезным по следующим причинам:

1. При источниках с очень прерывистым дебитом он образует небольшой буферный сосуд и способствует равномерному течению у бювета.

2. Он может служить для объединения отдельно каптированных струй источника.

3. В источниках с большим содержанием газа амортизатор служит для отделения механически примешанного газа в целях его использования.

4. Если присоединить к амортизатору измерительное ответвление, то минеральная вода может отсюда ответвляться к измерительной станции, отдаленной от бювета и обслужива-

ние которой не вызывает изменения в напоре.

5. Злоумышленные повреждения устья, например, его закупорка, не могут принести вреда источнику; трубка для отвода воздуха служит в этом случае для стока с небольшим повышением напора. При источниках с небольшим содержанием газа или бедных газом можно располагать соединительный трубопровод между амортизатором и бюветом с уклоном. При газообильных источниках трубопровод от амортизаторного ящика ведется вертикально книзу, а затем сплошь восходящим к истоку, создавая таким образом гидравлический затвор для газового пространства в амортизаторе. Вертикальное колено делается достаточно широким, чтобы освобожденные здесь пузырьки газа могли бы, не препятствуя стоку, подняться обратно в аморти-

затор; газ, освобожденный в восходящем колене, поднимается в направлении течения.

Скрытый от взгляда публики амортизатор должен строиться только согласно требованиям целесообразности. Ему придают форму четырехугольного ящика. В качестве материала при питьевых источниках служит лучше всего олово. Размер его определяется дебитом источника, а при известных обстоятельствах и требуемым буферным действием при колебаниях дебита.

Газообильные источники требуют в амортизаторе соответствующего пространства для газа; вызванные толчкообразным притоком газа колебания напора должны составлять лишь несколько миллиметров водяного столба. С этим требованием нужно считаться и при выборе поперечного сечения газоотводной трубки.

Устройство амортизатора в настоящее время часто комбинируется с оформлением бювета (вазы источников). Важную роль в оформлении играет художник, а на долю архитектора выпадает выбор стиля строительства окружающих источник строений, колоннад и т. п. Такой бювет изображен на рисунке 263.

На рисунке 264 показан бювет источника Шлоссбруннен, обособленный от амортизатора.



Рис. 264. Шлоссбруннен в Карлсбаде. Пример слива, отделенного от амортизатора.

В. Трубопроводы

Для выбора материала для трубопровода для минеральной воды действительны те же правила, что и для корпуса каптажа. Возможность химического обмена между минеральной водой и материалом труб должна быть исключена как с гигиенической точки зрения, так и с точки зрения прочности трубопровода. Каждый инженер-источниковед накапливает с течением времени в отношении свойств вверенных ему минеральных вод специальный опыт.

При источниках с сильным выделением осадков отложение их в трубах можно замедлить путем возможного повышения скорости течения.

В трубопроводах для горячих источников следует иметь достаточное число компенсационных приспособлений, чтобы обезвредить продольные изменения, обусловливаемые меняющейся температурой (особенно при опораживании). Потеря тепла в таких трубопроводах может быть снижена, благодаря изготавливаемым ныне изоляционным массам, до минимума.

Подвод воды источника Розен (северный источник, содержащий поваренную соль) в Аахене к ваннам осуществляется помощью трубопровода длиной в 850 м из стальных труб диаметром в свету 104 мм и при длине отдельных труб в 5 м. Трубы покрыты свинцовой оболочкой толщиной в 4,5 мм. Соединение осуществляется бортами и фланцами, свинцовая оболочка заходит за борта, уплотнение фланцев производится прокладками из рифленого свинца. Теплоизоляция осуществляется при помощи пробковых плит толщиной в 50 мм, обмазанных асбестовым цементом. Для того, чтобы дать возможность трубопроводу линейно удлиняться, предусмотрены роликковые опоры. Потери тепла в трубопроводе должны быть очень невелики.

Особого внимания требуют трубопроводы с газированной водой (углекислота, эманация и т. д.). Вода, перенасыщенная окисью углерода, теряет газ при всяком изменении состояния, вызываемом, например, меняющейся скоростью, изменением направления, сжатием при прохождении задвижек и т. п. То, что эти потери могут быть при целесообразном устройстве установки весьма снижены, доказывает умеренно восходящий трубопровод длиной в 7 км, по которому перекачивается в Киссинген вода Луитпольдского шпруделя. Согласно исследованиям лаборатории д-ра Фрезениуса, вода теряет в этом трубопроводе только 0,1 г углекислоты на 1 кг воды.

Большой интерес представляют собой соответствующие опыты д-ра Карла и Вольфганга Цюркендёрфера в Мариенбаде в Богемии (145). Здесь дело касалось наиболее благоприятного разрешения вопроса о подводе углекислой воды из района Кшиха к Мариенбаду, расположенному на 40 м ниже. При этом трубопровод сначала поднимается на 160 м, затем спускался на 200 м. В. Цюркендёрфер и Дитл (Dietl) уже раньше (151) отметили то обстоятельство, что нисходящие трубопроводы обуславливают значительно большие потери углекислоты, чем восходящие. Для выяснения причины этого явления и в поисках способов, чтобы избежать их, была построена испытательная установка (рис. 265), в которой вода источников Кшиха поднималась на вершину горы, расположенную на 95 м выше, с которой она затем по нисходящему трубопроводу текла обратно, к расположенному ниже резервуару. Длина восходящего и нисходящего трубопроводов составляла 2800 м.

Оказалось, что наибольшие потери газа возникают при внезапном понижении давления у конца нисходящего трубопровода. Для того, чтобы избежать этой главной потери, вода подвергалась постепенному снижению напора. Для этой цели фирма Г. Румпель построила редукционное устройство в виде железной башни высотой

в 14 м и диаметром в 1 м, по которой вода медленно протекает снизу кверху; она затрачивает на прохождение цилиндра 20 минут. Это редукционное устройство дало хорошие результаты.

Подача газообильной минеральной воды от источников к сборному резервуару, из которого качал насос, производилась по так называемым «ступенчатым шахтам» также лишь с небольшой потерей газа. При

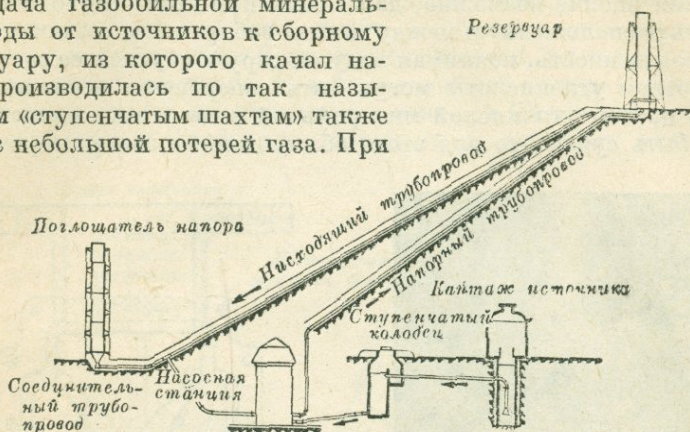


Рис. 265. Опытная установка для определения потерь углекислоты при перекачке и подаче минеральной воды на большие расстояния (по В. Цёркендёрферу).

этом вода течет попеременно то по плавно поднимающимся трубопроводам, то медленно опускается в вертикальных камерах. В последних над зеркалом воды находится слой углекислого газа (рис. 266).

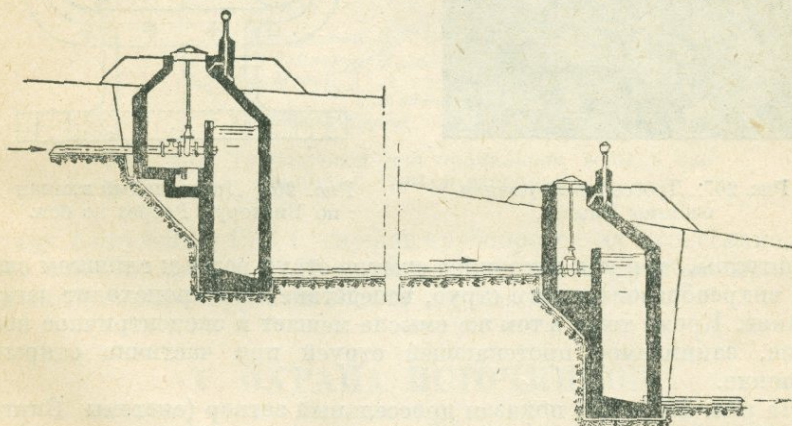


Рис. 266. Ступенчатая шахта.

Опыты с этой установкой дали следующие небольшие потери газа:

через ступенчатую шахту приблизительно	.....	2%
в восходящем трубопроводе	»	1,6%
в нисходящем	»	2,2%

При этом работал поршневой насос старой конструкции; опыты с центробежным насосом дали потери в 7%. Цёркендёрфер приходит к выводу, что перекачка углекислых минеральных вод на большие расстояния вполне возможна, даже если при этом приходится преодолевать расположенную между местом забора и местом потребления воды возвышенность, поднимая воду на гору и спуская ее затем в долину; потери углекислоты могут быть совершенно незначительны.

Если проток углекислой минеральной воды в восходящей трубе должен быть сужен, то для этого обыкновенные запорные заслонки

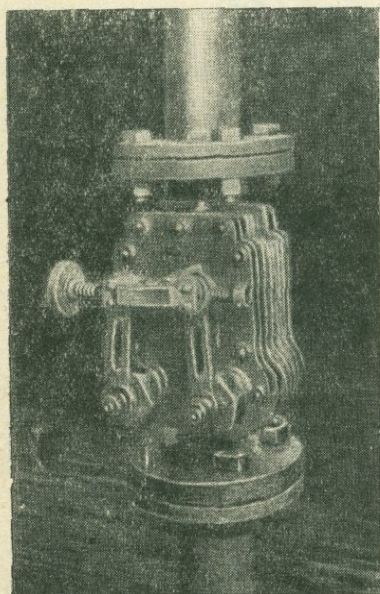


Рис. 267. Дроссельный клапан системы Винтер.

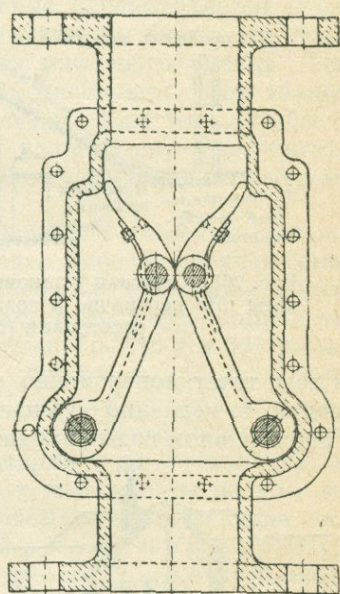


Рис. 268. Дроссельный клапан по Винтеру. Разрез по оси.

непригодны, так как внезапное сжатие струи ведет к слишком сильным вихреобразованиям в струе, вследствие чего происходит дегазирование. Кроме того, в том же смысле мешает и эксцентричное положение, занимаемое протекающей струей при частично открытой задвижке.

На рис. 267 и 268 показан дроссельный затвор (системы Винтер) с постепенным сужением поперечного сечения и со всегда центрированным положением струи, устраняющий вышеуказанные недостатки.

Эманация еще чувствительнее нежели углекислота. Если нельзя избежать длинных трубопроводов для радиоактивной воды, то следует их сооружать с особой тщательностью. В качестве примера образцового трубопровода для радиоактивной термальной воды следует упомянуть трубопровод длиной в 8 км от Бад-Гаштейна к Гофга-

штейну. Потери температуры составляют в нем на каждые 100 м длины $0,027^{\circ}\text{C}$, а радиоактивности в единицах махе — 1,34 (140) (рис. 269).

О прокладке газопроводов источников говорилось уже на странице 245. Углекислота во влажном состоянии действует крайне агрессивно и разрушает железные трубы (особенно ковкое железо) в течение короткого времени. Если же углекислота, благодаря охлаждению, достаточно высушена, то для дальнейшей ее подачи можно применять даже трубы из ковкого железа. В Карлсбаде для отвода газа шпруделя к солеварне шпруделя и газовому углекислому

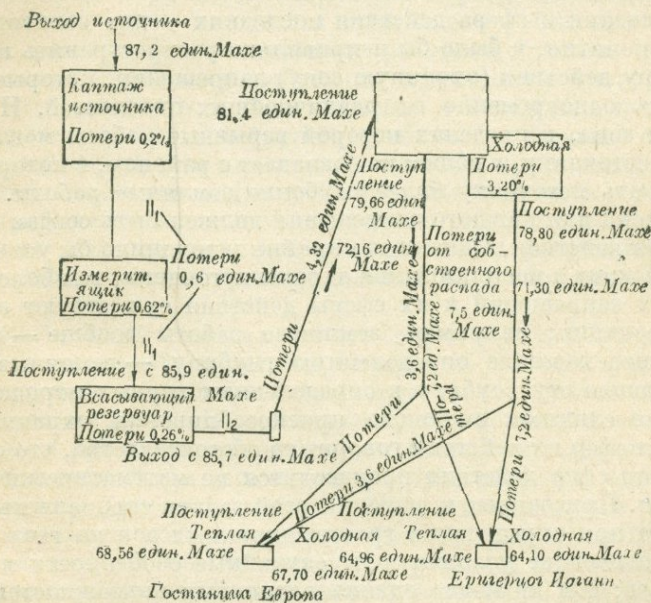


Рис. 269. Трубопровод для термальной воды в Бад-Гаштейне. Потеря эманации.

заводу шпруделя с 1911 г. служит трубопровод из маннесмановских труб протяжением в 1560 м. В течение этого времени пришлось заменить новыми трубами только первые 150 м.

V. ОХРАНА ИСТОЧНИКОВ

Многие минеральные источники по своей специфичности как испытанное целебное средство являются настолько ценными, что с точки зрения общественного блага вполне понятно то обстоятельство, что предусмотренная законом охрана их гораздо строже и шире, нежели охрана обычных источников.

Это обстоятельство тем более обосновано, что в настоящее время источники подвергаются большой опасности как в количественном, так

и в качественном отношении со стороны возводимых на поверхности сооружений и подземных горных работ, могущих нарушить механизм источников и нанести вред его воде.

А. Мероприятия по охране

Охранная зона. Мероприятия по охране источников выражаются в запрещениях, реже в предписаниях, которыми ограждаются определенные районы — охранные зоны.

Запрещения и сфера действия последних — два зависящих друг от друга понятия, и было бы неправильно распространять на какую-либо сферу действия (охранную зону) запрещения, которые должны ограждать одновременно от различнейших опасностей. Например, охранная зона, в пределах которой взрывные работы могли бы повредить источнику, в общем не совпадает с районом, в котором могли бы угрожать источнику более глубокие земляные работы. Поэтому теоретически для каждого запрещения должен быть создан собственный район действия. Однако это крайне затруднило бы установление охранной зоны и использование охраны источника, тем более что для известных запрещений и их сферы действия существуют еще некоторые градации; например, земляные работы вообще — земляные работы, переходящие определенную глубину, — земляные работы, превышающие эту глубину в определенных горных породах и т. д.

Против слишком широкого приспособливания охранных мероприятий и сфер их действия говорит то обстоятельство, что определение границ сфер действия производится не математически точными способами. Призванные к решению этой задачи специалисты должны опираться при определении границ охранных зон на геологические и гидрологические условия и на случайные особенности механизма источников; тем не менее оценка различных возможностей подвергания опасности и их вероятность остаются всегда результатом индивидуального взгляда, основанного на знании и опыте. Отсюда и протекают нередко противоречивые мнения специалистов при определении размера охранных зон и большая разница между существующими охранными зонами и, наконец, тот факт, что установленные до сих пор причины повреждений обычно лежали за пределами охранных зон.

Ввиду этой ненадежности детальное разграничение и установление размеров охранных зон для каждого отдельного запрещения было бы преувеличенным; в существующих ныне охранных зонах часто недостает нужной согласованности между охранными мероприятиями и зоной. Соответствующее исправление в целях введения нескольких соответствующих мерам охраны запретительных правил и градация строгости соблюдения этих правил было бы, пожалуй, почти всюду весьма уместным; кроме того, весьма желательно было бы установление единого масштаба при суждении о возможных опасностях.

Опасности. Источниковед, призванный для определения предохранительных мероприятий, должен прежде всего дать себе отчет об опасностях, которым может подвергнуться источник. Подлежащие устранению опасности могут угрожать источнику как с точки зрения его дебита, так и качества его воды.

Дебит источника может быть уменьшен: вследствие изменений в районе питания; понижения уровня стояния в нем грунтовых вод — непосредственно в связи с отбором и отводом и косвенно вследствие вырубки леса, перемещения водотоков, прорыва прудов и плотин и т. п.; вследствие нарушений в ключевых путях, например, в связи с повреждением самого ключевого пути или его боковых трещин, вызванным разного рода земляными работами, рытьем погребов, каменоломнями, открытыми работами, подземными разработками, буровыми скважинами и т. п., и косвенно — вследствие понижения уровня грунтовых вод, с которыми сообщаются боковые трещины с минеральной водой, или изменения ключевых путей под действием сильных сотрясений при подрыве скал, взрывов шпуров и т. п.

В системах источников, в узком смысле этого слова, повышение дебита одного индивидуума, как, например, при устройстве новых каптажей, может оказать вредное влияние на сообщающиеся с ними источники.

✓ В газированных источниках каждое вскрытие газа в окрестностях обозначает возможность серьезной опасности, так как содержимое источника, вследствие потери газа, теряет напор, а сам источник, следовательно, — дебит. В окрестностях газированных источников все трещины и расселины находятся под давлением газа; это последнее в связи с небольшим весом газа, распространяется значительно выше напорного уровня источника. Поэтому нарушение первоначального состояния трещин и понижение уровня грунтовой воды, которую заключали в себе газированные трещины, может еще оказывать вредное влияние много выше истока источника. Так как сопротивление течению у газов очень невелико и сравнительно небольшие поперечные сечения могут пропускать большие количества газа, то возможность и вероятность подвергания опасности у газированных источников значительно больше, чем у негазированных, в связи с чем это обстоятельство требует расширенных охранных зон.

Минеральный состав источника может также пострадать вследствие вышеупомянутых нарушений, если источник составляется из двух или нескольких струй, не идентичных по своему химическому составу, и когда повреждена одна только из этих струй. Кроме того, он находится под угрозой изменений на поверхности или в грунте, следствием которых является проникновение посторонних веществ в пути источника. Передвижение таких веществ может происходить только в жидкой форме. Если исключить необычные случаи (как, например, проникновение бензина в грунт вследствие неплотности бака), то в большинстве случаев грунтовая вода является носителем этих посторонних веществ. Различного рода отбросы, удобрительные вещества, промышленные стоки и отходы и т. п., проникающие вместе

с атмосферными осадками в грунт, в особенности во время половодья и при недостаточном фильтрующем действии грунта, проникают по трещинам в каналы источника. Там, где прежде это было невозможно, проникновение может быть вызвано изменением поверхности водоемов, повышением зеркала грунтовых вод.

Из вышеперечисленных и других случайных возможных опасностей следует, какие запреты и предписания по охране применяются в окрестностях источника, в его районе питания и вблизи предполагаемых путей источника. Запрещения могут иметь и условный характер, т. е. действие их может быть обусловлено известными обстоятельствами, как-то: более высокой температурой грунта, появлением углекислоты и т. п. в подземных разработках. В соответствии с этим и мероприятия по охране могут выражаться также в форме положительных предписаний, как, например, вменение в обязанность немедленно сообщать надлежащим управлениям о появлении подобных явлений в рудниках или при других работах в грунте и производить над ними наблюдения. Нередко катастрофическое действие прорыва воды может быть предотвращено предварительным бурением при подготовительных работах и проходкой предохранительных буровых скважин в рабочем горизонте. Если при предварительном бурении вскрывается вода, сток которой мог бы оказать вредное действие, то буровая скважина может быть снова закрыта.

У Форма и размер охранных зон. Форма и размер охранной зоны должны соответствовать действующим в ее пределах мероприятиям по охране и должны основываться на геологических и гидрологических условиях. Только этими исходными точками зрения должен руководствоваться специалист, внося предложения в этой области; если по каким-либо причинам его предложения не могут быть проведены в жизнь, — как это иногда случается в богатых полезными ископаемыми промышленных районах, — то весьма рекомендуется, ввиду возможных будущих событий, зафиксировать первоначальные предложения протоколом.

Если район питания источника известен, то он должен в целом рассматриваться как охранная зона; в этом случае следует налагать запреты, которые воспрепятствуют изменениям гидрологического состояния и устранят вредные влияния на минеральный состав источника. Здесь (и только здесь) можно до известной степени обосновать соответствие между величиной охранной зоны и дебитом, принимая, что каждой литро-минуте дебита источника соответствует определенная площадь водосбора.

Если путь источника известен, например, в виде выхода трещины, то горные породы ограждаются с обеих сторон от каких бы то ни было работ в грунте и сотрясений, а самый выход — еще и против повреждения источника в отношении качества воды. Трещины и сбросы, соединяющиеся с главной дислокацией, по возможности включаются в охранную зону. Поглощающий воду выход пластов пластового источника, как и соответствующую зону, расположенную выше последнего, следует охранять.

Наконец, окрестность самого района источников также требует охраны. Если бы о механизме источника не имелось никаких сведений, то ввиду того, что вероятность повреждения с отдалением в любом направлении равномерно уменьшается, охранной зоне придается круглая форма, центром которой служит источник. Фактически в самых старых охранных зонах дело обстояло именно так, и обозначение «охранный круг» для охранной зоны происходит именно отсюда. Чем точнее сведения о механизме источника и геологических условиях, тем индивидуальнее могут быть очертания охранной зоны. Запрещение взрывных работ вне границ материнской породы, в пластах горных пород, строение которых препятствует распространению сильного толчка, является бессмысленным; во многих местах земляные работы допускаются, если они не меняют условия грунтовых вод. Там, где эрозия речной долины достигла известной глубины, мало вероятно, чтобы земляные работы, ведущиеся на такой же глубине по другую сторону реки, могли бы нанести вред (при газированных источниках).

Все вышесказанное должно служить лишь некоторым указанием; в определенных случаях точное изучение геологии, морфологии и гидрогеологии окрестностей источника и представление о всех возможных повреждениях служат критерием для определения нужных мероприятий и их сфер действия.

Ввиду того, что опасность повреждения, в общем, с отдалением от источника и его пути уменьшается, градация в строгости запрещений с отдалением и соответственно созданию более узких и более широких или первой, второй, третьей и т. д. охранных зон, концентрически окружающих друг друга, вполне справедлива. Так, например, в первой зоне земляные работы (за исключением фундаментов под здания, насаждений) могут вообще запрещаться, во второй их можно допускать до известной глубины, определяемой геологическими условиями или грунтовыми водами, в третьей зоне они могут допускаться условно, только после получения соответствующего разрешения с предупреждением о возможной отмене уже выданных разрешений. Подобным же образом можно делать градации и в других запретах и предписаниях, например, при откачке воды в отношении количества или глубины понижений зеркала, при взрывных работах: полное воспрещение допущения определенных взрывчатых веществ и зарядов — и т. п. Этим путем жесткость охраны источника смягчается; с другой же стороны, благодаря расширению охранной зоны увеличивается безопасность. Во всяком случае следует рекомендовать наиболее отдаленному от источника району охранной зоны придавать большие размеры и ограничиться установлением для этого района обязательной заявки о вскрытии на его территории значительных источников, истечений газа (при охране термальных источников), появлении необыкновенно высоких температур почвы, с тем чтобы в случае надобности могли бы быть введены добавочные ограничительные мероприятия.

Следует еще раз отметить, что в особых случаях своеобразие условий для выбора мероприятий по охране может приобрести большое

значение и что мероприятия по охране не всегда можно переносить с одного случая на другой. Так, например, при горных работах, проводимых в твердых горных породах, предварительное бурение может обеспечить безопасность; однако это не относится к горным выработкам, ведущимся на большой глубине в полумягких рыхлых горных породах, в которых буровая скважина размывается под действием излияющейся напорной воды прежде, чем могут быть предприняты меры к предотвращению истечения воды. Незначительное появление воды может в короткий промежуток времени превратиться в ката-

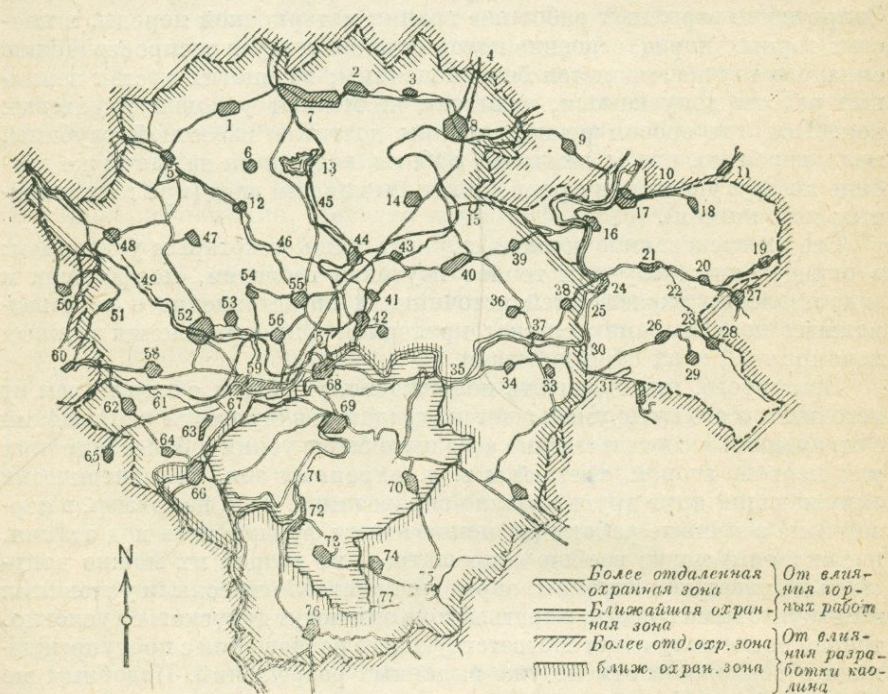


Рис. 270. Охранная зона Карлсбадских горячих источников.

строфический прорыв воды. В таких горных породах нередко применяемая изоляция выработок перемычками с запирающимися водонепроницаемыми дверями становится бесполезной.

Следует рекомендовать направлять границы охранных зон по линиям, которые легко могут быть установлены, как-то: дороги, межи, водотоки и т. п., но не наносить на карты идеальных линий (прямые, дуги и т. п.), которые должны определяться на месте путем съемок и отмечаться межевыми знаками.

Примеры охранных зон. Охранная зона Карлсбадских горячих источников была первой охранной зоной в прежней Австро-Венгерской империи (1859). В 1882 г. она была расширена и состоит в настоящее время из ближайшей и более отдаленной охранных зон. В ближай-

шей охранной зоне диаметром, примерно, в 7 км залегает непосредственно или на умеренной глубине материнская порода источников — гранит. В этом районе всякие шурфовочные и горные работы воспрещены. В более обширной охранной зоне, диаметром, примерно, в 15 км, разработка третичных отложений, в особенности бурого угля, допускается; однако вскрытие основной горной породы (гранит, каолин, а также базальт) допускается только до глубины уровня воды реки Эгера. Ограничена (1891) также промышленная разработка каолина или глин, не подведомственная горному надзору.

Следовало бы установить еще и третью охранную зону с условной охраной и обязательной заявкой.

Старая установленная горными законоположениями охранная зона Мариенбада от 1866 г. была в 1920 г. объединена с соседними ох-

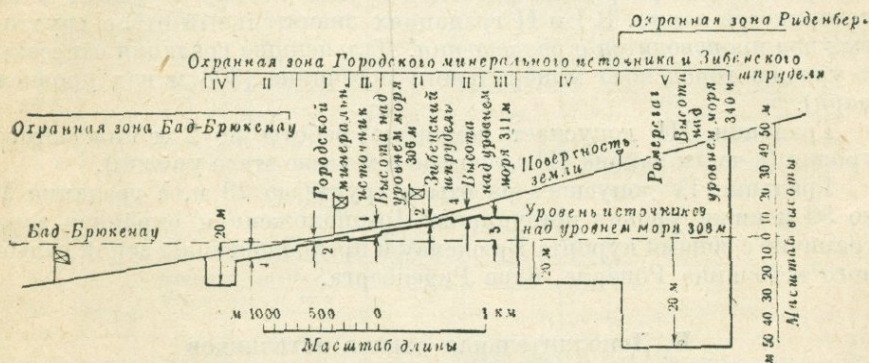


Рис. 271. Охранная зона для Зибенского шпруделя. Пример градации запретных мероприятий.

ранными зонами Кёнигсварта, Нейдорфа и Грюна и расширена до диаметра в среднем в 15 км. В пределах этой зоны шурфовочные и горные работы воспрещены. Во внешней охранной зоне, образующей вокруг внутренней пояс, примерно, в 3—5 км, шурфовочные и горные работы, правда, разрешаются, но предприниматели обязаны ставить в известность надлежащие районные горные управления о всяком вскрытии углекислоты или минеральной воды с дебитом, превышающим 10 л/мин., а также о прорывах воды в 1000 л/мин. и выше.

Следующие данные позаимствованы в выдержках из предложения Г. К р а у с для охраны Зибенских шпруделей и городских минеральных источников Брюкенау.

Оба Зибенских шпруделя были вскрыты бурением в 1896 г. на глубине 316 и 408 м, в дехштейне. Вскрытие минерального источника в Брюкенау последовало там же в 1905—1907 гг., на глубине 400 м. Они характеризуются высоким содержанием углекислоты, рассматриваемой как послевулканический продукт извержения ронских базальтов. Обе группы источников, несмотря на небольшое расстояние

между ними (700 м), не зависят друг от друга, что объясняется находящимся между ними двойным сбросом; этот последний, повидимому, до известной степени разделяет их районы питания. Пределы района питания для всех трех источников следует искать к северу от них, так как слон цехштейна, являющиеся предполагаемым сборным резервуаром, падают к югу. По тем же причинам следует предполагать очаг углекислоты к югу от буровых скважин; форма охранной зоны учитывает оба эти фактора.

Предлагается подразделять разрешение на производство земляных работ на следующие градации (рис. 271):

Градация I (работы в грунте разрешаются на 2 м от поверхности земли) охватывает дно долины в ближайших к источнику окрестностях. Здесь особое внимание уделяется неприкосновенности зеркала грунтовых вод и закрытию дна долины.

Градация II разрешает работы в грунте на глубине до 4 м от поверхности земли. В I и II градациях значительный отбор грунтовых вод производится с разрешения. Дальнейшие градации отнесены к уровню городского минерального источника (308 м над уровнем моря).

Градация III допускает земляные работы до 2 м ниже этого уровня (в части района IIIa лишь до 5 м выше этого уровня).

Градация IV допускает работы в грунте до 20 м, а градация V до 50 м ниже уровня источников. Предположенная охранная зона граничит с зонами курорта Брюкенау и предположенной зоной целебного источника Рёперле, близ Риденберга.

Б. Дополнительная охрана источников

Если, несмотря на мероприятия предупредительной охраны источников, вследствие их недостаточности режим минерального источника нарушается извне, то прибегают к дополнительной охране источника. Основными задачами ее являются:

1. Возможно быстрое и правильное установление характера вредного влияния, оказываемого на источник.

2. Исследование причины, наносящей вред, и выяснение причинной связи между вредными факторами.

3. Возможно лучшее устранение повреждения и восстановление прежнего состояния источника.

4. Лишь в редких случаях действие повреждения механизма источника становится столь сильным за короткий промежуток времени, что оно становится заметным уже при его эксплуатации; снижение дебита происходит обычно весьма постепенно, так что может пройти много ценного времени, прежде чем оно может быть обнаружено этим путем. Поэтому регулярные и тщательные наблюдения над источниками являются важной частью охраны источников и одной из важнейших обязанностей, излагаемых требованиями охраны в отношении внешних нарушений на владельца источника. Если наблюдения над дебитом источника производятся регулярно и правильно, то наруше-

ние в действии источника должно очень быстро обнаружиться. Наблюдатель знает картину нормальных колебаний и, поскольку это было возможно, проследил причины, вызвавшие их; какое-либо отклонение от обычного режима, клонящееся к уменьшению дебита, которое не может быть объяснено знакомыми наблюдателю причинами, должно послужить сигналом к тому, чтобы самому расследовать эту новую причину или обратить внимание соответствующих властей на угрожающую опасность.

2. Вскрытие причины, вызвавшей повреждение, и детальное расследование может оказаться тяжелой задачей, и особенно в том слу-

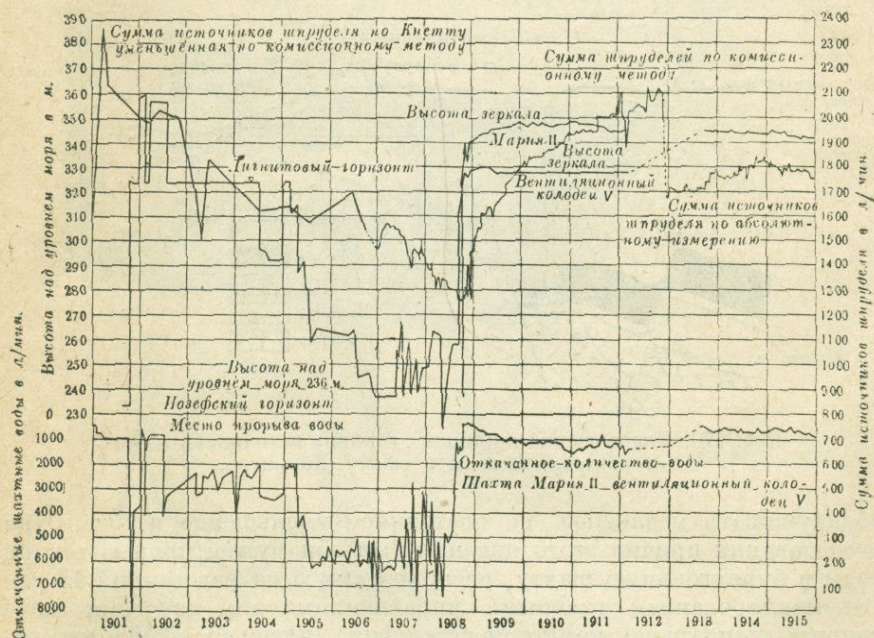


Рис. 272. Исправление нарушения режима источника, вызванного прорывом воды в рудник. Карлсбад, 1908.

чае, когда причина не носит непосредственного характера; для этого может потребоваться многолетнее изучение гидрологических условий и событий, имевших место в окрестностях, прежде чем наносящая вред причина будет установлена. При этом часто, в силу независимых от исследователя обстоятельств, приходится пренебрегать как раз теми факторами, которые могли бы наилучшим образом осветить данный вопрос.

Если, наконец, имеется подозрение в отношении какой-либо наносящей вред причины, то стремятся установить связь между исследуемыми явлениями. Последняя обычно сводится к установлению связи между выходом воды или откачкой большого количества грунтовой воды с изменением режима источника. Эта связь может быть

обнаружена путем попеременного запруживания и понижения напора подозрительной воды при одновременном точном наблюдении дебита источника. Однако между причиной и действием иногда может пройти большой промежуток времени.

Химические исследования и опыты на окрашивание могут также быть полезными в смысле уточнения фактов. Известен случай, имевший место в начале этого столетия, когда установление причины и доказательство связи между повреждением Карлсбадских источников и эксплуатацией одного бурогоугольного предприятия вызвали большие трудности. Начиная с 1901 г. (152), Карлсбадские источники стали

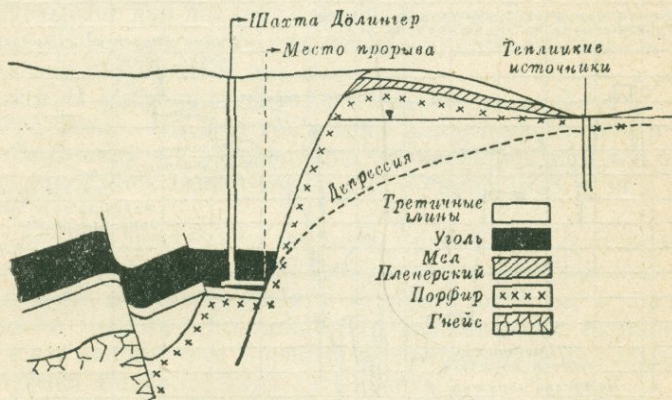


Рис. 273. Повреждение теплицких горячих источников вследствие прорыва воды в шахту Дёблингер.

обнаруживать медленное, но постоянное уменьшение дебита. При исследовании причин этого явления был обнаружен прорыв теплой воды в бурогоугольную шахту, расположенную на расстоянии 15 км. Откомандированная главными управлениями для изучения этого вопроса специальная комиссия установила, путем сравнения измерений дебита источников с откачиваемым из шахты количеством воды, наличие связи между ними и предложила заделать место прорыва воды. Связь эта становилась явной лишь по прошествии трех месяцев между причиной и следствием. В отношении вопроса, существует ли, действительно, такая связь, мнения специалистов стали резко расходиться. Против наличия связи говорили не только химические анализы, но и гидродинамические исследования и расчеты, доказывавшие как раз невозможность стока минеральной воды к месту прорыва. Автор объясняет влияние, оказываемое на источник утечкой газа, снижением давления благодаря прорыву воды и ее откачке. Самый прорыв воды, однако, питается самостоятельным горячим источником, относящимся к системе источников, «в широком смысле этого слова», богемской термальной трещины (стр. 205). Кроме того, в шахте были обнаружены сильные выделения углекислоты. Произведенная по распоряжению горного надзора заделка места прорыва была нарушена

угольной шахте Дёлингер подошли одним штреком к главному сбросу, в котором уголь примыкает непосредственно к порфиру, произошел катастрофический прорыв воды (рис. 273). Он затопил в течение 5 дней всю шахту. Через 64 часа после прорыва иссякли Теплицкие горячие источники, расположенные в 6 км.

Причинная связь не вызвала здесь никаких сомнений; трудности заключались в исправлении повреждений; положение было тем более серьезным, что дело шло не только об охране Теплицких источников, но и о желании спасти возможно большую часть огромных запасов угля, залегающего в этой мульде. В 1881 г. приступают к проходке шахты с расчетом встретить ею место прорыва и в июне того же года обнажают место прорыва. Одновременно с этим в Теплице проходят шахты в порфире для обнаружения опустившегося зеркала источника и находят его приблизительно на 50 м ниже прежнего уровня источника. Место прорыва закрывается при помощи выложенной из каменной кладки сферической перемычки, законченной в мае 1882 г. (рис. 274).

Теплицкие источники поднимаются до уровня на 1,6 м ниже прежнего уровня. В предположении, что теплицкая родниковая трещина имеет связь с дёлингерским главным сбросом, предохраняют последний путем оставления неприкосновенного целика угля; рудник Дёлингер прекращает свое существование.

Однако в ноябре 1887 г. происходит новый прорыв воды в соседней шахте Викторина, в количестве, примерно, 1000 л/сек. Этот второй прорыв доказывал, что давление воды распространяется через главный сброс также и в трещинах почвы пласта. Источники снова живо реагировали на это явление. Закрытие прорыва было произведено под водой путем заполнения камеры прорыва бетоном, спускавшимся с поверхности по четырем буровым скважинам с диаметром 600 мм. Эта задача была блестяще разрешена.

Были изданы дополнительные правила охраны источника. Место прорыва было окружено предохранительным целиком; во избежание прорыва в почве, путем бурения скважины в почве пласта во всех новых выработках должно было быть предварительно доказано, что в данном месте отсутствует приток воды из почвы. Несмотря на это в 1892 г. в шахте Викторина произошел третий прорыв воды, а в 1897 г. в близлежащей шахте Гизеда — четвертый.

3. Наряду с описанием перечисленных случаев было указано и на способы исправления происшедших повреждений. Отсюда можно сделать тот вывод, что в каждом отдельном случае работы должны приспосабливаться к обстоятельствам; едва ли можно установить какие-либо общие правила, которых следовало бы придерживаться. Мероприятия по исправлению происшедших нарушений обычно затрудняются тем, что во время этой работы не должно происходить заметного изменения в эксплуатации источника или чтобы в крайнем случае эти работы производились в несезонный период. При всех условиях следует стремиться к тому, чтобы в результате этих работ был полностью восстановлен прежний режим источника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основные работы

- Friedrich, A. Kulturtechnischer Wasserbau. Berlin. 1907.
Gross, E. Handbuch der Wasserversorgung. Berlin u. München. 1928.
Haas, Hyppolyt J. Quellenkunde. Leipzig. 1895.
Koechne, W. Grundwasserkunde. Stuttgart. 1928.
Handbuch der Ingenieurwissenschaften: Die Wasserversorgung der Städte, III.
T. Bd. 3. Leipzig-Berlin. 1914.
Höfer v. Heimhalt, H. Grundwasser und Quellen. Braunschweig. 1920.
Keilhack, K. Lehrbuch der Grundwasser und Quellenkunde. Berlin. 1917.
Lersch, H. Hydrophysik. Bonn. 1870.
Lueger-Weyrauch, R. Die Wasserversorgung der Städte. Der Städt.
Tiefbau. Bd. 2. Stuttgart. 1914/16.
Prinz, E. Handb. der Hydrologie. Berlin. 1923.
Stiny, J. Die Quellen. Wien, 1933.
Mead, Daniel, W. Hydrology. New York and London. 1919.
Auscher, E. S. L'art de découvrir les sources. Paris. 1905.
Chalon, P. F. Eaux souterraines. Paris-Liège. 1913.
Daubrée, A. Les eaux souterraines. Paris. 1887.
Debauve, A. et Imbeaux, Ed. Distributions d'eau. Paris. 1905/6.
Diénert, F. Hydrologie agricole. Paris. 1907.
Imbeaux, Ed. Essai d'Hydrologie. Paris. 1930.
Mager, H. Hydrologie souterraine. Paris. 1915.
Martel, E. A. Nouveau traité des eaux souterraines. Paris. 1921.
Paramelle, Abbé. Quellenkunde. Leipzig. 1865.
Grossi, M. Ricerca delle acque sotterranee. Milano. 1912.
Spataro, D. Igiene delle abitazioni. Milano. 1882.
García, G. El Agua. Barcelona. 1905.
Launay, L., de: Recherche, captage des sources Thermo-Minérales, Paris et
Liège. 1899.
Winckler, A. Mineralquellentechnil. Leipzig. 1916.

Работы, на которые под соответствующими номерами сделаны ссылки в тексте

1. Gärtner, A. Hygiene des Wassers. Braunschweig. 1915.
2. Ditzel, H. Quellenstudien aus der Umgebung von Marburg. Marburg.
1905.

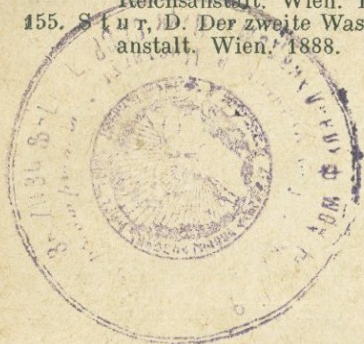
3. Poschinger, V. Schneegrenzbilder. Z. Dtsch.-Öster. Alpen-V. 1918.
4. Schlagintweit, H. Petermanns Mitt. 1865.
5. Martel, E. A. Nouveau traité des eaux souterraines. Paris. 1921.
6. Beyer. Über Quellen in der Sächsisch-Böhmischen Schweiz. Dresden. 1913.
7. Lersch, B. M. Hydrophysik. Bonn. 1870.
8. Lehmann, H. Die Gesteinsklüfte des östl. Harzvorlandes. Jb. d. Halle-schen verb. f. d. Erforschung d. mitteldtsch. Bodenschätze usw. 7. Bd. Neue Folge. Halle a. d. S. 1928.
9. Keilhack, K. Lehrbuch der Grundwasser und Quellenkunde. Berlin. 1917.
10. Knebel, W. von: Höhlenkunde. Die Wissenschaft. Heft 15. Braunschweig. 1906.
11. Meinzer, O. E. The occurrence of groundwater in the U.S.U.S. Geol. Survey. Water-Supply Paper 489. Washington. 1923.
12. Rinne, F. Gesteinskunde. Leipzig. 1914.
13. Winkel. Ermittlung von Spaltweiten usw. Bautechnik Jg. 9.
14. Huber, U. Über die Klüftigkeit des Jeschkengebirges (Böhmen). Internat. Z. f. Wasservers. 1916.
15. Huber, U. Wasserführende Gesteine. Internat. Z. f. Wasservers. 1916.
16. Reuter, L. Gesch. Ber. d. K. B. Wasservers. Bureau f. d. J. 1914. München. 1915.
17. Meinzer, O. E. Plants as indicators of groundwater. U. S. Geol. Survey. Water-Supply Paper 577. Washington. 1927.
18. Paramelle. Quellenkunde. Leipzig. 1865.
19. Hocheder, F. Projektionstätigkeit d. Wasservers. — Ing. K. B. Wasservers. Bureau, Gesch. Ber. 1915.
20. Röhrer, F. Über Quellenuntersuchungsmethoden. Gas- u. Wasserfach, 1929.
21. Memorie illustr. della carta idrogr. d'Italia. Roma. 1900.
22. Gravelius. Die Beziehungen zw. Niederschlag und Quellergiebigkeit. Z. Gew.-kunde. Bd. 4.
23. Mailliet, Edm. Essais d'hydraulique souterr. et fluv. Paris. 1905.
24. Huber, U. Über das Messen von Quellen. Ost. Wschr. f. d. öst. Baudienst. Wien. 1917.
25. Heim, A. Quellerträge in Schächten und deren Bestimmung Vjschr. Naturf. Ges. Zürich. 1897.
26. Zimpell. Die Wasserversorgung der Stadt Würzburg. J. Gasbel. u. Wasservers. 1915.
27. Holler, H. Quellschüttungsschwankungen im Jahre 1911 usw. J. Gasbel. u. Wasservers. 1913.
28. Huber, U. Hydrol. Vorarbeiten zwecks Wasservers. d. Stadt Teschen. Ost. Wschr. f. d. off. Baudienst. 1911.
29. Huber, U. Die kleinste Ergiebigkeit einiger Quellbäche. Mitt. Dtsch. Ing. in Mähren usw. 1922.
30. Koehne, W. Grundwasserkunde. Stuttgart. 1928.
31. Schirmer. Vorläufige Richtlinien des D. Ausschusses f. Kulturwesen usw. Kulturtechniker. 1930.
32. Hug, T. Die Wichtigsten Typen der ausnutzbaren Grundwassergebiete der Schweiz. Schweiz. Ver. Gas- u. Wasserfachm. Monatsbull. 1928.
33. Hug, T. Die Grundwasservorkommnisse der Schweiz. Ann. Schweiz. Landeshydrographie. Bd. 3. 1918.
34. Reuter, L. Geol. Ausführungen ü. d. Grund- u. Quellwasservorräte Südbayerns. Gas- u. Wasserfach. 1924.
35. Holler-Reuter. Die Gewinnung von Trink- und Nutzwasser in Bayern. Gesundh.-Ing. 1912.
36. Goebel. Der Wasserkursus. Zwickau. 1926.
37. Rolland, G. Géologie et Hydrologie du Sahara Algérien. Paris. 1890.
38. Tarnuzzer. Beiträge zur geol. Karte d. Schweiz. Neue Folge, Lief. 23. 1911.
39. Broeck, R. van den, Martel, E. A. et Ed. Rahir. Les cavernes et les rivières souterr. de la Belgique. Bruxelles. 1910.

40. Wiebel. Die Insel Kephalonia u. d. Meermühlen v. Argostoli. Hamburg. 1873.
41. Lehmann, O. Die Hydrographie d. Karstes. Enz. d. Erdkunde. Leipzig u. Wien. 1932.
42. Imbeaux, Ed. Int. Z. Wasservers. 1916.
43. Busse, W. Die Wasservers. d. Achal-Teke-Oase in Turkestan. Int. Z. Wasservers. 1916.
44. Endriss, K. Die Versinkung der oberen Donau zum Rhein. Flussgebiet. Stuttgart. 1900.
45. Boegan, E. Le Sorgenti d'Aurisina. Trieste. 1906.
46. Huber, U. Über das Fassen von Quellen. Manuskript.
47. Hug, T. Verunreinigung von Quellen durch andauernd trockenes Wetter. Schweiz. Ver. Gas- u. Wasserfachm. Monatsbull. 1927.
48. Schweiz. Wirtschaftsverband. Ber. d. Kom. F. Abdichtungen. Zürich. 1927.
49. Haller. Die Landeswasservers. Apuliens. Z. Gasbel. u. Wasservers. 1920.
50. Fattorini, G. Die apulische Wasserleitung. Z. Gasbel. u. Wasservers. 1913.
51. Bechmann et Babinet. Notice s. l. Déivation des Sources etc. Ann. Ponts Chause. 1905.
52. Michels, F. Z. dtsh. geol. Ges. 1933.
53. Halbertsma-Spieser. Die Wasserversorgung Wiesbadens. Wiesbaden. 1909.
54. Imbeaux, Ed. Essai d'hydrologie. Paris. 1930.
55. Staus, A. Maschinenuntersuchungen. Erster Band, Hydraulik. Berlin. 1926.
56. Weyrauch, R. Die Wasserversorgung der Städte, Bd. 1. Leipzig. 1914.
57. Huber, U. Das Wasserwerk der kgl. Freistadt Hermannstadt. Ost. Wschr. f. d. off. Baudienst. 1916.
58. Kuhn, F. Das Wasserleitungskraftwerk Gaming der Stadt Wien. Wasserwirtsch. 1926.
59. Rosskothén. Die Wasserversorgung der Stadt Salzburg usw. Gas- u. Wasserfach. 1932.
60. Drennig, A. Wassertrübungen usw. Z. öst. Ver. Gas- u. Wasserfachm. 1932.
61. Stille, H. Geol.-hydr. Verhältnisse der Paderquellen. Abh. d. kgl. preuss. Landesanst. d. Bergakademie. Neue Folge, Heft. 38. Berlin. 1923.
62. Kätzer. Karst und Karsthydrographie. Sarojewo. 1909.
63. Launay et Martel. Notes sur quelques questions relatives à la géologie etc. Bull. Soc. chim. France. 1891.
64. Thiem, A. Bericht über die hydrol. Untersuchung der Umgebung von Naunhof. München. 1881.
65. Mezger, Ch. über Grundwasser und Quelltemperaturen. Gesundh. Ing. 1914.
66. Mezger, Chr. Die Quelltemperatur in ihren Beziehungen zur Seehöhe usw. Gesundh. Ing. 1916.
67. Kolkwitz, R. Zur Biologie der Wasserwerke. Kl. Mitt. d. Preuss. Landesanstalt f. Wasserhygiene usw. Jg. 7.
68. Eugling, M. Über die Biologie des Wiener Hochquellwasser. Abh. a. d. Gesamtgebiete der Hygiene. Leipzig u. Wien. 1931.
69. Beger, H. u. E. Biologie des Trink- und Brauchwasseranlagen. Jena. 1928.
70. Kabthel, G. Studien über d. Filtrationseffekt usw. Arch. f. Hyg. Bd. 58.
71. Sculze, B. Wurzelatlas. II. Teil. Berlin. 1914.
72. Lüdecke. Über die Wasserbewegung im Boden. Kulturtechniker. 1909.
73. Stuttgart. Die Neugestaltung der Wasserversorgung der Stadt. Stuttgart. 1909.
74. Gärtner, A. Die Quellen in ihren Beziehungen zum Grundwasser und zum Typhus. Jena. 1902.
75. Lehmann, H. u. Reichle. Über das Absterben von Bakterien usw. Gas- u. Wasserfach. 1929.
76. Mosny, E. et Martel, E. A. Les eaux d'alimentation de Toulon etc. Rev. d'Hygiène. Prés. 1912.

77. Daubrée, A. Les eaux souter. à l'époque actuelle, Paris. 1887.
78. Daur, F. u. Röhrer, F. Die Pforzheimer Typhusepidemie von Jahre 1919. Gas.-u. Wasserfach. 1921.
79. Schönbrunner, F. Die Sicherungsmassnahmen im Quellgebiete der I. Wiener Hochqueleitung. Z. öst. Ing. u. Arch.-Ver. 1926.
80. München, Die Versorgung der kgl. Haupt- und Residenzstadt M. usw. Festschrift. 1912.
81. Müller, R. Wasserversorgung. Wien. 1913.
82. Huber, U. Zur Frage des Abverkaufs von Waldquellen usw. HDI-Mitt. 1925.
83. Deutsches Bäderbuch. Leipzig. 1907.
84. Grünhut, Z. Balneol. Berlin. 1911/12.
85. Bad und Kurort. Berlin. 1925.
86. Handb. der Balneologie I. Leipzig. 1916.
87. Österreichisches Bäderbuch. Wien. 1928.
88. Fresenius, L., Eichler, A. u. Lederer, H. Über die katalytischen Eigenschaften der Mineralwasser. Z. anorg. Chem. Leipzig. 1927.
89. Schneider, K. Beiträge zur Theorie der heissen Quellen. Geol. Rdsch. IV/2 1913.
90. Ludwig, P. Die Vereinheitlichung der Messweise radioactiver Quellen. Jb. f. Berg. u. Hüttenwesen in Sachsen. 1921.
91. Z. anorg. Chem. 1911.
92. Waagen, L. Die Thermalquellen der Stadt Baden in Niederösterreich. Z. prakt. Geol. 1914.
93. Hynie, O. u. Koutek, J. Geologie der wichtigsten Schlammmarten Europas. Prag. 1933.
94. Poserny. Über die Genesis der Erzlagerstätten. Berg- u. Hüttenmännisches Jb. Bd. 43. Wien. 1895.
95. Berg, G. Über die Begriffe vados und juvenil. Z. prakt. Geol. 1918.
96. Weithofer, K. A. Die Karlsbader Thermen und der Bergbau. Neues Jb. f. Mineralogie usw. Beil.-Bd. 70, Abt. B. Stuttgart. 1933.
97. Suess, E. Über heisse Quellen. Verh. Ges. deutsch. Naturforscher u. Ärzte in Karlsbad 1902. Leipzig. 1903.
98. Suess, E. Das Antlitz der Erde III. Wien. 1909.
99. Brun, L. Recherches sur l'exhalaison volcanique. Genf. 1911.
100. Lepsius, R. Notizblatt des Vereins für Erdkunde. Darmstadt. 1908.
101. Wagner, B. Z. Balneol. II. Nr. 15 und IV, Nr. 9.
102. Steuer, A. Die Nauheimer Quellen und die Geologie der Wetterau. Verh. deutsch. Naturforscher. u. Ärzte. 1920.
103. Behrend, F. u. Berg, G. Chemische Geologie. Stuttgart. 1927.
104. Lacroix. La montagne Pelée et ses éruptions. Paris. 1904.
105. Griggs, R. F. Das Tal der zehntausend Dämpfe. Leipzig. 1928.
106. Adams, L. A. A physical source of heat in springs. J. of Geol. 1923.
107. Gutenber, B. Der Aufbau der Erde. Berlin. 1925.
108. Schoklitsch, A. Der Wasserbau I. Wien. 1930.
109. Wiedemann, E. Poggendorfs ann. 1876.
110. Winkelmann, A. Handb. der Physik III. Leipzig. 1908.
111. Sosman. On hot springs. J. of Geol. 1923.
112. J. of Franklin Inst. Bd. 193. 1922.
113. Hummel, K. Beziehungen der Mineralquellen Deutschlands zum jüngeren Vulkanismus. Z. prakt. Geol. Bd. 1. 1930.
114. Miholié, St. Das Vorkommen von Schwermetallen in Mineralwässern. Chemie der Erde. Jena. 1933.
115. Kessler, P. Die Beziehung von Erzgängen, Tektonik, Vulkanismus und Schwere zu den bekannteren Heilbädern in Südwestdeutschland. Z. prakt. Geol. 1927/3.
116. Gintl, W. v. Die Mineralquellen von Bilin in Böhmen. Z. prakt. Geol. 1899.
117. Witte, W. Sind alle kohlenensäurehaltigen Quellen juvenil? Z. prakt. Geol. 1927/9.

118. Hofer v. Heimhalt, H. Grundwasser und Quellen II. Braunschweig. 1920.
119. Cadisch, J. Zur Geologie der Schweizer Mineral- und Thermalquellen. Verh. naturforsch. Ges. Bd. 42. 1931.
120. Delkeskamp, R. Die Genesis der Kohlensäure der Mineralquellen und Thermen. Internat. Mineralqu. Ztg. 1904.
121. Beissel, J. Der Aachener Sattel und die aus demselben vordringenden Thermalquellen. Aachen. 1886.
122. Winter, B. Die Heilquellen Marienbads, Marienbad. 1932.
123. Gilitzer, G. Geologie der Alpen Salzlager, mit besonderer Berücksichtigung der Reichenhaller Solquellen. Z. prakt. Geol. 1914/7.
124. Kegel. Über aufsteigende Quellen. Z. prakt. Geol. 1923/7.
125. Altfeld, E. Die physikalischen Grundlagen des intermittierenden Kohlen-säuresprudels zu Namedy bei Andernach an Rhein. Z. prakt. Geol. 1914/4,5
126. Redlich - Terzaghi - Kamppe. Ingenieur-Geologie. Berlin. 1929.
127. Kamppe, R. Zur Mechanik gasführender Quellen. Ing. Z. Teplitz-Schönau. 1922.
128. Allen. The motion of a sphere in a viscous fluid. Philosophical magazine. Bd. 50. Nr. 304. 1900.
129. Bischof, G. Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie I. Bonn. 1863.
130. Henrich, F. Theorie der Kohlensäure führenden Quellen begründet durch Versuche. Z. f. Berg.-Hütten- u. Salinenwesen im Preuss. Staatte. 1902/3.
131. Darapsky. Berechnung der Pressluftpumpen. Dingers polytechn. J. 1913.
132. Höfer, K. Untersuchungen über die Strömungsvorgänge im Steigrohr eines Druckluft-Wasserhebers. Mitt. über Forschungsarb. H. 138, Berlin. 1913.
133. Exner, F. Über die Aufsteigsgeschwindigkeit von Luftblasen in Wasser Physik. Z. 1927.
134. Kamppe, R. Irrtümer im Gebiete der Quellenkunde. Balneologie u. Balneotherapie. Jena. 1923.
135. Lepsius, R. Festschrift zur Weihe des neuen Solsprudels zu Bad Nauheim. Darmstadt. 1900.
136. Brauer, E. Neues verfahren zur Wassermessung. Z. Ver. dtsh. Ing. 1892.
137. Steiner, F. Sitzgsber dtsh. naturwiss. Ver. f. Böhmen, «Lotos» 1900/48.
138. Müller, W. Hydrometrie. Hannover. 1903.
139. Dankwerts. Zbl. d. Bauverwaltung. S. 90. 1909.
140. Österreichisches Bäderbuch. Berlin-Wien. 1914.
141. Kionka, H. Untersuchung und Wertbestimmung von Mineralwässern und Mineralquellen. In Abderhalden, Handb. d. biol. Arbeitsmethoden Liefg. 252, Berlin-Wien. 1928.
142. Dietl, A. Veröff. d. Zentralst. f. Balneol. III. Nr. 24; V. Nr. 7 u. 23.
143. Hoernes, R. Z. Balneol. III. 1910—11.
144. Suess, F. Verh. d. Wien. geol. Reichsanstalt. 1900.
145. Zörkendörfer, W. Zur Frage der Fernleitung kohlen-säurehaltigen Mineralwassers. Internat. Mineralqu. Ztg. 1932.
146. Fresenius, R. Jahrbücher des Nassauischen Vereins für Naturkunde. 1894.
147. Mestwerdt, A. Die Tiefbohrung II in Bad Salzuflen. Jb. d. dtsh. nat. Komitees f. d. internat. Bohrkongresse. Berlin. 1929.
148. Hilgard, K. Studienberichte über die Abdichtung von wasserdurchlässigen Fels und Mauerwerk in Eisenbahntunneln. Berlin. 1928.
149. Kleinogel, A. Wasserdichter Mörtel. «Zement» Jg. 15. 1926.
150. Indra. Über die Abdichtung einer wild ausgebrochenen Mineralquelle im Glauberquellengebiet von Franzensbad. Internat. Mineralqu. Ztg. 1930.
151. Zörkendörfer, K. u. Dietl, A. Veröff. d. Zentralst. f. Balneol. Bd. 2. H. 6.

152. Кампе, R. Heilquelle und Bergbau. Balneologie u. Balneotherapie. Jena. 1924.
 153. Löcker, H. Festschrift zum Allgemeinen Bergmannstag. Teplitz. 1899.
 154. Suess, F. Studien über unterirdische Wasserbewegung. I. Jb. d. geol. Reichsanstalt. Wien. 1893.
 155. Скур, D. Der zweite Wassereinbruch in Teplitz-Osseg. Jb. d. geolog. Reichsanstalt. Wien. 1888.



2528

Редактор *Ф. Д. Ярошенко.*

Техредактор *Н. Фивейский.*

Корректор *В. Неввижский.*

Тираж 5.000 экз. Объем 19,5 п. л. У. а. л. 24,93. Формат бумаги 62×94¹/₁₆.
 Сдано в производство 17/II 1937 г. Подписано к печати 23/V—3/VI 1937 г. Уполномоченный Главлита № Б- 6431. Инд. 51-Г. СХГ 5539. Заказ № 1266.

Бумага на текст Камской фабрики.

Цена 4 руб. 50 коп. П. рецлет 1 руб. 50 коп.

2-я типография ОГИЗа РСФСР треста «Полиграфкнига» «Печатный Двор»
 им. А. М. Горького. Ленинград, Гатчинская, 26.

6481