

Е. ПРИНЦ

# ГИДРОГЕОЛОГИЯ

ИСТОЧНИКИ, ГРУНТОВЫЕ ВОДЫ,  
ПОДЗЕМНЫЕ ВОДОТОКИ  
И КАПТАЖИ ГРУНТОВЫХ ВОД

*УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ  
ДЛЯ ВУЗОВ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА*

ПОД РЕДАКЦИЕЙ  
Г. Н. КАМЕНСКОГО и А. Н. СЕМИХАТОВА

ПЕРЕВОД СО ВТОРОГО ДОПОЛНЕННОГО  
НЕМЕЦКОГО ИЗДАНИЯ Е. КАЗАРИНОВОЙ

с 329 рисунками в тексте

(21—35 тысячи)



---

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
КОЛХОЗНОЙ И СОВХОЗНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ  
МОСКВА 1933 ЛЕНИНГРАД

ПЕРВАЯ ОБРАЗЦОВАЯ  
ТИПОГРАФИЯ ОГИЗА  
РСФСР ТРЕСТА «ПОЛИ-  
ГРАФКНИГА». МОСКВА,  
ВАЛОВАЯ, 28.

Уполном. Главлита Б-18008  
Тираж 15 000. Заказ 8122.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие к русскому изданию . . . . .	11
Вода земного шара . . . . .	13
<b>А. Подземные воды . . . . .</b>	<b>13</b>
I. Подразделение подземных вод на грунтовые воды и на подземные водотоки . . . . .	14
II. Определение основных понятий грунтовой воды и подземных водотоков . . . . .	16
III. Происхождение подземных вод . . . . .	17
1. Атмосферное происхождение подземной воды . . . . .	17
а) Теория инфильтрации . . . . .	17
б) Теория конденсации . . . . .	21
2. Недра земли как первоисточник образования воды . . . . .	22
3. Образование подземной воды из поверхностных вод путем инфильтрации и стока . . . . .	23
IV. Подземная вода и густота речной сети . . . . .	25
V. Влияние леса на образование подземной воды . . . . .	26
VI. Значение теории возникновения воды для практики . . . . .	29
VII. Вероятное количество и постоянство подземной воды . . . . .	30
VIII. Подземные водные пути и круговорот воды . . . . .	31
<b>В. Источники в широком значении этого слова . . . . .</b>	<b>35</b>
<b>С. Грунтовые воды . . . . .</b>	<b>37</b>
I. Гидрогеологическое строение водоносной толщи . . . . .	37
1. Водоносные пласты . . . . .	38
а) Аллювиальные водоносные пласты . . . . .	38
б) Водоносные пласты ледникового происхождения . . . . .	41
в) Ледниковые водоносные пласты Европы . . . . .	42
г) Северный район оледенения северной Германии . . . . .	42
д) Альпийские районы оледенения . . . . .	45
е) Водоносные пласты в области перекрытия отложений альпийских и северных оледенений . . . . .	46
г) Ледниковые водоносные пласты Северной Америки . . . . .	47
h) Второстепенные ледниковые водоносные пласты . . . . .	47
i) Мощность водоносных пластов четвертичного возраста . . . . .	49
к) Правильное строение водоносных пластов с грунтовыми водами . . . . .	50
л) Гидрогеологические последствия неоднородности строения водоносных пластов . . . . .	51
m) Третичные и более древние пласты с грунтовой водой . . . . .	53
n) Песчаники и конгломераты . . . . .	53
o) Водоносные пласты эолового происхождения . . . . .	55
2. Распространение водосносных пластов . . . . .	56
3. Водонепроницаемые пласты . . . . .	56
4. Горизонты воды . . . . .	59
5. Артезианские бассейны и муальды . . . . .	60
6. Потоки грунтовой воды . . . . .	62

II. Разведка грунтовой воды . . . . .	65
1. Признаки, указывающие на присутствие грунтовой воды . . . . .	65
a) Свойства поверхности земли . . . . .	65
b) Открытые долины . . . . .	65
c) Скрытые долины . . . . .	66
d) Речные террасы . . . . .	66
e) Повышения местности . . . . .	68
f) Существующие колодцы . . . . .	68
III. Производство изысканий грунтовой воды путем измерения естественных выходов грунтовых вод . . . . .	69
IV. Приборы для измерения количества воды . . . . .	71
1. Непосредственное измерение . . . . .	71
a) Мерные сосуды . . . . .	71
b) Водяной дюйм . . . . .	72
c) Тонкая стенка с отверстиями . . . . .	73
d) Таблицы коэффициентов $\mu$ для истечения воды через отверстия в тонкой стенке . . . . .	74
e) Водосливы . . . . .	75
f) Количества воды в л/сек., измеренные при помощи водослива Понселе . . . . .	80
g) Водомер . . . . .	81
2. Определение количества воды косвенным путем . . . . .	81
a) Определение скорости движения воды в открытых руслах . . . . .	81
b) Поплавок . . . . .	82
c) Гидрометрические вертушки . . . . .	83
3. Сравнительная таблица степени точности разных измерительных приборов . . . . .	83
4. Измерение количества воды в артезианских колодцах . . . . .	84
5. Таблица пересчета дебита л/сек. в л/мин., м <sup>3</sup> /час. . . . .	85
V. Определение понятия грунтового потока и бассейна неподвижной грунтовой воды . . . . .	87
1. Текучие грунтовые воды . . . . .	87
a) Горизонтальное движение грунтовых вод . . . . .	87
b) Уровень грунтовых вод . . . . .	88
a) Измерение уровня грунтовых вод . . . . .	88
c) Свободная и напорная поверхности грунтовых вод . . . . .	91
a) Свободная поверхность грунтовых вод . . . . .	91
b) Напорная поверхность грунтовых вод . . . . .	91
d) Ненормальное и ложное зеркала грунтовых вод . . . . .	93
a) Ложное зеркало грунтовых вод . . . . .	94
b) Ненормальное зеркало грунтовых вод . . . . .	96
e) Естественное колебание зеркала грунтовых вод . . . . .	98
f) Величина естественных колебаний уровня грунтовых вод . . . . .	101
g) Горизонтали естественного зеркала грунтовых вод (гидроизогины) . . . . .	102
a) Нарушение гидроизогии зеркала грунтовых вод . . . . .	106
b) Изменяемость направления гидроизогии . . . . .	109
γ) Гидроизогины зеркала грунтовых вод в плотных, трещиноватых породах . . . . .	110
δ) Горизонталь зеркала грунтовых вод в застроенных городских районах . . . . .	111
h) Падение грунтовых вод . . . . .	112
a) Величина естественного падения грунтовых вод . . . . .	112
b) Изменение падения грунтовых вод . . . . .	112
2. Стоячая грунтовая вода . . . . .	114
VI. Определение количества грунтовой воды . . . . .	114
VI <sub>1</sub> . Косвенное определение количества грунтовой воды . . . . .	115

1.	Определение количества грунтовой воды по количеству просочившейся в грунт воды и по величине площади инфильтрации . . . . .	115
	а) Количество просочившейся воды . . . . .	115
	б) Площадь питания . . . . .	115
	с) Определение границ района питания по подземным водораздельным линиям . . . . .	115
2.	Определение количества грунтовой воды по поперечному сечению потока и скорости . . . . .	117
2а.	Поперечное сечение потока . . . . .	118
2б.	Определение количества грунтовой воды при помощи произведения $p \cdot v$ . . . . .	119
	а) Выведенная по поперечному разрезу водоносного пласта скорость движения воды . . . . .	120
	б) Величина коэффициента фильтрации $K$ . . . . .	120
	с) Определенные величины коэффициента фильтрации $K$ . . . . .	120
	а) Величина зерен . . . . .	121
	б) Форма зерен . . . . .	123
	γ) Средний диаметр зерен . . . . .	124
	δ) Коэффициент неоднородности . . . . .	125
	ε) Расположение зерен . . . . .	125
	ζ) Соотношение смеси зерен . . . . .	126
	д) Определение путем лабораторных опытов коэффициента фильтрации $K$ . . . . .	126
	е) Определение коэффициента водопроницаемости $K$ для естественного водоносного пласта. . . . .	128
	ф) Определение удельного дебита водоносного пласта по Тиму . . . . .	128
2с.	Определение количества грунтовых вод при помощи отдельных множителей $p$ и $v$ . . . . .	130
	а) Относительная величина $p$ . . . . .	130
	б) Математическое определение пористости . . . . .	130
	с) Определение пористости лабораторным путем. . . . .	131
	д) Соотношения между коэффициентом водопроницаемости и пористостью . . . . .	132
	е) Скорость движения грунтовых вод $v$ . . . . .	132
	ф) Капиллярное движение грунтовых вод . . . . .	133
	г) Определение скорости движения грунтовой воды посредством опытов в естественном грунте . . . . .	135
	а) Измерение скорости грунтовых вод посредством волн грунтовых вод . . . . .	135
	б) Измерение скорости грунтовых вод по способу введения в поток поваренной соли. . . . .	137
	γ) Определение скорости грунтовой воды способом Слехтера . . . . .	139
	h) Другие способы измерения скорости грунтовой воды . . . . .	140
	и) Фактически измеренные скорости грунтовой воды. . . . .	140
	к) Изменяемость естественных скоростей грунтовых вод . . . . .	141
VI <sub>2</sub> .	Непосредственное определение количества грунтовых вод . . . . .	142
1.	Определение количества грунтовых вод путем измерения естественного дебита источников. . . . .	142
2.	Определение количества грунтовых вод помощью опытной эксплуатации колодца . . . . .	142
	а) Действие колодцев . . . . .	143
	б) Действие колодцев в горизонтальном направлении . . . . .	143
	с) Район питания и район сферы влияния колодца . . . . .	148
	д) Нижний водораздел . . . . .	149
	е) Действие колодца в вертикальном направлении . . . . .	152
	ф) Значение вертикального действия каптажа для естественного режима подземных вод . . . . .	153
	г) Закон Тима . . . . .	153
	h) Режим нескольких вертикальных колодцев . . . . .	154
	и) Режим горизонтальных водосборов . . . . .	155
	к) Сравнение режима вертикальных и горизонтальных водосборов . . . . .	156

	<i>Стр.</i>
VII. Некаптивированный, проходящий поток грунтовых вод . . . . .	157
VIII. Теория движения грунтовых вод . . . . .	157
1. Закон Пуазейля-Дарси-Дюпюи . . . . .	158
2. Зависимость движения грунтовых вод от температуры . . . . .	163
IX. Математическая обработка действия колодцев . . . . .	164
1. Дебит колодца, выведенный из закона Дарси . . . . .	164
a) Вертикальный колодец при свободном зеркале грунтовых вод . . . . .	165
b) Вертикальный колодец в напорном водоносном пласте . . . . .	166
c) Горизонтальные водосборы . . . . .	166
2. Закон дебита по Дарси . . . . .	167
a) Колодцы со свободным зеркалом . . . . .	169
b) Колодцы с напорным уровнем . . . . .	169
3. Переход от напорного к свободному зеркалу . . . . .	171
4. Дебит несовершенных колодцев . . . . .	171
5. Кривая депрессии и понижение уровня воды . . . . .	172
6. Депрессия в зависимости от отбора воды . . . . .	173
7. Депрессия в зависимости от мощности водоносного пласта . . . . .	173
8. Влияние диаметра колодца на дебит . . . . .	174
X. Метод Тима (ε-метод) . . . . .	175
Причины ошибок, возникающих при применении метода Тима . . . . .	182
XI. Способ Люммерта . . . . .	183
XII. Другие независимые от Дарси теории колодцев . . . . .	183
D. <i>Подземные водотоки</i> . . . . .	185
I. Гидрогеологическое строение толщи горных пород, прорезанных подземными водотоками . . . . .	185
1. Трещиноватость плотной горной породы . . . . .	185
2. Расширение трещин горных пород . . . . .	186
3. Разъедание (коррозия), выщелачивание и эрозия . . . . .	186
4. Цикл эрозии . . . . .	188
5. Водные пути . . . . .	189
6. Последующее изменение в строении подземных путей . . . . .	189
7. Пещерные реки . . . . .	190
a) Изменяемость путей пещерных рек . . . . .	192
b) Свойство пещерных рек задерживать и спускать воду . . . . .	193
c) Исчезновение пещерных рек и впадение последних в море . . . . .	193
d) Образование систем подземных водотоков и пещерных рек . . . . .	194
8. Гидрологические явления в карстовых областях . . . . .	195
II. Поиски подземных водотоков . . . . .	197
1. Скрытые подземные водотоки . . . . .	197
2. Признаки . . . . .	198
III. Доказательство существования подземных водотоков путем измерения выходов источников . . . . .	199
IV. Определение количества воды подземных водотоков . . . . .	199
1. Определение по величине инфильтрации или вернее по количеству поглощенной воды и по району выпадающих осадков . . . . .	199
2. Определение количества воды по трещиноватости породы . . . . .	200
3. Определение количества воды по поперечному сечению потока и по скорости движения воды . . . . .	201
a) Поперечный разрез потока . . . . .	201
b) Зеркало воды . . . . .	201
c) Колебания уровня . . . . .	202

d) Измерение скорости движения воды . . . . .	203
a) Различные средства измерения . . . . .	203
б) Определение скорости воды окрашивающими веществами . . . . .	203
γ) Причины ошибок при опытах с окрашиванием . . . . .	206
δ) Фактически измеренные скорости подземных водотоков . . . . .	208
4. Определение при помощи эксплуатации опытных колодцев . . . . .	209
5. Определение по штольням и тоннелям . . . . .	210
V. Выводы о трещиноватости горной породы по дебиту подземных водотоков . . . . .	212
VI. Законы дебитов подземных водотоков . . . . .	213
VII. Леви-Леймбаховский способ для изыскания подземных вод . . . . .	215
<b>Б. Физическое, химическое, бактериологическое и микробиологическое исследование воды</b> . . . . .	216
I. Общие замечания . . . . .	216
II. Взятие проб воды . . . . .	216
III. Дезинфекция каптажей перед взятием проб воды . . . . .	218
IV. Инструкция к отбору проб воды . . . . .	218
V. Исследование физических свойств воды . . . . .	220
1. Температура . . . . .	220
2. Изменение температуры . . . . .	222
3. Чистота и прозрачность . . . . .	224
4. Окраска . . . . .	225
5. Вкус . . . . .	225
6. Запах . . . . .	226
7. Электропроводность воды . . . . .	226
8. Радиоактивность . . . . .	226
VI. Исследование химических свойств воды . . . . .	228
1. Жесткость . . . . .	228
1а. Определение жесткости . . . . .	232
2. Хлор (хлориды) . . . . .	234
2а. Определение хлоридов . . . . .	239
3. Железо . . . . .	240
3а. Определение содержания железа в воде . . . . .	243
4. Марганец . . . . .	244
4а. Определение содержания марганца в воде . . . . .	247
5. Углекислота . . . . .	248
5а. Определение в воде свободной углекислоты . . . . .	248
6. Аммиак . . . . .	248
7. Азотистая кислота . . . . .	249
8. Азотная кислота . . . . .	249
9. Сероводород . . . . .	250
VII. Воды, разрушающие металлы и известковые кладки . . . . .	250
VIII. Исследование воды для промышленных целей . . . . .	250
IX. Изменение свойств воды . . . . .	252
X. Значение физико-химического исследования воды для суждения о ней с гигиенической точки зрения . . . . .	254
XI. Бактериологическое исследование воды . . . . .	254
XII. Микробиологическое исследование воды . . . . .	256
XIII. Очищающее свойство естественных грунтов . . . . .	257
1. Очищающее действие водоносного пласта . . . . .	257
2. Пределы очищающего действия водоносного пласта . . . . .	261
3. Замутняющее и очищающее действие подземных водотоков . . . . .	263
4. Фильтрующее действие подземных водотоков . . . . .	264
<b>Б. Каптаж грунтовых вод.</b> . . . . .	267
I. Технические предварительные исследования . . . . .	267
1. Общие замечания . . . . .	267
2. Откачка из отдельных буровых скважин и удаление песка . . . . .	270

3. Измерение удельного дебита, определение качества воды в поле . . . . .	271
II. Опытный колодез . . . . .	272
1. Общие замечания . . . . .	272
2. Положение опытного колодца . . . . .	273
3. Устройство опытного колодца . . . . .	273
4. Эксплуатация опытных колодцев . . . . .	276
5. Состояние равновесия в конце эксплуатации опытного колодца . . . . .	279
6. Положение зеркала во время и в конце эксплуатации опытного колодца . . . . .	280
7. Нарушение в строении водоносного пласта вблизи опытного колодца . . . . .	281
8. Числовые данные, полученные при эксплуатации опытных колодцев . . . . .	282
9. Состояние равновесия опытного колодца и продолжительность этого состояния в каптаже . . . . .	282
III. Общие положения при устройстве каптажа для грунтовой воды . . . . .	284
1. Выбор места каптажа . . . . .	284
2. Рельеф поверхности и глубина грунтовых вод . . . . .	284
3. Выбор направления каптажа . . . . .	284
4. Каптаж между нарушенными горизонталями . . . . .	285
5. Зеркало каптажа с сильным падением . . . . .	286
6. Каптаж в глубоких каналах . . . . .	286
7. Каптаж при глубоколежащем зеркале грунтовых вод . . . . .	287
8. Выбор между каптажами с самотечным водопроводом и искусственным подъемом . . . . .	288
9. Сооружение каптажей для питания бывших водопроводов с речной водой . . . . .	290
10. Техническая невозможность каптировать грунтовую воду . . . . .	290
IV. Общие замечания о каптажах . . . . .	291
V. Трубчатые колодцы . . . . .	291
1. Общие замечания . . . . .	291
2. Абиссинские колодцы . . . . .	292
3. Буровые трубчатые колодцы . . . . .	293
4. Оборудование трубчатых колодцев . . . . .	293
a) Фильтр . . . . .	293
b) Каркас фильтра . . . . .	294
c) Деревянные каркасы фильтров . . . . .	294
d) Гончарные каркасы фильтров . . . . .	295
e) Железные каркасы фильтров . . . . .	295
f) Чугунные каркасы фильтров . . . . .	296
g) Фильтры из меди, бронзы . . . . .	297
h) Каркасы фильтров, сделанные из разных металлов . . . . .	297
i) Многоуровневые фильтры . . . . .	298
k) Предохранение колодцев от засорения песком . . . . .	298
a) Общие замечания . . . . .	298
b) Сетки . . . . .	299
γ) Засыпка из песка и гравия . . . . .	300
l) Обсадные трубы . . . . .	303
m) Всасывающие трубы . . . . .	303
n) Устье колодца . . . . .	304
o) Прочая арматура устьевых частей колодца . . . . .	306
VI. Шахтные колодцы . . . . .	308
1. Общие замечания . . . . .	308
2. Шахтные колодцы с каменной кладкой . . . . .	308
3. Бетонные шахтные колодцы . . . . .	310
4. Железные шахтные колодцы . . . . .	311
5. Охрана шахтных колодцев от заноса песком . . . . .	311
VII. Комбинированные шахтные и трубчатые колодцы . . . . .	313
VIII. Артезианские колодцы . . . . .	313
IX. Одичавшие артезианские колодцы . . . . .	316

X. Горизонтальные каптажи . . . . .	319
1. Общие замечания . . . . .	319
2. Недоступные горизонтальные каптажи . . . . .	319
3. Доступные сборные галлерей . . . . .	322
XI. Каптажи в мелкозернистом песке . . . . .	324
1. Трубчатые колодцы в пльвуне . . . . .	325
2. Шахтные колодцы в пльвуне . . . . .	326
3. Сборные трубопроводы в пльвуне . . . . .	327
XII. Взаимное отдаление и глубина колодцев . . . . .	328
XIII. Сопротивление в каптаже . . . . .	329
XIV. Соединение в один общий водопровод каптированной воды . . . . .	332
1. Соединительный трубопровод . . . . .	332
2. Удаление воздуха из всасывающих трубопроводов . . . . .	334
3. Сборный колодец . . . . .	337
a) Местоположение сборного колодца . . . . .	337
b) Сооружение и режим сборного колодца . . . . .	338
XV. Каптаж вблизи поверхностных водоемов . . . . .	339
1. Естественные взаимоотношения между грунтовыми и поверхностными водами . . . . .	339
2. Расстояние между каптажем и поверхностной водой . . . . .	340
3. Доказательство взаимоотношений между каптажем и поверхностной водой . . . . .	341
XVI. Депрессия зеркала грунтовой воды и ее действие . . . . .	343
1. Общие замечания . . . . .	343
2. Действие понижения грунтовых вод на свойства воды . . . . .	344
3. Влияние депрессии на произрастание растений . . . . .	345
4. Влияние понижения грунтовых вод на ведение хозяйства . . . . .	349
XVII. Долговечность каптажных сооружений . . . . .	350
XVIII. Гидрогеологическое обследование каптажа, прекратившего подачу воды . . . . .	351
XIX. Средства для увеличения долговечности водопровода . . . . .	357
XX. Искусственное образование грунтовой воды . . . . .	359
XXI. Охрана каптажа . . . . .	365
1. Общие замечания . . . . .	365
2. Охрана запасов воды . . . . .	365
3. Охрана качества воды . . . . .	366
4. Влияние на грунтовую воду, оказываемое с поверхности земли . . . . .	366
5. Боковое влияние на каптажи, оказываемое соседними поверхностными водами . . . . .	368
6. Влияние на грунтовые воды, оказываемое из глубины земли . . . . .	374
7. Мероприятия для предохранения каптажа от загрязнения . . . . .	374
XXII. Наблюдения за каптажем . . . . .	377
Г. Водное хозяйство . . . . .	378
Н. Сравнительная таблицы разных мер . . . . .	382

## ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

Книга Е. Принца «Гидрогеология» (E. Prinz, «Hydrologie») посвящена подземным водам — их происхождению, условиям их накопления и передвижения и их режиму. Не меньше места уделяется методике определения производительности водоносных пластов и способам каптирования подземных вод.

Принцем широко использован богатейший опыт германской гидрогеологической практики по изучению грунтовых вод для целей водоснабжения.

Таким образом книга Принца представляет собой ценное практическое руководство.

Книга озаглавлена Принцем «Гидрологией». В переводе же мы ее назвали «Гидрогеологией», так как это заглавие более соответствует ее содержанию. Буквальный же перевод привел бы несомненно к недоразумениям, потому что под «гидрологией» мы в СССР привыкли понимать преимущественно науку о поверхностных водах.

Книга издается почти без сокращений; без изменения также оставлена основная терминология автора по классификации подземных вод, хотя она и не вполне отвечает принятой в СССР терминологии.

*Редакторы*

## ВОДА ЗЕМНОГО ШАРА

Вся вода земного шара, находящаяся в капельно-жидком состоянии, по своему залеганию в отношении поверхности земли может быть разделена на две группы:

- 1) находящаяся на поверхности земли — поверхностная вода;
- 2) образующаяся, скопляющаяся и циркулирующая в толще земной коры — подземная вода.

### А. ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ

Подземные воды обычно заполняют пустоты земной коры целиком или только частично.

Подземную воду обнаружить без особых приспособлений возможно только там, где она выступает на земную поверхность в виде источников или других естественных выходов. Во всех других случаях надо путем изысканий установить, на какой глубине, в каком количестве и какого свойства имеется вода, и искусственным путем достигнуть слоев, содержащих подземную воду. Ввиду необходимости проведения для этой цели буровых и других работ поиски подземных вод на глубине в большинстве случаев отличаются сложностью, требуют много времени и дорого стоят.

При гидрогеологических изысканиях можно только там рассчитывать на успех, где толщи горных пород не состоят из плотных, компактных масс, а содержат того или иного типа пустоты. Такие подземные пустоты являются первым условием для образования, накопления и движения подземной воды. Они представляют собой вместилища, без которых немислимо накопление более или менее значительной массы капельно-жидкой воды. Поэтому одним из главнейших вопросов гидрогеологии является отыскание таких лежащих под землей вместилищ, которые необходимы для образования и скопления подземных вод.

Так как число, величина и другие свойства этих пустот зависят от геологического строения, то совершенно понятно, что гидрогеологические изыскания без изучения геологического строения не могут быть успешными.

Как бы ни было важно в гидрогеологическом отношении геологическое изучение подземных пустот, необходимо в то же время твердо помнить, что данные геологических исследований по существу дела представляют собой только исходную точку для дальнейших гидрогеологических изысканий.

Не все пустоты содержат воду в достаточном количестве и желательного качества, и потому главной целью гидрогеологических исследований является не только обнаружение бассейнов подземных вод, но и определение их содержимого в отношении количества и качества воды.

Из этого видно, с одной стороны, что практическая геология и гидрогеология должны дополнять друг друга, а с другой стороны, что при всех гидрогеологических работах решающее значение имеют не геологические, а гидрогеологические данные.

## 1. ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ГРУНТОВЫЕ ВОДЫ И НА ПОДЗЕМНЫЕ ВОДОТОКИ

Пласты земли, изобилующие пустотами и служащие для скопления воды, называются водоносными пластами.

Смотря по характеру пустот, в которых образуется, собирается и движется подземная вода, гидрологические и другие свойства водоносных пластов бывают различны.

Можно различать следующие категории пустот.

1. Пустоты рыхлых обломочных или зернистых пород. Промежутки между отдельными зернами таких пород образуют как бы систему сосудов, и собирающаяся в них вода представляет собой не одно общее сплошное капельно-жидкое тело, но массу отдельных водяных нитей или струй, которые находятся в гидродинамической связи между собой.

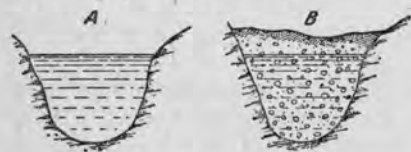


Рис. 1. Схематическое изображение разницы между подземным водотоком и грунтовой водой.

Пустоты, заключенные в зернистой массе водоносного пласта, называются порами, и образую-

щаяся в такой пористой массе подземная вода называется грунтовой водой<sup>1</sup>.

2. Пустоты в твердых сплошных горных породах представляют собой трещины, провалы и пещеры и служат бассейнами для подземной воды. В таких бассейнах подземная вода представляет собой одно сплошное капельно-жидкое тело, подобное поверхностным водотокам, и называются они подземными водотоками.

Разница между грунтовыми водами и подземными водотоками иллюстрируется рисунком 1.

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

<sup>1</sup> Термин «грунтовые воды» большинство исследователей и практиков в СССР и за границей понимают в ином, более ограниченном смысле, относя к грунтовым водам воду ближайшего к поверхности водоносного горизонта, лежащего на первом от поверхности водонепроницаемом пласте. Следует указать, что в настоящее время нет общепринятой классификации подземных вод. (См. А. М. Жирмунский и А. А. Козырев «О классификации подземных вод. Материалы по общей и прикладной геологии», вып. 98, Ленинград, 1928 г.)

Терминологию Е. Принца мы оставляем без изменения, так как она бесспорно оригинальна и логически проводится через всю книгу.

Примечание редакторов.

сечение  $A$  наполнено песком, гравием или галькой, в которых движется подземная вода, что представлено на рисунке сечением  $B$ , тогда получается грунтовая вода.

Если вода в обоих каналах ( $A$  и  $B$ ) находится в движении, то не трудно понять, что гидравлические процессы в потоках  $A$  и  $B$  различны. В потоке  $A$  трение, испытываемое водой при движении, ограничивается только трением воды о стенки каналов, в то время как в потоке  $B$  к этим наружным сопротивлениям прибавляются еще сопротивления внутренние, обусловливаемые массой зернистого материала, наполняющего канал и задерживающего движение воды.

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

Смоченная поверхность в зернистом водоносном пласте, состоящем из многочисленных мелких пор, 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 с грунтовой водой должны быть иными, чем в подземных водотоках.

Сравнительно большое сопротивление в водоносных пластах, сложенных из пористого грунта, обуславливает меньшую скорость движения воды. Если таким образом скорость движения воды в пористом грунте меньше скорости движения воды в подземных водотоках, то грунтовые воды конечно потребуют значительно больше времени для прохождения одинакового с подземным водотоком пространства. Поэтому грунтовая вода успевает подвергнуться большим изменениям, чем вода подземного водотока.

Замедление естественной скорости движения грунтовой воды влечет за собой не только выравнивание колебаний температуры и количества просачивающейся в грунт поверхностной воды, но благодаря относительно малому поперечному сечению пор ведет также к полному очищению воды от взвешенных и от загрязняющих веществ, увлекаемых с поверхности. Процесс этот называется естественной фильтрацией.

Относительно сильное сопротивление течению грунтовой воды в водоносном пласте отражается также и на форме зеркала грунтовых вод.

Под влиянием сопротивления водоносного грунта зеркало грунтовой воды образует довольно правильные поверхности, формы которых подвергаются только очень незначительным изменениям.

В подземных водотоках отпадают все явления, вызываемые трением в водоносном зернистом или пористом грунте. Поэтому в подземных водотоках мы не имеем ни выравнивания колебаний температуры, уровня грунтовых вод и дебита, ни фильтрующего действия грунта. Водные зеркала подземных водотоков ничем не отличаются от зеркал водотоков поверхностных.

## II. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПОНЯТИЙ ГРУНТОВОЙ ВОДЫ И ПОДЗЕМНЫХ ВОДОТОКОВ

По роду водоносных пластов в гидрогеологическом отношении мы имеем и два рода подземных вод, друг от друга совершенно различных. Из этого вытекают следующие определения основных свойств той и другой воды.

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

Самым характерным для грунтовой воды являются те сопротивления, которые воде приходится преодолевать при своем продвижении в грунте. Эти сопротивления имеют громадное значение для гидрогеологических и других свойств грунтовых потоков:

а) зеркало воды, которое благодаря сопротивлению грунта обладает свойством оставаться в более или менее постоянном состоянии при отборе воды, образует хорошо выраженные депрессионные поверхности;

б) сравнительно небольшая скорость движения воды;

в) слабые колебания дебита и температуры;

г) очищение воды от взвешенных веществ и от других органических и неорганических примесей или, короче говоря, действие естественной фильтрации.

2. **Подземные водотоки** наоборот несут воду, которая течет в трещинах, расщелинах, пещерах и других подземных каналах твердых пород по законам, свойственным течению воды в каналах.

Обычными свойствами подземных водотоков являются:

а) частые изменения уровня воды;

б) сравнительно большая скорость движения воды;

в) большие колебания дебита и температуры;

г) полное отсутствие или слабое действие естественной фильтрации, вследствие чего в этих водах бывает временно помутнение. Подобные воды, как правильно говорит народная мудрость, связаны с дождем.

Различие между подземными грунтовыми водами и подземными водотоками сказывается не только в гидрологическом, но и в гигиеническом отношении.

Задерживающее, выравнивающее и очищающее действие пористого или зернистого водоносного пласта ведет к тому, что грунтовая вода в гигиеническом отношении оказывается значительно здоровей воды подземных водотоков. В то время как грунтовые воды представляют собой профильтрованную естественным путем воду, вода подземных водотоков представляет собой воду, иногда почти ничем не отличающуюся от поверхностной. Различие между поверхностной водой и водой из подземных водотоков большей частью состоит лишь во внешних признаках, которые выражаются только в том, что одна вода течет под землей, а другая над землей. Для качества воды это обстоятельство часто не имеет никакого значения, и в таких случаях смело можно сказать, что вода подземных водотоков является не чем иным как поверхностной водой, опустившейся под землю.

Ввиду этого легко понять, почему вода подземных водотоков в гигиеническом отношении бывает не всегда безупречна. Пользование ею нередко приводит к разочарованиям и даже к опасным последствиям. Существует совершенно неправильный взгляд, что под землей течет только чистая вода. Этот взгляд безусловно ошибочен, и 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.

Подобный процесс очистки может произойти в кровле или в самой водоносной породе, если трещины и другие каналы водотока наполнены фильтрующим материалом.

В отделе Е, в подотделе XIII «Очищающее свойство естественных грунтов» мы ближе подойдем к этому вопросу.

Резко определенной границы между грунтовой водой и подземными водотоками конечно нет и не может быть. Как везде в природе имеются переходные ступени, так и между грунтовой водой и подземными водотоками нет резкой границы, и часто нельзя решить, имеем ли мы дело только с той или с другой водой или же с обоими видами этих вод.

Точно так же само собой понятно, что в природе встречаются грунтовые воды, менее надежные в гигиеническом отношении, 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.

### III. ПРОИСХОЖДЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

По современному почти всюду признанному воззрению существуют два места зарождения подземной воды: а) атмосфера и б) недра земли.

#### 1. АТМОСФЕРНОЕ ПРОИСХОЖДЕНИЕ ПОДЗЕМНОЙ ВОДЫ

Относительно атмосферного происхождения подземной воды существуют в настоящее время две теории: а) теория инфильтрации и б) теория конденсации.

##### а) Теория инфильтрации

Согласно теории инфильтрации выпадающие из атмосферы на землю гидро-метеоры, осадки, как то: туман, роса дождь и снег, распадается на четыре части, из которых одна часть стекает по поверхности земли, вторая — испаряется, третья — поглощается растениями и служит для их питания и четвертая — просачивается или погружается под почву.

Действительно ли вода просочится под почву или, строго говоря, только погрузится в нее, зависит от геологического свойства грунта. Процессы инфильтрации свойственны пористым грунтам, погружение же воды имеет место там, где непосредственно от поверхности земли залегают породы, обладающие трещинами, расселинами, провалами и т. п.

Как велико общее количество выпадающих осадков и какова величина вышеупомянутых четырех частей, невозможно определить

даже приблизительно, потому что количество осадков колеблется в разных местностях и в разные годы, точно так же как и относительная величина названных выше частей, которая зависит от целого ряда местных, иногда меняющихся приводящих обстоятельств.

Количество осадков обыкновенно уменьшается в зависимости от географической широты и с удалением от берега моря по направлению в глубь материка.

По Ф р и ч е (Fritzsche) например годовое количество осадков выражается следующими величинами:

Между 90—80° северной широты	340 мм
» 80—70° » »	259 »
» 70—60° » »	348 »
» 60—50° » »	504 »
» 50—40° » »	508 »
» 40—30° » »	522 »
» 30—20° » »	786 »
» 20—10° » »	947 »
» 10—0° » »	1 716 »
Между 90—80° южной широты	} 300 мм
» 80—70° » »	
» 70—60° » »	
» 60—50° » »	
» 50—40° » »	
» 40—30° » »	
» 30—20° » »	
» 20—10° » »	
» 10—0° » »	1 812 »

С повышением местности количество выпадающих дождей возрастает. При этом в горной местности, даже на малых друг от друга расстояниях, количество выпадающего дождя подвержено большим колебаниям.

Как на замечательный пример этого явления мы можем по данным З у п а н а (Suran) указать на окрестности города Голулулу, лежащего на высоте 200 м выше уровня моря. Там количество выпадающих осадков почти на каждой улице различно. Средняя величина осадков за трехлетие (1890—1892) колебалась внутри города на расстоянии 8 км между 612 и 3 652 мм, т. е. в шестикратном размере.

По вычислению С т у д н и к а (Studnick) для Чехо-Словакии на каждые 100 м повышения местности над уровнем моря можно принять за среднюю годовую величину прироста количества выпадающих осадков 70 мм. Из нижеприведенной сравнительной таблицы среднего годового количества осадков видно, как велики колебания выпадающих осадков на европейском материке.

Наименьшие и наивысшие количества дают большие расхождения.

По данным Д ж е ф ф е р с о н а (Jefferson) наименьшее годовое количество осадков наблюдалось на Иквике (Icivique) (0,6 мм), Копиано в Чили (Copiapo in Chile) (17 мм) и по данным З у п а н а в Вальфишбае (Walfischbai) (7 мм). В Дебундже (Debundja) на отрогах Камерунского плоскогорья ежегодное количество осадков — 10 469 мм, в Чирапундди, в Бенгалии на высоте 1 250 м над уровнем моря наивысшее количество осадков, наблюдавшихся по настоящее время, равняется 11 627 мм.

Местность	Средняя годовая величина осадков (в мм)	Местность	Средняя годовая величина осадков (в мм)
В провинция Познань . . . . .	513	В Афинах . . . . .	328
» » Бранденбург . . . . .	541	» Бергене . . . . .	2 253
» » Восточн. Пруссии . . . . .	600	» Брюсселе . . . . .	700
» » Шлезвиге . . . . .	680	» Париже . . . . .	483
» » Рейнской . . . . .	754	» Праге . . . . .	389
» » Вестфалии . . . . .	804	» Триесте . . . . .	1 101
» » Гарце <sup>1</sup> . . . . .	833	» Вене . . . . .	566

Величина той части общего количества осадков, которая стекает по поверхности земли, зависит как от рельефа (главным образом от крутизны склонов), так и от гидрогеологических свойств грунта.

Не меньшее значение для величины поверхностного стока имеют продолжительность и сила осадков, а также и времена года и характер растительного покрова, который бывает неодинаковым, меняясь из года в год и в зависимости от времен года. На величину испарения оказывают наиболее существенное влияние температура, направление ветра, давление и влажность воздуха. Количество испаряющихся осадков зависит также и от строения и геологических свойств земной поверхности и от характера растительного покрова, а также от того, насколько глубоко лежит уровень подземной воды. Если почва мелкозернистая, то ее капиллярность способствует увеличению испарения, потому что капиллярность поднимает воду из глубины на поверхность земли и тем дает ей возможность испаряться.

По данным Людеке (Lüdecke) опыты, произведенные Родвеем (Rodway), в Ларами, показали, что при стоянии уровня грунтовой воды на 15, 30, 45, 55 см испарение за день составляло 5,3; 3,9; 2,5; 2,0 мм. Так же подвержена большим колебаниям и крайне трудно поддается учету и та часть осадков, которая задерживается растительным покровом и идет для его питания и затем подвергается испарению.

Из 58,5 млн. м<sup>3</sup> воды, поглощенных северными полями орошения Берлина в 1910 г., 33 млн. м<sup>3</sup> попали обратно в реку Шпрее; 21 млн. м<sup>3</sup> испарились, и едва только 4 млн. м<sup>3</sup> попали в грунтовую воду или были поглощены растениями.

Те же местные условия, которые обуславливают сток, испарение, поглощение растениями, влияют и на величину той части осадков, которая образует подземную воду.

Количество последней части осадков сильно колеблется и меняется даже в одном и том же месте смотря по времени года.

<sup>1</sup> В западном Гарце — 1 030, в восточном Гарце — 633 мм.

Дождевая вода, выпадающая на землю в виде затаянного обложного дождя, обычно сильнее питает подземную воду, чем то же или даже большее количество дождевой воды, выпадающее на землю в виде ливня.

Точно так же медленно тающие массы снега и льда образуют больше подземной воды, чем то же количество осадков, выпадающее в виде дождя. Это бывает тогда, когда почва до таяния снега не была промерзшей и под покровом снега сохранила в значительной части свою водопроницаемость.

Принимая во внимание огромное число причин, которые влияют на распределение общего количества осадков на отдельные указанные выше четыре части, легко прийти к убеждению, что нет никакой возможности дать хотя бы приблизительно верные цифры соотношения общего количества выпадающих осадков к стоку, испарению, поглощению воды растениями и инфильтрации.

Обычное до настоящего времени в технической литературе деление общего количества осадков на три части (поглощение влаги растениями совершенно не принимается в расчет), — сток, инфильтрацию, испарение в равных частях — является ввиду вышесказанного совершенно беспредельным, так как получаемые таким делением средние величины совершенно не соответствуют действительности.

Для доказательства правильности теории инфильтрации часто прибегают к указанию зависимости высоты уровня грунтовой воды от количества выпавших осадков. Нельзя спорить с тем, что подобная зависимость действительно замечается в разных местах, и таким образом наибольшие и наименьшие количества осадков и высота уровня грунтовых вод могут быть приняты как причина и следствие (см. главу — Колебания уровня грунтовых вод). В противовес этому необходимо отметить, что до настоящего времени ни в общем ни в частности не установлено, какой промежуток времени протекает с момента падения дождевой капли на землю до того, пока эта капля пройдет через определенный поперечный разрез водоносного пласта, лежащего под местом, над которым выпал дождь.

Время, потребное для превращения атмосферной воды, увлажнившей верхние пласты земли, в грунтовую, залегающую в более глубоких пластах, так же не известно, как не известно и время, необходимое для прохождения водой определенного пространства в горизонтальном направлении. Естественная скорость движения грунтовых вод в 1 м в сутки считается малой скоростью. В подобном потоке вода в год протечет пространство в 400 м (с округлением); если место осадков находится на расстоянии 4 км от наблюдательного пункта, то потребуется 10 лет для того, чтобы влияние больших осадков в верхнем пункте проявилось в нижнем пункте в виде подъема уровня грунтовых вод<sup>1</sup>.

Только из одного этого нужно прийти к заключению, что очень трудно и рискованно сделать вывод о взаимном влиянии выпадающих осадков и уровня грунтовых вод по признаку близких по времени явлений выпадения осадков и подъема уровня грунтовых вод. На уровень грунтовых вод должны оказать влияние и другие причины.

<sup>1</sup> С этим соображением автора нельзя согласиться, так как изменения уровня происходят под влиянием передачи напора. Это влияние протекает с относительно большой скоростью, неизмеримо большей, чем скорость движения самой грунтовой воды. *Примечание редакторов.*

Во-первых, большую роль играет поверхностная вода, значительная часть ее инфильтруется через водопроницаемое дно ручьев, рек и озер, что в значительной степени содействует увеличению запасов грунтовых вод и колебанию их уровня.

Точно так же и грунтовые воды, образующиеся путем подземной конденсации наряду с инфильтрационной водой, оказывают влияние на высоту уровня грунтовых вод, но по современному состоянию гидрогеологии вопрос этот не представляется возможным решить даже приблизительно и определить степень участия обеих этих разновидностей воды в образовании грунтовых вод.

### б) Теория конденсации

Фольгер (Volger) противопоставил теории инфильтрации, признаваемой в течение столетий за единственно правильную, новую теорию образования грунтовой воды.

Он придерживается того мнения, что осадки никогда не могут так глубоко проникнуть в почву, чтобы из них могли образоваться грунтовые воды. Он утверждает, что насыщенный водяными парами воздух является почти единственным производителем подземных вод. Фольгер идет в этом отношении так далеко, что совершенно отрицает образование подземных вод путем инфильтрации.

Теория Фольгера была оспорена многими исследователями. Полное перечисление литературы по этому вопросу приводит Генле (Henle).

С Фольгером отчасти соглашается Сойка (Sojka), который искал подтверждения этой теории в том, что колебания грунтовых вод протекают тождественно с так называемым дефицитом насыщения, т. е. разницей между максимальным возможным и действительным содержанием влаги в воздухе.

После Сойки новые доказательства правильности этой теории пробовали найти Кениг (König), Мецгер (Mezger) и Гедике (Hädicke). Мецгер делает вывод, что водяной пар проникает в почву не силой воздушного течения или путем диффузии, но силой особых токов пара.

Теория Фольгера опирается на наблюдение, что в остывшей почве при притоке сырого воздуха в верхних слоях почвы под влиянием теплых ветров сгущается и проникает в глубину определенное количество водяных паров.

Чем меньше разница в температурах, тем меньше и количество конденсированной воды, и потому с известной долей вероятности следует ожидать, что наибольшее количество конденсированной воды образуется зимой.

Между тем неоднократно производившиеся измерения давали такие малые количества конденсированной воды, которые не могут служить для подкрепления теории Фольгера.

По данным Людеке (Lüdecke) Латам (Latham) вывел помесечно за 30 лет следующие средние количества конденсированной воды в миллиметрах, что составляет за весь год 7,50 мм.

Январь . . .	1,54	Апрель . . .	0,10	Июль . . . .	0,001	Октябрь . . .	0,96
Февраль . . .	1,17	Май . . . . .	0,03	Август . . . .	0,05	Ноябрь . . . .	0,66
Март . . . . .	0,46	Июнь . . . . .	0,07	Сентябрь . . .	0,05	Декабрь . . . .	2,41

Самая значительная конденсация воды за год имела место в 1893 г. и составляла 32,9 мм, а слабейшая — в 1899 г. — 2,41 мм.

Ежегодно бывают месяцы, в которых количество конденсированной воды равняется 0 или близко к 0.

Из произведенных Латамом измерений выяснилось, что количество грунтовой воды, образующейся путем конденсации, по сравнению с количеством, образующимся из дождевой воды, почти незаметно.

Как доказательство правильности теории Фольгера приводится то, что между давлением паров воды над и под поверхностью земли и уровнем стояния грунтовой воды имеется известная параллельность, так же как и между осадками и колебаниями уровня грунтовых вод.

Однако при этом надо заметить, что еще не разрешен вопрос, вызывает ли повышенное давление паров повышение уровня грунтовых вод или же наоборот — повышение грунтовых вод вызывает и увеличение давления паров. Другими словами, еще не выяснено, что является причиной и что — следствием.

В отношении теории конденсации можно утверждать, что по настоящее время взаимодействие атмосферных паров воды и уровня грунтовых вод еще не настолько изучено, чтобы можно было прийти к какому-нибудь окончательному выводу.

В 1921 г. Р е й х л е (Reichle) опубликовал очень интересные данные о способе добычи питьевой воды из влаги воздуха при помощи особых сооружений для конденсации.

## 2. НЕДРА ЗЕМЛИ КАК ПЕРВОИСТОЧНИК ОБРАЗОВАНИЯ ВОДЫ

В дополнение к теориям инфильтрации и конденсации З ю с с (Suess) утверждает, что не только атмосфера является первоначальным источником подземной воды, но что в этом процессе принимают участие и недра земли. Зюсс называет воду, происходящую из атмосферы, «вадной», а воду, происходящую из недр земли, — «ювенильной»<sup>1</sup>.

Более подробное описание вадной и ювенильной воды дает Д е л ь к е с к а м п (Delkeskamp). Ювенильная вода образуется из кислорода и водорода, выделяющихся из расплавленных и медленно затвердевающих глубинных горных пород, и потому она является новообразованием, увеличивающим водные запасы земной коры.

Теория ювенильной воды опирается на появление сопровождающих вулканические извержения метеорологических явлений (облака, проливные дожди) и на присутствие воды в горных породах магматического происхождения.

Построенная на строго научных наблюдениях зюссовская теория ювенильной воды приводила однако к неправильным выводам, когда пытались рассматривать в качестве ювенильных не только многие термальные источники, но и источники с пресной водой в таких случаях, когда дело шло несомненно о воде вадного происхождения.

Пример такого заблуждения дают В и н к е л ь (Winkel) и Г е й л ь м а н (Heilmann), когда они отстаивают взгляд, что многие водопроводы, например водопровод в Висбадене, во время нехватки воды покрывали свою потребность в воде ювенильной водой.

<sup>1</sup> Вадная — поверхностная, ювенильная — девственная.

Теория Зюсса встретила также много противников. Повидимому может считаться установленным, что большинство термальных вод является не чем иным, как подземной водой атмосферного происхождения, нагретшейся от соприкосновения с горячими газами или от проникания газов в подземную воду. Шнейдер (Schneider) придерживается в этом вопросе особого взгляда.

Из противников Зюсса в первую очередь следует назвать Бруна и Штутцера (Brun и Stutzer). Брун при своих исследованиях вулканов приходит к убеждению, что вообще не может быть ювенильной воды.

По мнению автора можно считать, что вода ювенильного происхождения вообще существует и что место ее образования лежит на очень больших глубинах или же его надо искать вблизи контактов эрупции.

Однако многие переоценивают количества существующей ювенильной воды.

### 3. ОБРАЗОВАНИЕ ПОДЗЕМНОЙ ВОДЫ ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ПУТЕМ ИНФИЛЬТРАЦИИ И СТОКА

Увеличению количества подземной воды очень способствуют потери воды из поверхностных водоемов, действительные потери которых нередко недооцениваются.

Эти потери воды имеют место как в водопроницаемых местах дна рек и озер при обычных уровнях воды, так и в затопленных половодьем местах.

По Фишеру (Fischer) массы воды, просачивающиеся в почву, могут быть чрезвычайно велики. Так летом 1902 г. в течение 25 дней во время половодья в Одере на пути от Ратибора (Ratibor) до Гагензаатена (Hagensaathen) убыло 340 млн. м<sup>3</sup> при общем количестве воды в реке в 1 950 млн. м<sup>3</sup>. Следовательно убыль исчисляется в 17%. В 1903 г. она составляла 16%.

Подобные потери, обусловленные утечкой, имеют место также и зимой; однако зимой они меньше, чем летом.

Нижеприведенная таблица по Фишеру дает средние потери воды в Одере в промежуток времени с 1896 по 1905 г.

Д л и н а п у т и	Млн. м <sup>3</sup>			м <sup>3</sup> в секунду		
	Зима	Лето	Год	Зима	Лето	Год
Ратибор — Штейнау . . . . .	38	208	246	2	13	8
Штейнау — Полленциг . . . . .	595	515	1 100	38	32	35
Полленциг — Гагензаатен и Варта ниже Ламберга . . . . .	241	273	514	15	17	16
Общее количество . . . . .	874	996	1 870	55	62	59

На каждый километр протяжения реки средние годовые потери в Одере были следующие:

- От Ратибора до Штейнау . . . . . 30 л/с на 1 км
- » Штейнау до Полленцига . . . . . 180 » » 1 »
- » Полленцига и Ламберга до Гагензаатена . . . . . 83 » » 1 »

Эти значительные массы воды могли исчезнуть лишь через дно, так как на 59 м<sup>3</sup> общей потери воды лишь 3 м<sup>3</sup> исчезают вследствие испарения. Само собой понятно, что вышеприведенные числа должны рассматриваться лишь как приблизительные величины.

Эту воду принимают в себя пересекающие современную долину Одера долины древних заполненных наносами потоков (см. в отделе С, в главе I «Водоносные пласты»), которые должны рассматриваться, как подземные дренажные каналы. Подобные потери воды через водопроницаемое дно встречаются также и в других речных долинах. Так например согласно данным Келлера (Keller) Дунай при каждом половодье теряет выше Ульма (Ulm) 20 млн. м<sup>3</sup> воды, которые накапливаются под землей.

Количество воды в подземных трещинах и щелях по общему правилу также значительно увеличивается от проникающей в почву поверхностной воды. Если трещиноватые пласты перекрыты песком и гравием, то нередко процесс проникания воды обуславливается процессом инфильтрации. Это явление имеет место, когда над толщей

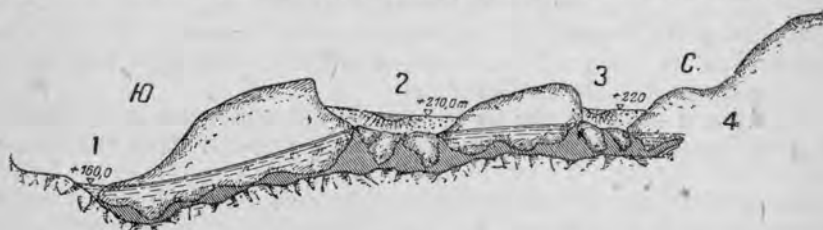


Рис. 2. Схематическое изображение погружения рек Одера и Зибера в грунт (по Тюрнау).

1 — Ружский источник; 2 — Одер; 3 — Зибер; 4 — Гарц

трещиноватых пород простираются заполненные галькой долины рек и ручьев, ложе которых водопроницаемо. При наличии таких перекрывающих пластов происходит обычно предварительная очистка воды, которая в зависимости от вида перекрывающего материала может быть с гигиенической точки зрения или достаточной или нет. Пример подобной инфильтрации мы находим в преддверии Гарца, в долинах Одера и Зибера, содержащих толщи галечников (рис. 2).

Процесс инфильтрации распределяется на сравнительно большие протяжения и легко может быть определен при низком стоянии уровня воды. На некоторой глубине инфильтрация воды переходит в погружение воды в толщи горных пород.

— По Тюрнау (Thurnau) потери рек Одера и Зибера вследствие отдачи воды в водопроницаемые слои зависят от количества воды в реках и возрастают с повышением уровня воды в последних.

Однако с повышением уровня воды в реке отношение потери воды к имеющемуся налицо количеству воды уменьшается.

Согласно имеющимся до сих пор измерениям потеря воды обеих рек выражается:

	В процентах
При высоком стоянии уровня воды . . . . .	10 — 25
» среднем » » » . . . . .	30 — 40
» низким » » » . . . . .	70 — 100

Если трещины, щели и различные формы карстовых воронок выступают на поверхность, то все выпадающие атмосферные осадки и поверхностные водотоки ими всецело поглощаются. Так как в таких случаях в перекрывающих пластах, состоящих из рыхлых пород, большого сопротивления не бывает, то процесс поглощения происходит значительно быстрее.

Места поглощения значительных масс воды в ручьях и руслах рек называются поглощающими воронами, понорами.

Такие места поглощения находятся как в береговых откосах, так и на самом дне и могут быть определены иногда по водовороту, образующемуся на поверхности воды, и по глухому шуму низвергающейся в глубину воды.

Только там, где канал перекрыт водонепроницаемыми или почти водонепроницаемыми отложениями, не происходит отдачи воды в глубину. В зависимости от соотношения между количеством протекающей воды и потерей ее в поглощающие карстовые пути поверхностный водоток распадается на сменяющие друг друга мокрые, сухие участки и участки с живой струей.

Нередко участки реки с водой бывают зимой длинней, чем летом. Причиной этого является замерзание мест поглощения, вследствие чего щели и трещины временно закрываются.

Высокая водопроницаемость областей развития трещиноватых пород находит отражение в гидрографических особенностях поверхности, которая в период слабого выпадания осадков бывает бедна водой или совершенно высыхает и лишь на короткие промежутки времени несет поверхностную воду. В таких областях движение воды происходит главным образом под землю.

Насколько велика может быть потеря воды в открытые трещинные каналы, показывает следующая таблица по Штилле (Stille), исчисляющая водоотдачу реки Бееке (Beeke) в 1901 г. Пленерским горам, расположенным вдоль ее течения.

Место измерений	Промежуток (в метрах)	Количество воды в Бееке м/сек.	Потеря на метр в л/сек.
У Алтенбеекского виадука . . . . .	3 900	1 180	0,18
» Шафвеше . . . . .	1 300	490	0,25
» Пеллицауской мельницы . . . . .	160	164	0,37
» Бокобера . . . . .	120	104	0,37
» Блейхплаца . . . . .	120	71	0,28
» Запруды железнодорожной-водокачки .	—	62	0,07

#### IV. ПОДЗЕМНАЯ ВОДА И ГУСТОТА РЕЧНОЙ СЕТИ

Просачивание или в соответствующих случаях погружение поверхностной воды в почву находит себе выражение в так называемой густоте речной сети, под чем мы понимаем согласно с Грауэлюсом (Grauelius) выраженную в километрах среднюю длину рек, на одном квадратном километре земной поверхности.

Найдено, что густота речной сети тем меньше, чем больше водопроницаемость пород, слагающих местность, потому что в этом случае более значительная часть атмосферных осадков прокладывает себе путь не по поверхности земли, а под землей.

Согласно Нейману в нижепоименованных районах густота речной сети составляет:

Р а й о н		Густота речной сети (длина реки, отнесенная к 1 км площади)	Ежегодный процент осадков (в миллиметрах)
В Поммернской морской низменности . . .	} водопро- ницаемом	0,36	595
» северном Шлезвиге . . . . .		0,56	730
» сложенных песчаником горах Эльбы . . .	} водоне- прони- цаемом	0,99	820
» высокогорной части бериск. района . . .		128,00	1 200
» гранитных горах Лаузитца . . . . .		143,00	686
» Гарце . . . . .		177,00	527

## У. ВЛИЯНИЕ ЛЕСА НА ОБРАЗОВАНИЕ ПОДЗЕМНОЙ ВОДЫ

Вопрос, какую роль играет лес в природном водном балансе и особенно при образовании подземной воды, неоднократно обсуждался и поныне недостаточно разъяснен.

В общем можно считать, что лес влияет на грунтовую воду тройным образом: увеличивает количество атмосферных осадков, способствует инфильтрации и в результате поглощения воды растениями понижает уровень грунтовых вод. Таким образом он действует, с одной стороны, увеличивая количество грунтовой воды, с другой — уменьшая.

Согласно до сих пор установленным данным оказывается, что роль леса в увеличении количества грунтовой воды сильно переоценивается. Очень часто высказываемое мнение о том, что лес увеличивает количество выпадающих осадков, опирается главным образом на тот факт, что степи, пустыни и открытые ландшафты значительно беднее осадками, чем местности, покрытые лесом. Однако во многих случаях отсутствие леса и растительности является не чем иным, как естественным следствием незначительного количества выпадающих осадков. Здесь очень часто смешивают причину и следствие, и можно утверждать, что не только отсутствие леса вредно отражается на количестве выпадающих осадков, но также и обратно — что недостаток в осадках неблагоприятно влияет на произрастание леса.

Увеличение количества осадков благодаря лесу может происходить оттого, что пары воды, испаряемые листвой, повышают влажность воздуха и в то же время, охлаждая воздух, способствуют сгущению водяных паров.

Согласно Гану (Happ) это положение соответствует действительности. Лес, затеняя почву, понижает температуру воздуха. Лесными насаждениями понижается также температура почвы. В лесу

промерзание почвы не так глубоко, как на открытом месте. Вследствие этого влажность воздуха в лесу повышается. Почва в лесу в период роста растительности теряет на 62% меньше влаги, чем на открытом месте.

Высыхание почвы особенно не значительно под покровом отмерших растительных остатков. Благодаря последним проникание воды в почву почти вдвое увеличивается. Вследствие этого несмотря на собственное высокое потребление воды лес повышает и сохраняет содержание воды в почве. Таким образом лес является регулятором воды, циркулирующей в почве, регулируя довольно равномерно питание источников, ручьев и рек.

То, что лес местами может повысить количество осадков, видно из того, что в северных и центральных провинциях Индии среднее количество дождя во вновь облесенных (после хищнического уничтожения леса) районах за время от 1876 до 1885 г. повысилось на 12%. В Гамбурге увеличение количества осадков вследствие влияния лесов Швеции составляло 3%. Согласно Ш у б е р т у (Chubert) лес западной Пруссии и Познани повысил количество осадков на 2% и выше (однако ниже 10%) и в Силезии — от 2 до 6%. Таким образом в наших широтах влияние леса на увеличение дождя очень не значительно. Однако увеличение количества дождей должно быть приписано влиянию не только леса, но соседних равнин без лесных насаждений.

Согласно Н е ю (Neu) способствующее процессам инфильтрации влияние леса в большинстве случаев переоценивается там, где речь идет о лесах, растущих на равнине, так как значительная часть выпадающих осадков задерживается листьями, иглами и ветвями деревьев, вследствие чего почва лишается этих осадков. Лесная подстилка также неблагоприятно влияет на процесс инфильтрации.

Если же лес расположен на склонах, то влияние его на образование подземной воды значительно благоприятней. Покрытая растительностью почва в этом случае препятствует стоку поверхностной воды, вернее задерживает ее, благодаря чему способствует инфильтрации воды.

Согласно данным М а р ш а н д а (Marschand) лес, расположенный на равнине, должен в общем понижать уровень грунтовых вод. Для лесных районов в «ландах» (во Франции) он считает, что размер депрессии уровня составляет по меньшей мере 50 см. Таким образом лес лишил бы каждый гектар почвы приблизительно на 100 м<sup>3</sup> воды больше, чем всякое другое растительное насаждение. Среднее количество выпадающих дождей в лесной области в ландах составляет 850—900 мм в год, а испарение лесом составляет 450 мм в год. Таким образом испарение в 4½ раза больше того количества воды, которое соответствует понижению уровня грунтовых вод.

Между тем количество воды, не проникшее в почву благодаря лесу, повышает влажность воздуха и увеличивает также количество дождей в среднем приблизительно на 600 мм в год. Это количество дождей распределяется на поверхность, в 7—8 раз превышающую площадь, занятую лесом. В связи с этим лес играл бы таким образом роль дополнительного фактора, который распределял бы на большие пространства влагу, накопившуюся в почве.

Того же взгляда придерживается и Г е н л е (Henle), который однако не приписывает влиянию леса увеличение количества осадков, но считает,

что лес обуславливает лишь равномерное распределение осадков на своей территории и в ближайших окрестностях. Таким образом взгляды на роль леса в отношении осадков широко расходятся. Разрешить надлежащим образом этот вопрос является делом будущего.

Отоцкий и Эбермайер (Otozky и Ebermayer) произвели подробные исследования по вопросу о влиянии леса на грунтовую воду. На основании произведенных в 1893—1897 гг. опытов внутри и вне лесов, в степях на юго-западе СССР и в некоторых лесах близ Ленинграда Отоцкий пришел к выводу, что грунтовая вода в лесу залегают значительно глубже, чем в степях, даже если эти последние не покрыты растительностью. Он установил падение уровня грунтовых вод по направлению к лесу. Величина падения уровня местами достигла по наблюдениям Отоцкого свыше 10 мм и возрастала с усиливающейся густотой леса и с возрастом деревьев (до 60 и 80 лет). С вырубкой леса уровень грунтовых вод должен снова повыситься (рис. 3).

К совершенно другим результатам пришел Эбермайер, который сообщая с Гартманом (Hartmann) произвел гидрологические

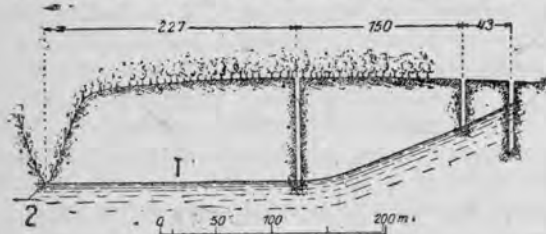


Рис. 3. Понижение зеркала грунтовой воды в лесной местности (по Отоцкому).

1 — уровень грунтовых вод; 2 — ключи

измерения на опытных полях Миндельгейма и Вендельштейна в Баварии.

Эбермайер не удовлетворился измерениями уровня грунтовых вод, но произвел безукоризненную гидрологическую съемку исследованной местности; достоверность этой съемки может быть проверена точными поперечными разрезами и горизонталями грунтовых вод. Из наблюдений Эбермайера вытекает, что на вышеупомянутых полях понижения уровня грунтовых вод вследствие потребления воды лесом не наблюдалось.

Подобное явление должно было бы выявиться в виде воронки депрессии или подобных нарушений в естественном положении зеркала грунтовых вод. Однако об этом и речи нет, и где под лесом расстояние между поверхностью и уровнем грунтовой воды становится больше, чем на открытой местности, там это явление объясняется исключительно различием между уклоном поверхности земли и уклоном зеркала воды.

Эбермайер приводит профиль долины Лех (Lechtal) близ Швабштадла (рис. 4), из которого даже явствует, что уровень грунтовых вод под лесом лежит менее глубоко, чем под непокрытой лесом равниной.

Противоречие между наблюдениями Отоцкого и Эбермайера объясняется быть может тем, что Отоцкий ограничился лишь измерениями стояния уровня воды, не разбирая более подробно чисто гидрогеологических условий подпочвы. Из данных Отоцкого можно с большой вероятностью заключить, что подвергшиеся его наблюдениям зеркала воды не принадлежали сплошному потоку грунтовой воды, но представляли собой случайные уровни, не имеющие гидравлической связи.

Это показано на рисунке 3, где овраг со своими выходами источников представляет собой место естественного дренажа, которое должно быть замечено по депрессии зеркала воды в направлении к месту источника. Поэтому, пока не будет найдено достоверного противоположения, результаты, достигнутые Эбермайером, должны считаться правильными, а влияние леса на обильные потоки грунтовых вод, выражающееся в депрессии уровня воды, не должно считаться доказанным.

Различные стояния уровня грунтовых вод, зафиксированные автором, в лесистых районах всецело подтверждают правильность этого предположения и результатов эбермайеровских измерений.

Если по современному состоянию науки о грунтовых водах не может быть речи о влиянии леса на уменьшение воды в грунтовых потоках, то, с другой стороны, нужно принять, что понижение зеркала грунтовой воды возможно там, где речь идет о стоячих грунтовых водах.

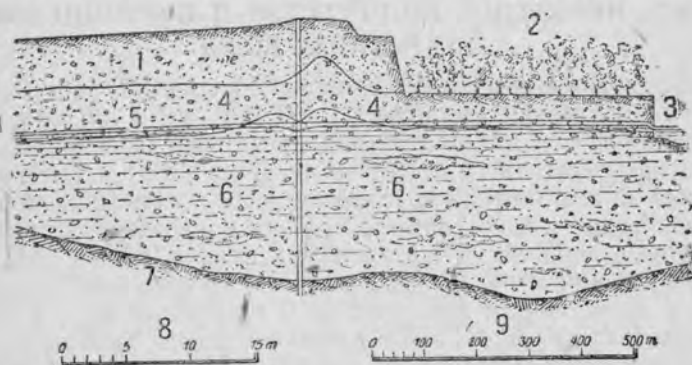


Рис. 4. Зеркало грунтовой воды, не подверженное влиянию леса (по Эбермайеру).

1 — крупный гравий и камни; 2 — луговой лес; 3 — уровень воды в реке Лех; 4 — крупный гравий с примесью глины; 5 — уровень грунтовой воды; 6 — крупный песчаный гравий; 7 — водонепроницаемое ложе; 8 — масштаб высоты; 9 — масштаб длины

Как показывает опыт, заболоченные, лишенные стока бассейны грунтовых вод от насаждения быстро растущих деревьев (ива, ольха, эвкалиптовые деревья и т. п.) вследствие их высокого потребления воды могут потерять ее в большем количестве.

При подобных явлениях следует однако точно различать обильные потоки грунтовых вод и иссякающие, мертвые скопления воды, в которых отсутствует постоянный приток подземной воды.

## VI. ЗНАЧЕНИЕ ТЕОРИИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВОДЫ ДЛЯ ПРАКТИКИ

Нельзя одной какой-либо теорией объяснять все процессы подземной воды и считать, что подземная вода в зависимости от времени и места образуется по той или иной теории или возможно совсем иным способом, до сих пор быть может неизвестным.

Для изыскания и открытия подземной воды в целях водоснабжения теория ее возникновения не имеет в настоящее время актуального практического значения.

В технике водоснабжения является главным вопрос: «Где и в каком количестве можно длительно добывать необходимое количество подземной воды?»

Что гидрогеология несмотря на имеющиеся разногласия и неясности в отношении возникновения подземной воды проложила себе путь к гидрогеологическому познанию доступных изучению пластов земной коры и с успехом разрешила целый ряд самых трудных вопросов о воде, никаких особых доказательств не требуется.

Чтобы убедиться в этом, достаточно взглянуть на статистику городского водного хозяйства.

Однако из сказанного не следует, что практическая гидрогеология не интересуется правильным пониманием процессов возникновения подземной воды. Когда это будет достигнуто, то следует ожидать, что практика также извлечет из этого соответствующую пользу.

## VII. ВЕРОЯТНОЕ КОЛИЧЕСТВО И ПОСТОЯНСТВО ПОДЗЕМНОЙ ВОДЫ

Согласно К р ю м м е р у (Krummer) количество поверхностной воды при округлении составляет 1 300 млн. км<sup>3</sup>+100 млн. м<sup>3</sup>; последняя цифра рассматривается как предельная ошибка.

Согласно опыткам, произведенным Д е л е с с о м (Deless) и повторенным Сойка (Soyka) и имевшим целью вычислить количество подземной воды, нужно считать, что она в капельно-жидкой форме встречается в пористых и трещиноватых пластах земли, обладающих температурой ниже 100° С. Принимая, что среднее повышение температуры в недрах земли равняется 1° С на каждые 33 м в глубину, слой земли, содержащий воду в капельно-жидком состоянии, должен иметь мощность приблизительно в 3 300 м. Но так как образование пара зависит от давления, а давление с глубиной увеличивается, то следовало бы предполагать, что капельно-жидкая вода встречается не только на глубине 3 300 м, но приблизительно на 18 500 м при температуре до 600° С. Если плотность земли в водоносном поясе в среднем имеет 2,5 и если количества содержащейся воды в этом поясе земли в среднем считать 5%, то вероятное количество подземной воды составит:

$\frac{4}{3} \times 3,14 (6\ 370,0^3 - 6\ 351,5^3) 2,50 \times 0,05 = 1\ 278\ 900\ 000$  км<sup>3</sup>,  
если считать радиус земли равным 6 370 км.

Из этого следует, что по вычислению Делесса общее количество подземной воды земного шара должно почти равняться количеству поверхностной воды.

Г а л ь б ф а с с (Halbfass) вычисляет вероятное количество воды в верхней части земной коры, ограничивая свои наблюдения аллювиальными и ледниковыми отложениями. Исходя из предположения, что количество подземной воды в окрестностях Берлина составляет  $\frac{4}{5}$  количества выпадающих осадков (по Бейшлагу и Ваншафферу), и далее, что количество подземной воды в плоскогории в Баварии составляет 3-кратное (по Раману) (Ramann) и в долине верхнего Рейна 5-кратное (по Кейльгаку) количество выпадающих осадков, он пришел к выводу, что количество подземной воды в верхних пластах может считаться, как 1,5—2-кратное количество ежегодно выпадающих осадков в тех местностях, где подпочва не образована из

ледниковых отложений, т. е. состоит из менее водопроницаемых отложений.

Так как годовое количество осадков всего земного шара согласно Фриче (Fritzsche) в круглой цифре составляет 465 000 км<sup>3</sup>, то запас подземной воды в верхних четвертичных пластах земли равняется в круглой цифре 800 000 км<sup>3</sup>.

Дальнейшим теоретическим вопросом является, увеличиваются ли или уменьшаются водные запасы земной коры и в каком соотношении находятся прибыль и убыль.

Если перевешивает прибыль, то должно иметь место повышение уровня подземной воды, в связи с чем должно наступить постепенное затопление земной коры. Если перевешивает убыль, то естественным следствием этого является высыхание земли и уничтожение всей органической жизни на ней.

Приток воды из недр земли может иметь место от возникновения ювенильной воды.

Приток воды между тем возможен также из мирового пространства. Эту возможность допускает Хорбигер-Фаут (Hoerbiger-Fauth), утверждая, что ежегодно из мирового пространства падают на землю большие количества состоящих из льда метеоритов. Правильность этой теории Хорбигер-Фаут пробует между прочим доказать наблюдениями например над тем, что годовые колебания на Нильских футштоках совпадают с опозданием на несколько недель с тем временем, когда наблюдается наибольшее количество падающих звезд.

Убыль общего запаса воды в земле может иметь место вследствие поглощения значительного количества воды при выветривании горных пород, а также при проникновении воды в глубину.

О количестве вышеприведенной прибыли и убыли не могут быть даны никакие достоверные цифры. Нужно удовлетвориться признанием того, что такие процессы возможны.

Однако следует еще заметить, что согласно Гобингеру приблизительно 20% ежегодных осадков происходит из мирового пространства. Величине этой прибыли должна бы соответствовать численно одинаковая убыль, если современное водное богатство остается постоянным.

Как бы ни были интересны с чисто теоретической точки зрения вышеприведенные наблюдения о количестве воды нашего земного шара, увеличении этого количества и уменьшении его, в практическом отношении они не имеют значения. Это происходит потому, что в гидрогеологической практике приходится лишь в каждом случае устанавливать, имеется ли необходимое количество воды в определенных районах.

Согласно имеющимся до сих пор сведениям можно утверждать, что количество подземной воды зависит не от состояния погоды в том или другом году, но от средних величин Брюкнеровского 36-летнего климатического периода, установленного на основании долготлетних наблюдений, который может рассматриваться как неизменный.

## VIII. ПОДЗЕМНЫЕ ВОДНЫЕ ПУТИ И КРУГОВОРОТ ВОДЫ

С физической точки зрения каждая горная порода до известной степени способна воспринимать или отводить воду в капельно-жидкой форме. В этом можно убедиться, сравнивая между собой вес куска

Горной породы с таковым же, высушенным до абсолютно сухого состояния. Разница в весе указывает на количество содержащейся в горной породе так называемой гигроскопической воды, которая называется горной влажностью.

Если абсолютно сухой кусок горной породы оставить лежать на воздухе, то он снова быстро поглощает влагу.

Сосуды, в которых удерживается гигроскопическая вода, образованы порами горной породы.

Сила, удерживающая воду, является силой сцепления или вернее молекулярной силой, и так как вследствие этого гигроскопическая вода не может быть изъята из горной породы механическим путем, то в практической гидрологии она играет роль лишь постольку, поскольку она сохраняет горную породу в насыщенном водой состоянии, так что для дальнейшего восприимания воды горная порода более не способна.

Из этого следует, что поры горных пород в качестве путей, проводящих воду, имеют лишь второстепенное значение.

Однако они являются не единственными пустотами, делающими почву водопроницаемой.

Исследуя массивы плотных горных пород, можно установить, что они испещрены многочисленными волосными трещинами и расселинами, которые принимают осадки, выпадающие на поверхность земли, и проводят их дальше подземными путями.

Эти подземные пути являются водными каналами, похожими на поверхностные русла, и обладают большой способностью поглощать воду. Поперечное сечение их колеблется от мельчайших долей миллиметра, едва заметных волосных трещин, до подземных расселин и пещер, площадь сечения которых измеряется часто сотнями метров.

Водоносность твердой горной породы вызывается сильно разветвленной трещиноватостью. На странице 14 мы обозначили текучую по трещинам и щелям воду как подземные водотоки.

Если образование трещин продолжается, то плотные горные породы распадаются на отдельные обломки, которые крошатся и соскальзывают в глубину, постепенно нагромождаясь друг на друга. Эти нагромождения покрывают более отлогие склоны и подножия гор. Под влиянием выветривания и действия текучей воды размываются отдельные обломки, обрабатываются, уносятся дальше и снова нагромождаются.

Таким образом в понижениях образуются большие скопления из рыхлых, более или менее округленных обломков, которые в зависимости от величины называются песком, гравием, галькой, валунами.

Между отдельными валунами находятся пустоты, которые образуют сильно разветвленную сплошную сеть каналов. Это обуславливает водоносность водопроницаемой толщи.

Через эти рыхлые нагромождения протекают большие массы гидравлически связанной воды, которую мы называем грунтовой водой. Над поверхностью грунтовых вод расположен пояс, в котором поры грунта не целиком заполнены водой, а содержат воду, воздух и почвенный газ. Этот пояс называется поясом влажности почвы, здесь также действуют силы сцепления и капиллярности.

Влажность почвы и влажность горных пород представляет собой гидрогеологический переход от поверхностной воды к воде подземной.

Трещиноватость твердых горных пород и водопроницаемость рыхлых нагромождений дают возможность образоваться подземным водным путям.

По этим путям движется подземная вода, либо поднимающаяся к поверхности, либо стекающая в глубину.

В обоих направлениях своего движения подземная вода подвержена изменениям, так как она подобно поверхностной воде не остается длительно в одном и том же состоянии.

Взаимный обмен и взаимодействие между поверхностной и подземной водой очень разнообразны; каждая поверхностная вода легко может естественным путем превратиться в подземную воду и наоборот.

Последовательность различных состояний воды называется круговоротом воды.

Пути круговорота воды отчасти лежат на поверхности, отчасти же под землей, и каждая частица воды в процессе круговорота может попеременно пройти через все три фазы, т. е. быть в виде пара, капельно-жидкой и твердой в виде льда.

В зависимости от местных условий пройденный путь представляет собой полный или лишь частичный круговорот. В общем можно сказать, что для попавшей однажды в круговорот частицы воды состояние метеорной воды является начальным и конечным пунктом ее кругового движения.

В круговороте воды принимают участие:

- 1) атмосферная вода,
- 2) поверхностная вода,
- 3) почвенная влажность, или горная влажность,
- 4) грунтовая вода,
- 5) подземные водотоки,
- 6) ювенильная вода.

Ключи представляют собой наглядный переход от грунтовой воды и подземных водотоков в поверхностную воду.

Нижеприведенная схема дает обзор возможных во время круговорота отдельных сменяющихся состояний и переходов. На рисунке 5 различные состояния круговорота в санитарно-гигиеническом отношении представлены таким образом, что гигиенически совершенное состояние представлено белыми, гигиенически же подозрительное представлено крестообразно заштрихованными поверхностями.

Однако нужно отметить, что грунтовая вода в зависимости от обстоятельств может быть так же гигиенически непригодной, как и вода подземных водотоков. С другой стороны существует также поверхностная вода, которая может рассматриваться как гигиенически совершенная.

Время, потребное для превращения атмосферной воды в подземную, зависит от стольких местных меняющихся условий, что оно не поддается учету.

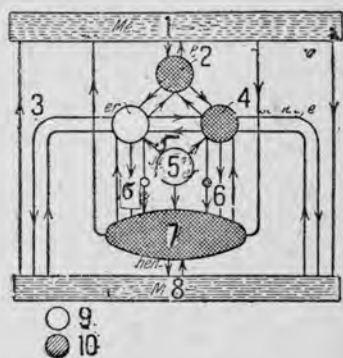


Рис. 5. Схематическое изображение круговорота воды.

1 — метеорная вода; 2 — почвенная или горная влажность; 3 — грунтовая вода; 4 — подземные водотоки; 5 — ювенильная вода; 6 — источники; 7 — поверхностная вода; 8 — море; 9 — гигиенически по большей части безразличная; 10 — гигиенически по большей части подозрительная

Можно лишь утверждать, что чем дольше продолжается это превращение, тем полней и совершенней устраняются гигиенически вредные свойства поверхностной воды.

Из наблюдений над круговоротом воды выясняется, что мнение (выраженное также в старых законодательствах), приписывающее подземной воде особое место среди вод земного шара, ни в коем случае не является правильным.

Подземная вода является лишь звеном в замкнутой цепи круговорота воды на земном шаре, и ее свойства и значение для человечества и для природного хозяйства будут лишь тогда правильно расценены, если допустить, что почти каждое искусственное воздействие на подземную воду равняется одновременному искусственному воздействию на поверхностную воду.

## В. ИСТОЧНИКИ В ШИРОКОМ ЗНАЧЕНИИ ЭТОГО СЛОВА

Источники возникают тогда, когда гидравлически связанные пути потоков подземного круговорота пересекают поверхность земли.

Следовательно источники являются не чем иным, как естественными выходами подземной воды на поверхность земли. Они встречаются везде, где водоносные пласты выходят на поверхность земли и естественным путем вода их выступает на поверхность. Источники можно также назвать естественными водопроводами, выводящими на поверхность запасы подземной воды.

Так же как невозможно судить о качестве воды, вытекающей из крана водопровода, по устройству самого водопровода, невозможно судить о качестве и свойствах родниковой воды только по виду, в каком подземная вода выступает на поверхность земли.

Из этого следует, что все явления, связанные с источниками, имеют механический характер и что недопустимо отводить источникам в связи с их химическими, гигиеническими и остальными многочисленными свойствами какое бы то ни было особое место среди вод земного шара и рассматривать ключевую воду как особый вид воды.

Только лишь свойства водоносных пластов, питающих источники, могут определить качество ключевой воды.

Если толща водоносных пород состоит из хорошо фильтрующих достаточной мощности пластов, то ключевая вода должна обладать свойствами хорошей, гигиенически совершенной воды.

Если же напротив источники питаются водой расщелин и трещин и подобных подземных путей, то ключевая вода должна быть наделена всеми теми качествами, которые вытекают из особых свойств водоносного пласта, пронизанного подземными водотоками.

В связи с этим в гигиеническом отношении нужно различать источники, питающиеся грунтовой водой, и источники, питающиеся подземными водотоками.

Понятие «источник» никогда не следует применять как определение качества воды. Смотря по качеству воды, выделяемой ежедневно источником, источники признаются хорошими, гигиенически безвредными или подозрительными в гигиеническом отношении или совершенно негодными.

Род выхода источника, его окружение, высота и т. п. являются с гигиенической точки зрения лишь внешними признаками второстепенного значения, и потому выходы источников должны расце-

ниваться не иначе как отверстия в земной коре, из которых вытекает подземная вода.

Тут идет речь главным образом о свойствах воды, обусловленных ее происхождением, но не об обстоятельствах, при которых вода выбивается из земли.

С гидрологической точки зрения также не правильно рассматривать воду источников как особый вид воды. Это ясно из приводимых ниже соображений.

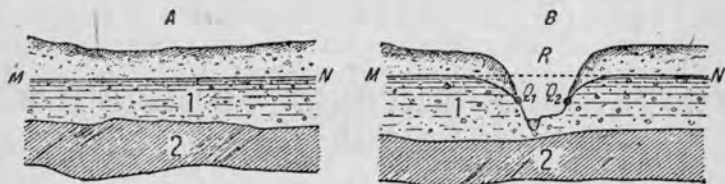


Рис. 6. Схематическое изображение источника, питаемого грунтовой водой.

1 — водопроницаемый пласт; 2 — водо непроницаемый пласт

Если мы имеем в разрезе *A* (рис. 6) водоносный пласт с грунтовой водой, в котором естественный уровень грунтовых вод представлен линией *MN*, то в свойстве воды ничего не может измениться, если разрез *A* через естественно или искусственно образованный эрозией канал перейдет в разрез *B*. Естественным следствием такого изменения будет только образование источников  $Q_1$  и  $Q_2$ , которые возникают благодаря перерыву в зеркале грунтовых вод и действие которых на грунтовую воду проявляется только в образовании кривой депрессии. Подпочва влияет на воду лишь в гидравлическом отношении. Изменение свойств воды абсолютно исключается.



Рис. 7. Схематическое изображение источника, питаемого подземным водотоком.

Совершенно то же самое мы имеем в подземных водотоках.

Если подземный канал (см. рис. 7) впоследствии прорезается оврагом, то как следствие этого появляется источник  $Q$ , и выступающая в этом источнике на поверхность земли вода есть не что иное как вода подземного водотока со всеми его неизменными качествами.

Возникновение источников будет особенно подробно рассмотрено далее.

## С. ГРУНТОВЫЕ ВОДЫ

По данному в отделе А (стр. 14) определению под понятием «грунтовая вода» мы понимаем такую подземную воду, которая собирается в пластах обломочных горных пород и по законам фильтрации получает поступательное движение. Для образования грунтовых вод требуется:

1) нагромождение обломочных горных пород, которые в общей их совокупности называются водоносным пластом;

2) подстилающее ложе, на котором залегают толщи обломочных пород. Для образования сплошной массы воды подстилающий слой должен быть водонепроницаемым, так как в противном случае вода, собирающаяся в водонепроницаемых пластах, просачивалась бы в глубину.

### 1. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ВОДОНОСНОЙ ТОЛЩИ

#### 1. ВОДОНОСНЫЕ ПЛАСТЫ

С чисто гидрологической точки зрения довольно безразлично, из каких раздробленных горных пород и какой геологической формации образовались водоносные пласты. Точно так же мало значения для гидрогеологии имеет определение тех сил, которые вызвали раздробление крепких горных пород на отдельные обломки.

Дальше, в главе «Подземные водотоки» мы будем иметь дело с обратным положением, так как при образовании подземных водотоков главную роль играют именно род геологических формаций и силы, раздробившие породы.

Для водоносных пластов с грунтовой водой главным гидрогеологическим вопросом является, какими силами природы обломки горных пород проложили себе путь от места их происхождения до места их отложения и как велико расстояние между этими двумя пунктами.

Силами, движущими обломки горных пород и образующими их разнообразные скопления, являются: 1) живая сила воды, 2) живая сила льда, 3) живая сила ветра.

Эти силы называются также аллювиальными, гляциальными и эоловыми, и сообразно с этим различают водоносные пласты происхождения аллювиального (намывного), гляциального (ледникового) и эолового (ветрового).

Части, которые после раздробления основной породы остались на месте своего происхождения, называются элювиальными.

Аллювиальные водоносные пласты обязаны своим происхождением живой силе текучей воды.

Если их образование произошло в озерных бассейнах, то их называют «озерными». Аллювиальные водоносные пласты имеют всегда правильное напластование.

Ледниковые образования являются результатом действия глетчеров, если они не переработаны другими процессами, и представляют собой по общему правилу беспорядочную смесь осколков камней всевозможного строения и величин.

Ледниковые образования получают гидрологическое значение только после промывки, отделения ила и сортировки отдельных валунов, каковую работу производит текучая вода. Результатом этой работы воды является также правильно напластованные водоносные пласты, которые соответственно их двойному происхождению называются «флювио-гляциальными».

Водоносные пласты, образованные силами ветра, называются золовыми.

### а) Аллювиальные водоносные пласты

Рыхлые массы горных пород аллювиального происхождения, имеющие выдающееся значение для образования и распределения грунтовой воды, являются результатом выветривания горных пород, переноса водой и сортировки отделенных от породы осколков.

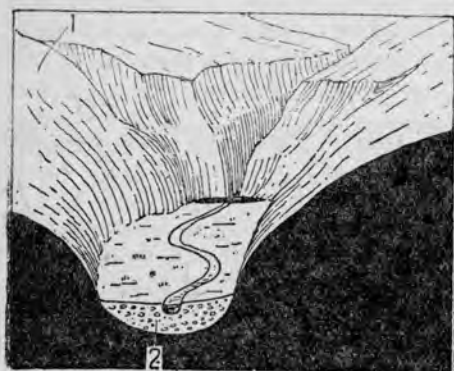


Рис. 8. Схематическое изображение разрушения горных пород и образование водоносного пласта.

1 — твердые горные породы; 2 — водоносный пласт с грунтовой водой

Разрушение горных пород происходит главным образом действием воздуха, воды, температуры и организмов посредством химических, физических и биологических процессов. Эрозия есть действие стекающей по поверхности земли воды, т. е. действие ручьев, рек и потоков. Осколки горных пород, переносимые действиями эрозии, не только шлифуются и дробятся друг о друга, но вырывают в ложе, по которому они двигаются, ямки, каналы и другие углубления, в которых потом при известных

обстоятельствах отдельные обломки отлагаются и образуют мощные водоносные пласты — вместилища грунтовой воды.

Образование аллювиальных водоносных пластов происходит постепенно и очень медленно путем переноса водой и отложения распавшихся горных пород, как то изображено на рисунке 8.

Механически уносимые водой вещества постепенно осаждаются по пути своего следования.

Этот процесс образования слоев зависит от живой силы текучей воды, величины, формы и веса отдельных влекаемых частиц и идет таким образом, что как общее правило в горах отлагаются

крупные валуны, а дальше вниз по долине отлагаются гравий, песок и ил.

По Домашевскому (Domashevsky) Дунай например доносит камни величиной с кулак до Прессбурга, легкие гальки — до Будапешта, песок — до Видина и ил — до самого Черного моря.

Законы переноса обстоятельно разбираются в работах Колле (Collet) и Ванга (Wang). По Бонне (Bonney) существуют следующие соотношения между скоростью текущей воды и увлекаемым водой материалом.

Влекаемый водой материал	Скорость в секунду (в метрах)
Ил . . . . .	0,076
Мелкий песок . . . . .	0,152
Крупный песок и мелкий гравий . . . . .	0,213
Крупный гравий . . . . .	0,305
Гравий диаметром в 25 мм . . . . .	0,686
Более тяжелые круглые камни . . . . .	1,219

Образовавшиеся вышеописанным образом аллювиальные отложения являются лучшими и самыми мощными водоносными пластами, заключающими грунтовую воду. Они идут по одному направлению с поверхностными водотоками и способствуют отдаче воды из окружающих твердых пород в ручьи, реки и озера.

Представление о мощности и протяжении аллювиальных отложений даст нам не только количество увлеченных за собой текущей водой материальных частиц, но и постепенно продолжающееся разрушение материка.

По данным Зупана (Supan) годовое количество переносимых Реной растворенных и взвешенных веществ составляет (измерение произведено у Pont du Scex в 6 км от Женевского озера):

	Зимнее полугодие	Летнее полугодие	В год
Количество воды (в млн. м <sup>3</sup> ) . . . . .	678	5 375	6 053
Растворенные вещества . . . . .	210	735	945
Взвешенные вещества . . . . .	34	3 060	3 094
Общее количество транспортируемых водой веществ . . . . .	244	3 795	4 039

Ввиду того что при известной скорости воды обломки некоторой величины остаются на месте, а некоторые уносятся дальше водой до тех пор, пока и они в зависимости от их веса и формы не осядут, происходит сортировка речных наносов по величине их зерен. Так образуются толщи рыхлых и однородных наносов с равномерной водопроницаемостью.

В правильном, точно определенном законами движения наносов образовании аллювиальных слоев заключается высокое гидрологическое значение аллювиального водоносного пласта; только при этих условиях движение воды в пласте будет происходить строго закономерно. Поэтому, произведя в таком водоносном пласте несколько отдельных наблюдений, можно сделать общий вывод о водных запасах всего пласта.

По этой причине аллювиальные образования особенно удобны для производства над ними систематических гидрогеологических изысканий.

По общему правилу мощность наносов по мере отделения их от истоков реки как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях увеличивается и достигает наибольшей мощности вблизи устья реки. Чем дальше мы будем подниматься вверх по течению, тем уже и уже становится сплошной водоносный пласт, и в конце концов, разделенный водоразделами, он распадается на отдельные водоносные каналы. Здесь поверхность земли перестает быть горизонтальной, и потому тут образуются отдельные, разделенные друг от друга водоносные пласты, как то изображено на рисунке 9.

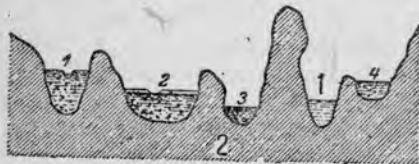


Рис. 9. Распадение сплошного водоносного пласта грунтовой воды на отдельные каналы.

1 — река; 2 — гравий

На рисунке 9 мы видим в одной общей гранитной постели четыре отдельные борозды, наполненные обломками одного и того же происхождения, причем все они не связаны гидравлически друг с другом.

Гидравлическое соединение отделенных друг от друга водоносных пластов происходит по водораздел опускается под поверхность водоносного пласта.

Близость гор отражается также и на образовании водоносного пласта и на фильтрующих свойствах его. Вблизи гор путь, пройденный отдельными валунами, короток, и переходы от половодья к среднему нормальному уровню воды происходят чаще, чем в долине. Ввиду этого такой водоносный пласт грунтовой воды представляет собой по величине зерен смесь из мелкого и крупного песка и неотшлифованных валунов и каменных обломков. По этой причине водопроницаемость такого пласта сильно меняется, и фильтрация очень различна, а иногда и очень слаба. Непосредственно вблизи гор обыкновенно бывают нагромождены продукты выветривания, которые, скатившись вниз, не совершили более длинного водного пути.

Поэтому они в большинстве случаев крупно-зернисты и перемешаны с остроугольными обломками, благодаря чему вода здесь движется почти так же, как в трещинах и пустотах, не обладающих достаточными свойствами фильтрации. Подобные скопления обломков около места их первоначального происхождения называют «горным гравием». Горный гравий является обыкновенно слабейшим водоносным пластом.

## в) Водонесные пласты ледникового происхождения

Во время ледникового периода большая часть Европы и Америки была покрыта льдом и глетчерами. Этот исключительно важный с точки зрения запасов подземных вод период времени мы называем ледниковым периодом.

Наиболее важными геологическими процессами ледникового периода являются: образование морен и отложение материала вследствие перемывания ледниковой водой морен в правильно расположенные водопроницаемые пласты.

Из всех видов морен основная морена имеет в гидрологическом отношении самое крупное значение и не только благодаря ее повсеместному распространению, но и благодаря ее мощности и способности увлекать за собой валуны.

Основная морена, образовавшаяся из местного льда, возникла путем дальнейшего раздробления, перемывания увлеченных льдом

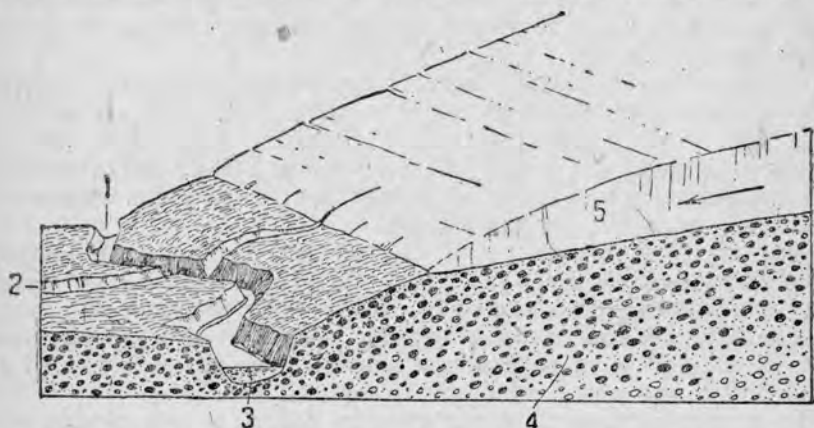


Рис. 10. Размывание долин в основной морене талыми водами глетчеров.

1 — главная долина; 2 — поперечная долина; 3 — главная долина; 4 — основная морена; 5 — лед

осколков горных пород и представляет собою неприятную наощупь глину, буквально насыщенную многочисленными разнообразными по величине валунами, которые лежат в этой глине беспорядочно, попеременно друг с другом. Материал, образующий морену, носит также название валунного мергеля или валунной глины.

Валунная глина в общем может считаться водонепроницаемой, и потому она образует водонепроницаемую постель для грунтовой воды.

Если валунная глина подвергается действию текучей воды, то эта глина, размываясь, распадается на свои составные части, т. е. на ил, песок, гравий и на более крупную гальку, которые в зависимости от их величины и тяжести уносятся текучей водой, сортируются и отлагаются.

Эту работу размывания, образования ила и сортировки произвели в ледниковый период талые воды ледника (схематически это изображено на рис. 10).

В результате таяния льда образовались не только борозды, обозначенные на рисунке как главные впадины в основной морене, рас-

положенные параллельно нижнему краю льда, но и поперечные впадины, расположенные к нему перпендикулярно. В результате того же процесса отложился материал, заполняющий впадины, а именно правильно наслоенный песок, гравий, а также глинистые прослойки. Они образовали соответствующей толщины слои в зависимости от времени года и связанной с этим силы таяния льда.

Как мы видели выше, эти образования называются флювио-гляциальными образованиями и подобно аллювию представляют собой в области развития ледниковых отложений наиболее регулярные и наиболее богатые водоносные пласты значительного протяжения и мощности.

Другая очень важная по своим гидрогеологическим последствиям отличительная черта ледникового периода заключается в том, что в этот период было не одно поступательное и обратное движение, но происходили повторные оледенения, иногда с очень значительными промежутками времени. Следствием этого получилось образование ряда расположенных друг над другом водопроницаемых и водонепроницаемых пластов.

Существовало несколько ледниковых периодов, между которыми были более теплые периоды, которые называются межледниковыми. Некоторые исследователи признают существование трех, четырех ледниковых периодов. Гейки (Geikie) говорит даже о шести ледниковых периодах. Время, непосредственно предшествующее ледниковым периодам, называют доледниковым.

Количество ледниковых и межледниковых пластов и их взаимное соотношение всецело зависят от условий оледенения. В этом отношении нельзя преподать какой-либо схемы, и тут практическая гидрогеология должна на основании буровых работ решить примерно такой вопрос, следует ли за ледниковым пластом с грунтовой водой другой ледниковый или межледниковый пласт или нет.

Во всех тех случаях, когда буровые работы в ледниковых отложениях не дают положительного в гидрогеологическом отношении результата, не следует прекращать их до тех пор, пока не будут достигнуты коренные породы.

### **е) Ледниковые водоносные пласты Европы**

Оледенение Европы простиралось почти на всю северную половину этой части света и занимало в круглых цифрах 6 млн. км<sup>2</sup>. Рисунок 11 дает картину оледенения Европы в различных ее стадиях. Принято считать, что северная Германия пережила три ледниковых периода. С гидрологической точки зрения наиболее важным являются отложения северной Германии и стран Балтийской равнины.

### **д) Северный район оледенения северной Германии**

(древние русла потоков)

От таяния больших количеств льда, которые покрывали северную Германию, пришли в движение мощные массы воды, которые вырыли и потом снова засыпали свои русла на всем лежащем на их пути пространстве, вернее сравнивали его, благодаря чему в настоящее время вся северная Германия представляет собой равнину.

Результатом таяния, эрозии и накопления осадков (см. рис. 10) явились более или менее тесно связанные между собой долины, которые заполнены водонепроницаемыми и водонепроницаемыми пластами.

Подобные бывшие когда-то речные долины с мощными наносами представляют собой остатки древних каналов, по которым стекали талые воды ледникового периода. Современные потоки или совершенно ими поглощаются или проходят через них в виде скудных остатков бывших когда-то больших рек.



Рис. 11. Распространение оледенения Европы (по Гейки).

1 — граница 4-го оледенения (Большой Балтийский глетчер); 2 — граница 3-го оледенения; 3 — граница 2-го (самого большого) оледенения

Особенно важна для водоснабжения северо-германских городов и промышленности сеть русел ледникового периода на северо-германской низменности. Развитие этой сети видно на рисунке 12.

Образовавшиеся на границе все отодвигающегося уже к северу льда талые воды промыли так называемые «долины древних русел», направление которых с востока на запад тянется параллельно границе льда.

Они возникали одна за другой последовательно с юга на север по мере отступления ледника. Самая южная древняя долина, так называемая Бреславль-Магдебургская долина (I), является самой древней из всех. За ней следуют долины Глогау-Барутская (II), Варшавско-Берлинская (III) и Торн-Эберсвальдская (IV). По берегу Балтийского моря тянется Балтийская древняя долина. Эти главные долины стоят между собой в гидрологической связи благодаря многочисленным поперечным долинам. Большое число немецких городов получает

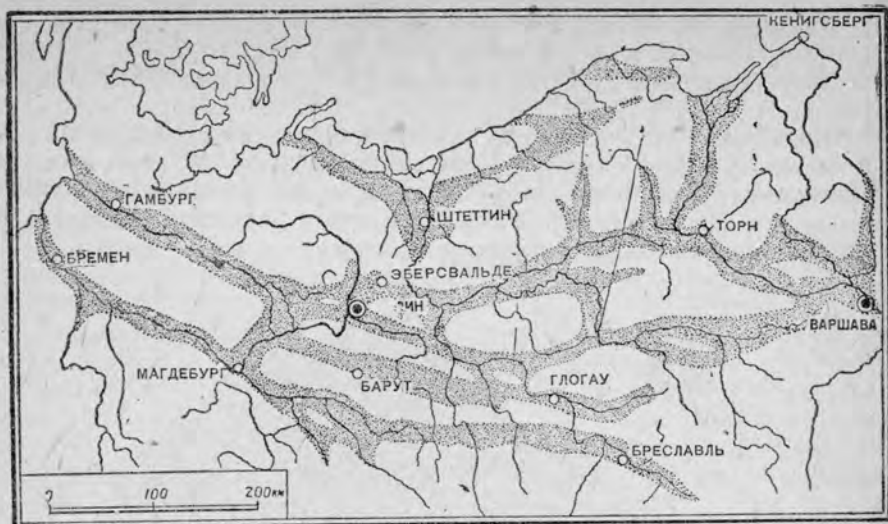


Рис. 12. Долины древнего русла северной Германии (по Ваншаффе).

прекрасную грунтовую воду из водоносных слоев этих долин. Так например получают воду:

- Из долины I Ратибор-Бреславль.
- » II Глогау-Форст.
- » III Берлин и предместья.
- » IV Торы, Бромберг.
- » V Кеслин и т. д.



Рис. 13. Водоносная система каналов в бассейне реки Припяти (по Вольдштедту).

Несущие грунтовые воды древние долины находятся не только в северогерманской равнине. Их можно проследить, как то видно из рисунка 13, согласно указаниям В о л ь д ш т е д т а (Woldstedt) и дальше на восток. Долины основного потока часто достигают ширины до 10—30 км, мощность выполающихся их пластов, являющихся водоносными, нередко достигает 40—50 м.

### е) Альпийские районы оледенения

В гидрогеологическом отношении не менее важным, чем оледенение северной Европы, является также оледенение Альп, которое распространилось как на южные, так и на северные прилегающие к Альпам страны.

Книга Пенка и Брюкнера (Penck u. Bruckner) «Альпы в ледниковом периоде» дает наиболее полные сведения об оледенении этих районов.

Пенк дал для Альп особую последовательность оледенений, отличающуюся от последовательности оледенений северной части Европы. Оледенения идут в следующем порядке: гюнцское, миндельское, рисское, вюрмское и биловское. Мощные отложения валунов, соответствующие названным оледенениям, особенно важны для водоснабжения верхней Баварии, северной Италии и Швейцарии.

Особенную гидрологическую ценность и научное значение имеют предварительные изыскания А. Т и м а (A. Tim), произведенные для устройства водоснабжения города Мюнхена; эти изыскания проливают полный свет на своеобразное подземное водное хозяйство приальпийской северной местности.

Один из самых мощных и богатых водой бассейнов грунтовой воды в Европе расположен под долиной реки По. Этот бассейн сложен чрезвычайно мощными, разбитыми на многочисленные водоносные горизонты массами песка и гальки альпийского происхождения частично плиоценового возраста (рис. 14).

Многие города северной Италии, как например Венеция, Милан и Турин, снабжаются водой из этих пластов.

К сожалению однако в горах и предгорьях часто не дооценивается значение грунтовых вод, движущихся в песках и гальках ледникового периода, и на них не обращают внимания, которое они заслуживают.

Пренебрежительное отношение к грунтовой воде в горных местностях объясняется тем, что в отношении мощности водоемов люди имеют больше



Рис. 14. Разрез пластов каптаж в Сагано (Турин).

1 — ледниковые и послеледниковые отложения; 2 — плиоцен; 3 — каптажные шотыльи

доверия к открытым, восходящим на поверхности земли источникам, чем к скрытой подземной грунтовой воде.

Кроме того поверхностные источники, обладая естественным падением, легко могут быть отводимы в сторону без особых затрат на подъем воды.

Этот взгляд во многих случаях не правилен, так как обычно мощность подземных потоков грунтовой воды значительно больше мощности поверхностных водоемов, которые собственно говоря представляют собой только частицу первых. К тому же в большинстве случаев имеется возможность каптировать грунтовую воду настолько высоко, что она самотеком может быть доведена к потребителям.

Новые водопроводы городов Лугано, Люцерна, Базеля и Фрейбурга в Швейцарии дают нам много поучительных примеров того, что и в богатых ключами горных местностях можно с большой выгодой переходить к добыче грунтовой воды.

#### г) Водоносные пласты в области перекрытия отложений альпийских и северных оледенений

В различных местностях, расположенных в зоне между северным и альпийским оледенениями, встречаются водоносные пласты, кото-



Рис. 15. Распространение оледенения в Северной Америке (по Райту).

рые образовались из смеси валунов северной и альпийской формаций, вернее из валунов лежащих между ними средних гор. Соотношение между валунами различных формаций колеблется в зависимости от местных условий и периодов оледенения.

Как пример этого явления можно привести доледниковые отложения Заалы и Мульды Лейпцигской равнины, которые в изобилии содержат северный глетчерный материал. А. Тим выяснил их большую роль в гидрологии Лейпцига.

В гидрогеологическом отношении только в тех случаях имеют значение происхождение и соотношение различных родов валунов, ко-

гда преобладают валуны из минералов, придающих воде жесткость, так как в таких районах приходится считаться с жесткой водой.

Так например валуны в Неккаре (Neskar) богаты растворимыми в воде ингредиентами, вызывающими жесткость воды, и по этой причине на основании предварительных изысканий С м р е к е р а предпochли провести воду в город Мангейм (Mannhei) не из соседних неккарских пластов, но из расположенных значительно дальше прирейнских пластов, которые дают значительно более мягкую воду.

### г) Ледниковые водоносные пласты Северной Америки

Северная Америка по величине площади оледенения значительно превосходит Европу. Эта площадь определяется приблизительно в 15—20 млн. км<sup>2</sup> и простирается приблизительно на 1 тыс. км далее к югу, чем площадь оледенения в Европе, т. е. до широт Сицилии.

В отношении образования отложений американского ледникового периода действительны те же самые геогидрологические соображения, что и для европейских гляциальных образований. Описание американского ледникового периода дает Р а й т (Wright).

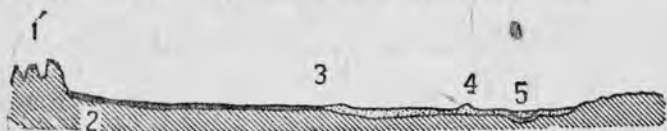


Рис. 16. Гляциальный покров между Рокки-Маунтейн и Рэд-Ривэр (по Даусону).

1 — скалистые горы; 2 — коралловые горы по доли; 3 — терраса реки Месаури; 4 — терраса реки Рэд-Ривэр; 5 — река Рэд-Ривэр

Ледниковые пласты древних долин Северной Америки, как то определили произведенные там буровые изыскания, обладают мощностью примерно в 100 м. Эти древние долины заполнены массами доледниковых песков и гравия, содержащими грунтовую воду. Рисунки 15 и 16 показывают протяжение американского «дрифта» и разрез ледникового покрова между Рокки-Маунтейн и Рэд-Ривэр (Rocky-Mountain a. Red-River).

Ввиду того что в Северной Америке более глубокие пласты доледникового периода дают огромные количества напорной воды, практическое значение американского «дрифта» с точки зрения водоснабжения отходит на второй план. Совершенно понятно, что воде самоизливающейся дают предпочтение и путем глубоких бурений добывают ее, получая значительную экономию при эксплуатации такой воды.

### h) Второстепенные ледниковые водоносные пласты

К водоносным флювио-гляциальным пластам относятся наряду с вышеозначенными главными водоносными пластами также следующие второстепенные образования.

1. Так называемые гребни и друмлины, т. е. постепенно возвышающиеся округлые или продолговатые холмы, которые часто сложены из водопроницаемого флювио-гляциального материала. Наиболее известны гребни и друмлины Альп, северной Германии, Англии и Северной Америки.

2. Озы, или вальберги. Озы состоят обыкновенно из песка, гравия и валунов, которые напластованы лентообразно или обнаруживают перекрестную слоистость (см. рис. 20). По большей части они образуют длинные, часто очень узкие хребты и иногда как бы целую сеть



Рис. 17. Развитие наиболее значительных озов в провинции Мелар (по Хекбуму).

таким образом, что на так называемый главный оз нагромождаются целые кучи второстепенных озов.

Геологи придерживаются того мнения, что озы представляют собой или остатки образования, которые отлагались на льду и остались на месте после того, как лед растаял, или же массы, наполнявшие канавы, образовавшиеся от талой воды над ледяным покровом и

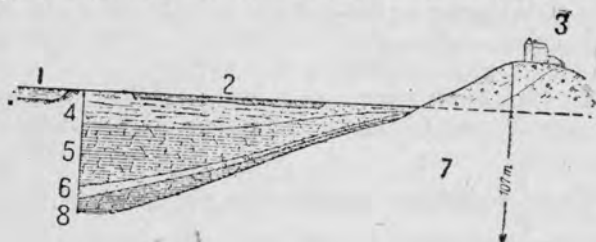


Рис. 18. Разрез Упсальского оза (по Хекбуму).

1 — Фирис; 2 — пруд; 3 — замок; 4 — пласт пресноводной глины; 5 — литориновая глина; 6 — анцилловатая глина; 7 — флювиогляциальные отложения; 8 — глины ледникового моря

принявшие форму как бы туннелей. Озы иногда достигают значительной длины и мощности и благодаря их гидрологически благоприятному положению и водопроницаемости очень хорошо используются для целей водоснабжения.

В Меларских провинциях Швеции, где озы получили наилучшее и наиболее полное развитие, они определяют направление гужевых и железных дорог, подобно тому как в северной Германии древние долины выполняют ту же роль.

Рисунок 17 дает карту озов в штате Мериланд. Оз в Упсале дает выдающийся пример водоносного оза, простирающегося приблизительно на 450 км в длину и обладающего мощностью свыше 140 м по перпендикуляру, из которых приблизительно 40 м возвышаются в виде хребта над поверхностью земли. Из Упсальского оза (рис. 18) добывается часть воды для города Упсалы.

Водопроводы, питаемые водой из озов, по описанию Р и х е р т а (Richert), имеются в шведских городах Орebro, Карслунде, Христианстаде, Фануне, Лулеа, Карекстаге и т. д.

### 1) Мощность водоносных пластов четвертичного возраста

Мощность водоносных пластов четвертичного возраста зависит в первую очередь от глубины каналов эрозии, в которых они отложились, и от свойств текучей воды, вызвавшей это отложение.

По наблюдениям автора аллювиальные водоносные пласты имеют среднюю мощность приблизительно в 20 м. Часто однако их мощность бывает значительно меньше.

Ледниковые водоносные пласты по общему правилу значительно превосходят по мощности пласты аллювиальные.

Основание для таких выводов дает нам относительная мощность пройденных в различных местах аллювиальных и ледниковых отложений. При этом однако надо всегда иметь в виду, что пробуренные толщи содержат также и водонепроницаемые образования. Ледниковые отложения Марка например лежат на отложениях нижне- и верхнетретичного возраста. Этот подстилающий пласт по Беренду (Behrend) образует довольно правильную мульду, самая глубокая точка которой лежит приблизительно на середине ее под городом Берлином. По Ваншаффе мощность ледниковых отложений в черте города Берлина колеблется от 34 до 126 м.

Мощность пластов четвертичного периода северной Германии и Нидерландов (по Ваншаффе)

М е с т н о с т ь	Мощность в метрах
Гольштиния . . . . .	358,0
Бюттель — около Брунебюттеля . . . . .	246,0
Страсбург-Уккермарк . . . . .	204,0
Утрехт . . . . .	160,0
Берлин (Friedrichstrasse) . . . . .	126,0
Горкум (Нидерланды) . . . . .	120,0
Штеттин (Elisabetstrasse) . . . . .	105,8
Данциг (Krebsmarkt) . . . . .	100,0
Варнемюнде . . . . .	100,0

Таблица (см. стр. 49), составленная по Ваншаффе, содержит добытые бурением данные о мощностях пластов четвертичного периода части Европы.

Кейльгак вычислил, что в ледниковых пластах Марка общей мощностью в среднем в 197 м последнему ледниковому периоду может быть приписана мощность в 7 м, и предпоследнему — 50 м и первому — 140 м.

Самыми значительными и известными по настоящее время мощностями обладают скопления валунов в пустыне. Вальтер (Walter) например приводит данные об одной буровой скважине в Асхабаде (СССР), где было пройдено буром не меньше 666 м постоянно сменяющегося лесса, песка и гравия<sup>1</sup>.

### к) Правильное строение водоносных пластов с грунтовыми водами

Очень большое гидрологическое значение имеет правильное строение водоносных пластов. Рассчитывать однако найти такое строение пластов можно только там, где эти пласты воздвигались силами ветра и текущей воды.

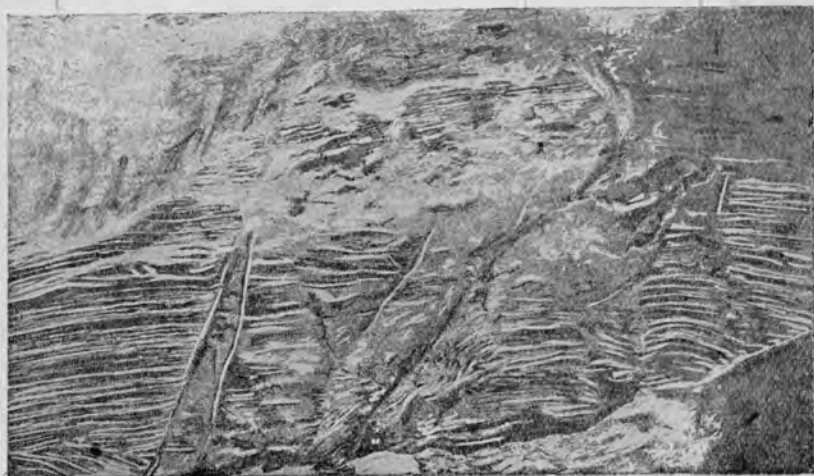


Рис. 19. Напластование ледниковых песков к югу от Гумбина (по Торнквисту).

По этой причине самыми правильными по строению пластами являются пласты аллювиальные и эоловые.

Ледниковые отложения очень часто бывают неправильными. Часто в намывных водоносных пластах можно наблюдать чрезвычайно правильное чередование сотен лежащих друг на друге пластов, различных по величине зерен. Рисунк 19 изображает снимок Торнквиста (Torngquist), на котором ясно видны отдельные годовые кольца напластования и происшедшие нарушения в этом напластовании.

<sup>1</sup> См. В. Д. Соколов, Артезианское водоснабжение некоторых станций Среднеазиатской жел. дороги. Москва, 1904. Примечание редакторов.

## 1) Гидрогеологические последствия неоднородности строения водоносных пластов

Неоднородность строения водоносной породы весьма не желательна в гидрологическом отношении потому, что затрудняет работы и очень часто вводит в заблуждение при определении действительных гидрогеологических условий.

Неоднородность строения аллювиальных водоносных пластов является следствием переменного уровня отлагавшей их воды или вер-

нее переменной ее скорости; сила воды и ее способность увлекать частицы тоже подвержена большим колебаниям. Благодаря этому получается чрезвычайно пестрое напластование материала самой разнообразной величины, в котором часто перемежаются водопроницаемые и водонепроницаемые пласты. Водоносные пласты образуют тогда нередко как бы ленты с различной водопроницаемостью, благодаря чему вода течет по всему водопроницаемому поперечному разрезу с неодинаковой равномерной скоростью, но продвигается по разным путям и с различной скоростью.



Рис. 20. Разрез неправильно залегающего лентообразного водоносного пласта.

Водонепроницаемые пласты в таких напластованиях имеют вид выклинивающихся лент, линз и т. п. Такие перемежающиеся водоносные пласты очень трудны для гидрогеологической обработки и представляют собой неблагоприятные места для производства изысканий для сооружения водопроводов.

Разрез такого неоднородного, лентообразного водоносного пласта изображает рисунок 20.

Значительно больше неправильностей в наложении встречается в водоносных пластах ледникового происхождения.

И тут благодаря колебаниям переносной силы воды, как и в аллювиальных образованиях, получается неоднородность строения.



Рис. 21. Разрез водоносного пласта с выстланной камнем постелью.

1 — основная морена; 2 — эрратические валуны.

Для ледниковых водоносных пластов очень часто является характерным скопление эрратических больших валунов, которые включаются в водопроницаемые пласты. Подобные препятствия осложняют работы по бурению в такой степени, что часто предпочитают бросить начатые ра-

боты и вновь начать их в другом месте.

Часто, как показано на рис. 21, валуны образуют скопления в основании водоносного слоя. Подобные каменные скопления указывают по общему правилу переход от водопроницаемых пластов к основной морене.

В ледниковых водоносных пластах самыми неприятными в гидрогеологическом отношении являются нарушения в мягкой еще массе отложений, вызванных толкающей, сжимающей и прочими силами наступающего глетчерного льда.

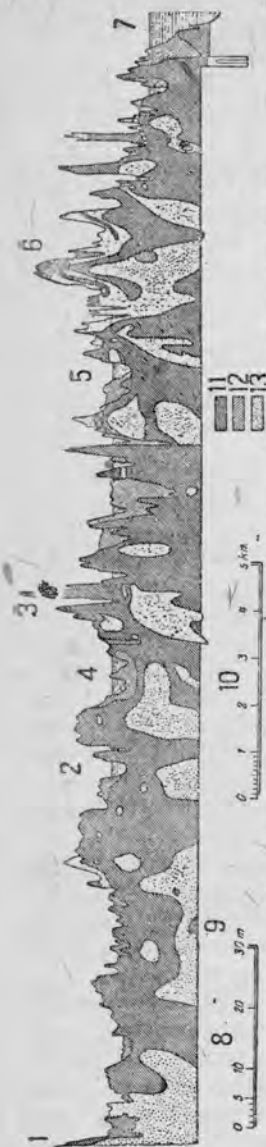


Рис. 22. Нарушение пластов, вызванное разрушающей силой ледников (по Гаасу).

1 — Босхтедт; 2 — Ейдерский канал; 3 — Ландер; 4 — Олмутское озеро; 5 — Ейдерский канал; 6 — Лейпциг; 7 — Кильский канал; 8 — захват высоты; 9 — ложе канала; 10 — захват длины; 11 — морена; 12 — болото; 13 — ледниковые пески, валуны.



Рис. 23. Нарушение пластов сдвигами льда в недрах земли при Шарфшторфе (Висмар).

1 — дннна; 2 — высота; 3 — морена; 4 — торф; 5 — гравия; 6 — песок.

Первоначально однородный, правильно построенный водоносный пласт благодаря наступательному движению глетчерного льда был как бы разорван на отдельные ленты и гнезда, связанные между собой, и которые поэтому трудно поддаются систематическим гидрологическим изысканиям.

Работы по проведению канала имени Вильгельма дали поучительный пример подобных нарушений в пластах. На рисунке 22 изображена по Гаасу (Haas) часть вскрытой каналом толщи. На этом рисунке ясно видно, как силой наступающего льда пески и мергель нагромодились друг на друга. Ясно, что в таких случаях по результатам бурений, которые могут дать только неясную картину строения толщи, можно прийти к заключению, что там имеются многие, расположенные друг над другом водоносные пласты, разделенные пластинами мергеля. Поперечный разрез изменяется от метра к метру, и геологические чертежи в таком случае только тогда являются надежными, когда они основаны на буровых работах, произведенных по системе сетки с маленькими ячейками.

Рисунок 23, изображающий состав-

ленный автором по буровому материалу поперечный разрез местности, предназначенной для снабжения водой города Висмара, дает не менее поучительную картину разорванных последующими движениями льда ледниковых водоносных пластов.

Нарушения в аллювиальных и ледниковых водоносных пластах вызываются иногда также оползнями суглинистых или глинистых

берегов. Благодаря перемешиванию при этом пород расположенные у этих стенок пласты частично теряют свою водопроницаемость.

Неправильности и нарушения в напластованиях могут быть также вызваны тектоническими движениями.

Так например под влиянием последующего сдавливания тиренского мергеля, на котором лежат намывные и ледниковые пласты долины реки

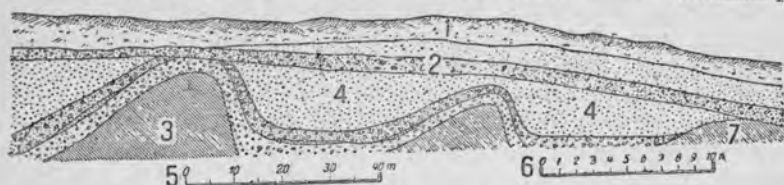


Рис. 24. Нарушение пластов, вызванное тектоническим движением около Обер-Ингельгейма (по Штейеру).

1 — лес; 2 — гравий и песок; 3 — тиренский мергель; 4 — мелкий слой; 5 — масштаб длины; 6 — масштаб высоты; 7 — тиренский мергель.

Рейна, последние изогнулись, как описывает более подробно Штейер (Steuer), наподобие седла. Эти нарушения в глуболежащих пластах ни в какой степени не отражаются на строении слоев, близких поверхности земли. Благодаря позднейшим правильным напластованиям они совершенно сгладились.

### ш) Третичные и более древние пласты с грунтовой водой

Образование правильно напластованных водоносных слоев не ограничивается только четвертичным периодом. Они встречаются и в более древних формациях. В гидрогеологическом и гигиеническом отношениях они также являются превосходными водоносными пластами.

Гидрогеолог, занимающийся практической деятельностью, имея дело с водоносными пластами до четвертичного времени, должен всегда считаться с тем, что они по большей части покрыты мощными, более молодыми горными породами и что благодаря этому предварительные гидрогеологические изыскания очень затруднены.

В Германии наиболее выдающимися старейшими водоносными пластами считаются пески плейстоценового, миоценового, олигоценевого и эоценового возрастов.

Хорошие плейстоценовые водоносные пласты известны в Бельгии, Франции, СССР, Англии и Америке.

Но и более древние, рыхлые песчаные пласты, песчаники и конгломераты могут быть прекрасными водоносными пластами и давать воду не только в больших количествах, но и превосходного качества в гигиеническом отношении.

### п) Песчаники и конгломераты

Цементированные обломочные горные породы представляют собой переход от несвязанных между собой скоплекей к массивным, плотным горным породам.

К цементированным обломочным горным породам мы относим песчаники, брекчии, конгломераты. Они образуются преимущественно

из зерен кварца, и их гидрогеологические свойства зависят от состава связывающего их вещества: глинистого, известкового и т. д.

По данным Ринне (Rinne) замечательно то, что у многих песчаников кварцевые зерна сидят в цементирующем веществе, не соприкасаясь друг с другом, как бы вкрапленные в массу, между тем как во время образования пластов до их цементирования они должны были касаться друг друга. Можно предполагать, что цементирующее вещество при процессе кристаллизации разъединило отдельные зерна (рис. 25). В таком случае объем сцементированной породы должен быть больше объема рыхлого песка, из которого эта порода произошла.

При разложении связывающего вещества часто происходит распадающиеся сцементированной горной породы на первоначальные ее составные части; таким образом первоначально хорошей водопроницаемый пласт, который в течение одного геологического периода

благодаря превращению стал более или менее водонепроницаемым, мало-помалу опять превращается в хороший водоносный пласт.

Если в слоях какого-нибудь возраста, тянущихся на большое пространство, скопления песка наблюдаются только в отдельных частях, в остальных же они состоят из песчаника, то подземная вода одной и той же формации в зависимости от того, течет ли она в зернистой горной породе или же в трещиноватой, является то грунтовой, то индивидуальным водотоком.

Благодаря этому очень затрудняется определение преобладающего типа воды, и успех водоснабжения с гигиенической точки зрения будет зависеть от того, каптируется ли в рыхлых песчаных массах естественно профильтрованная или же нефильтрованная вода.

Таким образом в сцементированных обломочных горных породах мы имеем своеобразное и очень важное явление; через трещины поверхностная вода попадает в глубокие пласты сплошных еще песчаников и там уже позже очищается в массах песка.

Этим объясняется то, что вода, поступающая из трещиноватого песчаника, очень часто чиста и в бактериологическом отношении безукоризненна.

Если оценивать различные горные породы по их водопроницаемости, то песчанники иногда в этом отношении занимают первое место.

Значительной водопроницаемостью отличается например песчанник в Дакоте (Сев. Америка), который выделяется также однородностью своего сложения. Отдельные песчинки, из которых образовался дакотский песчанник, в среднем обладают величиной от 0,25 до 2 мм. Цементирующее вещество имеется там в ограниченном количестве, и ввиду этого вся порода очень пориста. Дакотский песчанник часто обладает мощностью свыше 100 м и является вместилищем грунтовой

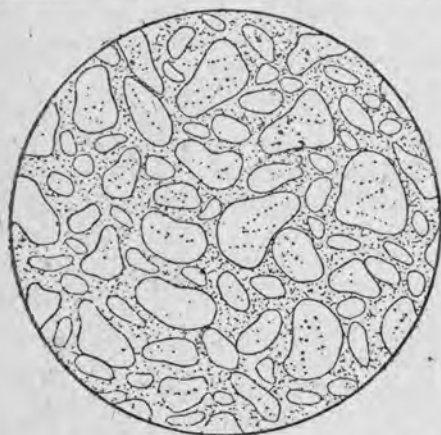


Рис. 25. Песчанник с круглыми кварцевыми зернами (по Ринне).

воды как с открытым, так и напорным зеркалом. Как велика водоносность дакотского песчаника, показывает то, что почти все количество воды большого водопада на Миссури в Монтане, в среднем около 23 500 л в секунду, идет из этого песчаника.

### о) Водоносные пласты золотого происхождения

Подобно тому как это наблюдается в результате деятельности текущей воды, сила ветра также может создавать толщи горных пород, пустоты которых приспособлены к накапливанию и движению в них воды.

В то время как размывающая и накопляющая деятельность воды действует преимущественно по направлению естественного падения воды, ветер в этом отношении совершенно свободен.

Результатом действия ветра являются золотые отложения с неправильной в общем слоистостью.

Движущая сила ветра подчиняется тем же законам, что и движущая сила воды. По Туле (Thoulet) для приведения в движение кварцевого песка с зернами различных величин требуются следующие скорости ветра.

	Диаметр зерна	Скорость ветра в секунду в м
Самый мелкий песок . . . . .	0,03	0,25
Очень мелкий » . . . . .	0,12	1,50
Мелкий песок . . . . .	0,32	4,00
Средний » . . . . .	0,60	7,40
Крупный » . . . . .	1,04	11,40

Главным результатом созидательной деятельности ветра являются песчаные дюны, Ветер может наносить вулканический пепел, из которого образуются вулканические туфы. Те и другие могут быть хорошими водоносными пластами.

Различают дюны береговые, или морские, и дюны континентальные. Последние в пустыне могут занимать невероятно большие пространства.

Материал для береговых дюн дает море, песчаные же массы пустыне дает отчасти тоже море, но главным образом — соседние твердые горные породы, которые постепенно выветриваются, распадаются на мелкие части и силой ветра рассеиваются.

Обширные песчаные равнины, которые образуют превосходные водоносные пласты с грунтовой водой, произошли в бедный раститель-



Рис. 26. Разрез водоносных туфов в Кампаньи (по Джордано).

1.2.3 — разные туфы; MN — уровень грунтовой воды.

ностью ледниковый период путем выветривания песчаника, конгломератов и т. п. Образовавшийся таким путем песок и гравий относился ветром и нагромождался в виде дюн.

Подобные отложения по указаниям Рейтера (Reuter) находятся в Юрском форланде. Древнейшие водопроводы города Нюрнберга и колодцы городов Бамберга и Эрлангена сооружены в таких песках эолового происхождения.

Наносные водоносные пласты вулканического происхождения, состоящие из водопроницаемого туфа (рис. 26), встречаются в римской Кампании. Этот туф является результатом вулканических пепельных дождей.

## 2. РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВОДОНОСНЫХ ПЛАСТОВ

Водоносные пласты распространены повсеместно и иногда достигают как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях очень обширного развития.

По этой причине становится совершенно понятным, почему при достаточно глубоком бурении почти везде можно добыть воду.

Обнаружение присутствия воды еще не равносильно присутствию большого количества воды, годной к употреблению. Потому надо различать пласты, богатые и не богатые водой, так же как надо делать различие между пригодной и непригодной к употреблению водой.

## 3. ВОДОНЕПРОНИЦАЕМЫЕ ПЛАСТЫ

Накопление воды в достаточном для образования бассейна количестве возможно только тогда, когда налицо имеется водонепроницаемая постель. Постель или вернее стенки канала препятствуют просачиванию воды вглубь.

Водонепроницаемыми обыкновенно считаются: различные глины, мергель и суглинок, а также сплошные, не имеющие трещин кристаллические осадочные и вулканические горные породы.

Для практических целей совершенно безразлично, к какой геологической формации относится постель водоносного слоя.

В водоносных пластах в вертикальном направлении часто встречаются водопроницаемые и водонепроницаемые слои. Вследствие этого образуются над водоносными пластами защитные кровли. Иногда вследствие этого происходит усложнение гидрологических явлений, ведущее к ложным выводам при изысканиях. Самыми водонепроницаемыми кровлями могут считаться кровли из различной глины. Глины по большей части отлагаются в стоячей воде. Глина главным образом состоит из минеральных частиц такой малой величины, которая нередко бывает меньше большинства бактерий. По этой причине тончайшая глина играет особо важную роль в гигиеническом отношении там, где она составляет водонепроницаемую кровлю для водоносного пласта и предохраняет находящуюся под ней воду от проникновения в нее сверху нечистот.

Если водонепроницаемые слои, входящие в водоносный пласт или покрывающие его, имеют значительное протяжение, то свободное зеркало грунтовой воды может перейти в напорное (см. в отделе С. в подотделе V «Свободная и напорная поверхности грунтовых вод»).

Подземное течение грунтовой воды может произойти только в том случае, когда канал грунтовой воды имеет, подобно каналу, для поверхностной воды, известный уклон. Это однако не следует понимать в том смысле, что всегда существует параллелизм между зеркалом грунтовой воды и ее водонепроницаемой постелью. Дело не только в том, чтобы постель водоносного слоя имела уклон.

Очень часто строение постели водоносного слоя бывает неправильным, и потому мощность водоносного пласта в таких случаях изменчива. Как показано на рисунке 27, в таких случаях возникают изменения в поперечном разрезе водоносного пласта, вызываемые подъемом и понижением водонепроницаемых пластов. На изображенном тут поперечном разрезе мы имеем двойное выклинивание водоносного пласта. Это является следствием подъема водонепроницаемой постели между точками *a*, *b*, *c*, и одновременного понижения водонепроницаемой кровли между точками *e*, *f*, *g*.

Нередко в постели водоносного слоя встречаются местные углубления, наполненные большим количеством водонепроницаемых наносов. Подобными углублениями постели выделяются альпийские корытообразные долины. Так например по описанию Саломон (Salomon) во время работ по прорытию Лотшберского туннеля в Гастентале (Бернское нагорье) натолкнулись на углубление долины приблизительно до 200 м с большим количеством воды, которое было наполнено речными валунами. Лучшее объяснение строения и прочих свойств постели водоносного слоя дает план в горизонталях пластов этой постели, как показано на рисунке 28.

Этим путем можно выявить подземные неровности, возвышения, каналы, западины.

Обнаружение длинных и глубоких каналов в водонепроницаемой постели особенно важно при устройстве сооружений по каптажу воды. Подобный план в горизонталях постели дает также объяснение причинной зависимости между неправильной постелью, неправильным зеркалом грунтовой воды и изменениями направления течения потока грунтовых вод (см. рис. 34).

Было бы однако ошибочно считать, что так называемые водонепроницаемые, состоящие из суглинка, мергеля и глины пласты всегда и безусловно, бывают водонепроницаемы. Часто бывает достаточно 25—30 частей примешанного песка, чтобы образовать состав, вбирающий в себя и пропускающий воду.

По Пичару (Pichar) время инфильтрации через слой глины и извести, свободной от песка, мощностью в 0,5 м. колебалось между 20—55 днями, а для таких же слоев, но с содержанием песка — между 10 днями и 28 часами.

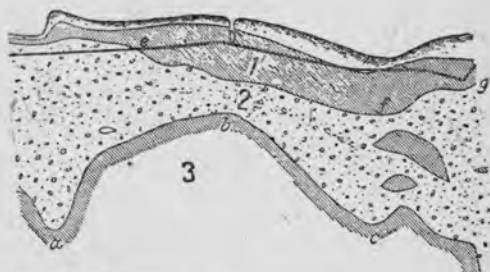


Рис. 27. Сужение водонепроницаемыми пластами водоносного слоя между Малул-Спартом и Йойта (Румыния) (по Куку).

1 — водонепроницаемый пласт; 2 — водоносные пески и гравий; 3 — водонепроницаемый пласт.

Первоначально водонепроницаемые пласты несмотря на всю водонепроницаемость вещества, из которого они состоят, могут впоследствии сделаться водопроницаемыми. Так например иногда бывает, что при каптаже вследствие депрессии и происшедшего от того обсыхания водоносного слоя в водонепроницаемой кровле его образуются разрывы и трещины, которые и пропускают уже в глубину воду с поверхности земли или из верхних пластов. Л ю р и х (Luerig) описывает подобный случай, когда произведенные на опытном колодце измерения уровня воды показали полное гидравлическое разделение нижних водоносных пластов от лежащего над ними горизонта воды с болотистыми образованиями. Водопровод в течение 11 лет давал прекрасную безукоризненную воду. Только на 12 году наступило



Рис. 28. Рельеф водонепроницаемой подошвы водоносного пласта в местности Изера и Эльва в Чехословакии.

ухудшение качества этой воды благодаря проникновению в нее из верхнего пласта болотистой воды, кислой и обильно содержащей железо и марганец.

Иногда образование трещин в защитных водонепроницаемых пластах бывает лишь временным или повторяющимся от времени до времени явлением. Если например состоящая из глины кровля вновь будет насыщена водой, то при известных обстоятельствах открытые трещины снова смыкаются до полной водонепроницаемости. Этим часто можно объяснить замечаемые в водопроводах колебания в отношении химического состава воды и других ее свойств. В противоположность предыдущему и водонепроницаемые пласты впоследствии могут сделаться водонепроницаемыми. Это может произойти вследствие выделения водоносным слоем цементирующих веществ.

Так иногда можно наблюдать, что свободные песчинки на большом протяжении цементировались от выделения извести, железа и марганца и образовали собой водонепроницаемую породу.

Вследствие цементирования железом образуется так называемый ортштейн, от известковых выделений — луговая известь или туф и т. п. Раман (Ramann) пишет, что известковые пески, отложенные многими реками предгорья Альп (Изар, Иллер), впоследствии представляли собой сцементированные образования.

Такие пласты часто ведут к образованию напорной воды.

Водопроницаемые вначале пласты могут стать водонепроницаемыми вследствие инфильтрации в подпочву загрязненной воды с поверхности земли, как многократно замечалось при устройстве водопровода вблизи рек. Если например река во время половодья несет с собой взмученные вещества (суглинок, глину, гумус), то при просачивании воды в подпочву наступает заиление ложа реки, которое распространяется на некоторую глубину. Таким образом водопроницаемое дно ручья или реки мало-помалу превращается в водонепроницаемую постель. Заиление происходит здесь совершенно так же, как и засорение искусственного фильтра. Искусственные запруды также могут вызвать утрату водопроницаемости дна реки.

Водонепроницаемость дна реки, вызванная заилением, редко распространяется по всему протяжению реки; по большей части водонепроницаемые участки дна сменяются водопроницаемыми. Это изменение степени водопроницаемости дна мешает обогащению грунтовой воды водой поверхностной. Более подробные указания об изменении водопроницаемости дна реки Лейне около Ганновера можно найти у Туме, Роса и Колквица.

#### 4. ГОРИЗОНТЫ ВОДЫ

Так называемые «горизонты воды» образуются тогда, когда между водопроницаемыми пластами залегают пласты водонепроницаемые. Отдельные горизонты воды могут быть или совершенно независимы друг от друга в гидрологическом отношении или же наоборот могут стоять во взаимной связи. Число расположенных друг над другом горизонтов воды может быть довольно значительным. Так например по описаниям Штура (Stur) в Фюрстенфельде в Штейермарке имеется 7 отдельных горизонтов воды. В Парижском бассейне например имеются следующие 5 горизонтов.

Формация	Ярус	Мощность (в м)	Водоносные пласты
1. Олигоцен . . . . .	Стампиенский	40 — 60	Пески Фонтенебло
2. Эоцен . . . . .	Лудиен	10 — 20	Гипс (Травертин)
3. » . . . . .	Вермелен	15 — 45	Пески Бошан
4. » . . . . .	Ипрезиенский	35 — 50	» Суассона
5. Мел . . . . .	Альбиенский	5 — 20	Зеленые пески (колодцы в Гренелле)

В долине реки По имеется 5 горизонтов воды, а местами и больше. В Северной Америке встречаются иногда до 10—15 горизонтов. Так например по данным Хоусона (Howson) в городе Baton Rouge (Луизиана) имеется 14 водоносных пластов мощностью от 1,5—58 м.

В отдельных горизонтах вода не только стоит на различных уровнях, но бывает даже различного качества. В последнем случае рекомендуется особая осторожность при бурении и каптаже воды, особенно когда некоторые горизонты несут плохую и негодную для употребления воду.

## 5. АРТЕЗИАНСКИЕ БАССЕЙНЫ И МУЛЬДЫ

При мульдообразной форме водонепроницаемой постели и при водонепроницаемых прослойках в водоносных пластах образуются сосудобразные подземныеместилища воды. Если питание водой подобного почти со всех сторон окруженного водонепроницаемыми слоями бассейна происходит из мест инфильтрации, лежащих высоко

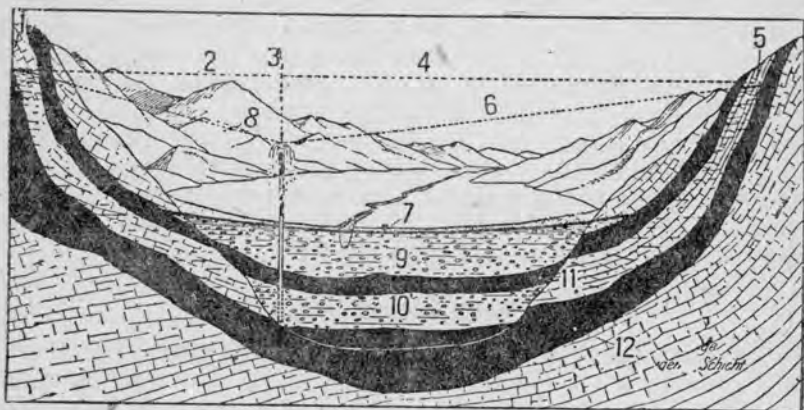


Рис. 29. Схематическое изображение артезианского бассейна.

1 — место инфильтрации (площадь питания); 2 — естественный колодезь; 3 — артезианский колодезь; 4 — уровень напорной воды; 5 — место инфильтрации; 6 — уровень напорной воды; 7 — естественный свободный уровень грунтовой воды; 8 — пониженный; 9 — водопроницаемый пласт; 10 — водонепроницаемый пласт; 11 — водонепроницаемый пласт; 12 — водонепроницаемый пласт.

над водонепроницаемой кровлей, то вода будет обладать таким давлением, как если бы дело шло о со всех сторон закрытой трубе, которая находится под напором воды из высоко расположенного резервуара.

Если водонепроницаемая кровля будет пробурена, то зеркало воды соответственно давлению подыметя иногда выше уровня земли, и вода будет выливаться наружу подобие ключа.

Подобную воду, естественно самоизливающуюся на поверхность земли, называют артезианской водой, и подземныеместилища, из которых выбивается напорная вода, называются артезианскими бассейнами. Артезианские бассейны распространены по всему свету и не ограничены только одними какими-либо геологическими формациями.

Из артезианских бассейнов Европы самыми мощными являются Парижский бассейн, артезианская мульда венгерской долины и боль-

шие бассейны Иберийского полуострова, которые лежат по течению большинства испанских рек.

Выдающиеся по дебиту артезианские бассейны имеются также в Сахаре и в Египте, в Северной Америке, в Австралии и в европейской части Союза <sup>1</sup>.

По данным Тодде и Галле (Todd и Hall) одним из величайших артезианских бассейнов обладает штат Дакота. Бассейн этот исключительно правильно развит, и его водоносные пласты состоят из крупнозернистого песка, относящегося к меловой формации. В самом глубоком месте они лежат приблизительно на 200 м ниже уровня земли и выклиниваются у края бассейна. В настоящее время Дакота обладает приблизительно 400 колодцами, ежедневный, общий дебит которых в круглых цифрах выражается в 600 000 м<sup>3</sup>. Самый мощный колодец, дающий в секунду 200 л воды, находится в Чемберлене. Высота подъема воды в отдельных колодцах над поверхностью земли сильно колеблется между 70 и 110 м <sup>2</sup>.

При правильном залегании образующих артезианский напор пластов, как например в больших бассейнах Вайоминга и Дакоты (рис. 30), можно в любом пункте при помощи измерения наклона приблизительно, с большой долей вероятности, определить, на какой глубине встретится артезианская вода.



Рис. 30. Разрез артезианского бассейна в Вайоминге (по Найту).

1 — третичные отложения, 2 — архейские.

Найт (Knight) дает подробную таблицу, из которой ясно видно, какая существует взаимная связь между уклонами пластов и глубиной их залегания и расстоянием до выхода на поверхность в бассейне Вайоминга (на 100 м расстояния).

При 10°	на каждые 100 м	расстояния	углубление	достигает . . .	17,50 м
» 25°	»	100 »	»	»	. . . 46,75 »
» 50°	»	100 »	»	»	. . . 119,00 »
» 75°	»	100 »	»	»	. . . 370,00 »

Эти числа конечно в отдельных случаях могут изменяться, и для их определения в каждом отдельном случае требуется точное знание характера пластов. Поэтому они имеют только местное значение.

Величина артезианского напора зависит от разницы в высоте между местом выхода воды на поверхность и местом питания водоносного слоя. Часто еще высказывается мнение, что например в северо-германской низменности значительная иногда высота водяного столба над поверхностью земли в артезианском колодце стоит в непосредственной связи с отдаленными высокими краевыми горами. Но этот взгляд совершенно не верен, так как внутри германской равнины

<sup>1</sup> См. А. Н. Семихатов, Глубокие и грунтовые воды европейской части СССР. Госиздат, 1925.

<sup>2</sup> В настоящее время Дакотский артезианский бассейн уже сильно истощен вследствие хищнического расходования самоизливающейся воды. Прим. ред.

имеется достаточно возвышенностей, которые, будучи районами питания водоносных пластов артезианских бассейнов, могут создать артезианское давление в несколько атмосфер.

Так например по Зупану (Supan) в германской равнине имеются следующие высотные отметки:

Самые высокие точки (в метрах)	Самые низкие пункты (в метрах над МН)
В Гольштинии на . . . . . + 160	В Гамбурге на . . . . . + 3
» Мекленбурге » . . . . . + 180	» Берлине » . . . . . + 37
» Померании Тумберг на + 330	» Кюстрине » . . . . . + 13
» Пруссии на . . . . . + 310	» Бромберге » . . . . . + 37

Так как в большинстве случаев дело идет о незначительном падении уровня грунтовых вод и о больших поперечных размерах потока, которые только в отдельных местах дренируются артезианскими колодцами, то естественная потеря напора при движении воды не велика, и этим объясняется часто отмечаемое в артезианских колодцах северогерманской равнины высокое артезианское давление воды.

### 6. ПОТОКИ ГРУНТОВОЙ ВОДЫ

Если имеется водопроницаемый пласт достаточного протяжения и мощности и если этот пласт залегает в водонепроницаемом ложе, то налицо имеются уже главные условия для образования грунтовой воды и ее продвижения в пласте.

Если бы земля была прозрачной и если бы у нас была возможность составить для подземных водотоков подробную карту, как это делается

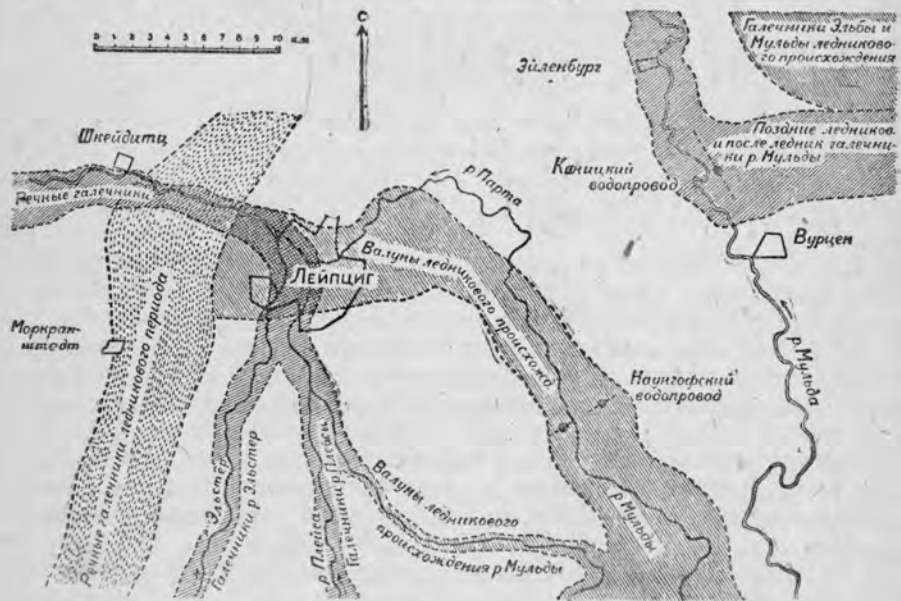


Рис. 31. Потоки грунтовой воды в окрестностях Лейпцига (по А. Тиму).

для поверхностных вод, то выяснилось бы, что под землей происходят те же самые явления, что и на поверхности. Тогда мы убедились бы, что и под землей отдельные струи воды соединяются, образуя жилы, ручьи, реки и потоки значительной глубины и ширины. Мы увидели бы также, что на этих водных путях имеются пруды, озера, переломы уклона, быстрины, водопады или, короче говоря, все те явления, которые мы наблюдаем на поверхностных водах. Разница тут только в том, что под землей вследствие большого сопротивления грунта скорость воды невелика, а падение значительно больше. Наоборот ширина и глубина потоков грунтовой воды значительно превосходит ширину и глубину поверхностных потоков. Нередко встречаются потоки грунтовых вод шириной 10—15 км и больше.

Как на пример подобных мощных потоков грунтовых вод можно в первую очередь указать на потоки грунтовых вод, текущие в древних долинах северной Германии (см. рис. 12). До настоящего времени только немногие из этих потоков гидрогеологически вполне исследованы, и точно установлено их протекание.

А. Тим (Thiem) произвел тщательные изыскания потоков грунтовой воды, протекающих вблизи Лейпцига. Эти потоки изображены на рисунке 31. Тут можно ясно различить следующее:

1. Поток в ледниковых отложениях (около Науенгофа), дающий городу до 80 000 м<sup>3</sup> воды ежедневно.

2. Поток в ледниковых же отложениях около Вурцена (Wurzen), отбор воды из которого иногда достигает до 50 000 м<sup>3</sup> в день.

3. Эльстерский поток в ледниковых отложениях.

4. Эльстерский поток в новейших аллювиальных отложениях.

5. Плейсерский поток в новейших аллювиальных отложениях.

6. Поток в ледниковых отложениях, впадающий в аллювиальный плейсерский поток.

7. Поток грунтовой воды в речном галечнике.

Все приведенные выше местонахождения потоков грунтовой воды отличаются друг от друга петрографическим составом пород, образующих водоносный пласт. Хуг (Hug) подробно описывает многочисленные потоки грунтовой воды, протекающие по Швеции.

На рисунке 32 изображены потоки грунтовой воды в долинах Сур Вине (Suhr Wyne) и Верхнего Вигера (Wigertal). Поучительный

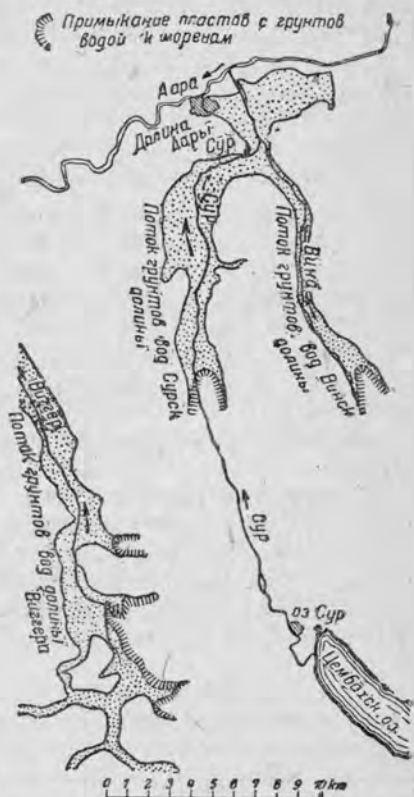


Рис. 32. Потоки грунтовой воды в долинах Сур Вине и верхнего Вигера (по Хугу).

пример различных потоков грунтовой воды дают нам долины рек Эльбы и Изера в Богемии (см. рис. 74).

Образовавшаяся в ледниковых отложениях грунтовая вода, протекающая в виде одного сплошного потока от устья реки Изера до впадения реки Молдавы в Эльбу, питает на своем пути реки: Изер, Эльбу и Молдаву. Параллельно течению Эльбы протекает еще второй поток грунтовой воды от Дритца (Dritz) через Всетат-Привор (Wsetat-Privor) в Мельник (Melnik). Он в свою очередь образуется из отдельных потоков, первоначальное зарождение которых следует искать в меловых отложениях, лежащих под ледниковыми.

По данным изысканий автора, северное предгорье Гарпа также прорезывают многочисленные потоки грунтовой воды, характерные свойства которых заключаются в том, что их зеркала стоят на разных уровнях. Выше Гальберштадта (Halberstadt) эти потоки впадают в Гольтемметаль (Holttemmetal).



Рис. 33. Распадение сплошного потока грунтовой воды на отдельные потоки (по Менденгалю).

1 — горы С.-Габриель; 2 — холм Монк-Гиль; 3 — Реймонд-Дейк.

Кажущийся единым поток грунтовой воды может разбиться на отдельные потоки, как показано на рисунке 33.

Этот рисунок изображает разрез, заполненный аллювиальными отложениями долины Сан-Габриеля по данным Менденгалля (Mendenhall) в Калифорнии (San-Gabriel); сплошное поле аллювиальных отложений прерывается скрытыми выступами гранитов и песчаников.

В помещенной ниже таблице приводятся глубина и ширина некоторых потоков грунтовой воды, подробно исследованных в гидрогеологическом отношении.

Поток /грунтовой воды	Глубина в метрах	Ширина в метрах	Суточный разбор воды в м <sup>3</sup>
В долине реки Мульды — около Наунгофа . . . . .	12 — 18	4 000—5 000	80 000
В долине Эльстер — около Лейпцига . . . . .	5 — 20	5 000—6 000	15 — 20 000
» » реки Мульды — около Вурцена . . . . .	8 — 9	4 000	60 000
В Мюнхенском плато (между Иоганнескирхеном и Плиннингом) . . . . .	—	11 000	—
В долине Эльбы — между Корани и Мельником . . . . .	5 — 18	25 000	—
В Финер-Брухе (долина Эльбы) . . . . .	25 — 40	15 000	—

## II. РАЗВЕДКА ГРУНТОВОЙ ВОДЫ

Проще всего разведывать грунтовую воду там, где она выступает на поверхность земли в виде ключа. В подобных случаях достаточно проследить явления, указывающие на присутствие грунтовой воды под землей, от места выхода ключа вверх по склону.

Для отыскания невыходящей на поверхность земли грунтовой воды имеется целый ряд признаков, наличие которых на поверхности земли позволяет заключить о присутствии в данном месте под землей грунтовой воды.

### 1. ПРИЗНАКИ, УКАЗЫВАЮЩИЕ НА ПРИСУТСТВИЕ ГРУНТОВОЙ ВОДЫ

#### а) Свойства поверхности земли

Гидрогеолог, производящий разведки или поиски грунтовой воды, часто уже по свойству поверхности земли может заключить, есть ли надежда найти тут грунтовую воду. Признаками присутствия грунтовой воды можно считать: влажность, особые растения, любящие сырые или мокрые места; так называемые польньи в замерзших поверхностных водотоках, прудах или озерах, проталинах в снеговом покрове, а также выделения железа на поверхность земли в каналах, лужах и т. д. Это последнее явление указывает на то, что содержащая железо грунтовая вода просачивается на поверхность. Во многих случаях такие выделения железа образуют переливающуюся цветами радуги пленку, плавающую на поверхности воды.

При беглом осмотре участка земли путеводными нитями для отыскания грунтовой воды служит следующее.

1. Если поверхность земли суха, то это может быть вызвано или действительной сухостью горных пород данного участка, или же высокой водопроницаемостью их, или тем, что зеркало грунтовой воды находится на большой глубине.

2. Если поверхность земли сыра или мокра, то это может быть вызвано или тем, что зеркало грунтовой воды лежит высоко или же тем, что в этом месте почва мало проницаема, что мешает инфильтрации осадков в глубину.

Из этого усматривается, что ни поверхностная сухость ни сырость какого-либо места сами по себе не достаточны для определения гидрогеологических свойств подпочвы. В этом вопросе решающим фактором может быть только точное изучение причин, вызывающих то или другое явление.

Сухость и сырость согласно вышесказанному могут быть гидрологически благоприятными или неблагоприятными признаками только в зависимости от приводящих обстоятельств. Заключение о вероятности присутствия подземной воды можно получить из орографических, гидрографических и геологических карт.

#### б) Открытые долины

В областях развития ледниковых отложений благоприятным признаком наличия грунтовой воды служит почти горизонтальная поверхность земли, так как по такому строению поверхности можно прийти к заключению, что тут имеются намывные образования. По этим

причинам при предварительных гидрогеологических изысканиях на грунтовую воду в вышеупомянутых областях исходным пунктом таких изысканий должны быть долины.

### с) Скрытые долины

Не все долины бывают открытыми, потому что последующими отложениями наносов их поверхность может частично утратить свою первоначальную горизонтальность и речное русло может изменить свое направление.

Подобные занесенные позднейшими ледниковыми отложениями русла рек и изменения их направления попадают часто. На рисунке 34 изображено согласно описанию Гейки (Geikie) изменение течения рек Тиллон-Бурна (Tillon-Burn) и Гальдер-Уотера (Galder-Water), а также и направление обоих этих водных каналов в доледниковое время.



Рис. 34. Заполнение и засорение речных русел ледниковыми процессами (по Гейки).

1 — Тиллон-Бурн; 2 — доледниковое ложе Тиллон-Бурна; 3 — Гальдерватер; 4 — доледниковое ложе Гальдерватера.

Кейль как описывает подобные же явления вблизи Нейгаузена на Рейне и близ Кюснахта около Цюриха.

И в Фенноскандии часто встречаются подобные занесенные реки и реки, изменившие свое направление, как то подробно описывает Хегбум (Høegbom). Найти занесенные, когда-то существовавшие русла рек можно только при помощи буровых изысканий, и часто это бывает делом случая.

### д) Речные террасы

В долинах рек особенно важными в гидрогеологическом отношении образованиями являются речные террасы.

Речные террасы являются остатками старых долинных наносов, которые образовались над нынешним уровнем реки. Выполняющий долину аллювий частью бывает вновь унесен рекой, и остатки его залегают по обеим сторонам реки, образуя речные террасы.

Гидрогеологическое значение речных террас заключается в их правильном построении и иногда в большом протяжении. Древние речные террасы (древнеаллювиальные) в большинстве случаев лежат высоко над водой, и так как при половодье не затопляются, они по гигиеническим соображениям являются пригодными для устройства каптажа. Иногда подобные террасы расположены только по одному берегу реки. В долинах таких рек, русла которых, изгибаясь, пересекают поемные луга, эти террасы разделены на отдельные участки, и потому теряют свою ценность как хранилища большого количества воды.

Особенно ярко развиты речные террасы у подножия высоких гор, как показано на рисунке 35, на котором изображены наносы в Интале, около Цирля (Zirli). Наглядную картину образования речных

террас дает рисунок 36, который по данным М а н д о у л я (Mandoul) изображает развитие террас реки Гаронны близ Тулузы.

Разрез I изображает первоначальное плоскогорье третичного периода между Пюжодраном (Pujaudran) и Вальма (Valma), в котором



Рис. 35. Террасы, расположенные в долинах около Цирля (по Амфереру).

водами отступающего ледника было проложено русло ледникового потока (разрез II). При убыли воды и при продолжающейся эрозии произошло понижение дна русла, и таким образом постепенно образовались террасы I, II и III (разрезы III и IV). Все эти террасы яв-

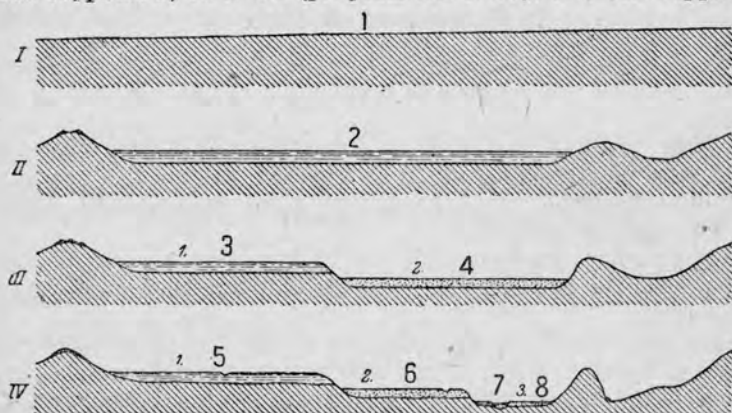


Рис. 36. Последовательное развитие террас Гаронны близ Тулузы (по Мандоулю)  
1 — первоначальная поверхность земли; 2 — ложе потока ледниковых вод; 3 — терраса; 4 — терраса  
5 — терраса; 6 — терраса; 7 — Гаронна; 8 — терраса.

ляются превосходными водоносными пластами и снабжают город Тулузу грунтовой водой.

На многих реках находят две, три или четыре лежащих друг над другом террасы, которые могут относиться к разным периодам обра-

зования. Так например реки Рур и Урфт (Roer и Urft) по описанию Курца (Kurtz) имеют по три террасы. Верхние террасы реки Рура в среднем лежат на 100 м выше современного русла реки, средняя — приблизительно на 70 м выше русла и нижняя — на 30 м.

На реке Рейне ясно видны главная, средняя и нижняя террасы. Средняя терраса лежит на 20 м и больше над уровнем реки, главная же терраса нередко расположена даже на 100 м выше уровня реки.

Обыкновенно нижняя терраса состоит из мелкозернистого материала, средняя — из более крупного, а главная терраса состоит по большей части из гравия.

Ясно выраженные террасы встречаются например в нижнем течении реки Изера в Богемии, вдоль Мулды около Вурцена и т. д. Расстояние между террасами может достигать нескольких километров.

Если террасы ледникового происхождения, то залегания их пластов часто бывают неправильными, материал, слагающий их, обладает различной водопроницаемостью. Ввиду этого в практическом отношении следует предпочесть террасы аллювиальные.

### е) Повышения местности

Отдельные вершины гор и возвышенности, а также и холмы в местах развития ледниковых отложений (например в северной Германии, в предгорье Альп и т. д.) указывают на то, что тут мы имеем дело с лобовыми моренами, внутреннее строение которых весьма запутано, ввиду чего они мало пригодны для гидрогеологических изысканий. Разрезы по улицам, в железнодорожных выемках, карьеры для добычи песка, гравия и глины дают нам полное представление о строении подпочвы.

### г) Существующие колодцы

Существующие в населенных местностях колодцы являются исходными точками для суждения о свойстве грунтовой воды в данной местности.

Колодцы, дающие постоянно достаточное количество воды, позволяют сделать заключение, что здесь имеется водоносный пласт, содержащий определенный запас воды или даже обладающий более или менее постоянным дебитом.

Ввиду этого всегда целесообразно путем опроса местных жителей получить хотя бы приблизительные данные о дебите уже существующих колодцев.

Если в существующих колодцах во время засухи особенно сильно понижается уровень воды, то это еще не служит доказательством, что подпочва бедна водой или же водоносна только временами. Такое высыхание колодцев может быть объяснено тем, что они прорыты не особенно глубоко. Давно известно, что деревенские колодцы, вырытые во время высокого стояния грунтовой воды, высыхают в годы ее низкого уровня. Это явление объясняется тем, что в видах экономии деревенские колодцы роются с таким расчетом, чтобы вода в колодце не превышала 0,5 м глубины. Эта глубина бывает обыкновенно совершенно достаточной для удовлетворения потребности в воде жителей деревни. Совершенно ясно, что такие мелкие колодцы

совершенно высыхают в засушливые годы, когда уровень грунтовой воды падает нередко на 0,75 или даже на 1 м. Из этого вытекает, что необходимо измерять не только глубину уровня воды в колодцах, но и глубину до дна. Если потом уровни воды колодцев и уровни дна их нанести на разрезах через данную местность, то из таких разрезов мы можем легко выяснить, имеем ли мы дело с одним сплошным зеркалом грунтовой воды, до которого доходит дно всех имеющихся колодцев, или же вода в отдельных колодцах принадлежит к различным горизонтам воды.

При определении уровня воды в деревенских колодцах всегда необходимо выяснить, является ли этот уровень естественным или же он искусственно изменен.

Если до измерения уровня происходил отбор воды, то конечно уровень воды понизился, и мы только тогда получим истинный результат измерений, когда пониженное зеркало воды вновь примет свое естественное положение. Подъем уровня воды в колодцах обычно происходит очень медленно, особенно в тех случаях, когда колодцы обложены каменной кладкой и когда швы кладки, как это часто бывает, проконопачены мхом, паклей и другими материалами, служащими для предохранения колодца от запаса песком. Такие материалы очень легко разбухают, и естественным последствием этого обычно является значительное ухудшение взаимной связи между колодцем и водоносным пластом. Законопаченные швы очень мало водопроницаемы, и часто проходят целые часы, пока медленно просачивающаяся снаружи вода вновь восстановит естественный уровень воды в колодцах.

Для ориентировочных целей очень удобны колодцы, вырытые у будок железнодорожных сторожей, так как около них часто можно встретить репера нивелировки местности.

С малой затратой времени уровня воды таких колодцев можно легко проинвентаризовать, связав с реперами, и получить таким образом довольно точные данные для определения высоты уровня грунтовой воды.

Очень полезно сопоставлять высотные данные для колодцев, высыхающих и не высыхающих, лежащих недалеко друг от друга. Из разницы высотных отметок дна первых и уровня воды вторых можно приблизительно судить о размерах колебания уровня грунтовой воды.

Если в результате обследования колодцев получаются благоприятные признаки, указывающие на присутствие грунтовой воды, то гидрогеолог может приступить к производству более подробных изысканий.

### **III. ПРОИЗВОДСТВО ИЗЫСКАНИЙ ГРУНТОВОЙ ВОДЫ ПУТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ ВЫХОДОВ ГРУНТОВЫХ ВОД**

Изыскание грунтовой воды легче всего производится там, где она выступает на поверхность земли в виде ключей или же где она скрыто питает поверхностные водотоки, увеличивая количество их воды. За исходные точки при производстве гидрогеологических изысканий следовало бы всегда, где это только возможно, брать ключи с грунтовой водой и поверхностные водотоки.

При измерении дебита ключей нужно помнить, что величина дебита не всегда соответствует общей массе воды, находящейся в водоносном пласте.

Для гидрогеологических изысканий не менее важное значение, чем видимые выходы грунтовых вод в виде ключей, имеют подземные воды, скрыто впадающие в поверхностные водотоки.

В горах и предгорьях легче всего убедиться в питании поверхностных водотоков грунтовыми водами.

Во время засухи ложе горного ручья местами высыхает, затем благодаря просачиванию из грунта вода опять выступает, и это явление может повторяться много раз. Часто бывает достаточно повышения водопроницаемых галечных наносов на несколько долей метра для того, чтобы устранить и это перемежающееся поверхностное течение ручья и образовать сплошной скрытый поток грунтовой воды.

Питание грунтовой водой большинства поверхностных вод происходит скрыто через водопроницаемое ложе и боковые стенки русла или водотока. Насколько сильно и постоянно это невидимое грунто-

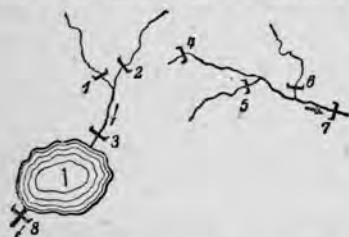


Рис. 37. Устройство перепадов для обнаружения выходов грунтовой воды в руслах ручьев. 1 — пруд.

вое питание поверхностных вод, лучше всего доказывается фактом, что во время местной засухи уровень воды всех ручьев в рек северной Германии за исключением Рейна, питающегося тальными водами ледников, поддерживается почти исключительно притоком грунтовой воды.

Если бы этого не было, то во время недостатка в осадках почти все водоемы северной Германии высохли бы. Подобные явления произошли бы повсюду, где нет притока талой ледниковой воды. Взаимоотношение между поверхностной и подземной водой может быть трояким:

или поверхностная вода питается подземной водой, или поверхностная вода проникает под почву, или же поверхностная и подземная воды не состоят друг с другом во взаимной связи. Установить, с которым из этих трех случаев мы имеем дело, легче всего непосредственным измерением количества текущей поверхностной воды. Если количество воды в реке на известном протяжении прибывает без добавочного притока поверхностной воды извне, то прибыль воды можно объяснить только притоком подземной воды. Из этого мы должны заключить, что на этом протяжении поверхностный водоток сопровождается и питается скрытым подземным потоком воды. В этом случае грунтовая вода переходит в поверхностную, и поток грунтовой воды частично или совершенно прекращает свое подземное течение, переходя в ручей, реку.

Следующие точно установленные измерениями цифры показывают, как велико в отдельных случаях может быть питание поверхностных водоемов грунтовой водой. Метельсдорфский ручей у Висмара на протяжении 100 м по берегу получает 2,8 л/сек. грунтовой воды. Парта (Parthe) между Абтнаундорфом и Гедельсбалом — 4,8 л/сек., большое Белое озеро около Риги — 1,5—2 л/сек. Мюгельзе около Берлина — 8,9 л/сек.

Если же на определенном протяжении количество воды в реке уменьшается, то это показывает, что речная вода питает подпочву, и мы имеем дело или с зарождением нового подземного потока грунтовой воды или же с пополнением речной водой уже существующего потока грунтовой воды, протекающего под руслом реки.

При водонепроницаемых руслах обыкновенно существует полная независимость между поверхностной и грунтовой водами.

Отсутствие взаимной связи между поверхностной и грунтовой водами бывает иногда только кажущимся и может повести к ложным выводам.

Иногда поверхностный водоток на протяжении одного и того же участка получает подземную воду и вновь ее в том же количестве отдает в грунт.

В таких случаях результаты измерений могут ввести в заблуждение, и только тогда можно правильно судить о действительных взаимоотношениях между поверхностной и грунтовой водами, когда имеется точный план в гидроизогинсах зеркала грунтовых вод (см. в отделе С «Уровень грунтовых вод»).

Если на исследуемом участке имеются разные открытые водотоки, то будет правильно, если предварительно наглаз определить места наибольшей прибыли воды и сообразно с этим распределить по всему участку пункты для установки гидрометрических щитов. Если например в пунктах 1—8 (рис. 37) будут непрерывно измеряться расходы воды, то из полученной между отдельными расходами разницы получится количество притекающей подземной воды в отношении каждого отдельного участка ручья или реки.

Из этого можно определить место буровых работ. Количественная разница между пунктами 3—8 дает нам количество воды, которое пруд получает из подпочвы.

#### IV. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ВОДЫ

При выборе тех или иных измерительных приборов для определения количества текущей воды следует руководствоваться как количеством воды, так и имеющимся налицо падением.

Определения производятся или непосредственно или косвенным путем.

Для производства непосредственных измерений применяются: мерные сосуды, водяной дюйм, тонкая стенка с отверстиями, перепады, водомеры.

Определения косвенные производятся путем вычислений, исходя из поперечного разреза и скорости движения воды. Для измерения скорости применяются жолоба, поплавки и вертушки.

##### 1. НЕПОСРЕДСТВЕННОЕ ИЗМЕРЕНИЕ

###### а) Мерные сосуды

Если количество воды не значительно и падение таково, что можно включить сосуд, то для производства измерений с успехом применяются мерные сосуды. Подобный сосуд по Губеру (Huber) состоит из железного цилиндра (емкостью приблизительно в 15 л, рис. 38),

снабженного под отверстием для выхода воды отметкой, указывающей его емкость.

Для измерения более значительных масс воды, превышающих 10 л/сек., пригодны особые, сделанные из брусков мерные ящики, обитые оцинкованной жестью. Рисунок 39 изображает подобный ящик. Ящик этот двусторонний, и каждое его отделение снабжено стоком в сосуды  $g_1$  и  $g_2$ . Сточный жолоб  $BC$  благодаря воронкообразной наставке  $T$  дает возможность по очереди наполнять оба отделения ящика

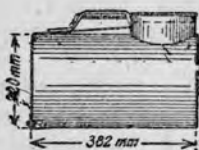


Рис. 38. Точный водомер по Губеру.

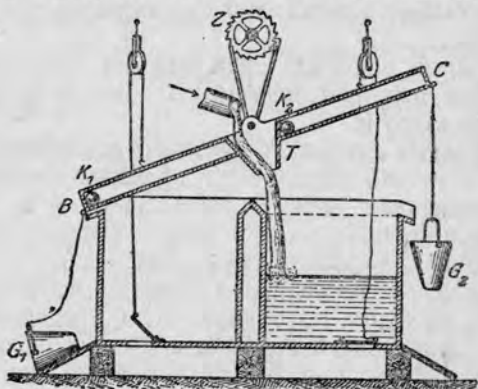


Рис. 39. Водомер.

водой, причем это производится автоматически, при помощи подвижных грузов  $K_1$  и  $K_2$ , которые приходят в движение по наполнении сосудов  $g_1$  и  $g_2$ . Сколько раз ящик наполняется водой, может быть установлено при помощи счетчика  $Z$ . Вышеописанный измерительный прибор особенно пригоден для производства отдельных измерений в ограниченном количестве.

### б) Водяной дюйм <sup>1</sup>

Из всех измерительных приборов самым простым является водяной дюйм Борнемана, который однако дает только приблизительные величины.

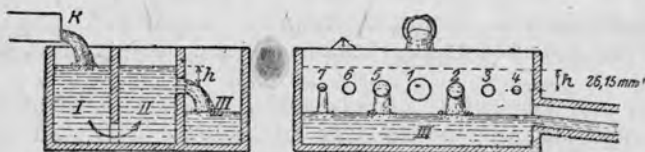


Рис. 40. Водяной дюйм по Борнеману.

Борнемановский водяной дюйм состоит, как показано на рисунке 40, из большого деревянного ящика, который разделен двумя перегородками на три отделения — I, II и III. Отделения I и II служат для установления спокойного зеркала воды и отстоя взвешенных

<sup>1</sup> Прибор, употреблявшийся прежде для определения небольших расходов воды. Примечание переводчика.

веществ. В стенках между II и III отделениями сделано 7 круглых отверстий, из которых среднее имеет самый большой диаметр, остальные отверстия расположены симметрично по отношению к среднему, причем каждая пара из них имеет одинаковую величину. Величина отверстий понижается по направлению к стенке ящика. Количество протекающей через каждое отдельное отверстие воды при высоте давления  $h = 26,15$  составляет:

(В миллиметрах)		(В м <sup>3</sup> в сутки)
Отверстие 1 $d = 26,15$	$Q_1 = \dots \dots \dots$	$\dots \dots 54,72$
» 2 $d = 13,08$	$Q_2 = 2 \times 5,44$	$= 10,88$
» 3 $d = 6,54$	$Q_3 = 2 \times 1,41$	$= 2,82$
» 4 $d = 3,27$	$Q_4 = 2 \times 0,39$	$= 0,78$
<hr/>		
$Q = 69,20$ м <sup>3</sup> в сутки		

Деревянный ящик должен стоять горизонтально. Высота  $h$  устанавливается закрытием соответствующих отверстий пробками.

### е) Тонкая стенка с отверстиями

Расход воды из отверстий в тонкой стенке определяется следующей формулой:

$$Q = \mu \cdot F \sqrt{2gh}, \quad (1)$$

где:  $Q$  — расход воды,  
 $\mu$  — коэффициент,  
 $F$  — площадь отверстия,  
 $h$  — высота напора, равная превышению зеркала воды над центром отверстия,  
 $g$  — скорость.

Если хотят определить количество воды, вытекающее из отверстия в тонкой стенке, то необходимо принять во внимание, что при истечении через отверстие уменьшается не только скорость движения воды, но и поперечный разрез струи.

Соответствующий уменьшению скорости коэффициент  $\varphi$  равняется в среднем приблизительно величине 0,96.

Коэффициент сужения  $\alpha$  поперечного разреза струи в среднем по Бубендею (Bubendey) составляет:

$$\alpha = 0,64.$$

На количество протекающей через отверстие воды оказывает влияние произведение обоих коэффициентов  $\mu = \varphi \alpha$  коэффициентов;  $\mu = \varphi \alpha$  зависит:

- 1) от высоты давления,
- 2) от формы отверстия,
- 3) от величины отверстия.

Для истечения воды через квадратные и круглые отверстия, сделанные в вертикальной тонкой стенке по Гамильтону-Смиту (Hamilton-Smith) составлены следующие две таблицы.

4) Таблицы коэффициентов  $\mu$  для истечения воды через отверстия в тонкой стенке

ТАБЛИЦА 1

Коэффициент  $\mu$  для истечения воды через квадратные отверстия в тонкой стенке при 10°C

Расстояние от зеркала воды до центра отверстия (в м)	Сторона квадрата					
	0,006 м	0,015 м	0,03 м	0,06 м	0,18 м	0,30 м
0,12 . . . . .	—	0,637	0,621	—	—	—
0,15 . . . . .	—	0,633	0,619	0,605	0,597	—
0,18 . . . . .	0,660	0,630	0,617	0,605	0,598	—
0,21 . . . . .	0,556	0,628	0,616	0,605	0,599	0,596
0,24 . . . . .	0,652	0,625	0,615	0,605	0,600	0,597
0,27 . . . . .	0,650	0,623	0,614	0,605	0,601	0,598
0,30 . . . . .	0,648	0,622	0,613	0,605	0,601	0,599
0,40 . . . . .	0,642	0,618	0,610	0,605	0,602	0,601
0,60 . . . . .	0,637	0,615	0,608	0,605	0,604	0,602
0,90 . . . . .	0,632	0,612	0,607	0,605	0,604	0,603
1,20 . . . . .	0,628	0,610	0,606	0,605	0,603	0,602
1,80 . . . . .	0,623	0,609	0,605	0,604	0,603	0,602
2,40 . . . . .	0,619	0,608	0,605	0,604	0,603	0,602
3,00 . . . . .	0,616	0,606	0,604	0,603	0,602	0,601
6,00 . . . . .	0,606	0,603	0,602	0,602	0,601	0,600
30,00 . . . . .	0,599	0,598	0,598	0,598	0,598	0,598

Для прямоугольных отверстий большой ширины коэффициенты  $\mu$  на 0,012 до 0,015 больше, чем для квадратных отверстий такой же величины и при равном расстоянии от зеркала воды.

ТАБЛИЦА 2

Коэффициент  $\mu$  для истечения воды через круглые отверстия в тонкой стенке при 10°C

Расстояние от зеркала воды до центра отверстия (в м)	Диаметр круга					
	0,006 м	0,015 м	0,03 м	0,06 м	0,18 м	0,30 м
0,12 . . . . .	—	0,631	0,618	—	—	—
0,15 . . . . .	—	0,627	0,615	0,600	0,592	—
0,18 . . . . .	0,655	0,624	0,613	0,601	0,593	—
0,21 . . . . .	0,651	0,622	0,611	0,601	0,594	0,590
0,24 . . . . .	0,648	0,620	0,610	0,601	0,594	0,591
0,27 . . . . .	0,646	0,618	0,609	0,601	0,595	0,591
0,30 . . . . .	0,644	0,617	0,608	0,600	0,595	0,591
0,40 . . . . .	0,638	0,613	0,605	0,600	0,596	0,593
0,60 . . . . .	0,632	0,610	0,604	0,599	0,597	0,595
0,90 . . . . .	0,627	0,606	0,603	0,599	0,597	0,597
1,20 . . . . .	0,623	0,605	0,602	0,599	0,598	0,596
1,80 . . . . .	0,618	0,604	0,600	0,598	0,597	0,596
2,40 . . . . .	0,614	0,603	0,600	0,598	0,596	0,596
3,00 . . . . .	0,611	0,601	0,598	0,597	0,596	0,595
6,00 . . . . .	0,601	0,598	0,596	0,596	0,596	0,594
30,00 . . . . .	0,593	0,592	0,592	0,592	0,592	0,592

### е) Водосливы

Из всех измерительных приборов для определения постоянного дебита наиболее пригодны так называемые перепады, или водосливы.

На практике применяется много разных водосливов.

По Лудеке для измерения небольших количеств воды наиболее пригодными являются водосливы с треугольным отверстием (рис. 41).



Рис. 41. Водослив с треугольным поперечным разрезом.

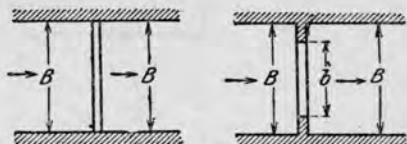


Рис. 42. Прямоугольные водосливы с односторонним и трехсторонним сжатием.

Такие водосливы различаются по величине угла, образуемого двумя его сторонами. Для определения количества воды, протекающей через треугольный водослив с углом 90°, Лудеке по произведенным Томсоном и Конэ (Cope) измерениям составил следующую формулу:

$$Q = 0,0138 h^{2,5}. \quad (2)$$

По Энгельсу (102) количество воды определяется в

$$Q = 0,014 h^2 \cdot \sqrt{h} = 0,014 h^{2,5}.$$

На практике преимущественно применяются водосливы с прямоугольным отверстием.

Для получения надежных результатов измерения очень важно, чтобы ребра отверстия были острые. Это нужно для того, чтобы получить полное отделение струи при сжатии, как будто бы прорез был сделан в тонкой стенке. Однако в жолобах с параллельными

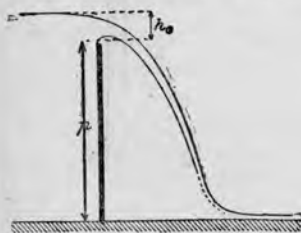


Рис. 43. Разрез водослива Базена.

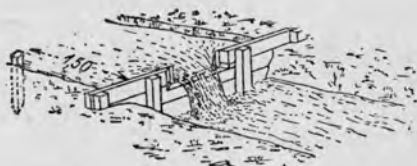


Рис. 44. Водослив Понселе.

стенками или в сосудах прямоугольной формы можно и не заострять края боковых стенок, и прорез может быть сделан во всю ширину жолоба.

В труде Ротера приведены имеющие практическое значение математические соображения о форме прорезов, при протекании через которые количество воды увеличивается пропорционально

увеличению высоты струи. Применяемые на практике водосливы, если только это возможно, должны быть так называемыми совершенными водосливами, при которых нижнее зеркало воды лежит глубже края водослива. Если  $B$  (рис. 42) является шириной жолоба или водостока

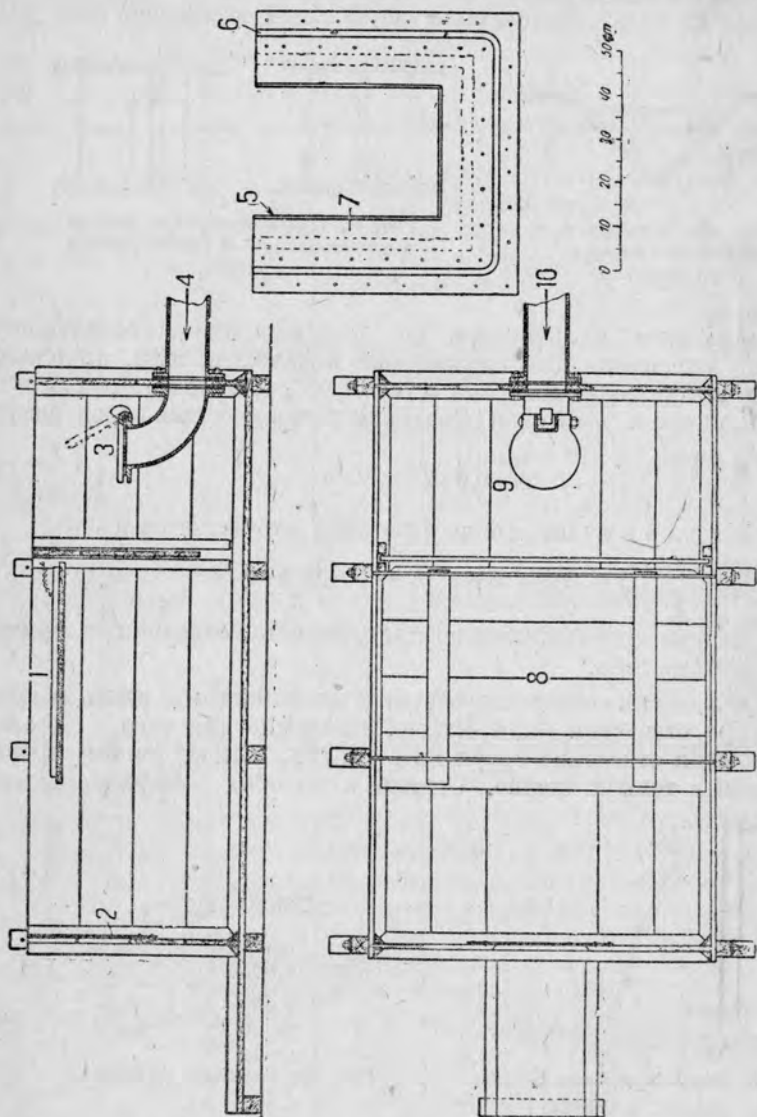


Рис. 45. Водомер Понселе.

1 — подлавок, 2 — железная рама; 3 — обратный клапан; 4 — приток; 5 — край, заостренный под углом в  $45^\circ$ ; 6 — резиновая прокладка; 7 — железная рама; 8 — подлавок, 9 — обратный клапан, 10 — приток.

и  $b$  — шириной водослива, то водослив при  $b = B$  (одностороннее сжатие струи воды) называется водосливом Базена. Водосливы, в которых  $b < B$  (трехстороннее сжатие струи воды), называются водосливами Понселе.

Количество воды, протекающее через водослив Базена, может быть вычислено по следующей формуле:

$$Q = \frac{2}{3} \mu_0 \sqrt{2 g h \cdot l \cdot h_0^3 / 2}, \quad (3)$$

в которой по Ребоку (Rehbock):

$$\mu_0 = 0,605 + \frac{1}{1100} h_0 + \frac{h_0}{12 p},$$

$Q$  = расход воды в м<sup>3</sup>/сек.

$l$  = длина перепада в м,

$h$  = высота перепада в м,

$g$  = ускорение силы тяжести в м/сек.

$p$  = высота стенки перепада в м.

Это уравнение ввиду его простоты весьма пригодно для применения на практике. По Ребоку вычисленные по формуле (2) величины  $\mu_0$  отклоняются от действительной на величину, не превышающую 0,0005.

При производстве этого измерения требуется, чтобы струя воды до самого нижнего зеркала протекала между двумя параллельными стенками, чтобы под струей через отверстия в боковых стенках производилась достаточная вентиляция. Кроме того нужно, чтобы высота падения уровня воды  $h_0$  измерялась по крайней мере на 5  $h_0$  выше мерной кромки.

Это требуется для того, чтобы измерительная рейка лежала вне кривой спада, вызванной истечением воды.

Водосливы Понселе применяются совместно.

Они могут применяться уже при количествах воды от 2 л/сек. и при небольшой высоте водослива.

Рисунок 44 изображает водослив Понселе в открытой канаве.

В соединении с водомерным ящиком (рис. 45) этот водослив пригоден для измерения расхода воды во время откачки.

Согласно указаниям Понселе расстояние кромок водослива от стенок или вернее от дна должно равняться 0,54 м. Измерение высоты сливной струи должно производиться на 1,5 м выше стенки водослива. Принимая во внимание, что сливное ребро водослива благодаря осадке нередко утрачивает свое горизонтальное положение, Губер рекомендует чаще проверять правильное положение сливного ребра и производить измерение

высоты водяной струи в расстоянии 10 см вправо и влево от отверстия. Для вычисления высоты струи берется среднее арифметическое из обоих отсчетов.



Рис. 46.  
Трубка  
Шельбаха.

Для точного отсчета высоты струи у водомерного ящика устанавливается стеклянная водомерная трубка. Больше всего подходит так называемая трубка Шельбаха (рис. 46), на задней стороне которой нанесена черно-

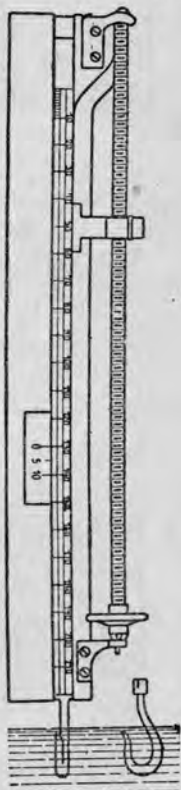


Рис. 47. Мерная  
рейка для опре-  
деления высоты  
струи (по Бой-  
дену).

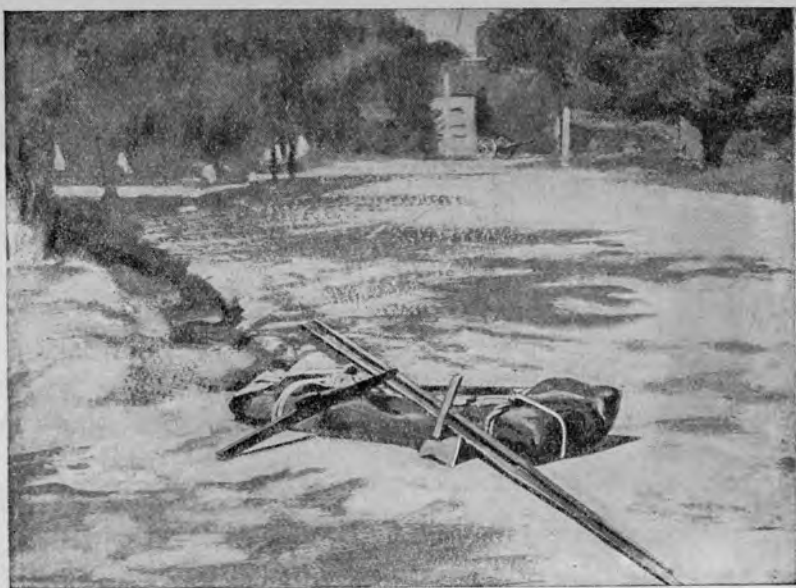


Рис. 48а. Складной водомер (по Мейнцеру и Кельтону).

белая полоска. Точка *a*, в которой эта полоска резко сужена, облегчает удобный и точный отсчет.

Изображенный на рисунке 47 прибор Бойдена (Boyden) дает возможность производить очень точные измерения высоты струи. Этот прибор снабжен крючком, погружающимся в воду, кончик которого устанавливается снизу на уровне водного зеркала. Если мерная рейка установлена таким образом, что касается зеркала воды сверху, то результаты измерений получатся неточные.



Рис. 48б. Складной водомер (по Мейнцеру и Кельтону).

Этот измерительный прибор дополнен еще нониусом. Мейндер и Кельтон сконструировали складной портативный измерительный прибор (рис. 48а и 48б).

Остов ящика состоит из гальванизированных железных трубок, стенки сделаны из водонепроницаемой парусины. Этот прибор особенно пригоден для производства измерений дебитов ключей на обширных исследуемых площадях.

Если речь идет о точном измерении ежедневно колеблющихся масс воды или вернее об определении наивысшей и наименьшей их величины, то рекомендуется применять поплавки, который автоматически отмечает все колебания водного зеркала на подвижном барабане.

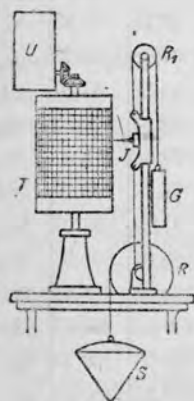


Рис. 49. Самопишущий футынок (по Будау).

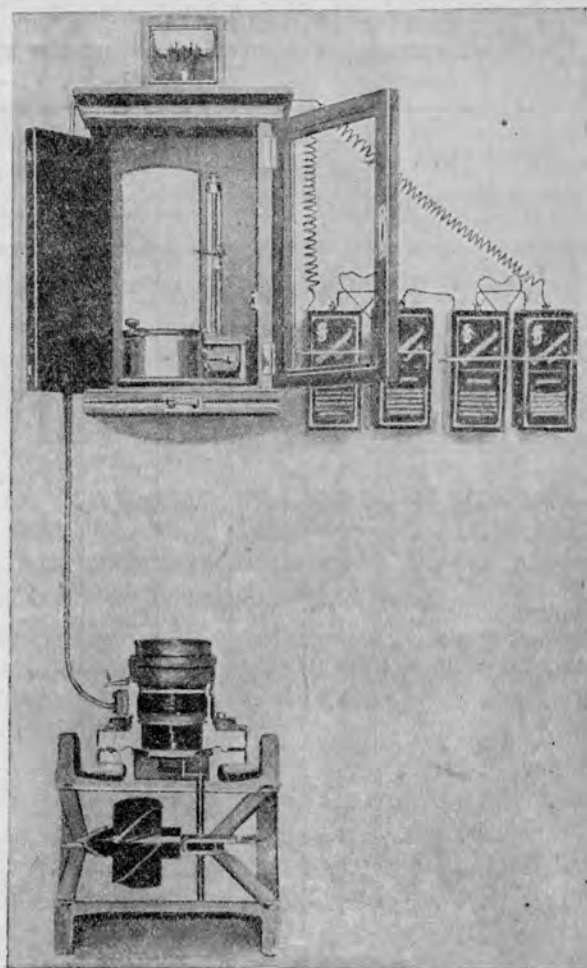


Рис. 50. Водомер Вольмана с саморегистрирующим аппаратом (по Сименсу и Гальске).

Рисунок 49 изображает подобный лимниграф, сконструированный Будау. Поплавок  $S$  уравновешен противовесом  $G$  и соединен шнурком с блоком  $R$ , для того чтобы при движениях вверх и вниз заставлять блок вращаться. Это вращательное движение при помощи второго шнурка, проходящего через второй блок  $R_2$ , передается карандашу  $J$ , который вычерчивает соответствующую кривую на барабане  $T$ . Барабан вращается при помощи часового механизма  $U$ .

Приблизительные количества воды, соответствующие высоте струи от 1 до 30 см, при ширине водослива Понселе от 20 до 100 см, могут быть взяты из нижепомещенной таблицы. Для практических целей эти цифры будут вполне достаточно точны.

ТАБЛИЦА 3

f) Количество воды в л/сек., измеренные при помощи водослива Понселе

Высота струи (в сантиметрах)	Ширина водослива (в сантиметрах)								
	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	Количество в л/сек.								
1 . . . . .	0,4	0,62	0,84	1,06	1,28	1,50	1,72	1,94	2,16
2 . . . . .	1,1	1,69	2,28	2,87	3,46	4,05	4,64	5,23	5,82
3 . . . . .	1,9	2,96	4,02	5,08	6,14	7,20	8,26	9,32	10,38
4 . . . . .	2,9	4,49	6,08	7,67	9,26	10,85	12,44	14,03	15,62
5 . . . . .	4,1	6,29	8,48	10,67	12,86	15,05	17,24	19,43	21,62
6 . . . . .	5,3	8,14	10,98	13,82	16,66	19,50	22,34	25,18	28,02
7 . . . . .	6,6	10,17	13,74	17,31	20,88	24,45	28,02	31,59	35,16
8 . . . . .	8,1	12,45	16,80	21,15	25,50	29,85	34,20	38,55	42,90
9 . . . . .	9,6	14,79	19,98	25,17	30,36	35,55	40,74	45,93	51,12
10 . . . . .	11,2	17,28	23,36	29,44	35,52	41,60	47,68	53,76	59,84
11 . . . . .	12,8	19,81	26,82	35,05	40,84	47,85	54,86	61,87	68,88
12 . . . . .	14,6	22,59	30,58	38,57	46,56	54,55	62,54	70,53	78,52
13 . . . . .	16,4	25,41	34,42	43,43	52,44	61,45	70,46	79,47	88,48
14 . . . . .	18,3	28,37	38,44	48,51	58,58	68,65	78,72	88,79	98,86
15 . . . . .	20,3	31,44	42,58	53,72	64,86	76,00	87,14	98,28	109,42
16 . . . . .	22,3	34,58	46,86	59,14	71,42	83,70	95,98	108,26	120,54
17 . . . . .	24,5	37,91	51,32	64,73	78,14	91,55	104,96	118,37	131,78
18 . . . . .	26,6	41,21	55,82	70,43	85,04	99,65	114,26	128,87	143,48
19 . . . . .	28,8	44,65	60,50	76,35	92,20	108,05	123,90	139,75	155,60
20 . . . . .	30,9	48,01	65,12	82,23	99,34	116,44	133,55	150,66	167,77
21 . . . . .	33,2	51,37	69,94	88,31	106,68	125,05	143,42	161,79	180,16
22 . . . . .	35,6	55,25	74,90	94,55	114,20	133,85	153,50	173,15	192,80
23 . . . . .	37,0	58,76	77,72	100,68	121,64	142,60	163,56	184,32	205,48
24 . . . . .	40,1	62,39	84,68	106,97	129,26	151,55	173,84	196,13	218,42
25 . . . . .	42,4	66,10	89,80	113,50	137,20	160,90	184,60	208,30	232,00
26 . . . . .	44,7	69,79	94,88	119,97	145,06	170,15	195,24	220,33	245,42
27 . . . . .	47,2	73,67	100,14	126,61	153,08	179,55	206,02	232,49	258,96
28 . . . . .	49,6	77,49	105,38	133,27	161,16	189,05	216,94	244,83	272,72
29 . . . . .	52,2	81,53	110,86	140,19	169,52	198,85	228,18	257,51	286,84
30 . . . . .	54,6	85,46	116,32	147,18	178,04	208,90	239,76	270,62	301,48

## г) Водомер

При помощи водомеров можно производить с достаточной точностью постоянные измерения протекающей воды. Водомеры можно ставить в водопроводах как подводящих, так и отводящих воду. Однако при этом необходимо принимать во внимание все технические привходящие обстоятельства, которые могут оказать влияние на чувствительность водомера. У источников, несущих с собою песок, должны быть устроены отстойные бассейны до входа воды в водомер. При применении водомеров рекомендуется устанавливать саморегистрирующий прибор для непрерывной записи протекающего количества воды. Рисунок 50 изображает водомер Вольтмана, снабженный саморегистрирующим аппаратом.

## 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ВОДЫ КОСВЕННЫМ ПУТЕМ

В тех случаях, когда вследствие недостаточного падения невозможно создать струю воды или столб воды и когда при подпоре воды можно опасаться, что ручьи и реки выйдут из берегов, приходится ограничиваться определением количества воды косвенным путем: вычислением или измерением скорости движения воды в жолобах.

Подробное описание такого способа производства измерений содержится между прочим в трудах Герхардта, Меллера, Фридриха и др.

### а) Определение скорости движения воды в открытых руслах

Мюллер (Müller) опубликовал таблицу для определения количества воды, протекающей через жолоба шириной в 20, 30 и 40 см.

Фишер предлагает особенно простой и надежный способ измерения скорости движения воды в жолобах шириной до 50 см. При этом им принято во внимание сопротивление. В своих вычислениях он подверг точному исследованию соотношение между скоростью движения воды на верхней ее поверхности и в середине живого сечения. На основании приблизительно 3 500 измерений он составил таблицы, из которых при известном поперечном сечении можно непосредственно брать среднюю скорость движения воды, соответствующую наивысшей или средней скорости движения воды на ее поверхности.

Способ Фишера является по настоящее время самым простым для определения количества протекающей воды в жолобах. При применении этого способа получают очень точные результаты. Для каналов с шириной зеркала выше 10 м также проста формула Грегера (Groeger). Она вытекает из основной формулы Гагена (Hagen):

$$v_m = k \cdot T^a \cdot J^b.$$

Ее точность доказана многочисленными сравнительными опытами.

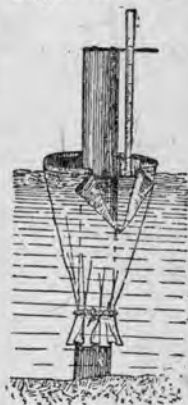


Рис. 51. Ограждение футштока от воли (по Гайоу).

Формула Грегера в зависимости от глубины по поперечному раз-  
резу изменяется следующим образом:

$$v_m = 23,781 \cdot T_m^{0,776} \cdot J^{0,458}$$

для

$$T_m = 0,20 - 2,0 \text{ м} \quad (4)$$

и

$$v_m = 22,11 \cdot T_m^{0,58} \cdot J^{0,43} \text{ для } T_m > 2,0 \text{ м}. \quad (5)$$

$v_m$  — представляет собой среднюю скорость в поперечном раз-  
резе реки с зеркалом воды больше 10 м ширины,  $T_m$  — среднюю  
глубину поперечного разреза и  $J$  — падение зеркала.

Этой формулой очень легко пользоваться, так как ее можно  
изобразить логарифмически:

$$\lg v_m = \lg 23,781 + 0,776 \lg T_m + 0,458 \lg J,$$

или

$$\lg v_m = \lg 22,11 + 0,58 \lg T_m + 0,43 \lg J.$$

Грегер изобразил результаты этой формулы также графически.  
Определение высоты уровня воды в каналах посредством фут-  
штока должно всегда производиться в спокойной воде. Если при-  
ходится иметь дело с волнением воды, то по описанию Га й о с а  
(Hayos) большую услугу оказывает особый столб (рис. 51), который  
для предохранения от возмущения воды защищен двойным кожухом,  
сделанным из мешочного полотна, через которое свободно прохо-  
дит вода.

## б) Поплавок

Для производства измерений скорости движения  
воды в открытых каналах применяются также так назы-  
ваемые поплавки.

В случае нужды каждый кусок дерева любой формы  
может быть использован в качестве поплавка. Для  
этого пригодны также полунаполненные бутылки, же-  
стяные шары, испорченные электрические лампочки, к  
которым снизу прикрепляется кусок свинца. Надо  
однако обращать внимание на то, чтобы поплавок под-  
ставлял ветру возможно меньшую площадь, чтобы он  
был легок и чтобы плавал возможно вертикально. Если  
поплавки сильно наклоняются назад или вперед, то  
это показывает, что они погрузились в слои воды, об-  
ладающие большей или соответственно меньшей ско-  
ростью и что они уже не являются поверхностными.

Для поплавков, употребляемых для измерения ско-  
рости движения воды в глубоких слоях, применяются  
полые тела, нагруженные с таким расчетом, чтобы они  
именно погружались в воду. Для того чтобы глубин-  
ный поплавок оставался на определенной глубине,  
его подвешивают к поверхностному поплавку. Этот по-  
следний показывает в таком случае место, где нахо-  
дится глубинный поплавок в данное время. Брусчатым

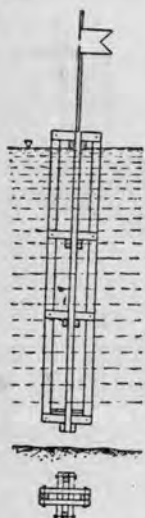


Рис. 52. Де-  
ревянный  
реечный по-  
плавок (по  
Грегге).

поплавком может служить стойка, которая состоит из полой закрытой жестяной трубки в 3—4 см в диаметре, которая может быть свинчена из отдельных частей равной длины. Трубка эта нагружается металлическими шариками с таким расчетом, чтобы она только немного выдавалась над поверхностью воды.

Можно считать, что эта стойка, которая плавает в слабо наклонном положении, продвигается вперед со скоростью, равной приблизительно средней скорости течения воды в данном вертикальном разрезе.

Сконструированный Г р о т е (Grote) брусчатый поплавок изображен на рисунке 52. Он состоит из остова, сделанного из деревянных планок с железным грузилом внизу. Результаты измерений при применении этого поплавка были только на 3—5% больше результатов измерений, произведенных измерениями вертушкой.

### с) Гидрометрические вертушки

Служащая для измерения скорости течения воды гидрометрическая вертушка Вольмана, усовершенствованная потом в разных отношениях, состоит в принципе из четырехкрыльчатого колесика, приводимого в движение течением воды.

Вертушка является очень подходящим измерительным прибором для определения скорости течения на большой глубине при больших скоростях течения и следовательно для больших расходов воды.

Вольманские вертушки применяются при гидрологических исследованиях только в виде исключения, так как обычно при этих исследованиях редко приходится иметь дело с массами воды, превышающими величину в несколько сот литров в секунду.

### 3. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ТАБЛИЦА СТЕПЕНИ ТОЧНОСТИ РАЗНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Степень точности различных измерительных приборов исследовал Фридрих. При этом он установил, что в канале, имеющем форму трапеции, при одинаковых условиях можно получить следующие результаты измерений.

	Средняя скорость (в метрах)	Количество воды (в м)	Ошибки в процентах против измерений вертушками
Измерения поплавком . . . . .	0,734	5,046	+ 7,7
» трубками . . . . .	0,726	4,937	+ 5,0
» вертушками . . . . .	0,684	4,684	—
Вычисленные по Гангюлье-Куттеру . . . . .	0,832	5,720	+ 22,0
» » Базену . . . . .	0,780	5,362	+ 14,4

Ширина зеркала воды . . . . . 7,5 м  
 Глубина воды . . . . . 1,12—1,25 м  
 Поперечный разрез воды . . . . . 6,875 м<sup>2</sup>  
 Падение зеркала . . . . . 0,8%

#### 4. ИЗМЕРЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ВОДЫ В АРТЕЗИАНСКИХ КОЛОДЦАХ

Т о д д (Todd) рекомендует особый способ для приблизительного измерения количества изливающейся из артезианской свежины воды.

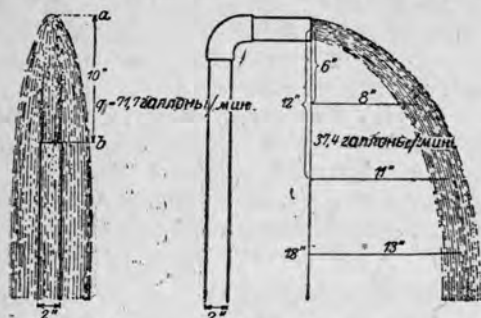


Рис. 53. Измерение дебита артезианского колодца по струе воды.

Если струя выбивается вертикально (рис. 53), то достаточно измерить высоту струи *ab*. Надлежащие величины подсказывают в графе А нижеследующей таблицы. Если к буровой скважине приделана горизонтальная сточная труба, то способ измерения несколько сложнее.

От центра горизонтальной сточной трубы отмеряют вниз 6" или 12" и отсюда измеряют расстояние до центра водяной струи и подсказывают надлежащие величины в графе В.

ТА Б Л И Ц А 4  
Количество воды в галлонах в минуту<sup>1</sup>

Высота струи	А. Вертикальный сток				Горизонтальная координ. струи	В. Горизонтальный сток			
	Диаметр буровой скважины					Вертикальная координата струи			
	1"	1 1/2"	2"	3"		6"	12"	6"	12"
1 1/2	3,96	8,91	15,80	35,60	6	7,01	4,95	27,71	19,63
1	5,60	12,60	22,40	51,40	7	8,18	5,77	32,33	22,90
2	7,99	18,00	32,00	71,90	8	9,35	6,60	37,40	26,18
3	9,81	22,10	39,20	88,30	9	10,51	7,42	41,56	29,45
4	11,33	25,50	45,30	102,00	10	11,68	8,25	46,18	32,72
5	12,68	28,50	50,70	113,80	11	12,85	9,08	50,80	35,99
6	13,88	31,40	55,50	124,90	12	14,02	9,91	55,42	39,26
7	14,96	33,70	59,80	134,90	13	15,19	10,73	60,03	42,54
8	16,00	36,00	64,00	144,10	14	16,36	11,56	64,65	45,81
9	17,01	38,30	68,00	153,10	15	17,53	12,38	69,27	49,08
10	17,93	40,30	71,70	161,30	16	18,70	13,21	73,89	52,35
15	21,95	49,30	87,80	197,50	20	23,37	16,51	92,36	65,44
20	25,37	57,00	101,60	228,50	25	29,11	20,64	115,45	81,80
25	28,49	64,10	114,00	256,40	30	35,06	24,77	138,54	98,16
30	30,94	69,40	123,40	277,60	35	40,45	28,64	161,63	114,52
60	43,80	98,60	175,20	394,30					
96	55,60	125,00	222,20	500,00					
120	62,20	139,90	248,70	559,50					
144	68,00	153,10	272,20	612,50					
						На каждый следующий двойм присчитывается			
						1,15	0,82	4,62	3,27

При большом диаметре количество получается:

Для 3"	помножением	относящегося	к 2"	количества	стока	на	2,25
» 4"	»	»	» 2"	»	»	»	4,00
» 4 1/2"	»	»	» 2"	»	»	»	5,06
» 5"	»	»	» 2"	»	»	»	6,26
» 6"	»	»	» 2"	»	»	»	9,00
» 8"	»	»	» 2"	»	»	»	16,00

<sup>1</sup> См. сравнительную таблицу мер в конце книги.

ТАБЛИЦА 5

пересчета дебита в л/сек., в л/мин., в м<sup>3</sup>/час., в м<sup>3</sup>/сут.

Литры в секунду	Литры в минуту	Куб. метры в час	Куб. метры в сутки	Литры в секунду	Литры в минуту	Куб. метры в час	Куб. метры в сутки	Литры в секунду	Литры в минуту	Куб. метры в час	Куб. метры в сутки
1	60	3,6	86,4	35	2 100	126,0	3 024,0	140	8 400	504,0	12 096,0
2	120	7,2	172,8	40	2 400	144,0	3 456,0	150	9 000	540,0	12 960,0
3	180	10,8	259,2	45	2 700	162,0	3 888,0	160	9 600	576,0	13 824,0
4	240	14,4	345,6	50	3 000	180,0	4 320,0	170	10 200	612,0	14 688,0
5	300	18,0	432,0	55	3 300	198,0	4 752,0	180	10 800	648,0	15 552,0
6	360	21,6	518,4	60	3 600	216,0	5 184,0	190	11 400	684,0	16 416,0
7	420	25,2	604,8	65	3 900	234,0	5 616,0	200	12 000	720,0	17 280,0
8	480	28,8	691,2	70	4 200	252,0	6 048,0	300	18 000	1 080,0	25 920,0
9	540	32,4	777,6	75	4 500	270,0	6 480,0	400	24 000	1 440,0	34 560,0
10	600	36,0	864,0	80	4 800	288,0	6 912,0	500	30 000	1 800,0	43 200,0
12	720	43,2	1 036,8	85	5 100	306,0	7 344,0	600	36 000	2 160,0	51 840,0
14	840	50,4	1 209,6	90	5 400	324,0	7 776,0	700	42 000	2 520,0	60 480,0
16	960	57,6	1 382,4	95	5 700	342,0	8 208,0	800	48 000	2 880,0	69 120,0
18	1 080	64,8	1 555,2	100	6 000	360,0	8 640,0	900	54 000	3 240,0	77 760,0
20	1 200	72,0	1 728,0	110	6 600	396,0	9 504,0	1 000	60 000	3 600,0	86 400,0
25	1 500	90,0	2 160,0	120	7 200	432,0	10 368,0	—	—	—	—
30	1 800	108,0	2 592,0	130	7 800	468,0	11 232,0	—	—	—	—

ТАБЛИЦА 6

пересчета дебита в л/мин., в л/сек., в м<sup>3</sup>/час., в м<sup>3</sup>/сут.

Литры в минуту	Литры в секунду	Куб. метры в час	Куб. метры в сутки	Литры в минуту	Литры в секунду	Куб. метры в час	Куб. метры в сутки	Литры в минуту	Литры в секунду	Куб. метры в час	Куб. метры в сутки
1	0,0166	0,060	1,440	35	0,5833	2,100	50,400	140	2,3333	8,400	201,600
2	0,0333	0,120	2,880	40	0,6666	2,400	57,600	150	2,5000	9,000	216,000
3	0,0500	0,180	4,320	45	0,7500	2,700	64,800	160	2,6666	9,600	230,400
4	0,0666	0,240	5,760	50	0,8333	3,000	72,000	170	2,8333	10,200	244,800
5	0,0833	0,300	7,200	55	0,9166	3,300	79,200	180	3,0000	10,800	259,200
6	0,1000	0,360	8,640	60	1,0000	3,600	86,400	190	3,1666	11,400	273,600
7	0,1166	0,420	10,080	65	1,0833	3,900	93,600	200	3,3333	12,000	288,000
8	0,1333	0,480	11,520	70	1,1666	4,200	100,800	300	5,0000	18,000	432,000
9	0,1500	0,540	12,960	75	1,2500	4,500	108,000	400	6,6666	24,000	576,000
10	0,1666	0,600	14,400	80	1,3333	4,800	115,200	500	8,3333	30,000	720,000
12	0,2000	0,720	17,280	85	1,4166	5,100	122,400	600	10,0000	36,000	864,000
14	0,2333	0,840	20,160	90	1,5000	5,400	129,600	700	11,6666	42,000	1 008,000
16	0,2666	0,960	23,040	95	1,5833	5,700	136,800	800	13,3333	48,000	1 152,000
18	0,3000	1,080	25,920	100	1,6666	6,000	144,000	900	15,0000	54,000	1 227,000
20	0,3333	1,200	28,800	110	1,8333	6,600	156,400	1 000	16,6666	60,000	1 440,000
25	0,4166	1,500	36,000	120	2,0000	7,200	172,800	—	—	—	—
30	0,5000	1,800	43,200	130	2,1666	7,800	187,200	—	—	—	—

ТАБЛИЦА 7

пересчета дебита в м<sup>3</sup>/час., л/сек., л/мин., м<sup>3</sup>/сут.

Куб. метры в час	Литры в секунду	Литры в минуту	Куб. метры в сутки	Куб. метры в час	Литры в секунду	Литры в минуту	Куб. метры в сутки	Куб. метры в час	Литры в секунду	Литры в минуту	Куб. метры в сутки
1	0,277	16,66	24	35	9,722	583,33	840	140	38,888	2 333,33	3 360
2	0,555	33,33	48	40	11,111	666,66	960	150	41,666	2 500,00	3 600
3	0,833	50,00	72	45	12,500	750,00	1 080	160	44,444	2 666,66	3 840
4	1,111	66,66	96	50	13,800	833,33	1 200	170	47,222	2 833,33	4 080
5	1,388	83,33	120	55	15,277	916,66	1 320	180	50,000	3 000,00	4 320
6	1,666	100,00	144	60	16,666	1 000,00	1 440	190	52,777	3 166,66	4 560
7	1,944	116,66	168	65	18,055	1 083,33	1 560	200	55,555	3 333,33	4 800
8	2,222	133,33	192	70	19,443	1 266,66	1 680	300	83,333	5 000,00	7 200
9	2,500	150,00	216	75	20,833	1 250,00	1 800	400	111 111	6 666,66	9 600
10	2,777	166,66	240	80	22,222	1 333,33	1 920	500	138,888	8 333,33	12 000
12	3,333	200,00	288	85	23,610	1 416,66	2 040	600	166,666	10 000,00	14 400
14	3,888	233,33	336	90	25,000	1 500,00	2 160	700	194,444	11 666,66	16 800
16	4,444	266,66	384	95	26,388	1 583,33	2 280	800	222,222	13 333,33	19 200
18	5,000	300,00	432	100	27,777	1 666,66	2 400	900	250,000	15 000,00	21 600
20	5,555	333,33	480	110	30,555	1 833,33	2 640	1 000	277,777	16 666,66	24 000
25	6,944	416,66	600	120	33,333	2 000,00	2 880	—	—	—	—
30	8,333	500,00	720	130	36,111	2 166,66	3 120	—	—	—	—

ТАБЛИЦА 8

пересчета дебита в м<sup>3</sup>/сут., в л/сек., в л/мин., в м<sup>3</sup>/час.

Куб. метры в сутки	Литры в секунду	Литры в минуту	Куб. метры в час	Куб. метры в сутки	Литры в секунду	Литры в минуту	Куб. метры в час	Куб. метры в сутки	Литры в секунду	Литры в минуту	Куб. метры в час
1	0,0115	0,6944	0,0416	35	0,4051	24,3055	1,4583	140	1,6203	97,2222	5,8333
2	0,0231	1,3888	0,0833	40	0,4629	27,7777	1,6666	150	1,7360	104,1666	6,2500
3	0,0347	2,0833	0,1250	45	0,5208	31,2500	1,8750	160	1,8518	111,1111	6,6666
4	0,0462	2,7777	0,1666	50	0,5787	34,7222	2,0833	170	1,9675	118,0555	7,0833
5	0,0578	3,4722	0,2083	55	0,6365	38,1944	2,2916	180	2,0833	125,0000	7,5000
6	0,0694	4,1666	0,2500	60	0,6944	41,6666	2,5000	190	2,1990	131,9444	7,9166
7	0,0810	4,8611	0,2916	65	0,7523	45,1331	2,7083	200	2,3148	138,8888	8,3333
8	0,0925	5,5555	0,3333	70	0,8101	48,6111	2,9166	300	3,4722	208,3333	12,5000
9	0,1041	6,2500	0,3750	75	0,8680	52,0833	3,1250	400	4,6296	287,7777	16,6666
10	0,1157	6,9444	0,4166	80	0,9259	55,5555	3,3333	500	5,7870	347,2222	20,8333
12	0,1388	8,3333	0,5000	85	0,9837	59,0277	3,5416	600	6,9444	416,6666	25,0000
14	0,1620	9,7222	0,5833	90	1,0416	62,5000	3,7500	700	8,1018	486,1111	29,1666
16	0,1851	11,1111	0,6666	95	1,0995	65,9723	3,9583	800	9,2592	555,5555	33,3333
18	0,2083	12,5000	0,7500	100	1,1574	69,4444	4,1666	900	10,4166	625,0000	37,5000
20	0,2314	13,8888	0,8333	110	1,2731	73,3888	4,5833	1 000	11,5740	694,4444	41,6666
25	0,2893	17,3611	0,0416	120	1 3888	83,3333	5,0000	—	—	—	—
30	0,3472	20,8333	1,2500	130	1,5045	90,2777	5,4166	—	—	—	—

## V. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОНЯТИЙ ГРУНТОВОГО ПОТОКА И БАС- СЕЙНА НЕПОДВИЖНОЙ ГРУНТОВОЙ ВОДЫ

Конечно практической целью каждого гидрогеологического исследования является установление наличия определенного количества грунтовой воды. Если водопровод, проектированный на основании полученных изысканиями данных о количестве имеющейся в наличии воды, должен быть долговечным, то первым и основным для этого условием должна быть несыхаемость грунтовой воды. Вода должна притекать в водопровод всегда в потребном количестве.

Таким образом мы должны делать различие между движущейся и стоячей грунтовой водой или между грунтовым потоком, обладающим определенным расходом воды, и бассейном, содержащим лишь скопление вековых запасов воды.

Разница между текучей и стоячей грунтовой водой проявляется в форме поверхности зеркала их, Текучая грунтовая вода имеет наклонное зеркало воды. Стоячая же грунтовая вода имеет горизонтальное зеркало.

### 1. ТЕКУЧИЕ ГРУНТОВЫЕ ВОДЫ

#### а) Горизонтальное движение грунтовых вод

Из данных по гидрогеологическому обследованию большого числа местностей вытекает, что направление движения грунтовых вод в большинстве случаев почти совпадает с направлением течения речной воды. Исключение может иметь место лишь вблизи поверхностных водотоков и лишь постольку, поскольку здесь грунтовая вода обычно выбирает себе более или менее кратчайший путь к открытым водоемам. Объяснение этому можно искать в том, что грунтовые воды служат всегда регулярным источником питания поверхностных вод и что таким образом вследствие дренажного действия поверхностной воды грунтовая вода находит себе наикратчайшие пути к последней.

Однако в виде исключения может случиться, что течение потока грунтовой воды будет иметь обратное направление по отношению к течению реки, с которой этот поток находится в гидравлической связи. О подобном случае, имевшем место в верхнем течении Рейна близ Рейнау (Rheinau), сообщает Г у г (Hug) (рис. 54).

Если зеркало грунтовой воды имеет уклон, то ввиду водопроницаемости пласта это будет служить доказательством того, что в водоносном пласте имеет место движение грунтовых вод, так как там, где имеется наделение уровня, должно быть также и движение. При наличии уклонов в силу этой причины состояние покоя исключается.

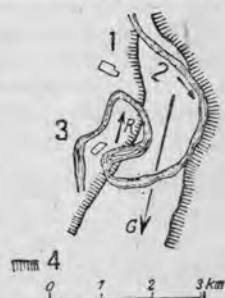


Рис. 54. Противоположное направление течения грунтовых вод и реки у Рейнау.

1 — Альтенберг; 2 — Рейн;  
3 — Рейнау; 4 — берег потока грунтовых вод.

## б) Уровень грунтовых вод

### а) Измерение уровня грунтовых вод

Одной из наиболее важных при гидрогеологических исследованиях задач является измерение уровня грунтовых вод. Колодцы, которые служат для измерений уровней грунтовых вод, должны быть распределены равномерно по всей исследуемой площади. Необходимо при этом уделять особое внимание распределению пунктов измерения там, где замечаются неправильности в строении водоносного слоя.

Ввиду огромной важности, которую имеют подземные воды, было бы очень желательно покрыть всю населенную часть земли сетью наблюдательных пунктов и производить в них регулярные наблюдения за режимом грунтовых вод. Начало этому положено в Германии, где Прусский гидротехнический институт в настоящее время устанавливает еженедельными измерениями колебания уровня грунтовых вод в 400 пунктах наблюдений. Геологическим институтом

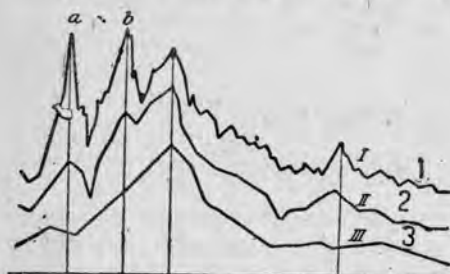


Рис. 55. Кривая движения зеркала в зависимости от сроков, в которые производились измерения.

1 — ежедневный; 2 — двухдневный; 3 — трехмесячный.

в Саксонии производятся наблюдения над грунтовыми водами также приблизительно в 400 колодцах. В общем в Германии число пунктов, где государственным и городскими учреждениями производятся регулярные измерения над уровнем грунтовых вод, достигает нескольких тысяч. Надо надеяться, что работы по наблюдению над грунтовыми водами в ближайшее время распространятся во всех культурных странах и что со временем мы получим также же точные сведения о по-

ложении подземного зеркала воды, какие мы имеем о строении поверхности земли по данным топографических съемок.

Большинство пунктов наблюдения над грунтовыми водами расположены в речных долинах. Кёне (Köhne) правильно обращает внимание на то, что чрезвычайно важно устраивать пункты наблюдения в достаточном количестве также и на водоразделах, что имеет особенно большое значение при решении вопроса о питании грунтовых вод.

Для определения формы и падения зеркала грунтовой воды необходимо его вскрыть на изучаемой площади в ряде пунктов и тем сделать его доступным наблюдениям и измерениям. Для этой цели исследуемая площадь покрывается сетью наблюдательных колодцев, копанных или буровых. Если имеются естественные выходы грунтовых вод в виде источников или другом виде, то таковые могут быть также включены в сеть наблюдений. Уровни воды в уже имеющихся колодцах являются также желательным дополнением к материалу наблюдений. При использовании в целях наблюдений естественных выходов грунтовых вод, а также колодцев, служащих не только для измерений, но и для добычи воды, рекомендуется осторож-

ность, так как уровни воды источников и эксплуатируемых колодцев могут быть измененными и не соответствующими естественному положению зеркала грунтовых вод.

Несколько ниже, в рубрике «ложное зеркало грунтовых вод» такие случаи будут рассмотрены более подробно.

Съемка поверхности зеркала грунтовых вод часто кажется более простой, чем она есть на самом деле, так как трудно наблюдать зеркало [воды, абсолютно не подверженное постороннему влиянию. На картину, получаемую в результате измерений, большое влияние оказывают промежутки времени, через которые производились измерения уровня воды.

На рисунке 55 кривая I соответствует ежедневным наблюдениям, кривая II — еженедельным наблюдениям и кривая III — ежемесячным. По форме отдельных кривых ясно видно, что месячная кривая дает неполную картину действительных колебаний уровня, так как в ходе кривой две точки максимума стояния уровня *a* и *b* совершенно отсутствуют.

Наиболее целесообразным и дешевым сооружением для постоянных измерений зеркала грунтовых вод являются наблюдательные трубчатые колодцы. При забивке в грунт труб для наблюдения отверстия их при прохождении глинистых пластов легко могут засориться, вследствие чего они не могут быть введены в грунт по способу портоновских колодцев и должны закладываться в предварительно пробуренные скважины.

В качестве труб для устройства наблюдательных колодцев подходят трубы из различного материала, а именно: деревянные, гончарные, цементные, железные и т. п. Однако в большинстве случаев рекомендуется применять трубы железные, приблизительно в 25—100 мм в диаметре.

Наблюдательные трубы должны всегда иметь в нижней части отверстия. В целях обеспечения гидравлической связи между водоносным пластом и наблюдательным колодцем достаточно снабдить нижний конец трубы приблизительно на длину от 0,75 до 1 м отверстиями диаметром от 0,5 до 2 мм. Если водоносная порода крупнозернистая, то отверстие в трубе не требует особого предохранения от засорения песком. Если же водоносный слой состоит из мелкого песка, то для предохранения наблюдательных колодцев от засорения песком они должны быть обернуты сеткой с отверстиями соответствующей величины. Трубы для наблюдения, находящиеся в мелкозернистом песке, целесообразно окружать также засышкой из щебня. Нижний конец трубы предохраняется от засорения деревянной пробкой. Трубы для наблюдений, не снабженные особыми боковыми отверстиями и имеющие открытым лишь нижний конец, не должны применяться, так как они очень легко засоряются песком



Рис. 57. Прибор Ранга для замера уровня воды.



Рис. 56. Снабженный особой пружиной для открывания запор для наблюдательных труб.

через нижнее отверстие и закупориваются более крупными валунами, вследствие чего скоро становятся непригодными, теряя связь с водоносным пластом.

Верхний конец трубы для наблюдений целесообразнее всего устраивать в виде муфты, которая закрывается пробкой. В трубах, которые применялись для наблюдения при изысканиях для составления проекта дренажа района левобережья нижнего Рейна, верхний конец состоял из железного колпака, как показано на рисунке 56. Этот колпак открывается при помощи особой пружины.

Так как очень часто трубы для наблюдений повреждаются и сдвигаются со своего места, то они должны быть защищены якорем.

Для измерения уровня грунтовых вод в трубах, служащих для наблюдений в колодцах, пригоден всякий стержень из железа с нанесенными делениями, который подвешивается к стальной мерной ленте или цепи из звеньев. Стержень должен быть шероховатым, перед употреблением накален и натерт мелом, чтобы метка уровня стояния воды яснее выступала. При измерениях нужно всегда иметь в виду, что вода при погружении мерного стержня вытесняется. Если трубы узки, то нужно принимать во внимание степень вытеснения воды, вследствие чего поднимается и измеряемый уровень воды и в результате получается известная постоянная ошибка.

Особенно пригодным измерителем уровня стояния воды оказался измеритель Ранга (Rang D. R. G. M.) с акустическим сигналом (рис. 57), звучащим при погружении измерителя в воду. Это приспособление для измерения снабжено чашеобразными желобками, отстоящими друг от друга на 1 см. При погружении в воду эти чашки наполняются водой.



Рис. 58. Прибор для замера уровня воды.

1 — постоянная мера; 2 — устанавливаемая мера.

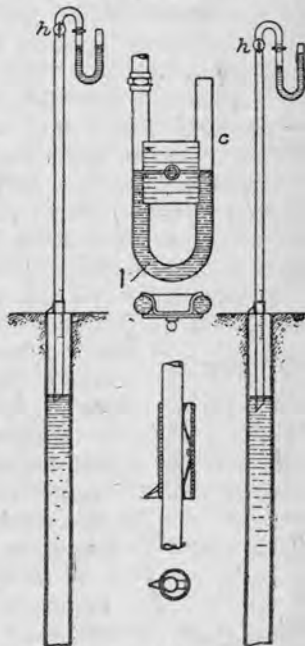


Рис. 59. Прибор для определения высоты уровня воды.

1 — окрашенная вода.

Для точного измерения уровня грунтовых вод согласно Г. Тиму (G. Thiem) служит подвешенный к стальной мерной ленте лот, снабженный ввинченной внизу стальной иглой в 1,5 мм диаметром (рис. 58). Лот должен быть настолько тяжел, чтобы своим весом туго натягивать мерную ленту.

Расстояние  $k$  от конца иглы до нуля мерной ленты является известной величиной, и лишь глубина погружения иглы должна быть изме-

рена. Для того чтобы иметь возможность точно определить глубину погружения, игла опускается в раствор из мельчайшего отмученного мела в эфире. Тонкая игла имеет то преимущество, что вызванное ею вытеснение воды в трубе для наблюдения настолько незначительно, что может практически не приниматься во внимание.

Другим прибором для измерения уровня грунтовых вод является водомер К у н а т а (Kunath) (рис. 59).

Латунная трубка с отверстием в 5—6 мм в свету, опускающаяся под уровень воды, должна быть на нижнем конце косо срезана и переходить в *V*-образный водяной манометр с краном *h*. Манометр снабжен делениями и наполнен окрашенной водой. На латунной трубе около точки *c* прикреплен шпир со скользящим пером и носиком. Если труба опускается в колодец с открытым краном *h*, то уровень воды в наружном колене манометра по сравнению с внутренним коленом тотчас же при погружении трубы повышается, во внутренней же наблюдается депрессия уровня. Подъемом трубы до наступления равновесия точно устанавливается положение уровня. Перед тем как трубу вынимать следует закрыть кран *h*.

Г е р г а р д т (Gerhardt) рекомендует нижний конец трубы не скашивать, но конически расшарять, так как момент прекращения доступа воздуха благодаря этому сказывается еще ярче.

Ш т о к к е р (Stocker) предлагает для измерения уровня грунтовых вод простое электрическое приспособление (рис. 60). Прибор состоит из легкого металлического полого цилиндра, свободно двигающегося в футляре с отверстиями. Все приспособление подвешено к электрическим проводам. При погружении его в воду поплавок, достигнув зеркала воды, останавливается, футляр же движется дальше, пока не произойдет контакта между верхушкой поплавка и обоими контактами *a* и *b*. В момент соприкосновения раздается звонок. Провода, на которых водомер опускается, точно размечены, и глубина погружения легко определяется.

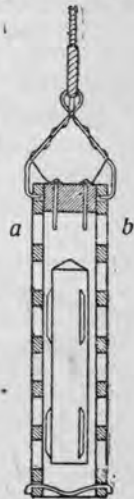


Рис. 60. Прибор для определения высоты уровня воды (по Штоккеру).

### е) Свободная и напорная поверхность грунтовых вод

Поверхность грунтовых вод может быть двух родов: свободная, или открытая, и напорная, или артезианская.

#### а) Свободная поверхность грунтовых вод.

Зеркало грунтовых вод со свободной поверхностью соответствует зеркалу поверхностных вод в открытых каналах. Свободная поверхность грунтовых вод встречается всюду, где водоносные пласты не перекрыты водонепроницаемыми пластами, вследствие чего уровень поверхности воды может свободно колебаться.

#### б) Напорная поверхность грунтовых вод.

Напорная поверхность грунтовых вод соответствует поверхности воды в закрытых каналах и трубопроводах, если вода находится под давлением.

Напорная поверхность образуется в водоносном пласте тогда, когда он покрыт водонепроницаемой кровлей и когда кровля опускается ниже естественного напорного уровня воды, заключенной в водоносном пласте. Рисунок 61 изображает переход свободной поверхности в напорную.

Подземные воды с напорным уровнем встречаются во всех геологических формациях. Однако нужно заметить, что уровни большинства потоков грунтовых вод в естественном состоянии лежат ниже поверхности земли. Если поверхность земли принять за нулевой уровень и считать напорный уровень подземных вод, поднимающийся над этим нулевым уровнем, положительным, а устанавливающийся ниже поверхности земли — отрицательным, то можно подразделить относительно естественного положения напорного уровня все напорные подземные воды на положительно- и отрицательно-напорные. Положительно-напорные воды выступают над поверхностью земли и могут быть также названы артезианскими. Поэтому

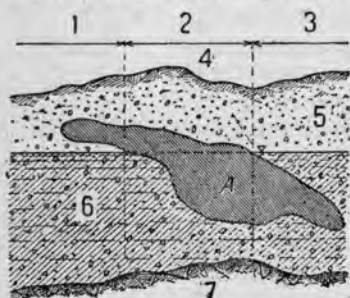


Рис. 61. Переход свободного зеркала грунтовой воды в напорное, вызванное водонепроницаемыми слоями в водоносном пласте.

1 — свободный; 2 — напорный; 3 — свободный; 4 и 5 — уровень грунтовой воды; 6 — водонепроницаемый пласт; 7-A — водонепроницаемый пласт, благодаря которому образуется напор.

неправильно распространять выражение «артезианские» на все напорные подземные воды<sup>1</sup>. Относительно распространения напорных и ненапорных потоков подземных вод Северогерманской равнины автор произвел ряд наблюдений, на основании которых пришел к выводу, что большинство исследованных им потоков грунтовых вод обладает напорной волей.

В гидрологическом отношении особое значение имеет то обстоятельство, что для существования напорного уровня не всегда обязательно наличие совершенно водонепроницаемой кровли, например из глины, суглинка и других такого же рода пород. Как обнаружил автор, часто достаточно бывает самой незначительной примеси глинистых ча-

стиц в песках, для того чтобы в водонепроницаемой толще образовать напорные горизонты грунтовых вод.

Мнение, что напорные уровни грунтовых вод обусловлены существованием исключительно лишь ярко выраженной водонепроницаемой кровли, т. е. глиной, суглинком и т. п., не вполне правильно, так как и мелкозернистый песок, если он содержит в достаточном количестве глинистые частицы, может также образовать под своей поверхностью напорные грунтовые воды.

В какой мере глинистые примеси уменьшают водонепроницаемость чистых песков, ясно видно из данных Геннериха (Gennerich), представленных на рисунке 62, на котором показано, как изменяется водопроводящая способность песка в зависимости от различного содержания глины. Кривая на чертеже показывает, что например чистый песок проводит 135,7 г воды. Если к чистому песку прибав-

<sup>1</sup> Большинство гидрогеологов в СССР держится другого взгляда на артезианские воды, относя к ним напорные воды, как изливающиеся на поверхность земли, так и неизливающиеся. Примечание редакторов.

вить лишь 10% глины, то водопроницающая способность понижается до 35,85 г. Из этого уже ясно видно, какая незначительная примесь глины делает песок почти водонепроницаемым. При 30% примеси глины водопроницающая способность песка составляет лишь 1,03 г. Таким образом практически песок становится совершенно водонепроницаемым, и возможно, что уже при таком содержании глины он может образовать напор в нижележащем горизонте грунтовых вод.

Напорные уровни могут возникнуть от присутствия слабо проницаемого тонкого песка или водонепроницаемых прослоев среди толщи водопроницаемой породы. При этом образуются горизонты подземной воды с различными напорами, о которых уже говорилось выше.

Насколько легко определить естественное положение уровня в свободном зеркале грунтовых вод, настолько же трудным в большинстве случаев является такое определение в напорном водоносном пласте, так как напорная поверхность чрезвычайно чувствительно реагирует на малейшее изменение режима водоносного пласта, даже если место нарушения режима находилось сравнительно далеко.

Это явление объясняется тем, что при свободном зеркале грунтовых вод изменения положения последнего вызываются действительными перемещениями малоподвижных масс грунтовых вод<sup>1</sup>. Напротив, в напорных водоносных пластах изменения уровня вызываются передачей давления, т. е. чисто гидродинамическими движениями.

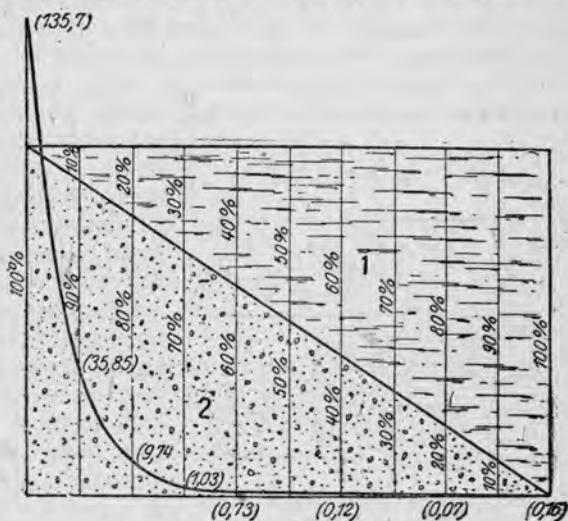


Рис. 62. Диаграмма водопроницаемости смеси песка и глины (по Геннериху).

1 — глина; 2 — песок.

#### д) Ненормальное и ложное зеркала грунтовых вод

Если зеркало грунтовых вод, о котором идет речь, должно при наблюдении дать правильную картину гидрологического режима водоносного пласта, то здесь имеет значение не только каждое изменение в положении уровня воды в точках наблюдений, но эти уровни должны быть также вне влияния искусственных и естественных нарушений. В зависимости от рода причин искусственных или естест-

<sup>1</sup> В грунтовых водах изменения уровня и при свободном уровне совершаются вследствие передачи давления. Само же передвижение воды здесь имеет ничтожные размеры. Примечание редакторов.

венных, под влиянием которых находится уровень подземных вод, мы можем различать ненормальное и ложное зеркало грунтовых вод.

#### а) Ложное зеркало грунтовых вод.

Ложное зеркало грунтовых вод является последствием искусственного влияния: например вследствие отбора воды, запрудивания или недостаточной гидравлической связи между наблюдаемым зеркалом воды и водоносной породой. Такие ложные наблюдения можно надлежащими средствами вновь преобразовать в правильные.

В общем чрезвычайно трудно в изрезанной реками поверхности найти те точки, где влияние изменений уровня поверхностной воды на грунтовые воды равнялось бы нулю. В высококультурных странах на зеркало грунтовых вод почти всегда до известной степени оказывают влияния многочисленные судоходные каналы, шлюзы,

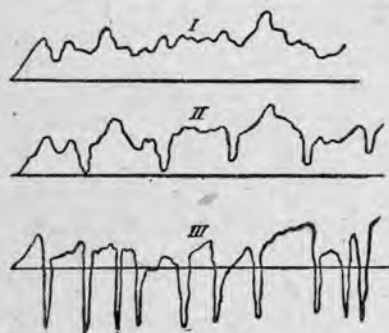


Рис. 63. Кривая хода уровня в неэксплуатируемых колодцах (I), в эксплуатируемых водопроницаемых (II) и в эксплуатируемых слабоводопроницаемых колодцах (III).

прочие водные сооружения, поля орошения, запруды и т. п. Зеркало грунтовых вод, находящееся под такими влияниями, дает картину не естественного, а обычно нарушенного режима грунтовых вод. Имеющиеся эксплуатационные колодцы должны применяться в качестве пункта для наблюдения лишь тогда, когда их уровень соответствует естественному положению зеркала грунтовых вод, т. е. не находится во время измерений под влиянием отбора воды. Нередко наблюдается, что дно старых усадебных колодцев слабо проницаемо, вследствие чего уровни их после произведенного отбора воды в течение более или менее продолжительного

времени не восстанавливаются до начального положения.

Рисунок 63 показывает, как различны могут быть колебания уровня воды в расположенных близко по соседству колодцах. Постепенные измерения в положении уровня неэксплуатируемого колодца (т. е. колодца с естественным уровнем) изображает кривая I, кривая II — изменение уровня эксплуатируемого колодца с очень водопроницаемым дном и кривая III — изменение уровня сильно эксплуатируемого колодца со слабо водопроницаемым дном. Уровни II и III являются отчасти ложными.

Если трубы для наблюдения более или менее засорены и совсем не имеют или имеют лишь незначительную гидравлическую связь с водоносным пластом, то это также является постоянным источником ошибок.

Показывает или не показывает наблюдательная труба правильный уровень, легче всего установить, влив в трубу несколько литров воды. Если прибавление воды вызывает лишь временное повышение измеряемого уровня, то из этого можно заключить, что уровень правильный, и чем скорее искусственно повышенный уровень возвра-

щается в свое прежнее положение, тем свободнее его гидравлическая связь с грунтовой водой, и наоборот. Если же искусственно образованное зеркало не изменяется или изменяется лишь очень медленно, то это показывает, что трубы для измерения более или менее засорены и более непригодны. В таком случае нужно их прочистить, если же это невозможно, то следует установить новые трубы.

Ложные уровни воды встречаются очень часто при артезианских водоносных пластах тогда, когда естественное зеркало лежит над уровнем земли.

Если обсадные трубы наблюдательного колодца не совсем плотно обхватываются водонепроницаемой породой, покрывающей водоносный пласт, то в затрубное пространство будет проникать вода, под напором вытекать на поверхность или уходить в промежуточные водопроницаемые слои. Вследствие этой потери воды происходит местная депрессия напорного уровня. Часто бывает достаточно самой незначительной потери воды, чтобы вызвать подобную депрессию. Нередко бывает трудно неплотно заложенные в грунте обсадные трубы снова плотно соединить с породой, в особенности тогда, когда напор воды высок. Поднять уровень воды в естественное положение при этом невозможно. В таких случаях истинная естественная высота уровня может быть определена при известных обстоятельствах графическим путем на основании закона линейного понижения уровня напорных вод при отборе воды.

Таким способом например автор должен был при предварительных изысканиях для водоснабжения города Висмара (Wismar) неоднократно исправлять неправильные показания уровня артезианской самоизливающейся воды.

Применяемый способ может быть ясне освещен примером (рис. 64). Этот способ возможен только тогда, когда из наблюдательного колодца можно взять воду по крайней мере на двух различных уровнях. На рисунке 64 отбор воды производится в точках *a* и *b*. Если мы измерим при этом количества извлекаемой воды  $m_1$  и  $n_1$  и затем нанесем их на диаграмму вместе с соответствующими понижениями уровня воды, то получим ломаную линию дебита *NMA*. Если одновременно с измеренными расходами  $m_1$  и  $n_1$  определить для тех же депрессий количества утечки воды на сторону  $m_2$  и  $n_2$  и вычислить суммы  $m_1 + m_2$  и  $n_1 + n_2$ , то точку  $A_2$ , в которой линия  $N_2M_2$ , соединяющая конечные точки, пересекает ось буровой скважины, можно принять за положение естественного статического уровня, исключая при этом возможность неизвестных подземных потерь воды.

Если пренебречь подобными исправлениями неправильных показаний уровня и применить эти показания без критики для построения гидроизогипсы, то полученная картина не будет отвечать действительности.

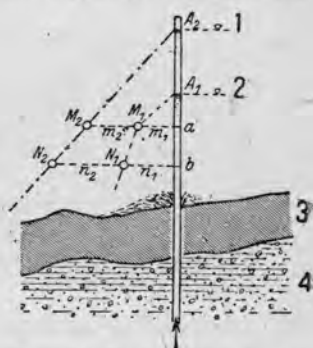


Рис. 64. Графическое изображение истинного положения зеркала воды в артезианской буровой скважине, не каптирующей всю воду.

1 — истинный уровень напорных вод; 2 — ложный уровень напорных вод; 3 — водонепроницаемый пласт; 4 — водопроницаемый пласт.

Особенно запутанными бывают соотношения уровней воды в тех случаях, когда мы имеем дело не с одним, а с несколькими горизонтами подземных вод, напорные уровни которых лежат на различной высоте.

Если мы например имеем нижний горизонт воды, напорный уровень которого лежит выше уровня верхнего горизонта, то зеркало последнего от притекающей из нижнего горизонта воды может повышаться, и мы получаем на месте измерения несколько повышенную сферическую поверхность воды, зеркало которой лежит выше естественного уровня данного горизонта. Зеркало грунтовой воды, находящееся под таким влиянием, является ложным. Рисунок 65 изображает образование такого ложного зеркала.

Если же, напротив, под верхним горизонтом лежат водоносные породы с меньшим напором или водопроницаемые частично сухие

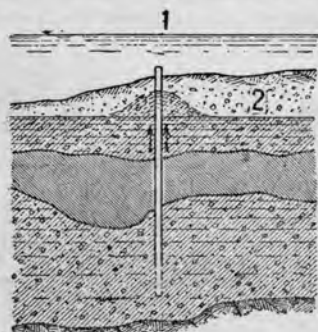


Рис. 65. Образование ложного зеркала в виде сферической поверхности.

1 — напорный уровень воды нижнего водоносного горизонта; 2 — уровень воды верхнего водоносного горизонта

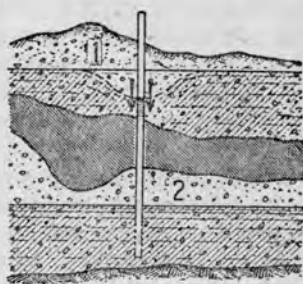


Рис. 66. Образование ложного зеркала в виде мулды.

1 — уровень воды верхнего водоносного горизонта; 2 — уровень воды нижнего водоносного горизонта

пласты, то через буровую скважину, достигающую нижнего горизонта, вода верхнего горизонта может стекать в глубину. На месте буровой скважины мы получим подземный сток воды, вызывающий местную депрессию уровня верхнего горизонта, и наблюдательная скважина окажется в центре депрессионной воронки. Наблюдаемый в такой скважине уровень является также ложным. Рисунок 66 изображает подобное положение зеркала грунтовых вод.

### 3) Ненормальное зеркало грунтовых вод.

Ненормальное зеркало грунтовых вод вызывается естественными нарушениями в толще пород, сменой пластов и особыми физическими и химическими свойствами грунтовых вод.

В противоположность ложному зеркалу грунтовых вод превратить ненормальное зеркало в нормальное технически невозможно, так как ни устранить подземные нарушения, ни изменить смену пластов и устранить нежелательные естественные физические и химические свойства воды нельзя.

А. Т и м (A. Thiem) в своем труде о предварительных изысканиях для насосной станции города Лейпцига описал целый ряд типичных

случаев, объясняющих образование ненормальных зеркал грунтовых вод.

Случай первый (рис. 67). Слабоводопроницаемый, залегающий в виде острова пласт подстилается водонепроницаемым глинистым слоем. Просочившаяся вода собирается на изолированном пласте, образуя самостоятельное зеркало, и медленно стекает по краям острова в глубже лежащий пласт гравия, имеющий свое общее зеркало грунтовых вод. Так как слабопроницаемый верхний пласт оказывает движению воды большое сопротивление, то верхнее зеркало воды вынуждено круто ниспадать у края острова. Колодцы I и III, несмотря на довольно незначительное отдаление друг от друга, обнаруживают большую разницу в положении уровня, причем разность уровней в колодцах III и IV, расположенных по линии потока грунтовой воды, текущей по направлению от IV к III, лишь незначительная. Если судить по положению уровня воды в колодцах I и III, грунтовая вода согласно рисунку течет справа налево, по положению уровней воды в колодцах II и IV — наоборот — слева направо, т. е. в обратном направлении. В действительности же движение грунтовой воды на участке, лежащем между колодцами III и IV, представляет собой лишь второстепенное местное явление. Гидрологические соотношения, имеющие более общее значение, определяются помощью уровней воды колодцев III и IV.

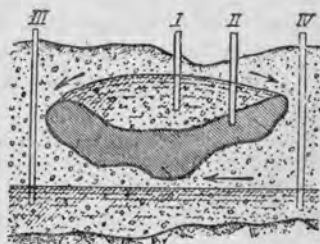


Рис. 67. Образование ложного зеркала воды в слабопроницаемом пласте, залегающем на пласте глины.

Случай второй (рис. 68). Водонепроницаемая порода выклинивается столбобразно. Грунтовые воды движутся в направлении от колодца V к колодцу I. Так как в загибе *a* воды находятся в покое, то и уровни V и IV должны оставаться в горизонтальном положении. То же самое относится и к уровням I и II, так как в загибе *b* вода также стоит спокойно. Если вычертить на основании нескольких уровней от I до V поперечный разрез грунтовой воды, то получится следующее явление: между колодцами I и II падение равно нулю, между II и IV — сильное падение и между IV и V падение опять равно нулю. Подобное положение зеркала в сплошном потоке грунтовых вод разумеется невозможно. Уровни-

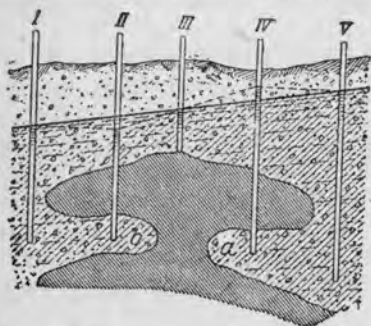


Рис. 68. Ненормальное зеркало вследствие столбобразного выклинивания водонепроницаемой постели.

ми, имеющими значение, являются лишь уровни в колодцах I, III и V, которые показывают действительное падение. Уровни же во II и IV являются ненормальными и следовательно непригодными для целей измерения.

Часто бывает трудно установить, какие именно нарушения в строении водоносных пластов вызывают образование ненормальных

уровней. Можно лишь утверждать, что такие нарушения обыкновенно ведут к заблуждениям. Установить и исключить их во избежание ложных выводов является делом не только наблюдений, но и гидрогеологического знания и опыта. Ненормальные уровни грунтовых вод могут возникнуть также и там, где в водоносный пласт выступают в большом количестве газы (например свободная углекислота, болотный газ), и там, где вода имеет возможность воспринять значительные количества растворимых солей. В первом случае образуется смесь из газа и воды, являющаяся по своему удельному весу легче окружающей воды. Ввиду этого наступает местное повышение зеркала грунтовых вод.

Источниками болотного газа в большинстве случаев являются пласты торфа и органического ила или песчаные глинистые отложения, богатые остатками растений и животных. Присутствие болотного газа в более значительных количествах в аллювиальных (например в Шлезвиг-Гольштейне) и ледниковых отложениях (например Ютландии) было обнаружено бурением на различной глубине. Автором наблюдались повышения уровня воды, вызванные подпочвенными газами, до 0,5 м. Если же мы имеем дело с местной минерализацией воды, то приходится считать ее и с явлением депрессии зеркала. Обнаружение действительного положения дела достигается химическими анализами.

#### е) Естественное колебание зеркала грунтовых вод

Положение естественного зеркала грунтовых вод так же подвержено колебаниям, как и положение зеркала поверхностных вод. Колебание зеркала обуславливается не только соотношением между осадками, инфильтрацией и испарением, но также и колебанием уровня соседних поверхностных водоемов. Мы можем различать суточные, годовые и вековые колебания уровня грунтовых вод. При всех этих колебаниях мы можем наблюдать периодически наступающее наивысшее и наинизшее стояние уровня.

А. Т и м придерживается того мнения, что для естественных колебаний грунтовых вод на Мюнхенском плато может быть принят промежуток времени приблизительно от 24 до 28 лет. В течение этого времени стояние уровня грунтовых вод достигает как своей наивысшей, так и своей наинизшей отметки. Очень вероятно, что колебания зеркала грунтовых вод стоят в связи с Брюкнеровскими 36-летними климатическими периодами.

● Особенно подробным изучением колебаний зеркала грунтовых вод занимался Соука (Souka), главные выводы которого были подтверждены Кейльгаком.

Из многочисленной, посвященной этому вопросу, литературы видно, что во многих районах между величиной осадков и стоянием грунтовых вод существует параллелизм. На рисунке 69 представлено подобное явление, наблюдавшееся в Мюнхене. Здесь наибольшее количество осадков выпадает в июне и июле, и наивысшее стояние грунтовых вод наблюдается в июле, следовательно здесь налицо упомянутый выше параллелизм. Подробные данные о колебаниях уровня грунтовых вод в Мюнхене опубликованы Мецгером (Mezger).

В Берлине такого соотношения между количеством выпадающих осадков и стоянием зеркала грунтовых вод не наблюдается.

Многие исследователи придерживаются мнения, что параллелизм между количеством выпадающих осадков и колебаниями зеркала грунтовых вод можно принять как доказательство применимости в данном случае так называемой теории инфильтрации. Однако это мнение абсолютно неправильно, так как во многих случаях зеркало грунтовых вод находится под влиянием соседних поверхностных вод, и таким образом параллелизм здесь обусловлен повышенным стоянием воды в соседних поверхностных водоемах, а не инфильтрацией осадков.

Наблюдающееся в разных местностях (например в Берлине) несоответствие между количеством выпавших осадков и уровнем грунтовой воды побудило Сойка вывести взаимную связь между колебаниями уровня грунтовых вод и так называемым дефицитом насыщенности, т. е. той части атмосферного водяного пара, который может быть еще воспринят воздухом соответственно степени его влажности и температуры.

Рисунки 69 и 70, на которых изображены кривые колебаний уровня воды, показывают, что как для Мюнхена, так и для Берлина существует ярко выраженная зависимость (параллелизм) между дефицитом насыщенности и уровнем грунтовых вод.

Вследствие недостатка точных наблюдений до сих пор еще не установлено, оказывают ли грунтовые воды при более высоком стоянии вследствие более значительного испарения благоприятное влияние на влажность воздуха, или же, наоборот, повышенная влажность воздуха увеличивает количество грунтовых вод.

В соответствующих условиях возможны оба эти случая.

Для Мюнхена же высокое стояние грунтовых вод в июне и июле может быть объяснено значительно проще, а именно тем, что в эти месяцы наступает наибольшее половодье соседних рек, которое в свою очередь является следствием таяния глетчеров в середине лета. На рис. 69 дополнительно нанесен также уровень реки Изера, половодье которого также совпадает с наивысшим стоянием грунтовых вод.

Такую же зависимость от количества воды в реках, текущих с Альп, показывает стояние грунтовых вод в окрестностях Вены, Зальцбурга

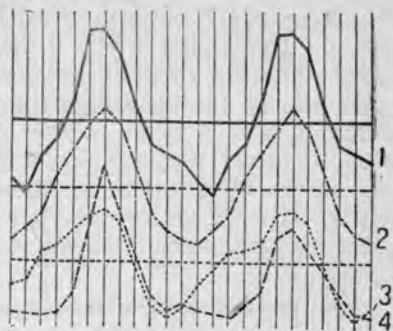


Рис. 69. Двухгодичные периоды осадков, дефицита насыщенности и уровня грунтовой воды в Мюнхене (по Сойка).

1 — осадки; 2 — дефицит насыщенности; 3 — уровень грунтовых вод; 4 — уровень р. Изер.

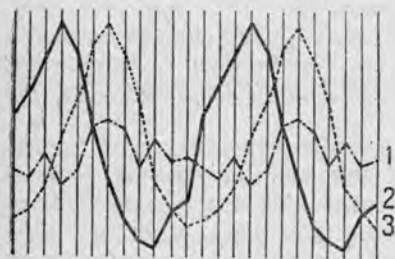


Рис. 70. Двухгодичные периоды осадков, дефицита насыщенности и уровня грунтовой воды в Берлине (по Сойка).

1 — осадки; 2 — грунтовая вода; 3 — дефицит насыщенности.

водое которого также совпадает с наивысшим стоянием грунтовых вод.

и находящееся в зависимости от Рейна зеркало грунтовых вод Рейнской равнины.

По вопросу о параллелизме между стоянием грунтовой воды, с одной стороны, и количеством выпадающих осадков и дефицитом насыщенности, с другой, можно сказать, что до настоящего времени общей закономерности в соотношении между этими тремя величинами не существует и что в отдельных случаях их взаимная связь должна устанавливаться местными наблюдениями. Взаимное соотношение между стоянием грунтовых вод и поверхностной водой проявляется просто и ясно, когда между ними имеется гидравлическая связь. Поэтому там, где зеркало грунтовых вод зависит от соседних рек, всегда происходит синхронное колебание обеих уровней, и наоборот, из этой синхронности можно вывести заключение о существовании гидравлической связи между грунтовыми и поверхностными водами.

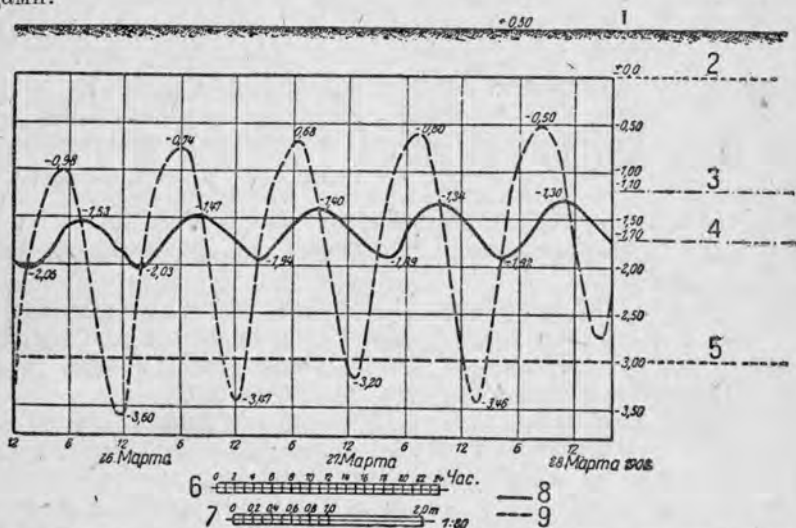


Рис. 71. Колебания зеркала грунтовой воды близ Эмденских морских шлюзов.

1 — средняя высота поверхности земли; 2 — средняя высота подошвы Эмса; 3 — среднее стояние уровня грунтовой воды во время половодья; 4 — среднее стояние грунтовой воды в межень; 5 — средний меженьный уровень Эмса; 6 — масштаб времени; 7 — масштаб высоты; 8 — кривая грунтовой воды; 9 — кривая Эмса.

Иногда повышение или понижение уровня грунтовых вод происходит неодновременно даже в близко расположенных районах. Причиной этого является неправильность в строении водоносной толщи, подземные мульды и сбросы, действующие как подземные бассейны, запруды и т. п., замедляющие движение уровня воды так же, как расширения или препятствия в поперечном сечении поверхностного потока.

Особенно резко выражены колебания уровня грунтовых вод, когда они находятся под влиянием приливов и отливов. Уровень воды (рис. 71) в районе Эмса и в других местностях показывает чрезвычайно быстрое и большое, везде одновременно наступающее изменение. Колебания уровня воды в пунктах, ближе расположенных к берегу водоемов, значительно уклоняются от колебаний в пунктах, более отдаленных.

Фридрих (Friedrich) описывает подобные колебания уровней в окрестностях Любека.

В какой степени колебания грунтовых вод, находящиеся под влиянием соседних поверхностных водоемов, уменьшаются по мере удаления от них, видно на рисунке 72, составленном на основании данных Больмана. На этом рисунке видно, что в колодце I, отдаленном от Эльбы на 0,3 км, все колебания уровня воды Эльбы еще ясно выражены, но это уже в колодце III, отдаленном от Эльбы на 1,5 км, влияние уровня воды Эльбы почти сходит на-нет.

Поэтому при суждении о колебаниях уровня грунтовых вод очень важно знать, насколько от пункта наблюдений удалены поверхностные водоемы, связанные с грунтовой водой.

Нужно еще заметить, что во всех горизонтах грунтовых вод, стоящих в зависимости от поверхностных вод, повышение зеркала при половодье в реке и при приливах в море лишь тогда бывает действительным, когда водопронзающие пласты на всем протяжении обладают достаточной водопроницаемостью. Если налицо имеются водонепроницаемые перекрывающие пласты, вследствие чего грунтовые воды могут стать напорными, то колебания их уровня обуславливаются изменениями давления в связи с колеблющейся высотой уровня соседних поверхностных вод. Как выше уже упоминалось, подобного рода колебания передаются со скоростью звука, и этим объясняется чрезвычайно быстрая смена уровня стояния грунтовых вод вблизи рек и морей. Поэтому можно наблюдать также, что например в соседстве с большими открытыми водными пространствами морей и озер зеркало грунтовых вод в наветренной стороне повышается больше, чем в подветренной. Это происходит не под влиянием давления ветра на зеркало грунтовых вод и не от сжатия кровли, как это иногда считается. Объясняется это тем, что с наветренной стороны уровень воды в море повышается от нагнанной ветром воды, а это повышение передается в свою очередь зеркалу грунтовых вод.

#### г) Величина естественных колебаний уровня грунтовых вод

Размер естественных колебаний уровня грунтовых вод изменяется в зависимости от величины обуславливающих их из года в год причин. Особенно засушливые годы проявляют себя чрезвычайным понижением

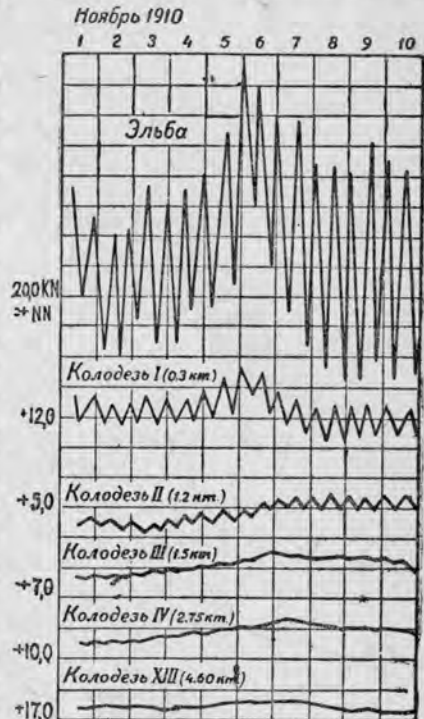


Рис. 72. Колебания зеркала грунтовой воды в зависимости от расстояния от соседних поверхностных водоемов (Эльба) (по Больману).

нием зеркала грунтовых вод. Для бросающегося в глаза своей длительной засухой 1911 г. Гейниц (Geinitz) указал, что понижение зеркала грунтовых вод, например в Мекленбурге, округло равнялось от 1 до 2 м. Согласно сообщениям Кейльгака подобные же положения уровней грунтовых вод наблюдались в районе нижнего течения Гавеля, Шпре, Нейса, Эльстера и Заале. Влияние засушливого лета 1911 г. на уровень грунтовых вод было еще заметно в 1912 г. и позже.

В общем размер колебаний уровней от 0,5 до 1 м в году с нормальными осадками можно принять за среднее колебание. Годовое колебание уровня 3,40 м наблюдалось автором как исключительно высокое.

Наиболее значительные колебания уровня наблюдаются непосредственно вблизи моря. Так Фоллер (Voller) описывает, что в Типельнаузском колодце близ Гамбурга зеркало воды между 14 и 24 апреля 1903 г., т. е. в течение 10 дней, колебалось на 1,9 м.

Средние годовые колебания уровня грунтовых вод, наблюдавшиеся в разных местах, следующие (в метрах):

В долине реки Шпре близ Берлина . . . . .	0,58
» Витценской низменности близ Ганновера . . . . .	0,55
» плато Мюнхена . . . . .	0,32
» районе Эрлангена . . . . .	0,12—0,87
» долине Майна близ Франкфурга . . . . .	0,43

### г) Горизонталы естественного зеркала грунтовых вод (гидроизогины)

Если на карте, на которой нанесены естественные уровни грунтовых вод, соединить кривыми зеркала, лежащие на одинаковом уровне, то мы получим ряд кривых, которые в совокупности дают

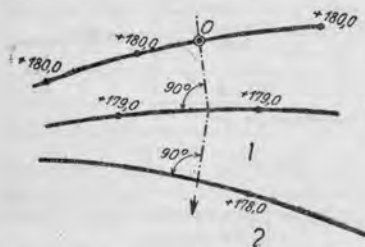


Рис. 73. Нанесение на план в горизонтальных одинаковых уровнях грунтовой воды (+180+179+178).

1 — вертикальная линия; 2 — естественное направление течения грунтовой воды.

так называемую карту горизонталей естественного зеркала грунтовых вод, или карту гидроизогины (рис. 73). Высоты уровня воды лучше всего определяют с помощью нивелира. В случаях же необходимости, а именно при предварительных изысканиях большого исследуемого участка, можно также пользоваться барометрическими измерениями высот. Так как зеркало грунтовых вод подвержено ежедневным колебаниям, то целесообразно для составления карты гидроизогины взять лишь те измерения уровней, которые были сделаны в течение одного дня.

Если исследуемая площадь вытянута в длину, то выгодно пункты всей наблюдательной сети подразделить на отдельные участки и измерить их с помощью различных вспомогательных измерений. Если же это не выполнимо, то можно помочь ежедневным наблюдением за одним или еще лучше за несколькими колодцами, распределенными на исследуемом участке, и с помощью приблизительно установленных колебаний уровня исправить несовпадающие во времени измерения.

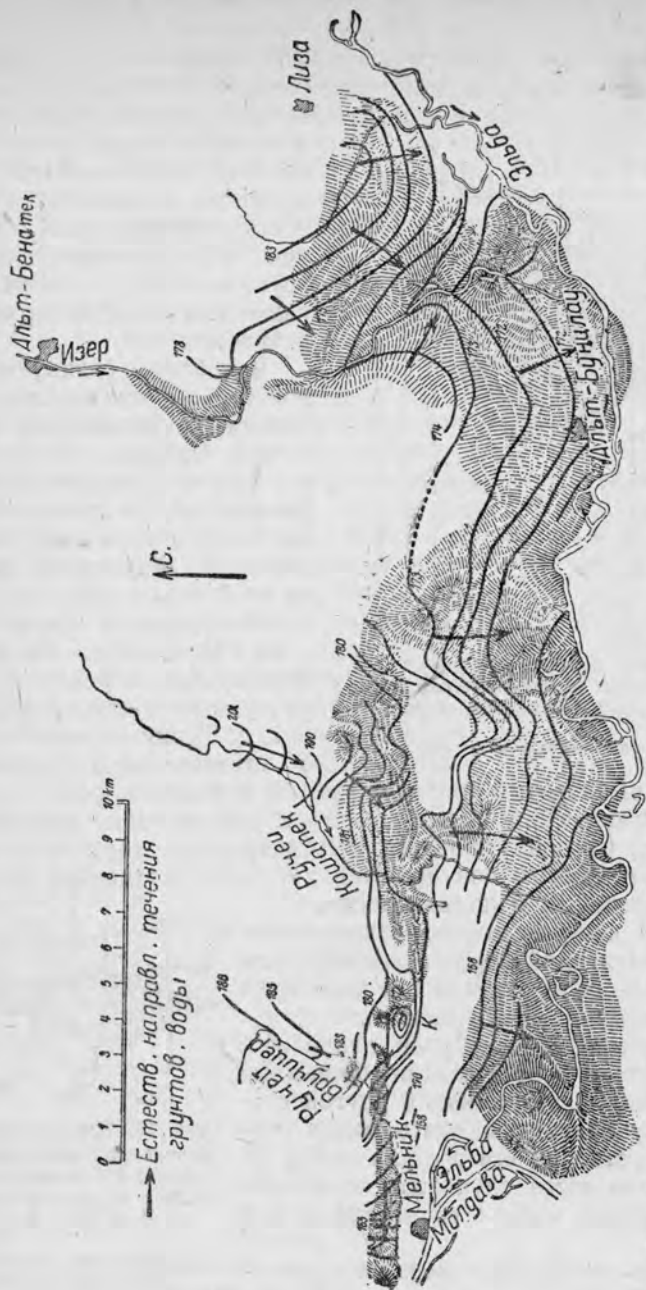


Рис. 74. План в гидроизогипсах естественного зеркала грунтовых вод равнины реки Эльбы между устьями рек Изера и Мельшка.

В основу составления плана гидроизогипс можно положить как уровни, измеренные таким способом, так и определенные помощью интерполяции. Интерполяция должна всегда быть согласована с направлением течения грунтовых вод. Если этого не соблюдать, то в

большинстве случаев получается ложная картина зеркала грунтовых вод.

Чем в большем числе точек уровни были измерены и чем правильнее нанесены гидроизогипсы, тем лучше вычерченные на карте результаты измерений совпадают с действительностью. Карта гидроизогипс грунтовых вод непосредственно дает с достаточной для практики точностью и ясностью представление о величине и направлении падения грунтовых вод, а также и об изменении форм поверхности грунтовых вод.

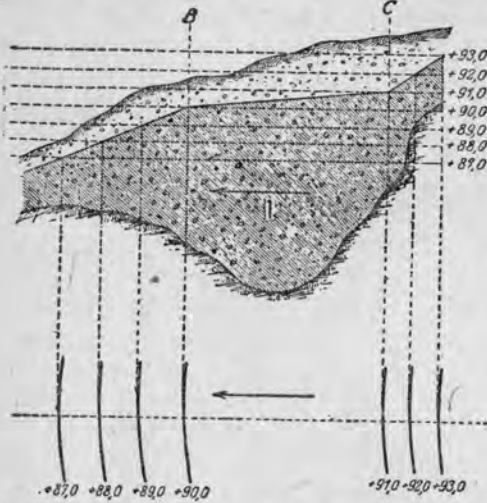


Рис. 75. Измерение падения грунтовых вод, вызванное изменением наклона постели и увеличением поперечного разреза потока.

1 — естественное направление течения.

определить путь, который проходит частица грунтовой воды.

Лишь в чрезвычайно редких случаях поверхность, полученная помощью гидроизогипс, является приблизительно горизонтальной. В большинстве случаев она представляет собою волнистую поверхность с понижениями и повышениями.

Местами на поверхности замечаются изменения, в той или иной форме зависящие или от гидравлического влияния или от изменения степени водопроницаемости пласта.

Правильно составленный план в гидроизогипсах дает столь ясную картину динамики потока, как никакой другой способ, и поэтому нужно соблюдать всегда особую тщательность при его составлении и не следует, как это часто случается, ограничиваться нанесением уровня грунтовых вод в разрезе.

Рисунок 74 изображает карту гидроизогипс грунтовых вод долины реки Эльбы между устьями рек Изера и Мельника. Из нанесенных направлений потоков видно, что и Эльба и Изер питаются грунтовой водой и что налицо имеется боковой разветвляющийся поток грунтовой воды.

Карта гидроизогипс дает не только данные о самих грунтовых водах, но и о строении водонепроницаемого подстилающего дна,



Рис. 76. План в гидроизогипсах грунтовой воды указывает, что поверхностные воды и грунтовая вода независимы друг от друга.

1 — направление течения грунтовой воды; 2 — река.

неправильностях в последнем возрастания сопротивления в водонесной толще и т. п., как показано на рисунке 74 (ср. рис. 28).

Небольшие неправильности и нарушения напластований тем сильнее сглаживаются уравнивающим действием потока грунтовых вод, чем больше мощность потока.

Так как увеличение количества грунтовой воды на расстоянии нескольких километров от места выпавших осадков можно считать незначительным, то в тех случаях, когда нет побочных притоков грунтовой воды, можно по изменениям расстояний между горизонталями судить лишь об изменениях уклона водонепроницаемого подстилающего слоя или об изменяющейся водопроницаемости.

Рисунок 75 поясняет это. Между линиями В и С поперечный разрез значительно увеличивается, и в связи с этим при неизменяющейся производительности потока уменьшается падение ложка последнего. Таким образом из увеличения расстояния между гидроизогипсами 90,0 и 91,0 можно заключить, что в данном случае мы имеем дело с понижением уровня постели потока.

Из этого вывода следует также, что величина падения потока грунтовых вод сама по себе не представляет собою меры степени водопроницаемости или вернее производительности потока (ср. также таблицу падения грунтовых вод в связи с удельным дебитом).

Если исследуемые площади прорезаны поверхностными водотоками, то нередко планы в гидроизогипсах являются единственным пригодным средством для определения гидравлических соотношений между грунтовыми и поверхностными водами. Если между грунтовыми и поверхностными водами не существует взаимного обмена воды и они таким образом являются друг от друга независимыми, то в горизонталях грунтовых вод это проявляется тем, что горизонтали пересекают поверхностный водоток без какого-либо отклонения и нарушения (рис. 76).

Если же в реку поступает подземная вода, что обычно и бывает, то горизонтали грунтовой воды изгибаются вверх по течению реки, как показано на рисунке 77.

Если же грунтовая вода питается из реки, то гидроизогипсы выгибаются вниз по течению реки, как показано на рисунке 78.

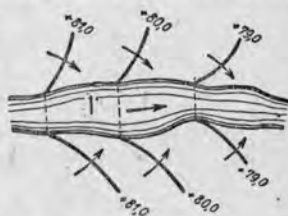


Рис. 77. План в гидроизогипсах показывает, что река питается грунтовой водой.

1 — река.

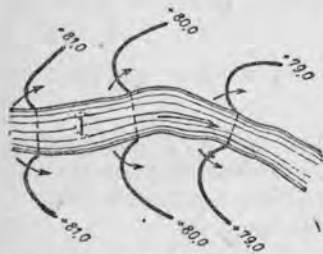


Рис. 78. План в гидроизогипсах показывает, что река отдает свою воду в грунт.

1 — река.

Если напротив мы имеем дело с рекой, которая с одного берега получает грунтовую воду, а с другого отдает свою воду в грунт, то горизонтали грунтовых вод получают такое направление, как показано на рисунке 79. Правый берег реки воду получает, а левый берег ее отдает.

Если бы мы в последнем случае ограничились для определения взаимной связи между грунтовой водой и рекой измерениями коли-

чества воды посредством водосливов  $U_1$  и  $U_2$ , то, считая, что приток воды равен ее убыли, мы пришли бы к ложному выводу, что речная и грунтовая воды независимы друг от друга. Правильную картину гидравлических соотношений дает только план гидроизогипс.

Нередко бывают случаи, когда потеря и пополнение воды на небольшом расстоянии течения реки взаимно меняются. Это часто можно наблюдать вблизи запруд, заграждений, плезов и плотин.

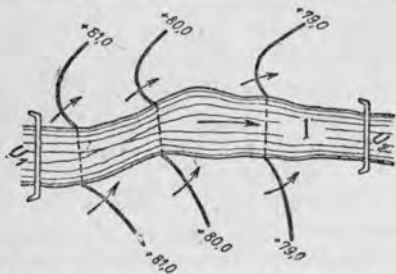


Рис. 79. План в гидроизогипсах показывает, что на левом берегу река теряет свою воду, а на правом берегу получает грунтовую воду.

1 — река.

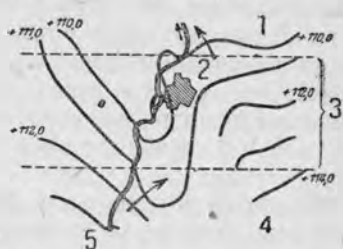


Рис. 80. Изменение взаимоотношений между поверхностной водой и грунтовой (по А. Тимму).

1 — участок района питания реки; 2 — Гаути; 3 — индифференциальный участок; 4 — участок района образования грунтовой воды; 5 — сплавной канал.

Выше запруд зеркало грунтовых вод обыкновенно лежит ниже уровня соседней реки; ниже запруды зеркало грунтовых вод обычно лежит выше уровня реки.

На рисунке 80 изображен случай, описанный Тиммом и наблюдавшийся при изысканиях для составления предварительного проекта водоснабжения города Лейпцига. Из направления 110 видно, что часть воды из сплавного канала выше Гаучерской мельницы проникает в грунт. Ниже мельницы сплавной канал изолирован от грунтовой воды, а еще дальше вниз по течению он уже получает воду из грунта.

#### а) Нарушение гидроизогипс зеркала грунтовых вод

Направление гидроизогипс грунтовой воды бывает очень редко правильным и приток только тогда, когда водоносная порода равномерно водопроницаема и когда нет нарушений ни в строении водопроницаемых пластов ни в водонепроницаемой постели.

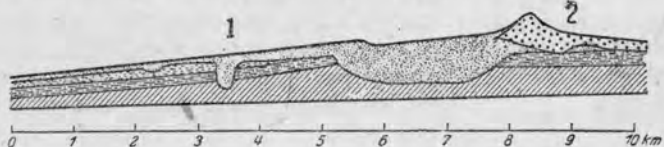


Рис. 81. Профиль долины Изера между Поллахом и Шефтларном, изображающий переход морены (2) в флювиогляциальные отложения (по Пенку).

1 — флювиогляциальные отложения; 2 — морена.

Одной из главных причин неправильного направления гидроизогипс грунтовых вод является изменяющийся характер водоносной толщи, вызывающий изменяющуюся водопроницаемость. Подобные

изменения в напластованиях встречаются главным образом там, где ледниковые отложения еще развиты сплошным покровом, и там, где с флювиогляциальными отложениями граничат морены.

Смена морен слоистой флювиогляциальной толщей изображена на рисунке 81, заимствованном из книги Пенка (Die Alpen in

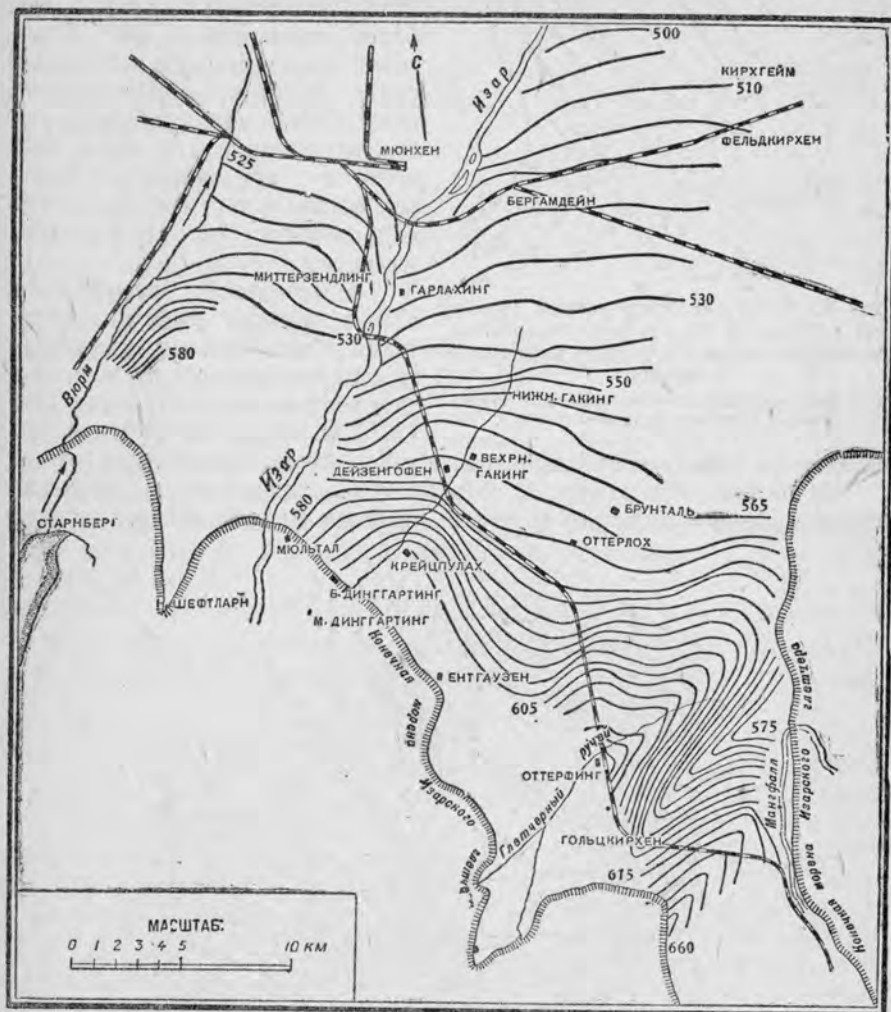


Рис. 82. План в гидроизогипсах естественного зеркала грунтовой воды в районе морен к югу от Мюнхена (по А. Тиму).

Eiszeitler). Подобные положения были подробно исследованы А. Тимом в связи с его работой для устройства водопровода города Мюнхена (рис. 82).

Из карты гидроизогипс грунтовых вод видно, что начиная от Дезенгофена к северу направление гидроизогипс довольно правильно. Неправильность начинается там, где гидроизогипсы вдаются в образованные конечными моренами сужения Изера. Наиболее

бросаются в глаза неправильности между Мантфальтгаль и Гольцкирхен. Здесь видно, как попеременно сменяется направление потока

с северо-западного до юго-восточного и с юго-восточного до северо-западного. Чем ближе находится район глетчеров, тем более возможна и тем более значительна изменчивость залегания слоев и неправильность направления гидроизогипс. К северу влияние глетчеров становится все незначительнее, вследствие чего направление гидроизогипс становится правильнее.

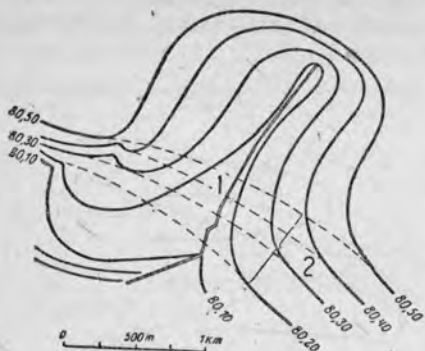


Рис. 83. Отклонение гидроизогипс грунтовой воды от их естественного положения, вызванное каналом Фридриха близ Гогензальца.

1 — Фридрихсграбен; 2 — первоначальное направление гидроизогипс грунтовых вод.

источники, отводные каналы и т. п. обуславливают петли гидроизогипс.

По форме поверхностей, образуемых отклоненными гидроизогипсами, можно судить о величине дренажного действия; из направ-

Гидроизогипсы нарушаются также всякого рода естественными и искусственными дренажными процессами и притоком воды из более глубоких слоев. Как видно из рисунка 83,

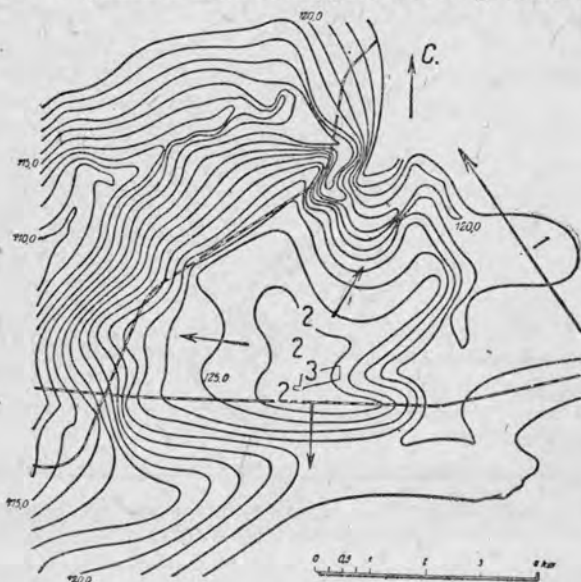


Рис. 84. Куполообразное нарушение в гидроизогипсах грунтовой воды около Зоммерфельда (по А. Тиму).

1 — естественное направление главного потока грунтовых вод; 2 — последующее направление потока; 3 — Зоммерфельд.

ления же горизонталей — измененное направление потока и первоначальную величину его падения.

А. Тим установил между реками Партой и Плейсой (близ Лейпцига) куполообразное расположение гидроизогипс (рис 84). Тут идет речь о примере, соответствующем случаю I (см. рис. 67).

Куполообразная поверхность воды в данном случае обусловливается присутствием вверху водоупорной линзы; настоящий же поток грунтовой воды течет в глубине под этой линзой в указанном выше направлении с юго-востока на северо-запад.

На рисунке 74 тоже изображается куполообразное повышение К естественного зеркала грунтовых вод, обусловленное прорывом напорной воды из глубже лежащего горизонта, вследствие чего происходит переполнение верхнего горизонта. Здесь куполообразное повышение К соответствует случаю неправильного зеркала грунтовых вод, приведенному на рисунке 65.

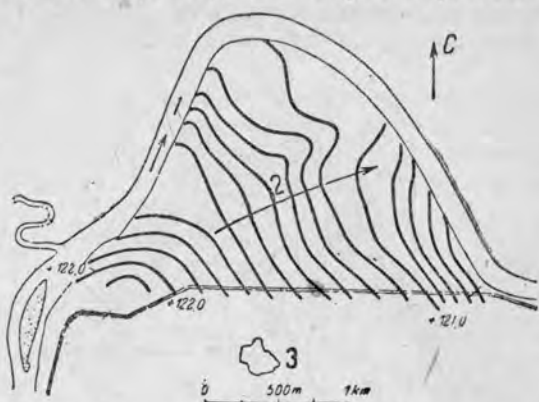


Рис. 85. Нормальное направление потока грунтовой воды долины Мозеля близ Кенна (план в гидроизогипсах 13 февраля 1908 г.).

1—Мозель; 2 — направление течения грунтовых вод; 3 — Кенна.

### β) Изменяемость направления гидроизогипс

Естественное направление потока грунтовых вод, находящее себе выражение в гидроизогипсах, почти не изменяется лишь там,

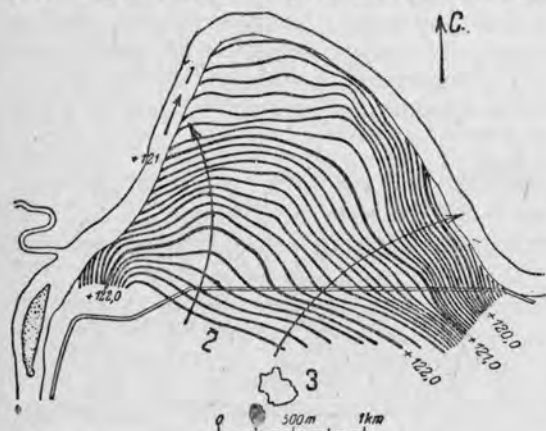


Рис. 86. Отклонение направления потока грунтовой воды в долине Мозеля близ Кенна во время низкого стояния воды (план в гидроизогипсах 16 октября 1908 г.).

1 — Мозель; 2 — направление течения грунтовых вод; 3 — Кенна.

на изменениях направления потока грунтовых вод; при этом откло-

где грунтовая вода совершенно или почти совершенно не находится под влиянием соседних поверхностных водоемов. Большие потоки грунтовых вод, сопровождаемые маломощными поверхностными водотоками, очень редко дают в зависимости от высоты уровня заметное изменение направления потока: отклонения последнего от среднего направления выражаются обычно всего лишь несколькими минутами.

Соседство более крупных рек однако сказывается более заметно

нения грунтовой воды от своего естественного направления тем больше, чем значительнее колебания зеркала в реке.

Влияние поверхностных водоемов на направление течения грунтовой воды больше всего там, где рассматриваемый участок с грунтовой водой имеет форму полуострова, омываемого с трех сторон

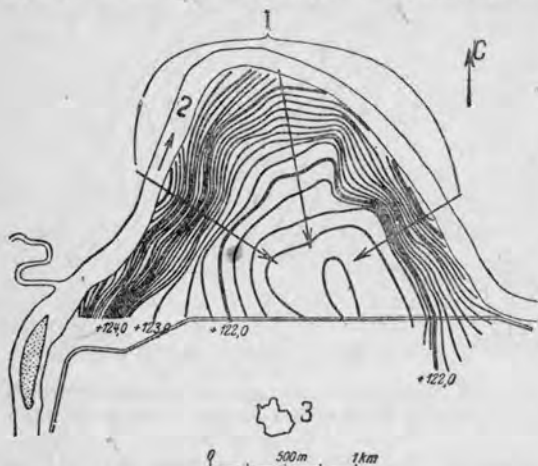


Рис. 87. Изменение направления потока грунтовой воды в долине Мозеля близ Кенна во время половодья (план в гидроизогипсах 12 марта 1908 г.).

1 — направление течения просочившейся воды Мозеля; 2 — Мозель; 3 Кенн.

ное течение грунтовых вод, приведенное на рисунке 85, направлено с юго-запада на северо-восток.

При низком уровне воды в Мозеле наблюдается движение грунтовой воды по направлению к берегу реки (рис. 86). При половодьи (рис. 87) ясно видно, что направление грунтовых вод совершенно меняется и что вдоль всего побережья происходит просачивание речной воды Мозеля, которая, превратившись в грунтовую воду, течет внутрь страны.

#### γ) Гидроизогипсы зеркала грунтовых вод в плотных, трещиноватых породах

Можно полагать, что сплошное правильное зеркало грунтовых вод, могущее быть изображенным гидроизогипсами, возможно лишь в тех случаях, когда водоносная толща состоит из рыхлых масс, более или менее правильно напластованных.

Между тем правильное падение зеркала может в виде исключения образоваться также и там, где трещиноватость в плотных породах состоит из бесчисленного количества мелких волосных трещин. В них движение воды встречает столь же



Рис. 88. Трещиноватая горная порода, с сплошной сетью волосных и мелких трещин, в которой образуется сплошное зеркало грунтовой воды.

значительное сопротивление, как и в породах, состоящих из песка и гравия (рис. 89). Такой случай наблюдается в меловых отложениях в Шампани и в Бельгии.

Уже в 1855 г. Д ю м о н (Dumont) составил план в гидроизогипсах зеркала грунтовых вод Люттихского района меловых отложений, на основании которых он предложил соответствующие мероприятия для устройства водопровода.

Песчаники также принадлежат к твердым горным породам, обладающим правильной водопроницаемостью. Это легко объясняется тем, что песчаники когда-то были рыхлыми песками и впоследствии были сцементированы в плотную массу, которая однако не совсем потеряла свою первоначальную водопроницаемость.

Вследствие этого иногда в песчаниках также образуется нормальное сплошное зеркало грунтовых вод, которое может быть изображено гидроизогипсами.

В большинстве случаев в древних песчаниках находится напорная вода.

Рисунок 89 согласно данным Т о д д а и Г о л л а (Todd и Hall) представляет карту гидроизогипс артезианского бассейна Южной Дакоты. В отношении правильности он не оставляет желать лучшего, из чего можно заключить, что водоносный

клас с грунтовой водой, заключенный в песчанике, должен состоять из почти равномерных зерен и соответственно обладать равномерной водопроницаемостью. И действительно песчаники, имеющие свыше 100 футов мощности, ясно обнаруживают однообразно округлые зерна и значительное богатство воды.

В работах М е н д е н г о л л а (Mendenhall) можно также найти чрезвычайно поучительные примеры карт гидроизогипс артезианских потоков в Калифорнии.

#### б) Горизонталы зеркала грунтовых вод в застроенных городских районах

Существует мнение, что зеркало грунтовых вод в сплошь застроенных районах нарушено вследствие отбора воды колодцами, вытеснения воды фундаментами домов, погребами и другими глубокими



Рис. 89. План в гидроизогипсах грунтовой воды в артезианском бассейне Южной Дакоты (по Тодду и Голлу). 1 — Митшель; 2 — Джекс-Ривер; 3 — район с зеркалом грунтовых вод, лежащим под поверхностью земли; 4 — район с самоизливающимися артезианскими водами.

застройками. Однако подобные случаи в значительной степени ограничены. Величина нарушений в таких случаях зависит как от силы потока грунтовых вод, так и от количества отбираемой воды. Если поток грунтовых вод хоть в некоторой степени обилен, то он легко сглаживает местные нарушения, и застройка почти не изменяет естественного направления потока грунтовых вод; зеркало их подвергается лишь незначительным изменениям вследствие местной депрессии. Это явление доказывается измерениями грунтовых вод, произведенными автором в различных городах, и также определением стояния грунтовых вод в застроенных районах Мюнхена, Базеля и т. д.

## б) Падение грунтовых вод

### а) Величина естественного падения грунтовых вод

Изучение зеркала грунтовых вод позволяет определить падение уровня, вызывающее движение воды.

Величина естественного падения уровня грунтовых вод меняется не только в отдельных местах, но может меняться в пределах одного и того же участка потока грунтовой воды.

Нижеприведенные величины выражают среднюю величину падения уровня грунтовых вод в аллювиальных породах.

Долина Ломница близ Гиршберга в Силезии . . . . .	1:40
Окрестности Нюрнберга . . . . .	2:40 до 1:300
Долина Аар близ Ольгена . . . . .	1:170
Долина Леха близ Аугсбурга . . . . .	1:330
Шпрее близ Берлина (связь Мюггель) . . . . .	1:390
Долина Неккара близ Мангейма . . . . .	1:200 до 600
Плейса Эльстер Мульда близ Лейпцига . . . . .	2 660 до 980
Шпрее близ Берлина (Ней-Рандорф) . . . . .	1:920
Долина Мозеля близ Кельна . . . . .	1:1 500
Долина Рейна близ Страсбурга в Эльзасе и Кельна . . . . .	1:1 700
В дюнах близ Гаарлема в Голландии . . . . .	1:3 300

Из этой таблицы видно, что наибольшее падение наблюдается вблизи гор, т. е. там, где сортировка водоносного материала еще не закончена и где водоносные породы оказывают большое сопротивление движению воды. Обычно оно уменьшается по направлению к устьям рек.

Согласно опытам автора колебания уклона в размере от 10 до 20% на одном и том же участке потока грунтовых вод — явление нередкое.

По наблюдениям А. Тима например падение уровня грунтовых вод в окрестностях Наунгофа колебалось в течение полугодичных наблюдений на расстоянии 4,6 км между 5,21 и 6,22 м. Так как здесь речь идет о напорном потоке грунтовых вод, в котором количество воды пропорционально падению, то увеличению дебита в течение этого времени равнялось  $\frac{6,422 - 5,21}{5,21} = 1/5$ , округло — 20%.

### в) Изменение падения грунтовых вод

Нередко встречаются случаи, когда незначительное падение грунтовых вод внезапно сильно увеличивается. Такое увеличение обычно

обусловлено изменениями в строении водоносного пласта, например выклиниванием крупнозернистых, сильно водопроницаемых пластов гравия или изменением водопроницаемости вследствие примеси глины, или сужением или расширением поперечного разреза потока, о чем уже упоминалось. П и ф к е (Piefke) нашел, что падение грунтовых вод вблизи старого Берлинского водопровода у Штраулауских ворот вследствие быстрого выклинивания пласта гравия увеличилось в 10—20 раз по сравнению с остальной частью нормального разреза, где падение равнялось почти всюду лишь 1 : 1300. Подобное значительное увеличение падения грунтовых вод необходимо для того, чтобы обеспечить тот же расход грунтового потока в пласте, ставшем менее водопроницаемым.

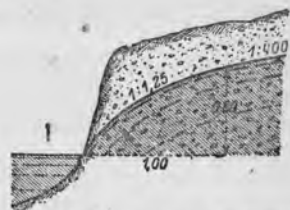


Рис. 90. Увеличение падения грунтовой воды вблизи реки.

1 — Шпрее

С м р е к е р (Smreker) также описывает изменение падения грунтовых вод, обусловленное изменением площади сечения потока. Близ Майнца падение в верховьях потока грунтовой воды колеблется между 1 : 200 и 1 : 300 и вследствие расширения поперечного сечения потока грунтовых вод в нижнем течении его падение от 1 : 500 до 1 : 600.

Вблизи поверхностных водотоков падение также часто увеличивается, если дно реки от наносов ила или другого заиляющего материала становится слабводопроницаемым. Автор неоднократно наблюдал, что падение грунтовых вод вблизи рек и озер, питаемых грунтовыми водами, переходит по склону в 10—30-кратное падение. Это увеличение падения необходимо для преодоления повышенного сопротивления участка берега, занесенного илом. Линия падения потока грунтовых вод в таких случаях вблизи поверхностных водоемов, питаемых грунтовой водой, принимает форму депрессированной кривой.



Рис. 91. Уменьшение падения грунтовой воды по направлению к центру потока грунтовой воды.

1 — берег.

О подобном изменении падения вблизи берега Шпрее около Берлина пишет Пифке (рис. 90). Согласно его данным падение грунтовых вод, приходящееся на первый метр расстояния от берега реки, равнялось 0,8 м, т. е. 1 : 1,25, в то время как общее падение грунтовых вод далее от берега вглубь колебалось в границах от 1 : 400 до 1 : 1300. От берега к середине потока может возникнуть также изменение в падении грунтовых вод (рис 91). Это явление объясняется не только изменением поперечного разреза потока, но также увеличением водопроницаемости по направлению к самой глубокой точке долины. Увеличение водопроницаемости является следствием возрастающей крупнозернистости водоносного пласта к середине потока, так как здесь вследствие большой скорости имело место отложение более крупных частиц.

## 2. СТОЯЧАЯ ГРУНТОВАЯ ВОДА

Пребывающая в покое грунтовая вода для использования в целях водоснабжения мало пригодна, так как она не обладает постоянным дебитом. Мы имеем дело со стоячей грунтовой водой в том случае, если зеркало грунтовых вод везде лежит горизонтально.

По мнению автора скопление стоячих грунтовых вод встречается редко в природе. Они ограничиваются обычно верхними водопроницаемыми и водоносными пластами, имеющими вид гвезд или линз, и обладают малой мощностью. Подобные скопления стоячих грунтовых вод походят на поверхностные стоячие воды и образуются главным образом во время сильных осадков. Источники, которые ими питаются, обладают небольшим дебитом и иссякают обычно в сухие времена года.

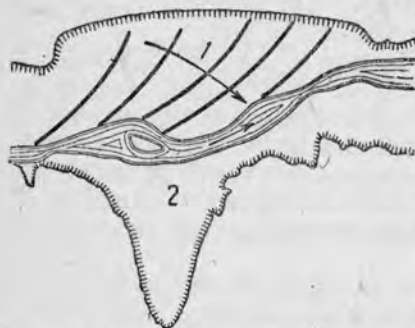


Рис. 92. Мертвый бассейн грунтовой воды, соответствующий потоку грунтовой воды.

1 — поток грунтовой воды; 2 — мертвый бассейн грунтовых вод

В виде исключения можно и продолжительное время брать воду из стоячего бассейна грунтовой воды, но только тогда, когда (как это видно из рисунка 92) стоячий бассейн грунтовой воды состоит в гидрологической связи с протекающим вблизи мощным потоком грунтовой воды. В таком случае мы имеем дело с подземным водохранилищем, которое только имеет вид неподвижной массы воды. Если такое водохранилище будет эксплуатировать, то грунтовая вода начнет притекать в него со стороны.

Остальные явления, противодействующие спокойному состоянию грунтовой воды, описаны нами выше.

## VI. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ГРУНТОВОЙ ВОДЫ

Для определения количества грунтовой воды существуют два способа.

1. Косвенное определение, основанное на данных наблюдений.
2. Непосредственное определение, основанное на фактическом измерении количества воды.

Косвенное определение может быть произведено путем вычисления количества просочившейся в почву воды как соотношения между выпавшими осадками и величиной площади инфильтрации или же по величине площади поперечного сечения протока и скорости движения воды.

Для непосредственных определений служит измерение естественных дебитов источников и устройство опытных колодцев, которые частично или полностью определяют подлежащее измерению количество воды.

## VI<sub>1</sub>. КОСВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ГРУНТОВОЙ ВОДЫ

### 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ГРУНТОВОЙ ВОДЫ ПО КОЛИЧЕСТВУ ПРОСОЧИВШЕЙСЯ В ГРУНТ ВОДЫ И ПО ВЕЛИЧИНЕ ПЛОЩАДИ ИНФИЛЬТРАЦИИ

Если количество просочившейся воды на определенной площади (не принимая во внимание потери воды, вызываемой уплотнением) =  $M$  и площадь инфильтрации =  $F$ , то общее количество притока подземной воды будет равняться:

$$Q = M \cdot F. \quad (6)$$

#### а) Количество просочившейся воды

Как уже объяснено в главе «Атмосферное происхождение грунтовой воды», из величины осадков, выпавших в данном районе, совершенно невозможно точно вывести то количество воды, которое просочилось в подпочву и могло пойти там на образование грунтовой воды.

#### б) Площадь питания

Площадь, на которой выпадают осадки на поверхности земли, во многих случаях не совпадает с той площадью, на которой эти осадки впитываются под поверхностью земли.

#### в) Определение границ района питания по подземным водораздельным линиям

Сток как поверхностных, так и подземных вод управляется водораздельными линиями, которые разделяют земную поверхность и глубокие слои земли на отдельные районы питания или водосборные площади.

Большинство поверхностных водораздельных линий резко выражены, и при помощи нивелировки их легко установить и нанести на план. Значительно труднее определить подземные водораздельные линии грунтовых потоков, что требует гораздо больше времени.

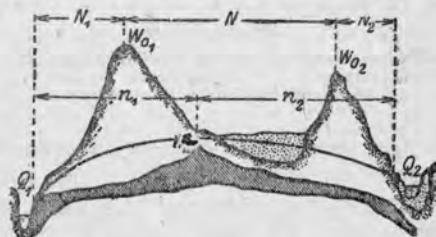


Рис. 93. Поверхностные и подземные водоразделы.

Если геологическое строение водоносного пласта несложно, то геологической съемкой можно без труда с некоторым приближением определить направление подземных водораздельных линий. Во многих случаях однако определение подземного бассейна грунтовых вод и его дренажа путем одной лишь геологической съемки может повести к ложным выводам. Недостаточность такого теоретического способа, не считающегося с действительными условиями, существующими на глубине, видна на рисунке 93. Здесь линия между обоими руслами рек разделена водораздельными линиями  $W_{01}$  и  $W_{02}$  на три района инфильтрации — средний район шириной в  $N$ , два боковых шириной

в  $N_1$  и  $N_2$ . Подземная же водораздельная линия  $W_u$  делит только на два района шириной  $n_1$  и  $n_2$ . Ясно, что дебиты источников  $Q_1$  и  $Q_2$  зависят в первую очередь от положения подземной водораздельной линии  $W_u$  и далеки от какого-либо соотношения с величиной поверхностных районов инфильтрации.

Поэтому оценка дебита грунтовой воды, произведенная лишь по наблюдениям на поверхности земли, должна быть признана неправильной, и против такого способа следует протестовать.

Опасность для гидрогеолога заключается прежде всего в переоценке величины площади инфильтрации. В действительности, как показывает опыт, нередко колодецы, дебит которых предварительно был определен лишь на основании наблюдений на поверхности земли, на

деле оказались с недостаточным дебитом или совсем безводными.

Однако и недооценка мощности подземного бассейна может повести к нежелательным последствиям, ибо такая недооценка ведет к тому, что места, где можно было бы с выгодой заложить колодець, остаются неиспользованными.

Определение водораздельных линий грунтовых вод нередко бывает делом случая и становится возможным только тогда, когда изыскания производятся на достаточно большом пространстве и захватывают два или несколько бассейнов поверхностного стока.

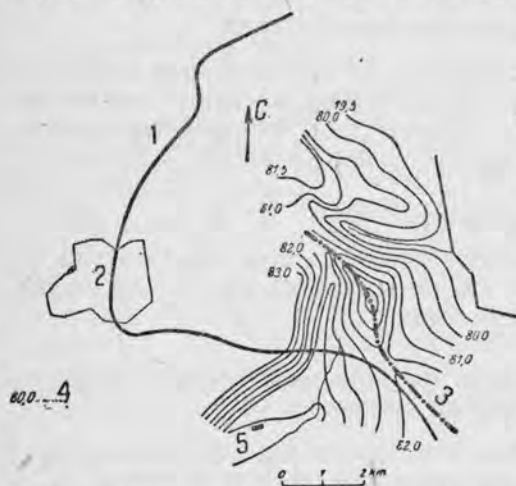


Рис. 94. Развитие поверхностного и подземного водоразделов.

1 — поверхностный водораздел; 2 — Гогензальца; 3 — подземный водораздел; 4 — гидроизогипсы зеркала грунтовых вод 19—20 мая 1914 г.; 5 — водопровод

При этом часто обнаруживается, что вблизи поверхностной водораздельной линии тянется также и подземная водораздельная линия.

Однако расстояние между ними в зависимости от особенностей геологического строения может колебаться в довольно широких пределах. Точно так же и направления обеих этих водораздельных линий могут значительно отклоняться друг от друга.

В гидрогеологической литературе очень редко можно встретить указание на существование и положение подземных водораздельных линий. Ввиду этого здесь необходимо обратить внимание на два особенно ярко выраженных случая расположения водораздельных линий грунтовой воды. В одном случае водораздельная линия была открыта автором на восток от Гогензальца (рис. 94). Подземная водораздельная линия разделяет район грунтовой воды, тяготеющей к реке Одер, от района, связанного с рекой Вислой.

В другом случае изображенной на рисунке 95 подземная водораздельная линия тянется между Рейпом и Маасом. При производстве предварительных гидрологических изысканий, предпринятых для со-

ставления плана осушительных работ в районе левого берега нижнего Рейна, эта водораздельная линия случайно открыта производителями работ. Достоинно внимания, что часть потока,двигающегося по направлению к Рейну, течет почти перпендикулярно к нему. Часть же потока, относящаяся к Маасу, наоборот, течет почти параллельно к последнему.

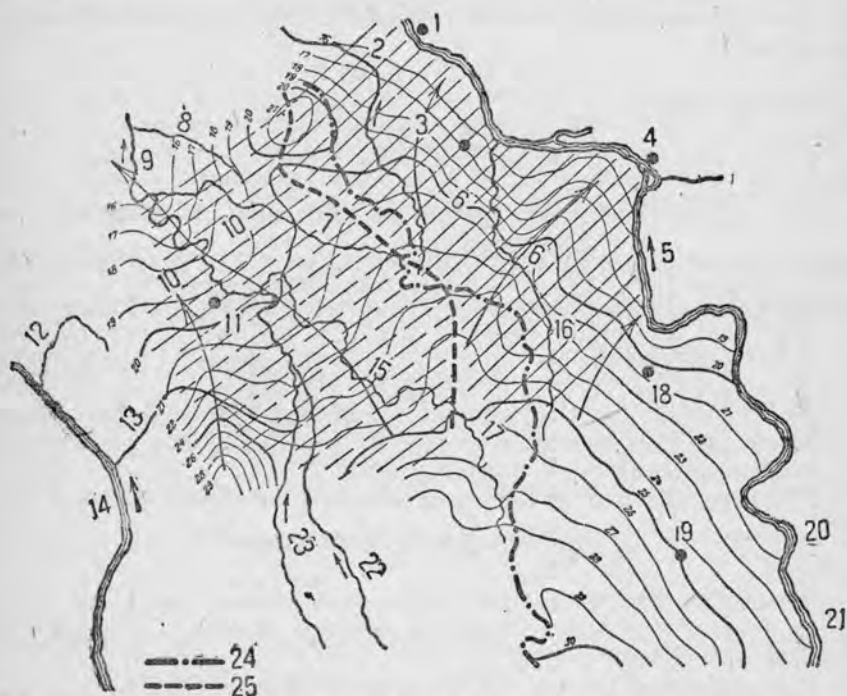


Рис. 95. План в гидроизоглифах между Рейном и Маасом и направление поверхностного и подземного водоразделов (зеркало воды от декабря 1908 г. до октября 1909 г.).

1—Реес; 2—Хогенш; 3—Ксанген; 4—Везель; 5—Рейн; 6—к Рейну; 7—Гроссел И; 8—Шгенберг кль Лей; 9—Нюр; 10—к Маасу; 11—Кеналер; 12—Моленбек; 13—Мирский канал; 14—Маас; 15—Нисанар; 16—Виньталский канал; 17—Флейт; 18—Рейберг; 19—М ре; 20—Рурорт; 21—Дунсбург; 22—Гелльрейнский Флейт; 23—Нир; 24—поверхностный водораздел; 25—подземный водораздел грунтовых вод.

## 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ГРУНТОВОЙ ВОДЫ ПО ПОПЕРЕЧНОМУ СЕЧЕНИЮ ПОТОКА И СКОРОСТИ

Частицы воды грунтового потока, находящиеся в вертикальном, перпендикулярном к направлению потока поперечном сечении, подобно частицам воды поверхностного водотока, не могут оставаться в одной и той же плоскости длительно. По прошествии даже самого короткого промежутка времени происходит перемещение в другую плоскость.

Таким образом во взятый нами промежуток времени в отрезе водоносного пласта, заключенном между первоначально взятой нами плоскостью и этой последней плоскостью, пустоты между частицами водосодержащей породы оказываются заполненными водой в меру производительности потока.

Таким путем вместо поперечного разреза потока выступает объем пустот водоносного пласта.

Если мы обозначим:

$Q$  — дебит грунтового потока,

$t$  — протекшее время,

$F$  — площадь поперечного сечения водоносного пласта,

$c$  — среднее расстояние между взятыми нами плоскостями,

$p$  — отношение объема пустот ко всему объему водоносного пласта, то получим:

$$Q \cdot t = F \cdot c \cdot p \quad (7)$$

и следовательно:

$$\frac{Q}{F} = p \cdot \frac{S}{t} \quad (8)$$

Тут под частным  $\frac{S}{t} = v$  следует понимать скорость движения грунтового потока. Из него путем умножения на величину  $p$  получается скорость  $\frac{Q}{F}$ , отнесенная к поперечному сечению  $F$ , и таким образом получается формула:

$$Q = F \cdot p \cdot v. \quad (9)$$

Эта формула для определения дебита грунтового потока может быть использована двояко, а именно путем определения в сечении  $F$ :

- 1) произведения  $p \cdot v$  в целом или
- 2) в отдельности величины каждого из обоих множителей  $p$  и  $v$ .

## 2а. ПОПЕРЕЧНОЕ СЕЧЕНИЕ ПОТОКА

Поперечное сечение каждого грунтового потока зависит от размеров и очертаний водонепроницаемых стенок канала, в котором заключены водоносные породы.

В большинстве случаев канал этот не везде водонепроницаем, и в него вливаются с боков водяные нити, водяные жилы и второстепенные потоки. Через постель такого канала может при известных обстоятельствах просачиваться вода из глубже лежащих водоносных горизонтов.

Поперечный разрез потока никогда не бывает однородным, так как в нем изменяются величина зерен водоносного пласта и характер их наслоения. Кроме того в нем имеются и водонепроницаемые прослойки, которые должны быть вычтены из собственного сечения грунтового потока.

Определение поперечного сечения потока проще всего и лучше всего производится при помощи буровых скважин, пересекающих поток грунтовой воды. Шурфование применяется только тогда, когда проток обладает слабым дебитом и поперечный разрез потока обладает небольшой мощностью. Если условия позволяют, то лучше всего намеченная цель достигается устройством водосборных канав. Для того чтобы использовать падение канав для осушения местности, их начинают копать в самом низком месте.

Пройденные буровой скважиной слои заносятся последовательно в буровые журналы, и добытые образцы пород сохраняются. Образец такого журнала приведен в отделе  $F$ .

Вычертив пройденные буровыми скважинами пласты в виде связанного сплошного разреза, получим поперечное сечение потока. Из нескольких таких последовательных поперечных разрезов можно сделать заключение, изменяется ли поперечное сечение пласта, и если изменяется, то в какой степени. Из нескольких поперечных разрезов можно графическим путем получить продольный разрез водоносного пласта.

Бурение может производиться или по способу сухого бурения или с промывкой.

В отношении выявленных на основании буровых работ поперечных разрезов необходимо отметить, что путем бурения никогда не удастся получить действительную картину геологического строения. При сухом бурении часто тонкие прослойки, имеющие гидрогеологическое значение, пропускаются, а в самом буре получают перемешанные частицы грунта. Благодаря этому взятые из буре пробы никогда

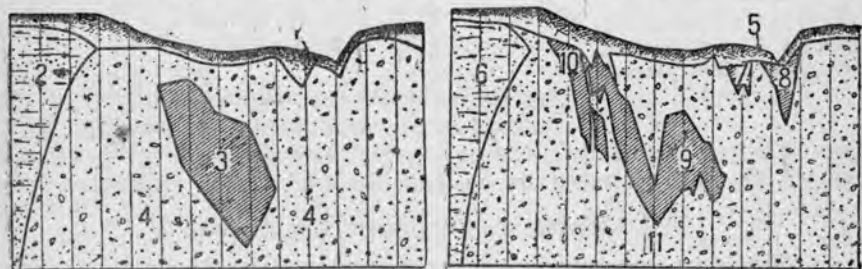


Рис. 96 а и б. Сравнение разреза, полученного бурением и (слева) раскопками.  
 1 — насыпной слой; 2 — глинистый песок; 3 — глина; 4 — песок и гравий.  
 5 — насыпной слой; 6 — глинистый песок; 7 — глина; 8 — глина; 9 — глина; 10 — глина; 11 — песок и гравий.

не могут дать точной картины напластований. Для гидрогеологических целей бурение с промывкой совершенно непригодно. При этом способе все недостатки сухого бурения проявляются в еще более сильной степени, и кроме того употребляемая при бурении с промывкой вода оказывает влияние на естественное зеркало грунтовой воды, что может повести к неправильным выводам.

Ввиду этого при оценке результатов бурения рекомендуется всегда соблюдать известную осторожность.

Рисунок 96 дает представление о том, как видоизменяется разрез грунта, составленного на основании результатов бурения, в разрез той же толщи, полученный впоследствии путем раскопок и потому изображающий действительную геологическую картину.

## 2б. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ГРУНТОВОЙ ВОДЫ ПРИ ПОМОЩИ ПРОИЗВЕДЕНИЯ $P \cdot V$

### а) Выведенная по поперечному разрезу водоносного пласта скорость движения воды

Из формулы (9)  $Q = F \cdot p \cdot v$  (стр. 118) можно получить величину так называемой скорости фильтрации, которая равна

$$p \cdot v = \frac{Q}{F}.$$

Если по этой формуле требуется определить скорость фильтрации в водоносном пласте, то достаточно определить площадь поперечного сечения потока  $F$  и количество воды  $Q$ , тогда частное  $\frac{Q}{F}$  представит собой скорость фильтрации.

На практике это производится очень просто. Берут из водоносного пласта образец водоносной породы и делают из него фильтр, как изображено на рисунке 97, и через него пропускают воду.

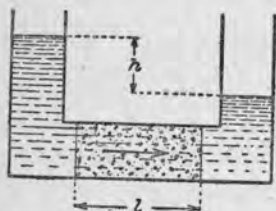


Рис. 97. Сопротивление фильтра  $h$  в зависимости от длины фильтрующего слоя  $l$ .

Многие исследователи в области динамики грунтовых вод установили при подобных опытах, что скорость движения воды в фильтре пропорциональна потере напора или величине падения уровня воды. Найденная формула гласит:

$$\frac{Q}{F} = p \cdot v = \frac{k \cdot h}{l}, \quad (10)$$

причем  $h$  обозначает сопротивление при фильтрации воды, измеренное по разнице высот уровней над и под фильтром,  $l$  — толщину фильтра и  $k$  — коэффициент, который зависит от свойств фильтрующего грунта.

#### б) Величина коэффициента фильтрации $k$

Коэффициент  $k$  представляет собой коэффициент водопроницаемости. Его называют также константой грунта, так как он неизменен для одного и того же грунта.

Из формулы (10) вытекает:

$$k = \frac{Q}{F} \cdot \frac{l}{h}. \quad (11)$$

#### в) Определенные величины коэффициента фильтрации $k$

Водопроницаемость почвы, состоящей из рыхлых составных частей, зависит главным образом от следующих четырех факторов: 1) величины отдельных частиц грунта; 2) их строения; 3) напластования и 4) взаимного соотношения составных частей грунта.

Точно определить эти четыре фактора в естественном их состоянии путем непосредственных наблюдений очень трудно или даже во многих случаях совершенно невозможно ввиду недоступности для изучения более или менее глубоких слоев. В последних случаях приходится ограничиваться извлечением образцов грунта путем обычных способов бурения. Этим путем мы получим материал для определения состава грунта по величине отдельных зерен и их строению. При помощи механического анализа мы можем определить количество частиц, соответствующих различным группам по величине зерен, или так называемым фракциям. Эти данные однако не решают еще вопроса о величине водопроницаемости породы в естественном ее состоянии с удовлетворительной для применения на практике точностью. Это происходит потому, что естественное расположение отдельных частиц, являющееся очень важным фактором, остается неизвестным.

Правда, извлеченные на поверхность земли буровыми инструментами образцы пород можно экспериментально исследовать на их водопроницаемость, пользуясь при этом, например, описанным на стр. 127 приемом и другими аналогичными методами. Однако в описанном на стр. 127 приборе (рис. 98) совершенно невозможно восстановить естественные условия напластования горной породы, как бы это ни старались сделать. Поэтому совершенно ясно, что полученные в лаборатории результаты определенной водопроницаемости никогда не совпадут с действительностью. Подобным путем, правда, можно получить приблизительные величины, но в лучшем случае такие величины могут иметь только чисто местное и потому второстепенное значение, так как водопроницаемость более или менее обширного участка водоносного пласта постоянно меняется как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях.

С практической точки зрения по извлеченным на поверхность земли буровым пробам можно только утверждать, что чем больше и равномернее величина зерен, тем большей водопроницаемостью обладает данная почва.

Если величина зерен меняется, то в пустоты между большими зернами проникают частички более мелкие, и потому величина пор в процентном отношении понижается, а вместе с этим понижается и водопроницаемость. Наиболее благоприятные условия для водопроницаемости создаются тогда, когда при возможно более крупном зерне имеется налицо и возможная равномерность отдельных зерен.

Если вообразить себе проведенные через поток грунтовой воды поперечные разрезы, то ими как бы будут прорезаны свободные водопроницаемые поверхности водоносного пласта, и сумма их будет постоянной, если плоскости поперечного разреза и величина зерен будут одинаковы. Если же наоборот величина отдельных зерен возрастает, то при условии сохранения однородности зерен пород при остающейся неизменной площади потока смоченный периметр уменьшается. Благодаря этому водопроницаемость или вернее дебит будет возрастать совершенно так же, как это бывает и при текучей поверхностной воде, когда смоченный периметр уменьшается.

### а) Величина зерен

Если на основании проб, извлеченных при бурении, хотят вывести заключение о степени водопроницаемости породы в естественном ее залегании, то для этого нужно путем механического анализа все полученные пробы разбить по величине зерен на любое число фракций. Сортировка отдельных частиц почвы по величине зерен легче всего и лучше всего производится путем пересевания через сита с отверстиями разной величины. Однако этот способ никогда не может дать вполне верных результатов, так как отдельные частицы почвы неправильной формы проходят через отверстия сита не только в зависимости от их величины, но также и в зависимости от их формы и положения по отношению к отверстиям.

Сортировка зерен на отдельные фракции по величине зерен может производиться также и гидравлическим способом, но этот способ значительно сложнее и требует больше времени, чем просеивание. Кроме того гидравлический способ еще менее точен, чем просеивание, так

как при этом способе кроме неправильного строения отдельных частей почвы вредно отражается на результате опыта и удельный вес последних.

При опытах с просеиванием особое значение имеет выбор отдельных номеров сит, так как при неправильной последовательности таковых можно при известных обстоятельствах получить совершенно ложную картину зернистости грунта, как то установил Майер (Mayer).

Если например взять ряд сит с диаметром отверстий в 0,5; 1,0; 1,25; 1,5; 2,0 мм, то последовательное увеличение диаметра отверстий с

0,50 мм	до 1,00 мм	составляет	100%
1,00 »	» 1,25 »	»	25%
1,25 »	» 1,50 »	»	20%
1,50 »	» 2,00 »	»	33 $\frac{1}{3}$ %

т. е. будет неравномерным. Ввиду этого Майер рекомендует брать сита с таким расчетом, чтобы последовательное увеличение размера их отверстий было хотя приблизительно одинаковым. Мы можем рекомендовать следующую последовательность сит по величине их отверстий, вполне пригодную для практических целей:

0,1	1,6	2,5	4,0	6,3	10 мм
60	56	60	57,5	59	—

Увеличение отверстий составляет здесь в процентах достаточно равноценное увеличение отверстий. Эта система имеет то преимущество, что каждое четвертое число представляет собой почти точное произведение от умножения исходного числа на число четыре.

В отношении наименования отдельных механических элементов почвы по величине их зерна в литературе все еще нет единообразия. Р. Аттерберг (R. Atterberg) предложил называть обломки горных пород величиной свыше 2,0 мм — камнями, от 2,0—0,2 мм — песком, от 0,2—0,02 мм — пылью, от 0,02—0,002 — глиной. Между тем мы встречаем иногда под названием песок материал с зернами величиной от 0,05 и до 7 мм<sup>1</sup>.

Для простоты и во избежание недоразумений было бы желательно установить здесь единообразие в наименованиях. По мнению автора для этого следовало бы установить ширину отверстий сита, которые пропускали бы например 50% зерен данной породы и 50% их задерживали бы (ср. буровой журнал).

Если водоносная порода должна использоваться для целей водоснабжения, то зерна этой породы должны быть в среднем настолько крупными, чтобы порода была достаточно водопроницаема. В общем нужно сказать, что пласты, состоящие из зерен, величина которых в среднем меньше 0,01—0,03 мм, непригодны для практического использования.

<sup>1</sup> В настоящее время в гидрогеологии принята следующая классификация механических элементов: 1) валуны и камни — диаметр более 100 мм; 2) гальки — от 100—10 мм; 3) гравий и хряц — от 10—2 мм; 4) грубый песок — от 2—1 мм; 5) крупный песок — от 1—0,5 мм; 6) средний песок — от 0,5—0,25 мм; 7) мелкий песок — от 0,25—0,10; 8) пыль — от 0,10 — 0,01; 9) ил — от 0,01—0,001; 10) глина — менее 0,001.

Примечание редакторов.

Форма отдельных зерен породы зависит главным образом от их образования и их величины. Так как в большинстве водоносные породы состоят из обломков горных пород и возникли благодаря переносу их, то чем длиннее был путь от места их первоначального происхождения до теперешнего их места залегания, тем больше отшлифовывались и округлялись отдельные зерна.

В отделе С, в главе «Водоносные пласты» уже было объяснено, что по роду происхождения пласты делятся на элювиальные, аллювиальные, ледниковые, флювиоглациальные и эоловые. По форме и по другим физическим свойствам отдельных зерен можно почти всегда судить о том, какой путь преодолели эти зерна.

Элементы элювиальных обломочных образований, оставшиеся на месте после раздробления материнской горной породы, имеют обыкновенно форму неправильных остроугольных кусков самых разнообразных величин, беспорядочно перемешанных между собой. Водопроницаемость их бывает очень незначительна, если к ним примешано много мелких частиц. Если этого нет, то их водопроницаемость иногда бывает настолько велика, что не может быть никакой речи о фильтрующих свойствах подобных обломочных масс.

Ледниковые, или глациальные валуны по роду и длине пройденного ими пути бывают или остроконечными или более или менее округленными. Первый случай бывает тогда, когда мы имеем дело с чисто глациальными валунами, которые немного передвигались силой воды.

Если мы имеем дело с флювиоглациальными образованиями, то зерна их в большинстве случаев бывают отшлифованными и округленными.

Частицы аллювиальных и эоловых пород вследствие сравнительно длинного пути, который они совершили, и вследствие того, что они силой текучей воды или ветра все снова и снова приводились в движение, имеют обыкновенную форму, приближающуюся к форме шара или эллипсоида.

При неправильной форме зерен почти невозможно бывает установить какое-либо закономерное соотношение между их длиной, шириной и толщиной. Наоборот, произведенные А л л е н Х а з е н о м (Allen Hazen) опыты над окатанным песком, часто встречаемом в аллювии и применяемом для фильтров, показали, что три оси, которые могут быть приняты при измерении для округлых песчинок, находятся между собой в следующих соотношениях: 1,38 : 1,05 : 0,69, причем объем одной песчинки соответствует объему шара с диаметром «единица».

Как отмечает К е л е р (Köhler), из этих отношений, принимая самую длинную ось равною 1, можно притти к интересному выводу, что все три оси относятся друг к другу как 1 : 0,75 : 0,50.

Из этого следует, что при окатывании песков действует один общий закон, по которому объем округленных песчинок соответствует объему шара, диаметр которого равен корню третьей степени из произведения величин всех этих трех осей.

В соответствии с этими выводами мы видим, что например валуны незначительных горных и прибрежных рек состоят преимущественно из остроконечных зерен разной величины и что в нижнем течении боль-

ших котков преимущественно наблюдаются зерна округлой формы и почти равные по величине.

Особенно интересно то, что по наблюдениям Нессига и Добре (Nessig und Daubree) в речных песках (Одер, Рейн, Дунай, Заале и др.) с зернами в 1,0 мм и меньше находится очень много осколкообразных частиц величиной меньше чем в 0,1 мм. Причину этого явления надо искать в том, что более крупные и потому более тяжелые частицы почвы шлифуются о дно действием текучих вод, в то время как более мелкие зерна остаются как бы во взвешенном состоянии и потому или совсем не подвергаются шлифовке или подвергаются ей очень мало. Это обстоятельство играет очень большую роль при устройстве водосборных сооружений в мелких песках, и потому мы более подробно остановимся на этом вопросе в подотделе XIII отдела F «Сопротивление в каптаже».

Наоборот, золотые отложения, как например пески пустынь и дюны, постоянно перемещающиеся силой ветра, почти как общее правило состоят из округлых составных частей при почти полном отсутствии осколкообразных частиц.

### γ) Средний диаметр зерен

Из того обстоятельства, что обломочные водопроницаемые горные породы состоят из смеси минеральных частиц всевозможных величин и форм, возникает вопрос, нельзя ли для такой смеси найти один общий характерный признак, которым выразились бы в пригодной для практических целей форме гидрологические особенности породы и в особенности ее водопроницаемость.

Как показали многочисленные исследования, физические свойства горных пород по отношению к воде зависят только в незначительной степени от формы отдельных частиц; главную же роль играет величина зерен. Для того чтобы разные величины зерен привести к единице измерения, многие исследователи, например А. Хазен, Зелльгейм, Гизевийус и другие (A. Hazen, Seelheim, Gisevius) пробовали отыскать «средний диаметр зерна», т. е. такой диаметр, который определял бы характер данной смеси зерен.

Так например для определения среднего диаметра подсчитывалось число зерен, общий вес которых был точно определен. Делением общего веса зерен на их число получали средний вес каждого зерна. Если удельный вес зерна известен, то диаметр их легко определить по диаметру равновеликого по объему шара.

Однако найденный таким путем средний диаметр зерна не пригоден к применению его для получения каких-либо практических выводов по следующим причинам.

Если в породе, состоящей из мелкого песка, находится несколько больших валунов, то сравнительно большой процент таких валунов достаточен для того, чтобы получить средний диаметр, значительно больший диаметра подавляющего большинства зерен. Далее надо иметь в виду, что капиллярные свойства водоносной породы, т. е. те именно свойства, которые стоят во взаимной связи с характером режима грунтовой воды и ее движением или вернее ее водопроницаемостью, зависят почти исключительно от самых мелких частиц почвы. Из этого ясно, что не средний диаметр может быть характерным пока-

зателем водопроницаемости, а диаметр, отражающий прежде всего наличие самых мелких частиц породы. Средний диаметр будет соответствовать действуюшему только тогда, когда зерна породы будут приблизительно одной величины.

Исходя из этих соображений, для получения такой величины зерен, которая больше всего соответствовала бы водопроницаемости породы, Хазен предпринял ряд опытов. Такую величину зерен он назвал «эффективным, или действующим, диаметром». Эффективный диаметр песка равен такой величине отверстий сита, которые при просеивании пропускают 10% и задерживают 90% песка. Однако и этот способ имеет только ограниченное применение, так как он пригоден только для таких песков, которые состоят из зерен не слишком разнородных величин.

Границы, в пределах которых действующий диаметр песка может служить масштабом для характеристики водопроницаемости песчаной смеси, Хазен устанавливает понятием так называемого «коэффициента неоднородности» (ср. также у Келера).

#### д) Коэффициент неоднородности

Для получения коэффициента неоднородности Хазен определяет сито с отверстиями такой величины, чтобы оно пропускало 60% исследуемого песка и задерживало остальную часть песка. Эта величина, деленная на эффективный диаметр, дает коэффициент однородности. Если например в песке имеется 60% зерен мельче 0,5 мм и 10% — мельче 0,25, то коэффициент однородности будет

$$\frac{0,50}{0,25} = 2,00.$$

Совершенно ясно, что чем больше окажется эта величина, тем неравномернее будет песок, и, наоборот, если эта величина будет равняться 1, то величина зерен должна быть совершенно одинакова. Хазен указывает, что пока коэффициент однородности не превысил числа 5, величина зерен может быть выражена эффективным диаметром.

Можно согласиться с мнением Келера, что зерен только тот способ, который при характеристике разнозернистости песка принимает в расчет только ту величину зерен, которая имеет преобладающее значение.

Если при исследовании проб почвы мы будем пользоваться обоими установленными Хазеном понятиями — эффективной величиной зерен и коэффициентом однородности, то будем иметь простое и практическое удовлетворительное средство для сравнения между собой разных песков по степени их водопроницаемости.

#### е) Расположение зерен

Как выше было замечено, водопроницаемость водоносной породы зависит не только от пустот, образующихся между отдельными зёрнами, и величины зерен, но и от взаимного расположения отдельных зерен. Это вытекает из опытов Тима, посредством которых была опре-

делена водопроницаемость при абсолютно неправильном расположении частиц грунта и при расположении слоев параллельно направлению потока.

При этом было установлено, что при мелком песке с отчетливо круглой формой зерен напластование, параллельное направлению потока, вызывает только едва заметное повышение водопроницаемости. При гравии же с неправильной, частью остроугольной формой зерен водопроницаемость параллельных направлению потока пластов равняется 3,68-кратной водопроницаемости пласта с неправильной слоистостью.

Из этого видно, какое большое значение для степени водопроницаемости может иметь расположение частиц и что недопустимо делать выводы о степени водопроницаемости, не зная естественного строения водоносной породы.

### С) Соотношение смеси зерен

Зернистость водоносного пласта, образовавшегося из отдельных обломков горных пород, очень разнообразна, и соотношение смеси отдельных величин зерен сильно колеблется.

Водопроницаемый водоносный пласт может образоваться из пыли, песка, гравия, галек и валунов. Глина и суглинок также состоят из отдельных, хотя и очень малых, частиц. Величина частиц глины менее 0,015—0,005 мм, т. е. меньше самых мелких микроорганизмов, т. е. бактерий.

В гидрогеологии водоносные породы в зависимости от величины зерен, их формы и соотношения смеси принято обозначать соответствующими прилагательными. Таким образом получаются составные наименования, как например: песчаная глина, глинистый песок, мелкий или грубо разнородный песок с гравием и т. п. На эти более или менее произвольные обозначения пород оказывают свое влияние субъективные взгляды. Поэтому рекомендуется определять действительное соотношение различных величин зерен в породе механическим анализом, который позволяет дать более точную характеристику породы ее главнейших свойств.

### д) Определение путем лабораторных опытов коэффициента фильтрации $k$

Хороший способ для определения коэффициента фильтрации  $k$  представляет лабораторный опыт, основанный на формуле (11) (стр. 120):

$$k = \frac{Q}{F} \cdot \frac{l}{h}, \text{ впервые произведенный Дарси.}$$

Для производства опыта по определению коэффициента  $k$  мы рекомендуем аппарат, воспроизведенный на рисунке 98.

Подлежащая исследованию на водопроницаемость, добытая из буровой скважины проба возможно плотно загружается в цилиндр  $Z$ , и сверху пускается вода. Высота лежащего на сите  $S$  фильтрующего пласта должна равняться приблизительно 1 м. Этот пласт делится на три или четыре равные части, которые однородны и обладают одинаковым сопротивлением. Постоянство притока воды и положения уровня воды поддерживается краном  $U_1$ , сифоном и стоком  $U_2$ .

Водомерные трубки  $G_1$  и  $G_4$  должны быть достаточно широки для того, чтобы в них могли образоваться равные зеркала воды, положение которых измеряется разделенными на миллиметры линейками с нониусами. Тубусы для прикрепления соединительных трубок должны быть снабжены особыми приспособлениями для удаления воздуха. Диаметр соединительных отверстий должен быть около 1 мм в свету и при мелком песке отверстия должны быть предохранены от засорения пробками из какой-нибудь ткани или ваты.

Дарси при своих опытах применял песчаную смесь, которая составлялась из зерен различной величины. Из этой песчаной смеси проходили через сито с ячейками

в 0,77 мм . . . . .	58%
» 1,00 » . . . . .	13%
» 2,60 » . . . . .	12%

Остаток составлял более крупный гравий.

Для такого песка Дарси определил  $k=0,0003$  м/сек.

В следующей таблице приведены другие полученные при дальнейших опытах величины  $k$ .

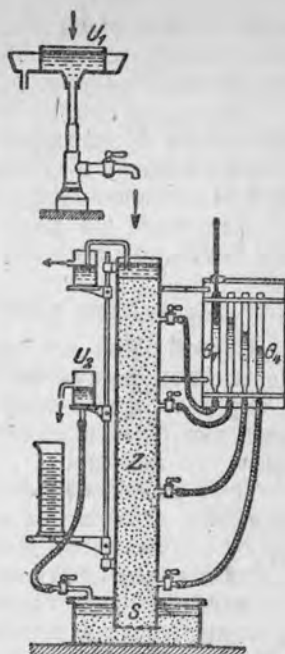


Рис. 98. Прибор для определения коэффициента  $k$ .

Род материала	Диаметр зерна (в миллиметрах)	$k$ (м/сек.)	Исследователь
Дюнный песок из Голландии . . . . .	—	0,0002	Пеннинг
» со следами глины . . . . .	—	0,0008	Государственная канализационная комиссия в Мюнстере
Речной песок . . . . .	0,1—0,3	0,0025	»
» » . . . . .	0,1—0,8	0,0088	»
Фильтровальный песок (Гамбург)	—	0,0077	»
Мелкий гравий . . . . .	2,0—4,0	0,0300	Величковский
Средний » . . . . .	4,0—7,0	0,0351	»

При определении водопроницаемости указанным выше способом надо всегда помнить, что полученные результаты никогда точно не совпадают с действительностью, так как в аппарате, служащем для опытов, условия расположения зерен не будут тождественными с условиями естественного залегания.

**е) Определение коэффициента водопроницаемости  $k$  для естественного водоносного пласта**

Если в уравнении  $k = \frac{Q}{F} \cdot \frac{l}{h}$  мы примем  $F$ , равным единице площади, и  $\frac{h}{l}$ , равным единице гидравлического уклона, то вели-

чина  $k$  будет обозначать количество воды, которое в единицу времени при уклоне, равном единице, протекает через единицу поверхности поперечного разреза фильтрующей породы.

Исходя из этого, Тим (ср. также Форхгеймер) назвал величину  $k$  единичной производительностью водоносной породы и для определения величины  $k$  в естественном пласте предложил особый способ, подробное описание которого дано нами ниже (см. подотдел «Метод Тима»).

Для этой же цели служит способ, предложенный Люммертом (см. выше подотдел «Способ Люммерта»).

#### г) Определение удельного дебита водоносного пласта по Тиму

Способ Тима для определения так называемого «удельного дебита водоносного пласта» не дает абсолютно точной величины коэффициента  $k$ , а определяет ее только приблизительно, при условии, чтобы при вычислении были исключены источники ошибок, свойственные фильтру опытного колодца.

Этот способ состоит в том, что в водоносном пласте устраивают колодец, откачивают из него определенное количество воды и по наступлении неизменяемого состояния устанавливают понижение уровня, соответствующее количеству забора воды из колодца.

Частное, полученное от деления количества откачиваемой из колодца воды на понижение уровня воды, Тим называет «удельным дебитом пласта», который указывает, как велико количество воды, которое дает колодец при понижении уровня на 1 м.

Так как в различных колодцах их величина, диаметр и конструкция влияют в разной степени на дебит, то этот способ для получения сравнимых результатов требует одинакового материала, диаметра и длины фильтра.

Определенный таким путем удельный дебит, строго говоря, может быть вполне надежным масштабом для определения дебита водоносного пласта лишь в том случае, когда имеем дело с напорными водами, так как пропорциональность между дебитом и депрессией уровня может быть признана только для напорных вод. Но при большей мощности водоносного пласта, большом дебите и малой депрессии и для пласта с свободным зеркалом воды ошибка в определении дебита данным способом бывает обычно так мала, что на практике ее можно совершенно не принимать во внимание.

Надо помнить однако, что удельный дебит представляет собой всегда только относительную величину водопроницаемости пласта. Удельным дебитом можно пользоваться только как сравнительным масштабом при точно известных дебитах, определенных на исследуемом участке или в районе каптажа. Считать его абсолютной величиной водопроницаемости пласта никоим образом нельзя.

Если мы обозначим удельный дебит буквой  $\delta$ , то можно считать, что имеющие быть добытыми из обоих опытных участков количества воды будут относиться друг к другу, как соответствующие величины произведения  $\delta \cdot F \cdot \frac{h}{l}$ .

Если для двух опытных участков будут найдены величины для одного  $\delta = 1,52$  л/сек.,  $F = 30\ 000$  кв. м,  $\frac{h}{l} = 0,0012$ , для дру-

того  $\delta = 6,40$  л/сек.,  $F = 20\ 000$  кв. м,  $\frac{h}{l} = 0,001$ , то имеющее быть полученным из второго участка количество воды будет относиться к количеству воды первого участка, как:

$$1,52 \cdot 30\ 000 \cdot 0,0012 : 640 \cdot 20\ 000 \cdot 0,001 = 54,72 : 128,00.$$

Если из первого опытного участка в течение продолжительного времени получалось 2 560 куб. м в сутки, то следовательно можно считать, что дебит второго будет равняться:

$$\frac{54,72}{128,0} = \frac{2560}{X} \quad \text{или} \quad X = \frac{128,0 \cdot 2\ 560}{54,72} = 6\ 000 \text{ куб. м в сутки.}$$

Сравнительное значение удельных дебитов значительно понижается при откачке ручным насосом и вообще слабой и кратковременной откачке, когда почти невозможно добиться установившегося состояния уровня воды.

Способ удельного дебита мало применим также в случае сильных изменений в водопроницаемости большинства водоносных пластов, так как при этом величина дебита будет изменяться в широких пределах. Поэтому во многих случаях это будут только случайные величины, из которых можно делать выводы только для очень ограниченного участка.

Из сказанного можно заключить, что определение степени водопроницаемости по удельному дебиту Тима представляет собой способ, пригодный лишь для приблизительного определения водопроницаемости пласта и могущий служить только для того, чтобы определить те пункты исследуемой площади, которые выделяются высокой водопроницаемостью и потому наиболее пригодны для закладки опытного колодца или опытного каптажа.

Нижеприведенная таблица содержит в себе примеры «удельных дебитов» колодцев, определенных в различных местностях в сопоставлении с уклонами зеркала грунтовых вод.

Опытный участок	Удельный дебит л/с кв. м			Уклоны зеркала грунтовой воды	Исследо- ватель
	Наимень- шая	Наивысшая	Средняя величина		
Аллювий Ломниц у Гиршберга . . .	0.78	1.14	0.96	1:40	А. Тим
Дилувий около Вазы (Сметсблай) . . .	0.20	3.30	1.45	1:270	Е. Принц
Аллювий Нейссы около Фюрста . . .	1.90	5.70	3.85	1:660	»
Ледниковые отложения у Лукенвальда	0.30	15.86	3.94	1:900	»
» » » Стендала . . .	2.33	6.00	5.15	1:950	»
Аллювий Мозеля у Кенна . . . . .	0.50	122.00	16.50	1:1500	Г. Валь
» Рейна у Кельна . . . . .	1.70	128.00	29.10	1:1700	»

Автор на основании своего опыта полагает, что удельный дебит в 1—2 л/сек. при диаметре фильтра в 200 мм и при длине его в 3—5 м должен считаться довольно хорошим.

## 2с. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ГРУНТОВЫХ ВОД ПРИ ПОМОЩИ ОТДЕЛЬНЫХ МНОЖИТЕЛЕЙ $p$ и $v$

### а) Относительная величина $p$

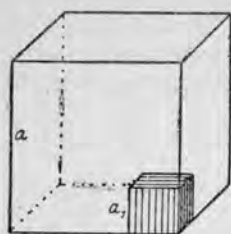


Рис. 99.

Относительную величину  $p$  проще всего представить себе в виде куба, сторона которого  $a_1$  составляет часть стороны  $a$  (рис. 99);  $a$  соответствует общему объему водоносного пласта,  $a_1$  — величина вместимости его пустот.

Б. Кинг вычислил величину капиллярно-связанного количества воды и нашел, что путем естественного осушения из песков с диаметром зерен  $v$

0,374	мм	можно	пзвлечь	воды	только	.....	15,29%
0,185	»	»	»	»	»	.....	14,35%
0,155	»	»	»	»	»	.....	12,86%
0,118	»	»	»	»	»	.....	10,02%
0,083	»	»	»	»	»	.....	8,42%

Спустя  $2^{1/2}$  года пески содержали в себе остатки воды.

### б) Математическое определение пористости

Если считать, что все частицы почвы имеют одинаковое строение и величину, то легко математическим путем вычислить пористость рыхлой зернистой породы. Как для зерен в форме шара, так и для зерен в форме эллипса можно представить два способа расположения — самое плотное, когда шары или эллипсы так расположены по отношению друг к другу, что их центры образуют вершины тетраэдров, которые у эллипсов бывают всегда неправильными. Самый рыхлый пласт, не считая пустот между несоприкасающимися между собой зернами, получится тогда, когда центры лежат по прямым линиям в трех перпендикулярных друг к другу направлениях, при шаровидной же форме — в углах кубов. На рисунке 7 изображены оба строения пластов. В первом случае объем пустот составляет 26,18%, во втором — 47,64% общего объема, независимо от того, идет ли речь о шарах или об эллипсах. Последние надо считать лежащими.

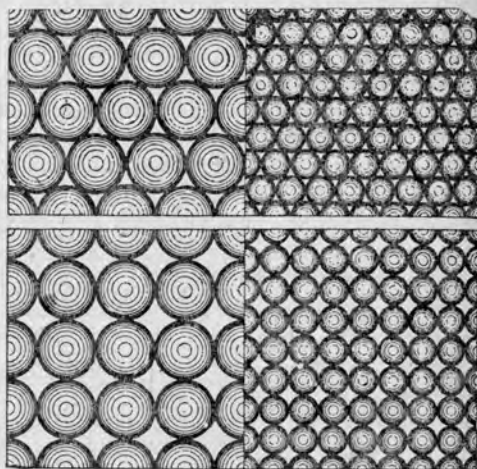


Рис. 100. Наиболее плотное и наиболее пористое сложение шаров

Так как однако в природе водоносный пласт не состоит из частиц одинаковой формы и величины, то каждый водоносный пласт в действ-

вительности представляет собой смесь зерен. Если мы теперь для каждой смеси зерен получим наименьшую емкость пустот, то тем не менее легче разрешимое в других отношениях определение этого рода напластования, которому соответствует наименьшая емкость пустот, будет в практическом отношении совершенно бесполезной работой, так как в природе под влиянием дальнейшего увеличения емкости пустот, вызываемого выемками, образованием ходов, сводов и т. п., могут быть самые разнообразные положения частиц.

### е) Определение пористости лабораторным путем

Путем лабораторных опытов можно получить более отвечающие действительности величины пористости, чем путем вычислений.

Флюгге, Ренк, Величковский, Волльни и другие произвели подобные опыты. Прибор Флюгге, при помощи которого можно извлечь на поверхность земли почву с ненарушенной структурой, состоит из заостренного, тонкостенного латунного цилиндра, вместимостью в 400—500 куб. см, который легкими ударами вбивается в подлежащую исследованию почву. Цилиндр этот состоит из 3 частей, и содержимое средней трети применяется при опытах таким образом, что из него берется сухая проба почвы точно известной величины и взвешивается. Полученное число делят на удельный вес почвы и вычитают полученную таким образом величину объема частиц из общего объема. Разница и будет объемом пустот.

Полученная таким образом пористость образцов грунтов в их естественном состоянии составляет например (в процентах):

- По Флюгге 23,1—28,9 смесь песка и гравия в равных количествах,
- » » 35,6—40,8 песок,
- » » 38,4—40,1 гравий,
- » » 36,2—42,5 суглинок,
- » Шварцу 52,7 суглинок, содержащий органическое вещество,
- » » 84,0 болотистая почва с 82% органического вещества.

Из следующей таблицы видна величина пористости в зависимости от диаметра зерен:

П о р о д а	Диаметр зерен (в миллиметрах)	Пористость (в процентах) по:	
		Ренку	Величковскому
Мелкий песок . . . . .	ниже 0,3	55,5	41,87
Средний » . . . . .	0,3—1,0	55,5	40,64
Крупный » . . . . .	1,0—2,0	37,9	37,38
Мелкий гравий . . . . .	2,0—4,0	37,9	35,47
Средний » . . . . .	4,0—7,0	37,9	35,93
Крупный » . . . . .	7,0—20,0	—	35,24

По С о й к а число отдельных зерен состоит в обратно пропорциональном отношении к третьим степеням радиусов, и по мере уменьшения величины зерен число отдельных зерен быстро возрастает, как показано в нижеприведенной таблице.

Радиус	Величина зерен	Число зерен в литре	
		при плотном	при рыхлом
		сложении	
0.005 . . . . .	0,00000052	1 413 295 000 000	1 000 766 000 000
0.010 . . . . .	0,00000419	176 661 900 000	125 097 000 000
0.050 . . . . .	0,00052360	1 413 295 000	1 000 766 000
0.100 . . . . .	0,00418879	176 661 900	125 097 000
0.500 . . . . .	0,52359890	1 413 295	1 000 766
1.00 . . . . .	4 18879200	176 662	125 097
5.00 . . . . .	523 59890000	1 413	1 001
10,00 . . . . .	4 188,79200000	177	125

Как сообщает Пифке, многочисленными лабораторными опытами было установлено, что взятые из ледниковых отложений Берлинской равнины образцы гравия имели 24% пористости, крупные пески — 30% и мелкие пески — 33%.

Для берлинских грунтов и для водоносных пластов многих других местностей можно принять среднюю величину пористости приблизительно в 25%.

#### д) Соотношения между коэффициентом водопроницаемости и пористостью

Слихтер для совершенно чистого песка с зернами одинаковой величины при температуре в 10° С дает следующую формулу:

$$k = k_1 \cdot d^2 \text{ м/сек.},$$

в которой  $d$  означает действующий диаметр зерен в миллиметрах.

Коэффициент  $k_1$  зависит от  $p$  коэффициента пористости песочного пласта, который, как было установлено, равняется величине 0,26—0,48.

Отношение между  $p$  и  $k_1$  выводится из следующего сопоставления:

$p = 0.26$	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40	0.42
$k_1 = 0.0009$	0,0012	0,0015	0,0019	0,0023	0,0029	0,0031	0,0037	0,0042

$p = 0.44$	0.46	0.47
$k_1 = 0.0052$	0,0061	0,0068

#### е) Скорость движения грунтовых вод $\gamma$

При определении количества грунтовых вод руководящую роль играет скорость, с которой в водоносном пласте течет вода в горизонтальном направлении. Соответствующая уклону пласта вертикальная

слагающая скорости, как и при поверхностных потоках, ввиду ее незначительности может не приниматься во внимание.

Скорость воды в вертикальном направлении приобретает только там заслуживающие внимания размеры, где поверхностная вода путем инфильтрации переходит в грунтовую воду. Это прежде всего имеет место в поясе почвенной влаги, лежащем между поверхностью земли и зеркалом грунтовых вод.

Ввиду существенной роли, которую при этом движении играет капиллярность почвы, в следующей главе помещено несколько указаний относительно капиллярного движения.

### 1) Капиллярное движение грунтовых вод

Капиллярное движение грунтовых вод может происходить как вверх, так и вниз и к бокам. Капиллярная скорость, с которой попавшая на водопроницаемый грунт вода продвигается в глубину, очень незначительна. По Гофману она равняется едва 1,3—2,0 м в год. При оттоке воды в стороны процесс инфильтрации ускоряется, и количество грунтовых вод увеличивается за счет влаги, получаемой через почву. Под влиянием же капиллярного подъема получается обратный результат, т. е. расходование запасов грунтовых вод.

Процессы капиллярного движения воды в грунте очень запутаны и до настоящего времени не выяснены даже приблизительно. В общем установлено только, что чем мельче поры, в которых движется вода в силу капиллярности, тем выше по капиллярам поднимается вода. Так как однако с уменьшением величины капиллярных пор возрастает сопротивление, то скорость капиллярного движения будет тем меньше, чем меньше будет диаметр капиллярных трубок, и наоборот.

Изображенная на рисунке 101 диаграмма вычерчена на основании лабораторных опытов, произведенных Эдлером над искусственными грунтами; результаты этих опытов были потом подтверждены Людеке.

Квадратные корни из числа дней наблюдения составляют абсциссы, капиллярная высота подъема воды — ординаты. Капиллярное движение сильнее всего идет в глинистых образованиях II (лесс). Из этого вытекает, что лесс обладает особенно сильным свойством удерживать и воспринимать воду. I и II линии диаграммы представляют собою неполную картину явлений, так как капиллярное движение в I и II глинистых образованиях вследствие слишком коротких труб не могло быть изучено до конца.

Кинг наблюдал в естественном грунте следующие величины для вертикального подъема зеркала грунтовых вод.

Глубина грунтовой воды под поверхностью земли (в сантиметрах)	В течение 24 часов вода поднималась по направлению к поверхности земли	
	в мелкопесчаной почве (в миллиметрах)	в тяжелой глинистой почве (в миллиметрах)
30	11,8	10,2
60	10,4	8,1
90	6,1	5,0
120	4,5	4,5

По данным Келера капиллярный подъем достигает наивысшей возможной скорости в песке, величина зерен которого лежит между 0,05 и 0,1 мм, и только в тех случаях, когда его составные части так расположены, что капиллярные промежутки имеют определенный диаметр (вероятно 0,03 мм). При диаметре зерен в 2,2—2,5 мм капиллярное действие прекращается.

Когда песок состоит из 46—50% зерен диаметром до 0,3 мм и 50—54% зерен диаметром от 1,0—0,3 мм, то по данным Гребе капиллярная высота подъема не превышает 0,33 м, при мелком же песке (округло 80% зерен меньше 0,33 мм) капиллярная высота подъема не превышает 0,5 м.

Диро Китао (Diro Kitao) произвел по способу Людеке опыт над капиллярным движением вверх, вниз и в сторону и вывел теорию капиллярного движения, правильность которой подтверждается наблюдениями.

По этой теории капиллярное движение происходит таким образом, что когда  $h$  означает пройденный путь, то величина

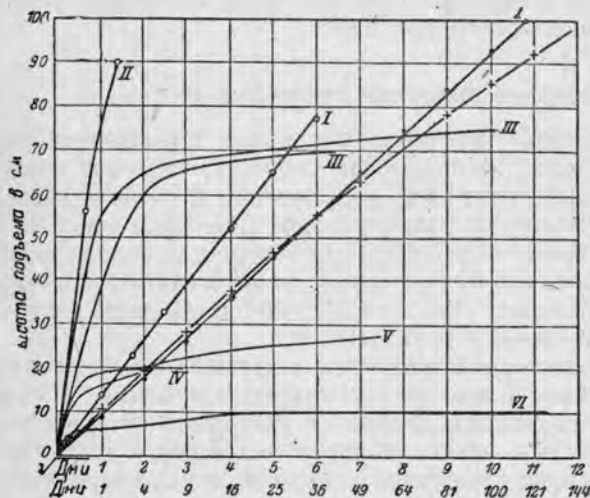


Рис. 101. Капиллярные кривые подъема воды в иле (по Эдлеру).

Величина зерен: I — меньше 0,01 мм; II — 0,01—0,05 мм; III — 0,05—0,10 мм; IV — 0,10—0,25 мм; V — 0,25—0,50 мм; VI — 0,50—1,00 мм.

водой путь и  $t$  — потребное для этого

$$\frac{h}{\sqrt{t}} = \frac{\text{движение воды в сантиметрах}}{\sqrt{\text{время в часах}}}$$

в самые первые часы мала, затем постепенно продолжает понижаться, потом повышаться и наконец по прошествии более продолжительного времени снова понижаться. При

одинаковых в других отношениях обстоятельствах величина  $\frac{h}{\sqrt{t}}$

при инфильтрации бывает больше, чем при горизонтальном движении, а при последнем больше, чем при капиллярном поднятии наверх.

Капиллярная высота подъема зависит не только от диаметра капиллярных трубок, но она подвергается также влиянию степени почвенной влажности. Так например Бригс и Лафан (Briggs, Laphan) определили по способу Людеке высоту капиллярного подъема в сухом песке в 37 см, а в сыром песчаном грунте — в 167 см.

Температура также влияет на капиллярность. Если температура почвы повышается, то поверхностное натяжение уменьшается. В этом случае больше воды просачивается в глубоко лежащие пласты, чем при охлаждении почвы.

## г) Определение скорости движения грунтовой воды посредством опытов в естественном грунте

Смотря по направлению, в котором движется вода, движение может считаться вертикальным и горизонтальным, и соответственно с этим и скорость воды может быть вертикальной и горизонтальной. Само собой разумеется, что тут понятия «вертикальная» и «горизонтальная» нельзя понимать в строго математическом смысле.

Вертикальному направлению движения подчиняются просачивающиеся в почве естественные осадки и поверхностная вода, которая естественным или искусственным путем попала в землю. Вертикальное просачивание большинства осадков до зеркала грунтовых вод происходит преимущественно под влиянием капиллярных сил и поэтому сравнительно слабо. Значительно сильнее вертикальное движение воды, попадающей в подпочву при естественных наводнениях, на поля орошения, при искусственной добыче воды и т. п. Так например по данным Шпетле и Шельгаза (Spötle, Schelhas) вертикальные скорости инфильтрации при искусственной инфильтрации составляют

в гумовном известковом песке . . . . .	0,006 мм/сек.
» изарском » » . . . . .	0,0089 »
» кирпичной глине . . . . .	0,0099 »
» песке около Франкфурта н/М . . . . .	0,0058—0,1116 мм/сек.,
т. е. 0,5—1,0 м/сутки.	

При определении количества текучих грунтовых вод скорость движения воды в вертикальном направлении играет только второстепенную роль. Решающее значение в этом вопросе принадлежит скорости движения воды в горизонтальном направлении.

## а) Измерение скорости грунтовых вод посредством волн грунтовых вод

Наблюдения над естественно возникающими или искусственно созданными волнами <sup>1</sup> грунтовых вод могут служить для непосредственного измерения естественных горизонтальных скоростей грунтовых вод.

Если на рисунке 102 точка *G* является гребнем волны, которая движется параллельно естественному зеркалу грунтовой воды *MN*, то теоретически для движения грунтовой воды действует закон Дарси:

$$v = k \cdot \frac{h}{l}.$$

Как для волны, так и для зеркала грунтовой воды *h* является одинаковой величиной, и таким образом как волна, так и зеркало должны продвигаться с одинаковой скоростью.

Если мы имеем ряд пунктов, в которых непрерывно производятся наблюдения над движением грунтовой воды, то путем измерения

<sup>1</sup> Л ю г е р ввел в литературу выражение «волна грунтовых вод» как равнозначное зеркалу грунтовой воды. При этом он исходит из того соображения, что зеркало грунтовой воды часто имеет волнообразную поверхность. Выражение «волна грунтовой воды» в люгерском смысле может ввести в заблуждение, так как в каждом зеркале грунтовой воды волны являются временными явлениями, подобно тому как это бывает на поверхностной воде. Ввиду этого мы рекомендуем строго различать понятия «зеркало грунтовой воды» и «волна грунтовой воды».

уровня воды мы имеем возможность установить как появление такой воды, так и ее прохождение через отдельные наблюдательные пункты.

Расстояние между двумя наблюдательными пунктами в связи с потребным для прохождения волной этого расстояния временем дает нам возможность математически вычислить скорость движения грунтовой воды.

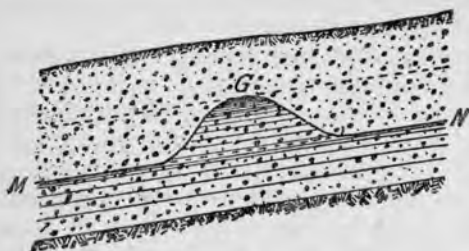


Рис. 102. Образование волны в грунтовой воде.

прерывается водонепроницаемыми линзами (рис. 103), и такая водонепроницаемая линза опускается ниже зеркала грунтовой воды, и наступает сейчас же изменение гидрологического характера потока. В данном случае свободное зеркало грунтовой воды переходит в напорное. Волна грунтовой воды представляет собой повышение столба грунтовой воды, т. е. увеличение гидравлического напора. Это увеличение напора в виде волны движется со скоростью, одинаковой с естественной скоростью грунтовой воды только там, где эта волна может свободно передвигаться, т. е. только там, где грунт водопроницаем.

Как только волна грунтовой воды натолкнется на водонепроницаемый пласт, вступает в действие закон Паскаля, и происходящее от высоты волны увеличение напора в том месте, где зеркало грунтовой воды стало уже напорным, продолжает передвигаться не со скоростью свободно движущейся грунтовой воды, а со скоростью звука.

На рисунке 103 волна с естественной скоростью движется над свободным зеркалом до точки *m*. От точки *m* до точки *n* зеркало грунтовой воды находится под напором, и соответствующее появление волны — подъем зеркала — наступает одновременно для двух наблюдателей в точках *M* и *N*. Поэтому в точке *N* можно наблюдать появление волны, как только волна придет в точку *M*.

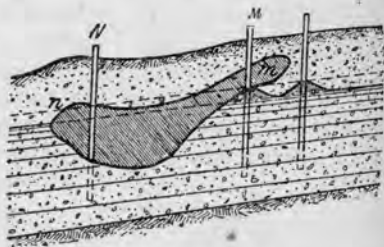


Рис. 103. Ложная картина измерения волны в водопроницаемом слое, перекрытом водонепроницаемым.

Впрочем нужно помнить, что в действительности волна грунтовой воды по общему правилу расходится таким образом, что часть волны, лежащая над гребнем  $G^1$ , движется вверх по движению потока, другая же часть — вниз по течению потока. До окончательного выравнивания поверхности зеркала, правда, остается на зеркале грунтовых вод возвышение, гребень которого движется вниз по течению, но с какой это происходит скоростью, является еще вопросом.

На рисунке 104 дается пример волны грунтовой воды, которая продолжает свое движение под почвой. Волна грунтовой воды была вызвана половодьем Эльбы около Карани в Чехо-Словакии. Скорость, с которой эта волна продвигалась в глубь страны, была определена в 9,3 м в сутки. Однако согласно предыдущим соображениям весьма сомнительно, чтобы эта скорость совпадала с действительной скоростью. Наблюдения над грунтовой водой дает Хесс (Hess).

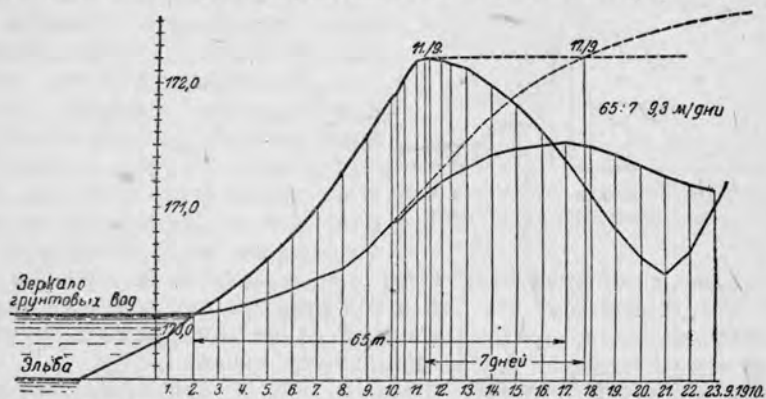


Рис. 104. Определение естественной скорости движения воды по волне грунтовой воды в долине Эльбы близ Карани (по Опатрни).

β) Измерение скорости грунтовых вод по способу введения в поток поваренной соли (Способ, предложенный Тимом)

Для определения естественной скорости грунтовых вод А. Тим пользовался введением в поток поваренной соли. Этот способ основан на следующем соображении: через буровой колодец в спокойное тело грунтовой воды введен раствор соли. Пусть этот раствор находится в

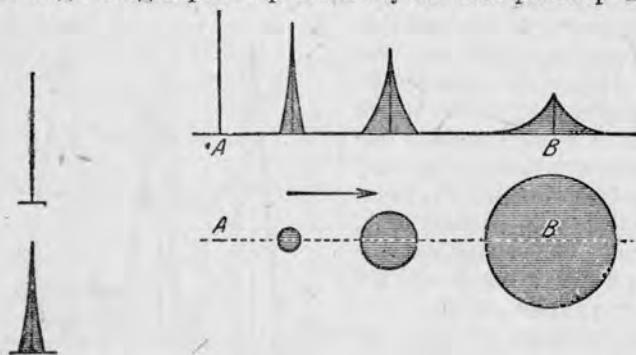


Рис. 105. Схематическое изображение движения раствора соли в водопроницаемом пласте с уменьшением концентрации под влиянием диффузии.

полном покое и его плотность уменьшается только вследствие диффузии в окружающую среду. Наибольшая величина содержания соли связана с точкой А (рис. 105). Если теперь скоростью грунтовой воды этот раствор приведет в движение, то скорость, с которой будет продвигаться раствор, будет равна скорости движения грунтовой воды.

Если мы определили направление потока грунтовой воды от точки *A* к точке *B*, то раствор от точки *A* должен мало-помалу достигнуть точки *B*. Если в пункте *B* мы будем брать через короткие промежутки времени пробы воды, то наивысшее отмеченное нами количество содержания соли укажет на прохождение раствора соли через точку *B*. Таким



Рис. 106. Теоретический ход опыта с соляным раствором при одной пике.

образом из длины пройденного раствором соли пути и потребного для этого времени мы уже можем вычислить скорость его движения или скорость движения грунтовой воды.

С теоретической точки зрения ничего нельзя возразить против этого простого способа. Между тем этот способ, как уже указал Тим, ведет так же часто к грубым ошибкам, как и определение скорости посредством волн. Измерения скорости движения грунтовой воды при посредстве поваренной соли особенно опасны тем, что они в большинстве случаев указывают на большие скорости, другими словами на большие запасы грунтовой воды, чем те, которые в действительности имеются.

Так например в городе Праге в 1889 г. при предварительных изысканиях для одного водопровода произведены были изыскания, при которых применили поваренную соль; изыскания установили скорость грунтовой воды от 7,0—9,75 м в час, т. е. 168—234 м в сутки. Эти цифры нужно признать совершенно невероятными, так как обыкновенно естественная скорость грунтовой воды в 3—5 м в сутки считается уже большой. Невозможность таких цифр и ненадежность результатов пражских изысканий с применением поваренной соли доказал математически автор.

При большинстве опытов с поваренной солью часто не удается установить в наблюдательной скважине одну наивысшую точку концентрации проходящего раствора, а получается целый ряд таких точек. В то время как теоретическая картина процесса опыта с поваренной солью должна была бы соответствовать рисунку 106, в действительности замечается целый ряд максимумов, которые часто указывают на присутствие тысяч миллиграммов поваренной соли (рис. 106).

В этих случаях вопрос, какая из этих точек является наивысшим максимумом, остается открытым, так как часто разница в степени осолонения в отдельных точках бывает почти незаметна.

Причина таких совершенно непригодных результатов опытов лежит главным образом в неравномерном строении пород водоносной толщи. Среди мелкого песка весьма часто встречаются более водопроницаемые жилы гравия и залежи валунов, в которых грунтовая вода дви-

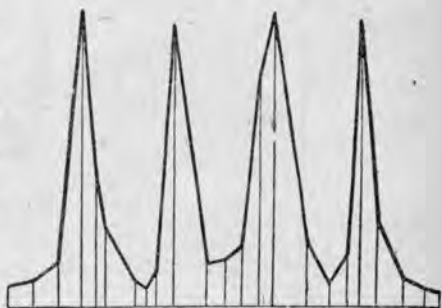


Рис. 107. Действительный ход опыта с соляным раствором при четырех пиках.

жется гораздо быстрее средней скорости. Такие подземные ходы и жилы с большой водопроницаемостью вместе с явлениями интерференции являются тем камнем преткновения, о который разбиваются опыты с поваренной солью.

γ) Определение скорости движения грунтовой воды способом Слихтера.

Способ Слихтера представляет собой усовершенствованный солевой способ Тима. Слихтер вместо поваренной соли применяет при измерениях скорости хлораммоний, который он вводит в буровой колодез. Местом для наблюдения служит второй буровой колодез, заложенный в потоке грунтовой воды ниже первого колодеза. Оба буровых колодеза  $B_1$  и  $B_2$  соединены между собой электрическим проводом и приведены в электролитическую связь. В верхнем колодезе  $B_1$  провода соединены с железным остовом колодеза посредством латунной проволоки, в нижнем же колодезе  $B_2$  провода изолированы каучуком. Провод колодеза  $B_2$ , к которому прикреплен амперметр, ведет к одному полюсу гальванической батареи, в то время как другой полюс связан с колодезом  $B_1$  и внутренним электродом колодеза  $B_2$  (рис. 108).

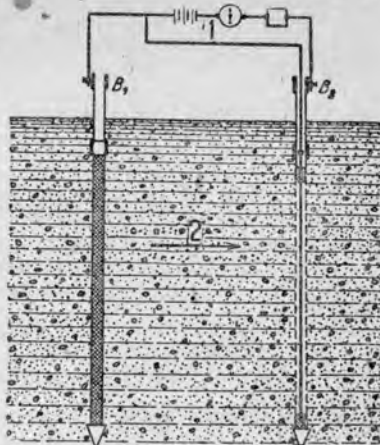


Рис. 108. Схема расположения аппаратуры для измерения скорости движения подземных вод (по Слихтеру).  
1 — амперметр; 2 — естественное направление течения грунтовой воды.

По отклонению амперметра можно точно установить, когда ставшая под действием раствора хлораммония более электропроводной вода приближается к колодезу  $B_2$  и когда через этот колодез проходит максимум концентрации.

Этот способ имеет то преимущество, что по отклонению стрелки амперметра можно легко наблюдать за продвижением раствора соли.

На рисунке 109 графически изображены колебания амперметра, которые наблюдались при изысканиях, производившихся в долине реки С.-Габриеля.

Сплошная линия изображает силу электролитического тока между колодезами  $B_1$  и  $B_2$ ; пунктиром обозначена сила тока между электродом  $B_2$  и трубой колодеза  $B_2$ . Точка  $M$  перегиба кривой, непунктирной линией

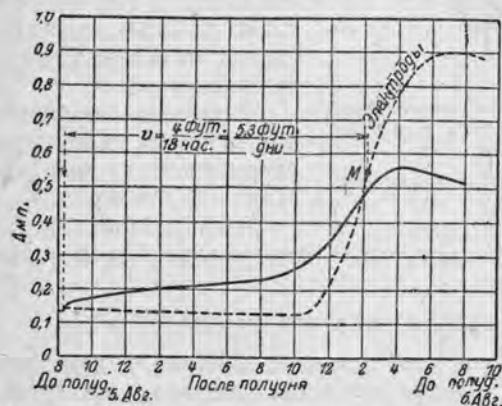


Рис. 109. Кривая, полученная при измерении скорости движения подземной воды в речной долине С.-Габриеля (Калифорния) (по Слихтеру).

и трубой колодеза  $B_2$ . Точка  $M$  перегиба кривой, непунктирной линией

соответствует прохождению максимума концентрации хлораммония через колодец  $B_2$ .

При помощи своего способа Сликтер определил во многих местах скорости грунтовой воды, некоторые из его определений помещены в таблице.

#### h) Фактически измеренные естественные скорости грунтовой воды

Местность	Скорость (в метрах) в сутки	Примечание
Готенбург . . . . .	0,5	
Мангейм . . . . .	1,2—1,6	
Фюрт в Баварии . . . . .	1,5	
Наунгоф у Лейпцига . . . . .	2,5	
Долина Рейна у Страсбурга . . . . .	3,0—7,8	
Киль . . . . .	4,7	
Карани в Чехо-Словакии . . . . .	9,3	Получено при помощи воды грунтовой воды
Бруклин . . . . .	0,33	
Эст-Медов . . . . .	0,80	
Меррик . . . . .	0,95	По Сликтеру
Река Могэв-Ривера . . . . .	2,9—15,9	
В песчаных днах Гаарлема . . . . .	4,0—5,5	М в год (по Пеннинку)

Очень интересны с гидрогеологической точки зрения изображенные на рисунке 110 измеренные в одном поперечном разрезе скорости грунтовой воды. Из этого рисунка видно, что большие скорости лежат в центре водоносного пласта, а меньшие скорости — по краям его.

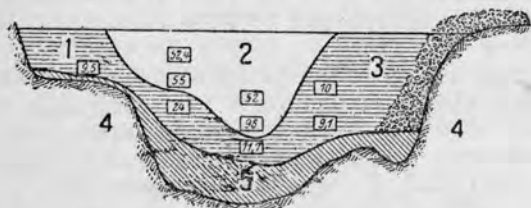


Рис. 110. Разрез долины Могэв-Ривер с измеренными скоростями грунтовой воды (52 фута в день) (по Сликтеру).

1 — средняя скорость; 2 — большая скорость; 3 — скорость;  
4 — грани; 5 — гранит

Это можно объяснить только тем, что середина водоносного пласта соответственно условиям движения текущей воды, отложившей наносы, состоит из более крупных частиц и более водонепроницаемых.

Развитию применения способа Сликтера способствовал впоследствии Динер.

В общем способ Сликтера страдает теми же недостатками, что и «способ поваренной соли» Тима.

#### и) Другие способы измерения скорости грунтовой воды

Рядом с поваренной солью и хлораммонием пробовали измерять скорость грунтовой воды при помощи красящих веществ, бактерий, пивных дрожжей и т. п.

Все эти вспомогательные средства имеют только второстепенное практическое значение по тем же причинам, что и способ поваренной соли.

Об измерениях скоростей движения воды в трещиноватых горных породах при помощи красящих веществ будет попутно сообщено в отделе «Подземные водотоки».

### к) Изменяемость естественных скоростей грунтовых вод

Вместе с высотой напора меняется и скорость грунтовой воды. По наблюдениям А. Тима в Наунгофе, около Лейпцига, например скорость грунтовой воды колебалась в течение полугода в 1,2 раза. По наблюдениям автора нередко изменение скоростей достигает 15—20%.

Скорость грунтовой воды меняется не только в зависимости от времени. Она меняется также и в пределах одного поперечного разреза в зависимости от места вследствие изменения в напластованиях и водопроницаемости водоносных пластов. Это ясно вытекает из произведенных Сликтером (рис. 110) измерений.

Если имеем толщу, состоящую из пластов различной водопроницаемости, то иногда в потоках грунтовой воды, переходящих в поверхностную воду, самая большая скорость замечается в верхних пластах. Ложе реки действует тогда наподобие искусственного горизонтального каптажа, который питается преимущественно из верхней части водопроницаемого пласта  $S_1$  (рис. 111), если только нижняя его часть  $S_2$  состоит из материала, столь же водопроницаемого.

Что на движение грунтовых вод главным образом оказывают влияние верхние водопроницаемые пласты, вытекает между прочим из бросающегося в глаза уменьшения количества извести в верхних пластах долины реки Шпрее, около Берлина, что аналитически доказал Пифке.

По данным Пифке вследствие выщелачивания (при одногр-менном действии углекислоты) верхние пласты почти совершенно утратили здесь известь, в то время как нижние пласты содержат известь в 15 раз больше верхних. Этот процесс уменьшения количества извести в верхних только пластах может быть объяснен исключительно повышенной скоростью движения воды в последних. Движение грунтовой воды уменьшается с увеличением глубины, но не падает до нуля, так как и на глубине должно происходить движение воды, как это более подробно будет освещено ниже.

Если естественная скорость воды будет повышена искусственным забором ее, то к питанию искусственных каптажных сооружений для забора воды будут привлечены и более глубокие пласты, и скорость движения грунтовой воды на глубине должна увеличиться пропорционально забору воды.

Если наоборот мелкопесчаная порода лежит на сильно водопроницаемом большого протяжения пласте  $S_2$  (рис. 111), который прорезается руслом реки в точке  $F$ , то необходимое условие для образования больших скоростей воды в верхних пластах отпадает. Это объясняется тем, что по принципу наименьшей работы грунтовая вода прокладывает себе путь через пласт гравия, представляющий движению воды меньшее сопротивление. В таком случае течение в верхних пластах будет меньше, и пласт гравия действует как сеть дренирующих каналов. На границе между мелким песком и гравием частицы воды про-

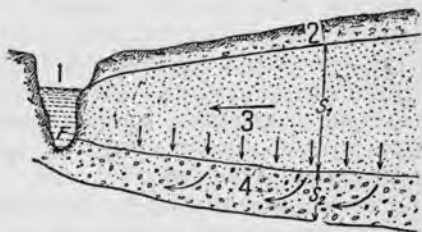


Рис. 111.

1 — река; 2 — естественный уровень грунтовой во. в; 3 — малый переок; — 4 гравий.

ходят из песка в гравий, и для них связанная с переходом в гравий работа легче работы, потребной для прохождения более короткого пути.

Из этого также видно, насколько могут быть сложны пути естественного движения воды в водоносном слое и что результаты определения скорости грунтовой воды на определенной глубине во многих случаях не пригодны для применения их на практике.

## **VI<sub>2</sub>. НЕПОСРЕДСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ГРУНТОВЫХ ВОД**

### **1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ГРУНТОВЫХ ВОД ПУТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ДЕБИТА ИСТОЧНИКОВ**

Главнейшим вопросом при измерении естественного дебита источника является определение колебаний дебита и именно колебаний наименьшего дебита. Для определения этих величин часто требуются многолетние измерения, которые наносятся на график и лучше всего вместе с результатами наблюдений над количеством выпадающих осадков, влажностью воздуха, температурой и т. д.

Для измерения источников служат сосуды, водосливы и прочие измерительные приборы, приведенные в подотделе IV. В остальном измерения источников и, относящиеся к ним наблюдения должны производиться, исходя из тех же положений, которые действительны для опытных колодцев.

При определении количества стекающей воды необходимо убедиться, представляет ли количество воды, вытекающее из источника, весь дебит водоносного пласта или часть его. Если налицо имеется последний случай, то обычно бывает необходимо увеличить количество каптируемой воды путем соответствующих гидротехнических мероприятий и таким образом при известных обстоятельствах получить значительно больше воды, чем в случае естественного выхода источника.

Выяснить возможность увеличения дебита можно искусственными мероприятиями на самом источнике; при этом рекомендуется соблюдать осторожность во избежание нежелательных нарушений, наносящих ущерб питанию источника.

Вторая часть настоящей книги дает точные сведения о дебитах источников.

### **2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ГРУНТОВЫХ ВОД С ПОМОЩЬЮ ОПЫТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОЛОДЦЕВ**

Для определения дебита грунтовых вод с помощью опытной эксплуатации колодцев необходимо поток грунтовых вод частично или целиком извлечь на поверхность земли и измерить количество извлеченной таким образом воды.

Если извлеченное количество воды слишком велико, то для данной цели можно ограничиться только частью этой воды. Если соответствующая извлеченному количеству ширина полосы водоносного пласта; подвергающегося отбору воды, определена, то можно вычислить, какова должна быть ширина потока грунтовых вод, чтобы дать полное необходимое количество воды.

Однако подобный способ вычисления допустим лишь тогда, когда водоносный пласт на протяжении всего поперечного сечения потока грунтовых вод обладает приблизительно одинаковой мощностью и водопроницаемостью, так как лишь в таком случае мы имеем право обобщить действие и результаты опыта, произведенного в узких границах.

Если например поток грунтовых вод, полный разрез которого изображен на рисунке 112, дает при ширине колодца  $b$  продолжительно количество воды  $q_1$ , а необходимое количество составляет  $Q=5q_1$ , то находящаяся в распоряжении ширина потока грунтовых вод должна быть по меньшей мере  $5b=B$ .

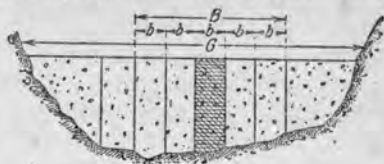


Рис. 112. Схематическое изображение соотношения между шириной потока грунтовой воды  $G$  и шириной района питания колодца ( $b$ ).

Для обнаружения и добычи воды применяются почти исключительно вертикальные колодцы и лишь в редких случаях — каптажи с горизонтальной осью.

### а) Действие колодцев

Для общих наблюдений над действием вертикального колодца безразлично, имеет ли вода свободное или напорное естественное зеркало.

В тех случаях, когда напорное зеркало лежит под поверхностью земли, наблюдатель, исследуя существующие уже колодцы, часто приходит в сомнение, имеет ли он перед собой свободное или напорное зеркало. Уверенность в том, что имеется налицо свободное или напорное состояние зеркала, при известных обстоятельствах может дать кривая дебита колодца. Если и этот дебит может быть изображен прямой, то налицо имеется напорная вода. Если же линия дебита искривлена, то ничего определенного из этого заключить нельзя.

### б) Действие колодцев в горизонтальном направлении

Для более легкого уяснения действия эксплуатируемого колодца рассматриваем его работу в наиболее простых гидрогеологических условиях.

Наиболее простыми будут условия в том случае, когда бассейн грунтовых вод представлен водоносным пластом со свободным горизонтальным зеркалом воды. В таком случае естественная скорость грунтовой воды равняется нулю.

Если в такой бассейн опускается колодец и из него забирается вода, то уровень воды в нем понижается и таким образом между уровнем воды в колодце и зеркалом окружающего бассейна грунтовой воды образуется падение. Где имеется падение, должно быть и движение, и находящиеся по соседству с колодцем частицы воды должны будут вследствие нарушения равновесия двигаться по направлению к колодцу. Это движение постепенно распространяется на частицы воды, лежащие дальше от колодца, таким образом, как распространяются в первоначальном спокойном зеркале воды круговые волны от брошенного в воду предмета.

Если представить себе круглый бассейн грунтовых вод с горизонтальной постелью и водоносный пласт равномерно водопроницаемым, то в конце концов все частицы бассейна окажутся в движении. Отдельные пути частиц воды расположены радиально вокруг центра колодца. Все частицы воды должны свой путь закончить в колодце. Скорость, с которой они двигаются, возрастает по мере приближения к колодцу и достигает наивысшей величины при выходе в колодец. Если постоянно вводить в бассейн вдоль его края столько же воды, сколько забиралось из колодца, то по истечении известного времени в бассейне установится состояние равновесия. Первоначально горизонтальная поверхность зеркала воды становится искривленной, представляющей собой форму воронки. Наиболее глубокая точка воронки находится у края колодца. Если через ось колодца провести вертикальные плоскости, то при пересечении

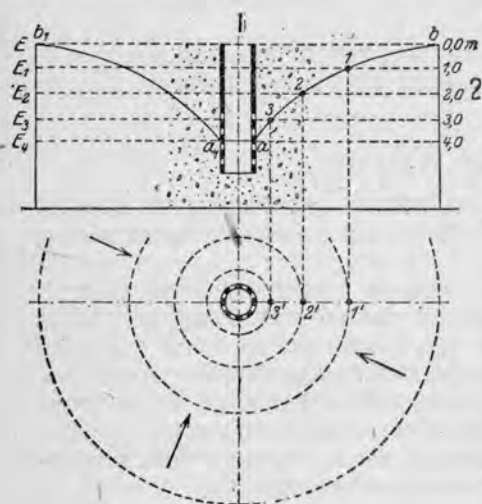


Рис. 113. Схема режима колодца в бассейне грунтовой воды при отсутствии падения пласта.  
1 — колодец; 2 — понижение.

этих плоскостей с зеркалом воды мы получим кривые, называемые «кривыми депрессии». Лишенное воды воронкообразное пространство называется «воронкой депрессии». Нижняя поверхность воронки депрессии является одновременно верхней границей поверхности тела грунтовой вод. Ее можно рассматривать так же как поверхность вращения, в которой образующей является кривая депрессии, а осью — ось колодца.

Если провести через бассейн равно отстоящие друг от друга горизонтальные плоскости  $E_1$ ,  $E_2$  и т. д., то линия пересечения этих плоскостей с зеркалом воды даст concentric circles с изменяющимися радиусами, общим центром которых будет ось колодца. Рисунки 113 освещает вышесказанное.

Притекающее к колодцу количество воды должно постепенно пройти через цилиндрические поверхности водопроницаемой породы, которые по мере приближения к колодцу становятся все меньше и меньше, подобно тому, как боковые поверхности цилиндров под точками  $b$ , 1, 2, 3 и  $a$ .

Исходя из этого, можно сделать заключение приблизительно по форме кривой депрессии. Так как водопроницаемость пород всюду одинакова, то с уменьшением фильтрующей поверхности при остающейся одинаковой массе воды скорость должна увеличиться, и по направлению к колодцу должна последовательно возрастать потеря напора. Вследствие этого кривая депрессии по мере приближения к колодцу должна падать все круче и круче; наоборот, с удалением от колодца уменьшение падения кривой кончается вместе с слиянием с первоначальной горизонтальной линией грунтовой воды теснотически

в бесконечном расстоянии от колодца. Однако в действительности таких простых соотношений между колодцами и водоносными пластами не существует, и если бы они даже и были, то практически они не имели бы никакого значения, так как из стоячих бассейнов воды с горизонтальным зеркалом длительный отбор воды невозможен<sup>1</sup>.

Так как постоянный дебит колодца обуславливает движение грунтовых вод, а следовательно и падение, то мы ближе подойдем к действительности, если предположим, что постель водоносного пласта с грунтовой водой имеет уклон. Тогда бассейн представит собой канал с грунтовой водой, с наклонной постелью, и вместо спокойного состояния наступит естественное движение.

Если далее предположим, что на всем протяжении канала  $S$  с грунтовой водой наклон постели и водопроницаемость не изменяются, что расстояние боковых стенок и длина канала бесконечны и что количество воды в канале не увеличивается ее притоком и не уменьшается ее отбором, то в каждой точке канала скорость должна быть одинакова. Направления, по которым движутся отдельные струи воды, должны быть взаимно параллельны. В таком случае горизонтали зеркала грунтовых вод будут представлены параллельными, находящимися на одинаковом друг от друга расстоянии линиями, расположенными нормально к направлению движения. Зеркало воды представляет собою плоскость, простирающуюся параллельно постели. В подобном канале с падением должно наступить движение, и мы имеем тогда дело с естественным потоком грунтовых вод. Независимо от уклона постели и зеркала воды этот поток грунтовой воды отличается от бесконечно вытянутого бассейна со спокойной грунтовой водой тем, что каждая частица воды движется с естественной скоростью потока грунтовых вод. Придав постели бассейна точно так же некоторый наклон, благодаря чему можно себе представить, что каждая частица воды получила соответствующую естественную скорость, мы получим, хотя и не вполне правильную, картину работы колодца в потоке грунтовых вод.

Если через ось колодца провести два расположенных под прямым углом разреза (рис. 114 и 115) так, чтобы один лежал в направлении

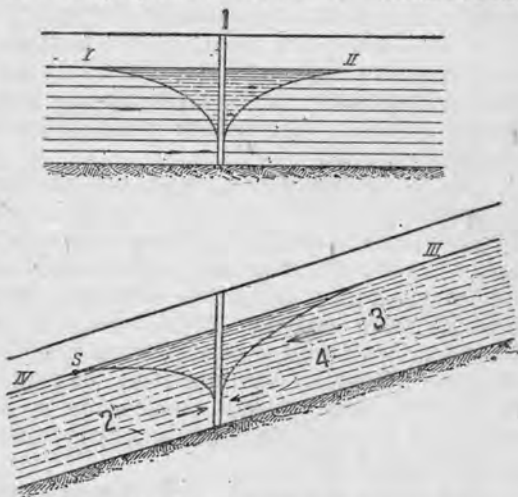


Рис. 114 и 115. Поперечный и продольный разрезы потоков грунтовой воды.

1 — колодец; 2 — направление искусственно вызванного течения; 3 — направление искусственного течения грунтовых вод; 4 — направление искусственно вызванного течения

<sup>1</sup> Правильнее сказать — возможен лишь постольку, поскольку бассейн обеспечен питанием сверху инфильтрацией атмосферных осадков. **Примечание редактора.**

течения потока, другой же перпендикулярно к нему, то получатся четыре ветви. Две ветви поперечного разреза между собой симметричны, ветви же продольного разреза, наоборот, различны.

В поперечном разрезе естественное направление потока перпендикулярно к вызванному искусственному, вследствие чего соотношения движения в плоскости поперечного разреза остаются неизменными, как будто налицо имеется естественное направление. Следовательно в поперечном разрезе потока грунтовых вод кривые депрессии расположены так же, как и в бассейне грунтовых вод. При гидрологических наблюдениях благодаря симметрии достаточно определения одной поперечной ветви.

В продольном разрезе естественно и искусственно полученные направления движения, напротив, совпадают, и равнодействующая сила равняется алгебраической сумме обеих скоростей.

В верхней ветви продольного разреза естественная и искусственная скорости однозначны, и поэтому их действие суммируется. При этих обстоятельствах верхняя кривая депрессии на всем своем протяжении должна подниматься и асимптотически приблизиться к естественному зеркалу.

В нижней ветви, напротив, обе скорости направлены в противоположные стороны, и равнодействующая должна равняться разности их. Следовательно нижняя кривая депрессии должна также подняться там, где искусственная скорость больше естественной и, напротив, там, где соотношение скоростей обратное, должна падать в направлении естественного падения грунтовых вод. В переходной точке между подъемом и падением естественная скорость должна равняться искусственной. Поэтому частица воды, находящаяся в переходной точке  $S$ , находится в положении равновесия и лежит на водоразделе между областью питания колодца и движущимся далее вниз потоком грунтовых вод.

Эта точка  $S$  нижней кривой депрессии называется «нижней водораздельной точкой», или к у л ь м и н а ц и е й. Вся вода грунтового потока, лежащая вниз от водораздела, не имеет доступа в колодец. Она лежит вне сферы его влияния и может считаться для него потерянной. Однако по существу дела присущие водоразделу  $S$  свойства могут ограничиваться не только этим одним пунктом.

Вообразим себе (на рис. 116) поток грунтовых вод шириной  $B$  и с дебитом  $Q$ , разделенный на 33 отдельных водяных потока равной ширины, текущих параллельно друг к другу в направлении  $MN$ .

Если из потока грунтовых вод помощью колодца  $b$  забирается количество воды, равное  $\frac{1}{3} Q$ , то 11 водяных потоков выпадают из общей системы, вследствие чего должны развиваться пути потоков, изображенные на рисунке 116. Все водяные потоки за исключением 17, проходящего через ось колодца, и обоих внешних, 1 и 33, более или менее уклоняются от своего естественного направления. По мере удаления от оси  $MN$  величина отклонения постоянно увеличивается, достигая наибольшей величины в потоках 12 и 22. Из рисунка 116 видно, что потоки 12 и 22 перед входом в колодец текут в направлении, обратном направлению течения грунтовой воды. Потоки 11 и 24 подвергаются лишь незначительному сужению в своем естественном направлении.

Их движение постоянно направлено вниз по общему потоку грунтовых вод, и потому поток 33 течет в своем первоначальном направлении беспрепятственно дальше. Потоки 12 и 22 замыкают собой группу закапчивающих свой путь в колодеце и питают таким образом последний, в то время как остальные потоки лишь более или менее сильно уклоняются от своего естественного пути, протекая мимо колодеца. Между потоками, входящими в колодец, и теми, которые протекают мимо него, должна лежать линия нейтральная как по отношению к эксплуатируемому колодецу, так и к потокам, протекающим мимо, т. е. к проходящему мимо потоку грунтовых вод. Эту линию мы называем «нейтральным» водным путем.

Все частицы воды, которые описывают и составляют этот путь, должны согласно вышеприведенным соображениям пройти через водораздел  $S$ , и таким образом мы получим в качестве нейтрального пути кривую  $S_1SS_2$ , которая образует водораздел между вступающими в колодец водяными потоками или отходящим общим потоком грунтовых вод.

Если мы представим себе линию  $S_1S_aS_2$  как директрису вертикальной образующей, достигающей до водопроницаемой постели, то благодаря этому будет ограничено тело грунтовых вод, представляющее район питания колодеца. Ширина этого района питания колодеца согласно вышеприведенному примеру равна  $E = \frac{1}{3}B$ . Вся вода, находящаяся между кривой  $S_1SS_2$  течет в колодец, вся текущая вне ее вода в колодец не попадает.

Водяные потоки, лежащие между нейтральным водным путем и неподверженными влиянию колодеца потоками 1 и 33, хотя более или менее отклонены от первоначального положения, однако лежат вне района питания колодеца и протекают мимо него вниз по течению общего потока. Ширина потоков  $W_1W_2$  представляет собой поэтому район, на который колодец влияет, отклоняя лишь направление путей, но не забирая от него воды для питания. Ширину потока  $W + E + W_2$  мы называем районом сферы влияния колодеца, который не нужно смешивать с районом питания последнего. В полосах  $W_1$  и  $W_2$ , находящихся

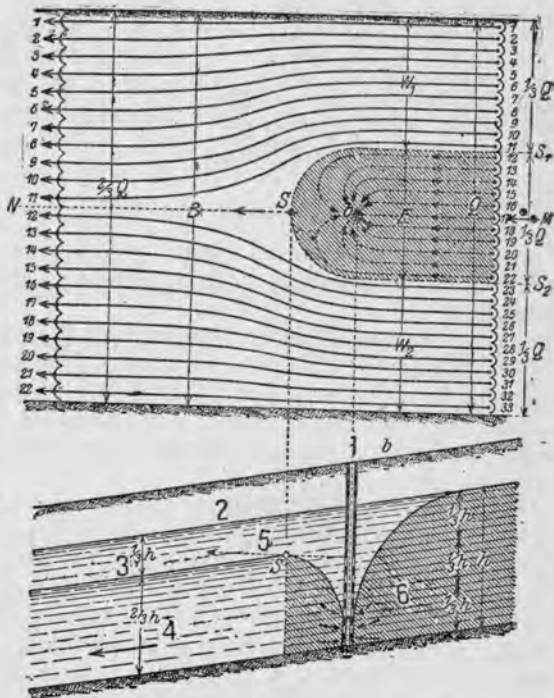


Рис. 116. Схема режима колодеца в потоке грунтовой воды.

1 — колодец; 2 — естественный уровень грунтовых вод; 3 — пониженное зеркало грунтовых вод; 4 — проходящий поток грунтовых вод; 5 — горизонталь; 6 — район питания колодеца

в сфере влияния колодца, однако заметно влияние последнего на положение зеркала, питание же его ими исключается.

Отклонение пути частиц воды, текущих к эксплуатируемому колодцу, лучше всего определяется при помощи теории потенциала скорости.

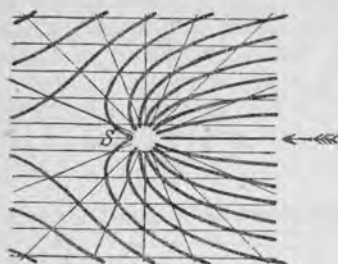


Рис. 117. Графическое изображение водных струй в районе действия колодца (по Баудису).

Пути эти проходят подобно направлению действия силы в объединенном магнитном поле. Баудис (Baudisch) пробовал решить вопрос отклонения также графическим путем (рис. 117). Этот способ более просто ведет к цели. Он состоит в графическом сложении параллельного движения жидкостей между двумя плоскостями с радиальным движением к точке падения  $S$ .

### е) Район питания и район сферы влияния колодца

Из вышесказанного видно, что при эксплуатации колодцев нужно точно различать район питания колодца и район сферы его влияния.

Вся текущая в районе питания колодца вода поступает в последний.

Напротив вода, находящаяся в районе сферы влияния, но вне района питания колодца, доступна в колодец не имеет и подвергается лишь отклонению от своего естественного пути, вызываемому искусственно частью водного потока, текущего по направлению к колодцу.

Этот вывод чрезвычайно важен при съемках и доказательствах с точки зрения водного права, когда речь идет о явлениях, происходящих вследствие дренажного действия сооружений.

Если внутри границ района питания колодца имеет место искусственное изменение естественного зеркала грунтовых вод, то это может также отразиться и на расходе воды. Если же искусственное воздействие распространяется только на район сферы влияния колодца, то мы имеем дело лишь с изменением положения естественных путей движения воды или формы зеркала.

Разница между районом питания колодца и районом сферы его влияния тем больше, чем больше естественная скорость движения грунтовой воды. Если эта скорость равна нулю, то граница района питания колодца и сферы влияния колодца совпадают.

Теоретически влияние понижения уровня на естественное зеркало распространяется до бесконечности. На практике же можно принять с достаточной для преследуемых целей точностью, что граница влияния подобно кривой подпора лежит в известных пределах и в зависимости от количества отбираемой воды, вернее понижения уровня, приближается или отдаляется от колодца. Граница влияния колодца может быть принята там, где естественные колебания зеркала воды больше, чем колебания зеркала, вызываемые эксплуатацией колодца.

Согласно опытам автора для колодца в крупнозернистых водопроницаемых пластах при отборе воды приблизительно в 200—250 л/сек, и при депрессии от 6—7 м расстояние, на котором суточные

колебания зеркала грунтовых вод совершенно сглаживаются под влиянием эксплуатации, редко превышает 1,0—1,5 км.

Нижепомещенная таблица дает некоторые, тесно связанные между собой величины количеств извлекаемой воды, депрессии и ширины района питания опытных колодцев.

Опытный колодец	Формация	Количество выятия воды л/сек	Депрессия (в метрах)	Ширина района питания	Границы сферы влияния	Наблюдатель
Мокау близ Лейпцига . .	Ледниковые отложения	45,0	4,00	1 150	—	А. Глейтсман
Бухарест . . . . .	Аллювий	38,8	3,40	620	—	Н. Куку
Деберн . . . . .	Ледниковые отложения	15,5	3,24	700	1 300	А. Глейтсман
Познань . . . . .	»	39,2	7,40	1 120	—	А. Тим
Зальцведель . . . . .	»	37,0	6,55	600	1 200	Е. Принц

#### д) Нижний водораздел

Сплошной район питания каптажа, состоящего из целого ряда расположенных тесно по соседству колодцев, образуется точно так же, как и при отдельных колодцах. Этот район ограничен нейтральной линией, проходящей через возникшую ниже каптажа водораздельную точку.

Вся вода, находящаяся в районе питания выше водораздела, заканчивает свой путь в каптаже. Водораздел в нижнем течении при других одинаковых обстоятельствах образуется тем дальше вниз по течению, чем шире поперечный разрез потока грунтовых вод, используемого каптажем.

В зависимости от данных свойств используемого потока грунтовых вод его падение и естественная скорость находят себе выражение в положе-

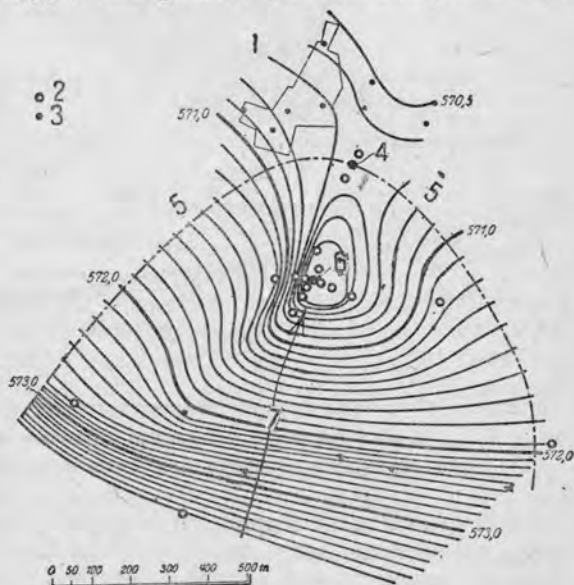


Рис. 118. Определение границы района питания колодца путем построения нормалей к гидроизогипсам водяного зеркала, начиная с нижнего водораздела (по А. Тиму).

1 — Дейзенгофен; 2 — буровые скважины; 3 — колодцы; 4 — водораздел; 5 — граница района питания колодца; 6 — опытный колодец; 7 — естественное направление течения грунтовых вод

нии водораздела. При незначительной несмотря на большое падение скорости водораздел приближается и при особых обстоятельствах подходит так близко к каптажу, что на границе падения он более замаскирован.

Из вышеприведенных соображений вытекает, что из всех гидрогеологических разрезов через воронку депрессии наиболее важен нижний продольный разрез, так как по водоразделу *S*, который с достаточной точностью может быть определен по форме зеркала, можно обнаружить район питания колодца. Для этой цели нужно лишь

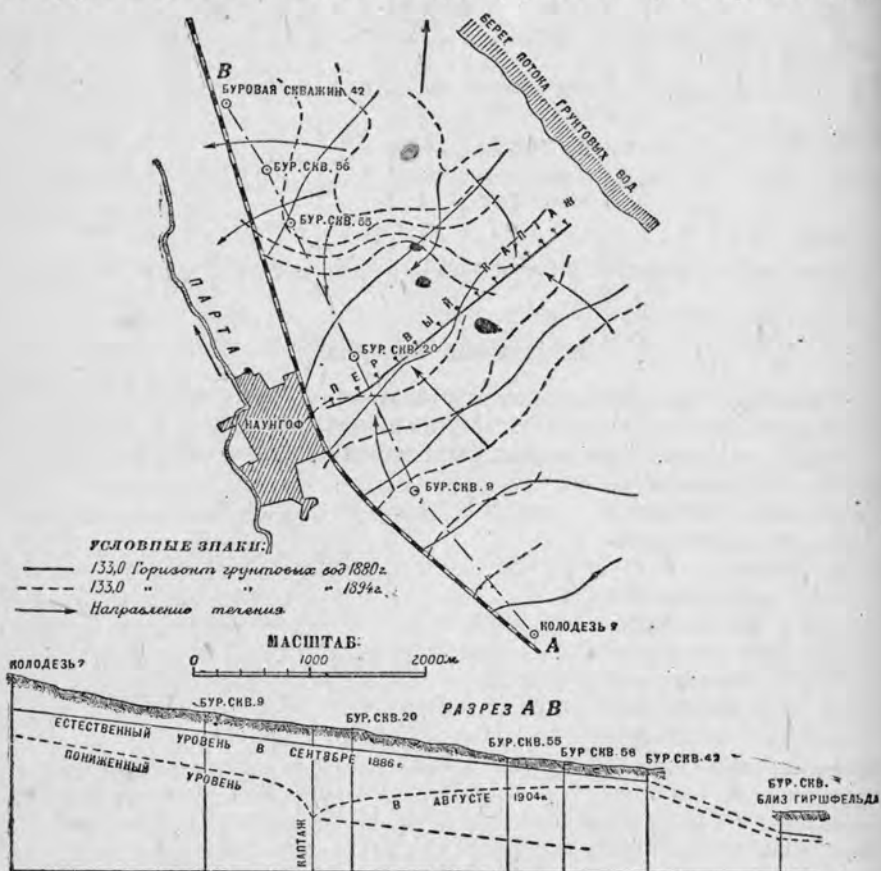


Рис. 119. Образование нижнего водораздела притоком воды со стороны ниже каптажа при водопроводе города Лейпцига в Наунгофе (по А. Тиму).

от точки водораздела *S* провести вверх по течению линию, нормальную к гидроизогинам депрессированного зеркала грунтовых вод. Площадь, очерченная такой кривой, представляет собой район питания колодца. Рисунок 118 изображает согласно А. Тиму район питания опытного колодца в Глейзентале.

Из этого рисунка видно, что линии потоков воды становятся тем ближе к прямой и тем более параллельными к общему направлению потока, чем дальше вверх по течению мы ее прослеживаем.

Возникновение нижнего водораздела может быть вызвано лишь водой, не попавшей в каптаж и текущей вниз в стороне от каптажа или попадающей в главный поток в виде второстепенных потоков ниже каптажа. Нижний водораздел может образоваться благодаря инфильтрации из расположенной по соседству реки, протекающей ниже каптажа.

Наглядную картину подобных боковых течений под каптажем дает рисунок 119, изображающий гидрологическое состояние каптажа в Наунгофе.

Если бы под каптажем не существовало боковых течений, то зеркало стекающего потока грунтовых вод в разрезе  $AB$  должно было бы иметь падение ( $SM_2$ ), направленное вниз по долине. Однако мы видим обратное падение ( $M_1S$ ) к каптажу, что возможно лишь вследствие повышения зеркала ниже каптажа, возникшего вследствие бокового

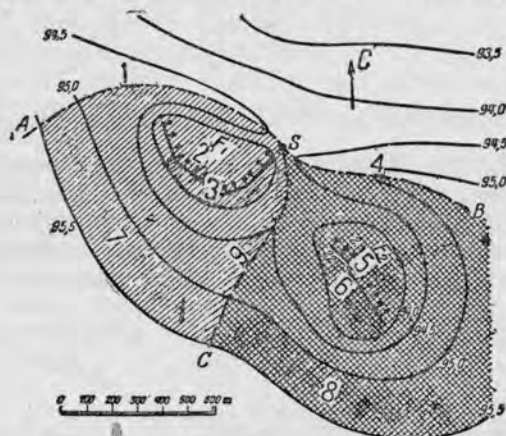


Рис. 120. Образование одного общего водораздела  $S$  для соседних каптажей (по Г. Тиму).

1 — граница района питания первого каптажа; 2 — первый каптаж; 3 — кругчатые колодцы (17 л/сек.)  
4 — граница района питания второго каптажа; 5 — каптаж; 6 — кругчатые колодцы (43 л/сек.); 7 — район питания первого каптажа; 8 — район питания второго каптажа; 9 — граница района питания обоих каптажей

притока воды. В ситуационном плане видны первоначальные гидроизогипсы до эксплуатации водосборного сооружения и таковые же после 14-летней эксплуатации воды. Построенные по гидроизогипсам 1904 г. направления потоков ясно показывают, что происхождение воды, образовавшей нижний водораздел, нужно искать только лишь в боковых притоках.

При расположенных по соседству каптажах, взаимно действующих друг на друга, развивается один общий водораздел  $S$  с одной общей границей питания  $AB$  (рис. 120).

Из обоих каптажей каптаж первый давал длительно 18 л/сек. воды и каптаж второй — 43 л/сек. По положению водораздела  $S$ , находящегося очень близко от каптажа первого, можно заключить, что каптаж второй должен быть более обильным, чем каптаж первый.

Следующая таблица согласно вышеприведенным наблюдениям дает величины, зависящие от расстояния нижнего водораздела, падения грунтовых вод и размеров забора воды.

Опытный колодец	Падение грунтовых вод 1:...	Количество выпариваемой воды л/сек.	Расстояние нижнего водораздела от оси колодца	Наблюдатель
Бухарест . . . . .	1 : 640	38,8	150	Н. Куку
Познань . . . . .	1 : 80	39,2	160	А. Тим
Трир . . . . .	1 : 1 500	34,8	290	Ц. Валь
Гримма . . . . .	1 : 1 000	54,0	500	А. Глейтман
Лукенвальд . . . . .	1 : 285	43,6	700	Е. Принц
Водосбор . . . . .	1 : 700	} 350,0	3 200	А. Тим
Лейпциг-Наунгоф . . . . .	1 : 980			

### е) Действие колодца в вертикальном направлении

Вызванное эксплуатацией колодца изменение зеркала грунтовой воды и связанные с этим гидродинамические изменения в грунтовом потоке действуют не в узких пределах, но распространяются на всю глубину водоносного пласта до самого водонепроницаемого подстилающего слоя. На это следует обратить особое внимание.

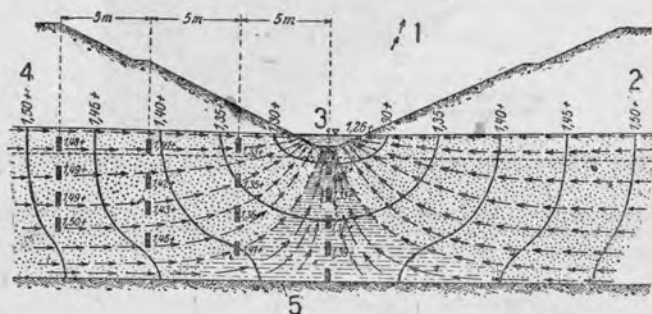


Рис. 121. Линии одинакового напора и линии тока в эксплуатируемом водоносном пласте. 1 — линии токов; 2 — линии одинакового напора; 3 — канал; 4 — линии одинакового напора; 5 — водонепроницаемое ложе

В границах района питания колодца грунтовая вода вблизи колодца движется более или менее в направлении вверх по отношению к шахте колодца.

Во время эксплуатации колодца под ним не существует водоносного пласта со стоячей водой.

На тот факт, что под дном колодца не существует стоячих вод в пластах, впервые обратил внимание А. Тим, который доказал правильность этого мнения лабораторными опытами и измерением гидравлических напоров в водоносном пласте.

Новейшие опыты, произведенные Пеннинком между прочим над каналами, питающимися подземной водой, подтвердили с абсолютной точностью данные Тима. Для своих опытов Пеннинк применил вакуум-

пьезометр, при помощи которого напоры грунтовой воды под дном канала могли быть точно установлены. На основании этих данных и составлен рисунок 121. Цифры, лежащие направо от наблюдательного пункта, дают напоры в миллиметрах, отнесенные к нейтральной оси. Течение воды направлено по нормальям к линиям одинакового напора, а именно из глубины к поверхности земли.

### г) Значение вертикального действия каптажа для естественного режима подземных вод

Тот факт, что дренажное действие колодца (или гидравлически равноценного каптажа) образует не только искусственные горизонтальные, но и вертикальные токи подземных вод, имеет большое значение в режиме и балансе водоносного пласта.

Каждый источник и каждый поверхностный водоток, который питается грунтовой водой, является не чем иным, как естественным дренажем или каптажем и согласно с вышеприведенными объяснениями действует дренажно также и на более глубокие части водоносного слоя.

Если бы этого не было, то грунтовая вода, находящаяся в глубине, должна была бы оставаться в неподвижном состоянии и с течением времени потерять свои хорошие качества. Но по законам природы она вынуждена естественным путем принять участие в общем круговороте. В недрах земли в общем не существует стоячей воды, и все подземные воды, хотя и медленно, но движутся к поверхности и постоянно пополняются просачивающейся сверху водой.

### г) Закон Тима

Действие вертикального колодца, эксплуатируемого при вышеописанных условиях, может быть выражено законом Тима:

«Если в кривой депрессии части продольного разреза, проведенного через ось колодца и лежащего вниз по течению, имеется нижний водораздел, то в этом случае существует проходящая через этот водораздел нейтральная пограничная площадь. Тогда находящаяся в этих границах вода неизбежно заканчивает свой путь в колодце независимо от того, лежит ли она высоко или глубоко».

Если проследить границы вверх по течению до не подвергающейся влиянию колодца области грунтового потока, то они вместе с зеркалом и с основанием водоносного пласта очерчивают тело грунтовых вод, почти прямоугольный поперечный разрез которых включает всю текущую в колодец воду. Этот поперечный разрез отделяет часть грунтового потока, из которого колодец забирает свою воду, и относится к поперечному сечению всего потока грунтовых вод, как дебит колодца к дебиту потока.

Упомянутый в законе Тима водораздел должен возникнуть в каждом случае, если расход колодца превышает то количество воды, которое в естественном состоянии двигалось через место колодца на ширине потока, равной диаметру колодца. Такой водораздел не возникает только в том случае, если забор воды будет меньше указанного.

В случае отсутствия нижнего водораздела кривая депрессии в лещае вниз по течению участка продольного разреза имеет падение лишь в естественном направлении течения потока, и не только вся вода, находящаяся под колодез, может не попасть в каптаж, но и вода, уже проникшая в колодез, может снова утечь в грунт.

### h) Режим нескольких вертикальных колодцев

Если в сплошном потоке грунтовых вод заложено друг подле друга несколько одновременно эксплуатируемых колодцев, то их режим и дебит зависят от взаимного расстояния колодцев и от расположения по отношению к направлению потока.

Если линия колодцев лежит под прямым углом к направлению течения грунтовых вод, то взаимное расстояние двух соседних колодцев нужно выбирать таким образом, чтобы оно равнялось полусумме рай-

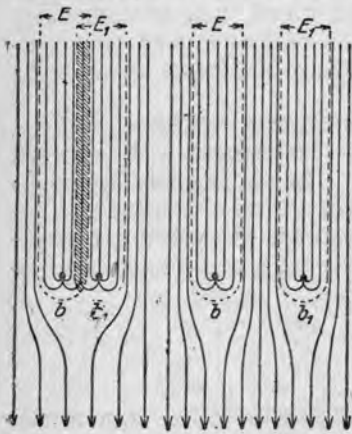


Рис. 122. Два смежных колодца, взаимно отбирающие друг у друга воду (слева), и два таких же колодца, между которыми протекает некаптивированная вода (справа).

онов питания колодцев, т. е.  $\frac{E}{2} + \frac{E_1}{2}$ ,

если  $E$  и  $E_1$  (рис. 122) представляют собой ширины районов питания колодцев. Если это расстояние меньше, то район питания одного колодца перекрывает часть района питания другого колодца, и один колодец заимствует часть воду другого. Если это расстояние больше, то между обоими колодцами находится свободная от влияния колодцев вода, вследствие чего для колодцев теряется часть потока грунтовых вод.

Насколько важно правильное определение ширины района питания при суждении о количестве грунтовой воды, видно например из следующих наблюдений. Если представить себе поток грунтовых вод шириной  $B$  и заложить в нем колодез, который при ширине

района питания в  $\frac{B}{10}$  дает 5 л/сек. воды, то общее количество воды,

которое может быть добыто из потока грунтовых вод, равняется  $10 \times 5 = 50$  л/сек. Если представить себе второй поток грунтовых вод с одинаковой шириной  $B$  и окажется, что колодез одинаковой конструкции дает 10 л/сек., причем однако ширина района питания последнего равняется  $\frac{B}{3}$ , то общее количество воды, которое может

быть добыто из второго потока грунтовых вод, выразится в  $3 \times 10 = 30$  л/сек.

Следовательно, хотя в первом случае дебит одного колодца составлял лишь половину дебита колодца во втором случае и таким образом первый грунтовой поток кажется как бы беднее водой, чем второй, в действительности же в первом случае можно добыть воды на 20 л/сек. больше, чем во втором.

Из этого следует, что при суждении о водном богатстве грунтового потока дебит одного колодца не является мерилом сам по себе, но лишь в сопоставлении с шириной области питания колодца.

Если взаимное расстояние отдельных колодцев столь велико, что между ними может еще протекать свободная от влияния колодца вода, то для отдельных колодцев образуются независящие друг от друга депрессионные воронки.

Если депрессионные воронки перекрывают друг друга, то дебит колодца должен уменьшиться. Если колодцы расположены тесно по соседству, то их суммарный дебит падает почти до дебита отдельного колодца.

Если ряд колодцев полностью пересекает поток грунтовых вод и колодцы таким образом примыкают к границе потока и если ниже каптажа не имеется притока со стороны, то нижний водораздел не может образоваться вследствие отсутствия необходимой для этого воды. Тогда в связи с отсутствием нижнего водораздела, если колодцы не достигают основания водоносного пласта, вода должна протекать под колодцем.

Если, напротив, заложить по линии потока два колодца друг над другом, то на разрезе, проведенном между обоими колодцами через их оси, образуется водораздел, с которого приток воды к верхнему колодцу движется в направлении, противоположном естественному течению воды, к нижнему же — в одном направлении с последним. Поток, питающий нижний колодец, состоит из двух одинаковых полос, разделенных потоком, идущим к верхнему колодцу. Оба потока вследствие этого и дебит обоих колодцев при одновременной их эксплуатации меньше, чем при эксплуатации отдельных колодцев при одинаковых прочих условиях, причем более значительное уменьшение имеет место в нижнем колодце.

Во всяком случае сумма дебитов при одновременной эксплуатации при увеличении расстояния между обоими колодцами увеличивается, но никогда не может при конечном расстоянии достигнуть суммы дебитов, соответствующих отдельным колодцам при их независимой одновременной эксплуатации <sup>1</sup>.

Взаимное влияние, которое оказывают друг на друга соседние колодцы, может быть объяснено тем, что при одновременной эксплуатации от каждого колодца отвлекается часть воды, которая служит для образования нижнего водораздела, а также для создания общей депрессионной поверхности.

### 1) Режим горизонтальных водосборов

Горизонтальными водосборными сооружениями являются каменные дренажи, штольни и водосборные галлерей.

Подобные сооружения можно рассматривать как ряд расположенных тесно по соседству колодцев с ограниченным развитием в вертикальном направлении.

---

<sup>1</sup> Это положение не для всех случаев правильно, практически при большом расстоянии колодцы не взаимодействуют, в особенности, если мы имеем достаточно мощный поток грунтовых вод, а не стоячий бассейн. **Примечание редактора.**

Горизонтальные водосборные сооружения по концам своим действуют так же, как половины вертикальных колодцев, и создают в водоносном пласте радиальные скорости подобно последним. Напротив, среднее тело каптажа образует лишь перпендикулярно направленное к каптажу скорости, и если ось каптажа нормальна по отношению к естественному направлению потока, то искусственно вызванное движение воды параллельно естественному (рис. 123).

Каптаж забирает всю воду в том случае, если он лежит на водонепроницаемом слое и полностью пересекает поток грунтовых вод, если примыкает при этом к обоим его берегам.

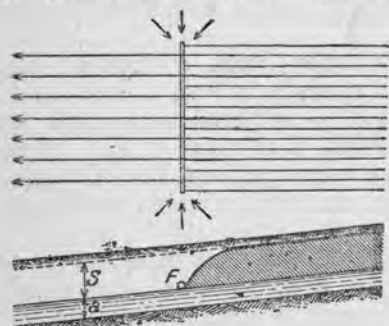


Рис. 123. Схематическое изображение режима горизонтального колодца.

тажа исчезнуть совсем или соединиться и образовать один общий водораздел.

В первом случае часть воды свободно протекает под каптажем, во втором же случае горизонтальное тело каптажа действует точно так же, как и вертикальный колодец при образовании нижнего водораздела.

### к) Сравнение режима вертикальных и горизонтальных водосборов

Если сравнить режим колодца с режимом горизонтального каптажа, то получится следующая разница, имеющая существенное гидрогеологическое значение.

Вертикальный колодец, образующий нижний водораздел, собирает всю воду, текущую во всю ширину его района питания, независимо от того, лежит ли она выше или глубже, и также в том случае, если колодец не достигает до основания водоносного пласта. При этом предполагается, что может образоваться достаточная депрессия.

Горизонтальный водосбор, пересекающий весь поток грунтовых вод так, что нижний водораздел не может развиваться, берет лишь воду, находящуюся над ним.

Горизонтальный водосбор, не примыкающий к берегу и образующий нижний водораздел, действует, наоборот, подобно вертикальному колодцу.

Если нужно взять в каптаж всю воду независимо от того, лежит ли она высоко или глубоко, то для этой цели служат одинаково как вертикальные, так и горизонтальные колодцы, если принять меры для образования нижнего водораздела.

Если же, наоборот, нужно глубоко лежащие водоносные пласты по химическим или другим причинам отвести от каптажа, то это воз-

можно лишь посредством сплошного пересечения потока грунтовых вод таким образом, чтобы нижний водораздел не мог образоваться. Пригодным для этого средством является горизонтальный водосбор с примыканием к берегу.

Отвод водных токов, лежащих над каптажем, технически невозможен.

## VII. НЕКАПТИРОВАННЫЙ ПРОХОДЯЩИЙ ПОТОК ГРУНТОВЫХ ВОД

Вышеописанные соотношения, которыми легко может быть объяснено действие отдельного ряда колодцев, в природе встречаются лишь в нетипичном виде. Нужно однако считаться с тем, что хотя колодцы в своем общем расположении неизменны, все же вода потока грунтовых вод подвержена колебаниям.

Если колодцы во время наименьшего стояния уровня грунтовых вод берут всю воду, то с наступлением наивысшего стояния уровня грунтовых вод некаптированная вода протекает между колодцами и подобными сооружениями. Посредством колодцев взять всю воду потока грунтовых вод почти невозможно, и поэтому под каптажем можно всегда найти проходящий поток грунтовых вод. Количество воды в отводящем потоке грунтовых вод, текущем от нижнего водораздела и под каптажем и одновременно подсыкающем себе путь к соединению с протекающей стороной от района питания колодца грунтовой водой, равняется первоначальному количеству воды в потоке, уменьшенному на количество воды каптированной.

Гидравлические нарушения, создаваемые каптажем в естественном режиме грунтового потока, по мере удаления от места каптажа сглаживаются и тем скорее, чем меньше производительность каптажа по отношению к общему расходу воды в потоке. При этом грунтовая вода, протекающая с боков ниже каптажа, играет также большую роль.

Если приток воды со стороны незначителен, то естественное падение грунтовых вод на известном отдалении под каптажем снова восстанавливается при соответствующем понижении высоты поперечного разреза воды. Если же приток со стороны велик, то ниже каптажа след забора воды быстро совершенно изглаживается.

## VIII. ТЕОРИЯ ДВИЖЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД

Вызванные в подпочве эксплуатацией колодцев искусственные гидравлические состояния и их последствия можно математически проследить при помощи теории движения грунтовых вод. Движение грунтовых вод в рыхлых зернистых породах происходит, как уже выше упоминалось, в пустотах, существующих между отдельными зернами. Эти пустоты в своей последовательности соединяются в неправильно идущие, сильно разветвленные каналы. Поперечные разрезы этих каналов изменяются от места до места, не превосходя однако величины поперечного разреза так называемых волосных трубок.

На этом свойстве большинства водоносных пластов можно при помощи закона капиллярного движения воды построить теорию движения грунтовых вод.

В качестве новейшей литературы, касающейся вопроса движения грунтовых вод, можно между прочим назвать труды Б у д а у (Buday), Ф о р х г е й м е р а (Forchheimer), И м б о (Ymbeaux), К и н г а (King), Л о р е н ц а (Lorenz), Л ю г е р а (Lueger), С л и х т е р а (Slichter), С м р е к е р а (Smrecker), А. Т и м а (A. Thiem), В е р л у н (Versluis), В е й р а у х а (Weugauch).

## 1. ЗАКОН ПОАЗЕЙЛЯ-ДАРСИ-ДЮПИОН

(Закон Дарси)

Исходя из учения Куломба (Coulombs) и опытов Поазейля с трубками очень маленьких диаметров, Дарси, пропуская воду через невымытый фильтровальный песок, нашел, что формула:

$$\frac{Q}{F} = p \cdot v = K \frac{h}{l}$$

достаточно точна.

В этой формуле в соответствии с приведенными на стр. 121 указаниями обозначают:

$Q$  — расход, или количество, воды в единицу времени,

$F$  — полный поперечный разрез водопроницаемого пласта,

$p$  — коэффициент пористости,

$v$  — скорость, отнесенная к свободной площади поперечного сечения, или площади пор,

$K$  — постоянный коэффициент, зависящий только от свойства фильтрующего материала,

$h$  — высота напора, необходимая при прохождении воды через фильтрующий пласт,

$l$  — длина фильтрующего слоя, или длина пути фильтрации.

Этот закон гласит, что скорость пропорциональна первой степени уклона грунтовых вод, но не квадратному корню, как то бывает при открытых водотоках, для которых применима формула:

$$V = \sqrt{2gh}$$

Дюпион вывел тот же закон из биннома для движения воды в каналах, причем второй член уравнения  $h = \alpha u + \beta u^2$  как чрезвычайно малую величину, связанную с квадратом скорости, он исключил.

В целях упрощения закон Поазейля-Дарси-Дюпион называется просто законом Дарси.

Закон Дарси не является всеобъемлющим и неограниченным.

Из многочисленных опытов оказалось, что закон Дарси с большей точностью может быть применен лишь при небольших напорах и небольших скоростях. Эти условия свойственны большинству естественных водоносных пластов, сложенных песчаными и другими мелкопористыми породами, и на этом основании мы вправе применять закон Дарси для большинства естественных потоков подземных вод.

Согласно опытам автора простая пропорциональность закона Дарси действительна в границах напора грунтовых вод приблизительно от 1:100 до 1:3 000.

При более значительных напорах этот закон допускает ошибки, так как тогда количество воды не пропорционально увеличению

падения, и тем более не пропорционально, чем крупнее зерна, составляющие фильтрующий материал.

Тут имеет значение и соотношение отдельных величин зерен в смеси, и отклонение от закона Дарси будет тем больше, чем больше будет крупных зерен в пласте, так как в таком случае величина размера пустот, образованная различными сортами зерен, должна уменьшиться, и вследствие этого сопротивление должно возрасти.

Закон Дарси допускает ошибки также и при равномерных зернах, если падение превышает вышеприведенные границы, и на этом основании например в искусственных фильтрах, которые по общему правилу работают с высоким падением, не применим.

При больших скоростях движения воды закон Дарси также теряет свое значение.

Этот случай наблюдается при искусственной эксплуатации водоносного слоя путем устройства каптажей, когда в стенках тела каптажа после произведенной очистки песка образовались более значительные пустоты, в которых частицы воды могут совершать поперечные движения.

С этими поперечными движениями связана потеря общей энергии, вернее давления. Этим фактом объясняется, что нередко результаты пробных откачек противоречат закону Д а р с и.

Применимость закона Дарси для движения воды в песках с определенной величиной зерен между прочим доказана опытами П и ф к е (Piefke) и К и н г а.

Форхгеймер дал подробный обзор относящихся сюда опытов.

Пифке произвел опыты над различными породами (гравием, крупным песком, среднезернистым, мелким и очень мелким песком), которые представляли собой смесь зерен различной величины, возможно точно соответствующую естественным условиям.

Определенные коэффициенты пористости равнялись (в процентах):

у № I гравия . . . . .	24,9
» » II крупного песка . . . . .	31,4
» » III среднезернистого песка . . . . .	32,3
» » IV мелкого песка . . . . .	33,6
» » V очень мелкого песка . . . . .	34,0

Главные результаты этих опытов представлены наглядно кривыми на рисунке 124.

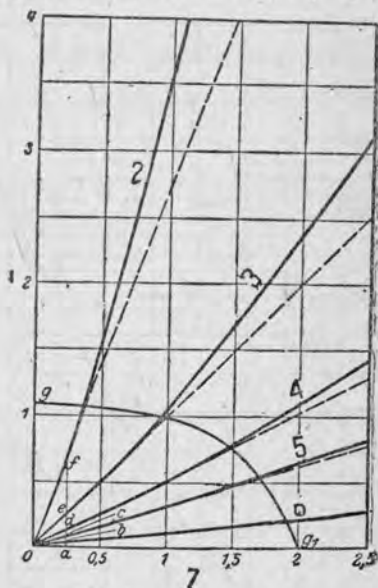


Рис. 124. Кривые давления для песков I—V (по Пифке):

1 — давление, потребное для прохождения одного метра пути, выраженное в метрах водного столба; 2 — № V очень мелкий песок; 3 — № IV мелкий песок; 4 — № III песок из остроугольных зерен; 5 — № II крупный песок; 6 — № I гравий; 7 — скорость 1 м в час

По направлению отдельных линий видно, что сначала все они выходят прямолинейно из начальной точки системы координат.

Потом по изменении скоростей, возрастающих по мере увеличения размера зерен и уменьшения объема пустот, переходят постепенно в выпуклые кривые, направленные к оси скоростей.

Для прямолинейных отрезков действительна пропорциональность между падением напора и скоростью, и таким образом действителен закон Дарси. Дальше падение увеличивается с возрастающей скоростью, и тем скорее и сильнее, чем песок мельче. При очень мелком песке (№ V) пропорциональность исчезает уже при 0,25 м скорости

в час, при гравии (№ I) — только при 2,5 м в час, т. е. при десятикратном увеличении скорости.

Так как водоносные пласты в большинстве случаев состоят из песков с величиной зерен, средней между мелким песком и гравием, и в них средняя скорость грунтовой воды редко превышает 0,25 м в час, что составляет 6 м в день, то из опытов Пифке следует, что закон Дарси отвечает потребностям практики с достаточной точностью. Нельзя однако утверждать, что этот закон не требует поправок и уточнений.

Из обширных и с большой тщательностью произведенных Кингом опытов также видно, что закон Дарси для скорости

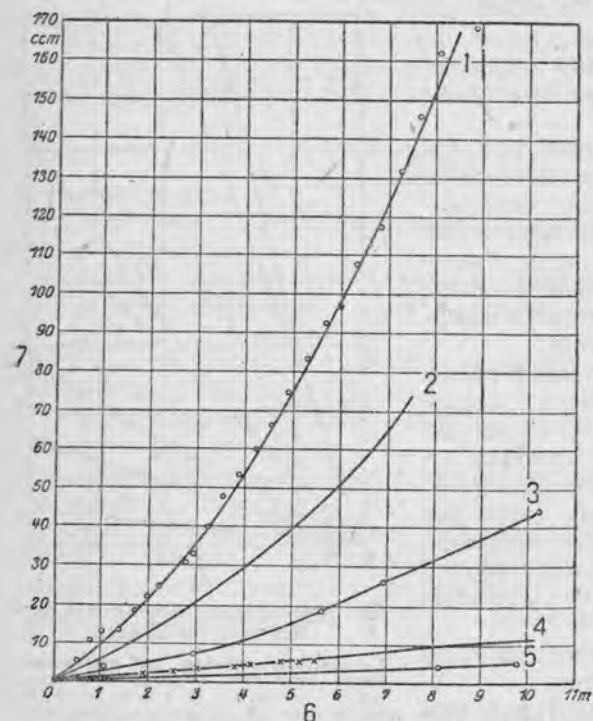


Рис. 125. Кривые водопроницаемости песчанников (по Кингу).

1 — мелкозернистый песок; 2 — мелкозернистый песок; 3 — дунвильский песок; 4 — дунвильский песок; 5 — мелкозернистый песок; 6 — давление воды (в метрах); 7 — в течение одной минуты протекало см<sup>3</sup> при 15°.

воды, встречаемой на практике, может считаться вполне пригодным.

Кинг исследовал не только рыхлые зернистые грунты на их водопроницаемость, но и пористые амерские, мадисонские и дунвильские песчанники. Результаты этих опытов по таблице Людеке изображаются на рисунке 125.

Людеке составил рисунок 126 на основании оригинальных опытов Кинга, из которых видны количества воды, протекающие в одну минуту через квадратный метр поперечного разреза различных песков со средней величиной диаметра зерен от 0,52 до 0,54 мм при падении грунтовых вод от 0 до 0,12.

На основании опытов над мелким песком и песчаными смесями с мелкими породами Кресник вывел для них следующую формулу:

$$v = \delta(ad - 0,01) + \sqrt{\delta \cdot \sqrt{\delta(ad - 0,01)^2 + 1,4 ad}}. \quad (13)$$

Эта формула действительна для температуры воды в  $10^\circ \text{C}$ ; в ней обозначают:

$v$  — скорость в метрах в сутки, отнесенная к полной площади поперечного разреза,

$a$  — падение,

$d$  — действующий диаметр зерна в миллиметрах,

$\delta$  —  $40 + 52,5 d$ .

При более крупных песках с более значительными пустотами формула переходит в:

$$v = -1875 \cdot d\gamma + 54,77 \sqrt{d} \cdot \sqrt{1172\gamma^2 + 100 a \cdot d} - 1,$$

в которой

$$\gamma = \frac{1}{1 + 1,3 d}. \quad (14)$$

Из этого видно, что формула (13) для более мелкого песка согласуется с законом Дарси, так как скорость воды существенно зависит от первой степени « $a$ ». При более крупных песках, напротив, скорость увеличивается лишь пропорционально  $\sqrt{a}$ , таким образом уравнение (14) представляет собой переход к формулам скорости для движения воды в открытых каналах. Рейнольдс также на основании своих исследований «критической скорости» ясно распознал границу применимости закона Дарси. Из этих исследований явствует, что закон движения в волосных трубках, действительный в почве с мелкими порами, при крупнозернистых пластах постепенно сменяется законом, действующим в широких трубках или каналах.

Практическая применимость закона Дарси неоднократно вызывала сомнения и неоднократно оспаривалась, например Смрекером — в 1878 г. и в новейшей его диссертации, опубликованной в 1914 г.

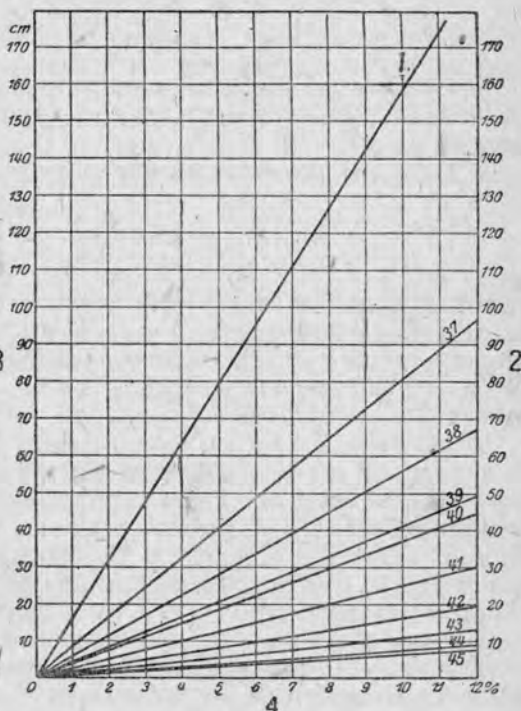


Рис. 126. Водопроницаемость просеянных песков (по Кинг-Людок).

1 — песок № 36;	2 — литр в минуту;	3 — скорость течения в 1 см в минуту;	4 — падение процента
№ 36 средн. диам. — 2,54;	№ 37 средн. диам. 1,808		
№ 38 » » 1,451;	№ 39 » » 1,217		
№ 40 » » 1,095;	№ 41 » » 0,815		
№ 42 » » 0,799;	№ 43 » » 0,715		
№ 44 » » 0,600;	№ 45 » » 0,520		

В этом труде Смрекер противопоставил закону Дарси следующую формулу:

$$\frac{h}{l} = \alpha v^2 + \beta v^{3/2},$$

или короче:

$$\frac{h}{l} = \gamma v^{3/2}. \quad (15)$$

Таким образом согласно этой новой формуле сопротивление движению растет пропорционально не первой степени скорости, как при законе Дарси, а степени  $3/2$ .

Кребер (Kröber) из опытов над пластами с равномерной величиной зерна вывел в 1884 г. формулу, которая выражает результаты его исследований следующим общим законом:

$$\frac{h}{l} = (c h v)^w. \quad (16)$$

В этом законе предполагается, что кроме коэффициента вместе со свойствами водоносного пласта изменяется также и показатель степени скорости.

В частности для исследованных Кребером пластов он из уравнения

$$w = \frac{8 + 2d}{8 + d} \quad (17)$$

нашел зависимость показателя степени от диаметра зерна  $d$ . Этот показатель степени является единственным отличительным признаком между отдельными пластами. Одновременно для коэффициента  $c$  он установил обратную пропорциональность по отношению к величине зерен.

В 1915 г. Смрекер развил свою прежнюю теорию в том отношении, что в случае необходимости в формулах (15) показатель  $3/2$  может быть заменен другой подходящей величиной  $m$ . Благодаря этому получилась более общая формула, приведенная уже выше (16). При этом Смрекер определенно исключил величину  $m=1$ , в которой закон Дарси, рассматриваемый им как непригодный, мог бы в особом случае быть доказан.

Возражения Смрекера против пригодности закона Дарси после появления его диссертации основательно оспаривались Ротером (Rother). Несмотря на ответ Смрекера в продолжающейся до настоящего времени дискуссии приняли участие Луммерт (Lummert), Хохедер (Hocheder), Верслуи (Versluis) и другие. Написанный Ротером в 1916 г. и только теперь изданный труд представляет собой последнее слово в этом вопросе. В этом труде он предлагает формулу (16) рассматривать как «объединенную формулу Кребер а» для закона сопротивления движения грунтовых вод, однако при условии применения ее тогда, когда величина показателя  $w$  равна единице и менее. Далее Ротер предлагает посредством предложенной им формулы и математических вычислений определить в возможно большем числе случаев на основании вышеприведенных наблюдений точные величины показателя  $w$ . Для практических же целей в неис-

следованных еще случаях Ротер на основании полученных таким путем предварительных данных рекомендует пользоваться смотря по обстоятельствам следующими значениями  $w$ , ведущими к простейшим вычислениям:

$$w = 1, w = \frac{3}{2},$$

в нужных случаях:

$$w = \frac{5}{4}.$$

Определенная Ротером теоретическим путем сфера действительности формулы (16) при величине показателя  $w$  ниже единицы была подтверждена на практике Цункером.

## 2. ЗАВИСИМОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Вышеупомянутые опыты были предприняты в сосудах с приблизительно постоянной температурой, и на изменение температуры не обращалось внимания. Но так как вязкость воды зависит от температуры, то с изменяющейся температурой должна также изменяться водопроницаемость водоносного грунта, вернее скорость воды.

По Сликхтеру, принимая во внимание вязкость воды, действительна следующая приведенная Людеке (4) формула:

$$\frac{q}{s} = 10,219 \cdot \frac{h \cdot d^2}{lk_2 m} \text{ см/сек.}, \quad (18)$$

в которой:

$q$  — количество воды в см в секунду,

$h$  — потеря напора в см водяного столба, которого

$l$  — длина в см,

$d$  — диаметр зерен в см,

$s$  — поперечный разрез пласта в см<sup>2</sup>, измеренный под прямым углом к направлению потока грунтовых вод,

$k_2$  — коэффициент, зависящий от объема пустот.

При объеме пустот:	26	30	35	40	45%
$k_2 =$	84,3	53,5	31,6	20,3	13,7%

$m$  является коэффициентом вязкости, а именно при:

5°	10°	15°	20°С
$m = 0,0152$	0,0131	0,0114	0,0101

Следующий составленный Людеке график (рис. 127) дает величины количества просочившейся воды в зависимости от температуры. Из кривой можно заключить, что например при повышении температуры от 0 до 25° С количество протекающей грунтовой воды возрастает

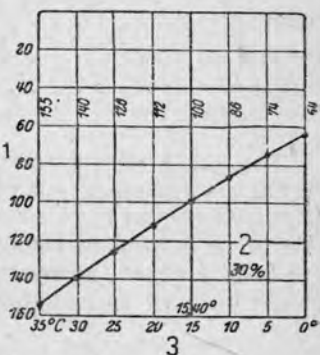


Рис. 127. Диаграмма, изображающая количество просочившейся воды в зависимости от температуры (по Людеке).

1 — соотношение количеств просочившейся воды; 2 — вязкость пустот; 3 — влияние температуры.

приблизительно вдвое. При повышении температуры от 10 до 15° количество воды увеличивается на 14%.

Согласно данным Х а у с о н а (Hawson) просачивание воды через песок при 32° С происходит на 75% скорее, чем при 10° С.

Между прочим вышеприведенная формула Слихтера непосредственно подтверждает правильность закона Дарси.

Дело в том, что если формулу (18) Слихтера приравнять  $10,219 \frac{d^2}{k_2 m} = k$ , то она перейдет в формулу Дарси  $v = k \cdot \frac{h}{l}$ .

На основании вышеприведенной формулы Ли (Lee) вычисляет следующую скорость грунтовой воды при 10° С и при падении 0,01.

Род грунта	Диаметр (в мм)	Скорость	
		(в милях, в год)	(в футах, в год)
Мелкий песок . . . . .	0,2	0,010	52,8
Средний » . . . . .	0,4	0,041	216,0
Крупный » . . . . .	0,8	0,160	845,0
Мелкий гравий . . . . .	2,0	1,020	5368,0

Так как в общем естественная температура грунтовых вод колеблется в умеренных границах, то влияние температуры на скорость фильтрации для грунтовых вод со средней температурой имеет второстепенное значение. Однако температура играет большую роль в тех подземных водах, которые движутся к поверхности земли из глубоких пластов земли со сравнительно высокой температурой.

## IX. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ КОЛОДЦЕВ

### 1. ДЕБИТ КОЛОДЦА, ВЫВЕДЕННЫЙ ИЗ ЗАКОНА ДАРСИ

На основании закона Дарси для движения грунтовых вод Дюпюи вывел формулы для дебита колодцев.

После Дюпюи также из закона Дарси А. Тим вывел дебит вертикальных и горизонтальных водосборов.

Из сказанного в подразделе «Теория движения грунтовых вод» на стр. 185 следует, что закон Дарси хотя и не является общеприменимым, но тем не менее он для практических целей не только применим и достаточно надежен, но обладает и большим преимуществом благодаря своей простоте.

Формула Дарси подобно многим другим гидравлическим формулам является результатом лабораторных опытов. Нужно всегда помнить, что аналитическое выражение движения жидкости, наблюдаемое в опытных установках, чрезвычайно трудно, и что это в большинстве случаев возможно лишь при некоторых допущениях, которых в действительности не существует.

Б у д а у (Budaу) правильно говорит: «Большинство гидравлических задач, которые встречаются работающим на практике инже-

нером, выявляются настолько своеобразно, что аналитическая гидродинамика в большинстве случаев их разрешить не может. Поэтому уже издавна стараются опытным путем получить недостающие данные и найти практические приемы и формулы, которые можно было бы применить к естественным явлениям в подходящих условиях».

Пропасть, разделяющая аналитическую гидродинамику от практической, очень широка, и перешагнуть ее является делом будущего.

### а) Вертикальный колодец при свободном зеркале грунтовых вод

Рассмотрим сначала дебит вертикальных колодцев, заложенных в водоносном пласте со свободным зеркалом. Ради простоты примем, что зеркало воды и поверхность подстилающего водонепроницаемого пласта горизонтальны и что сопротивлением, которое испытывает вода при входе в колодец, можно пренебречь. Примем следующие обозначения согласно рисунку 128.

$Q$  — количество воды, отбираемое из колодцев в единицу времени,

$H$  — мощность водоносного пласта,

$h$  — высота стояния воды в колодце над водонепроницаемой постелью,

$r$  — радиус колодца с водонепроницаемыми стенками, достигающего до основания водоносного пласта,

$x$  и  $y$  — координаты любой точки, кривой депрессии грунтовых вод,

$k$  — коэффициент водопроницаемости,

$p$  — пористость.

Согласно Дарси получим:

$$pv = k \cdot \frac{dy}{dx},$$

и количество воды, проходящее через поперечный разрез  $2\pi xy$  окружности колодца, равняется:

$$Q = 2\pi xy \cdot k \cdot \frac{dy}{dx}.$$

Получим дифференциальное уравнение:

$$dy = \frac{Q}{2\pi k} \cdot \frac{dx}{xy}$$

из этого интегрированием:

$$\frac{y^2}{2} = \frac{Q}{2\pi k} \cdot \ln x + C,$$

где  $\ln x$  — логарифм натуральный от  $x$ .

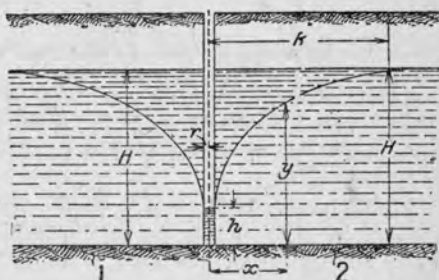


Рис. 128. Вертикальный колодец со свободным зеркалом.

1—2— водонепроницаемое ложе

У боковой поверхности колодца:

$$x = r \text{ и } y = h$$

и следовательно:

$$y^2 = \frac{Q}{\pi k} \cdot \ln \frac{x}{r} + h^2.$$

Если далее  $R$  обозначает расстояние, на котором распространяется понижение уровня воды вокруг колодца, то для  $x = R$  нужно заменить  $y = H$ , из чего следует:

$$Q = \pi k \frac{(H^2 - h^2)}{\ln \frac{R}{r}} \dots \quad (19)$$

### б) Вертикальный колодец в напорном водоносном пласте

При колодце с напорным уровнем также предполагается горизонтальность уровня воды и верхней и нижней границ водоносного пласта, а также пренебрегается величина сопротивления при входе воды в колодец.

Если  $x, y, R, r, k$  и  $p$  имеют те же значения, что и в предыдущей главе, то и в дальнейшем обозначим:

$m$  — мощность водоносного пласта,

$H$  — высота, до которой поднялась бы вода в колодце без отбора из него воды,

$h$  — высота истечения или откачки для количества  $Q^1$ .

При этом  $H$  и  $h$  должны отсчитываться от поверхности земли (рис. 129), и тогда

$$pv = k \frac{dy}{dx},$$

как в предыдущей главе:

$$Q = 2\pi x \cdot k \cdot m \frac{dy}{dx}$$

$$y = \frac{Q}{2\pi \cdot km} \cdot \ln x + C,$$

$$y = \frac{Q}{2\pi \cdot km} \cdot \ln \frac{x}{r} + h,$$

$$Q = 2\pi \cdot km \cdot \frac{H - h}{\ln \frac{R}{r}} \quad (20)$$

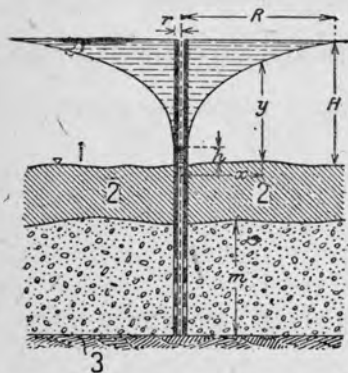


Рис. 129. Вертикальный колодец с напорным зеркалом.

1 — поверхность земли; 2 — пласт, обуславливающий напор; 3 — водоупорный пласт

### в) Горизонтальные водосборы

Для водосборной галлерей, питающейся потоком грунтовых вод, примем следующие обозначения (рис. 130):

<sup>1</sup> Если уровень воды лежит не над поверхностью, то соответствующая величина отрицательна.

$H$  — мощность водоносного пласта,  
 $h$  — уровень воды в галлерее,  
 $x$  и  $y$  — координаты любой точки кривой депрессии,  
 $L$  — длина штольни,  
 $k$  — коэффициент водопроницаемости.

Количество воды, притекающее в штольню, с одной стороны, выразится следующим уравнением:

$$Q = kyL \frac{dy}{dx}.$$

Из этого следует:

$$\frac{y^2}{2} = \frac{Q}{kL} \cdot x + C,$$

$$y^2 - h^2 = 2 \frac{Q}{kL} \cdot x,$$

и наконец

$$Q = kL \cdot \frac{(H^2 - h^2)}{2R}. \quad (21)$$

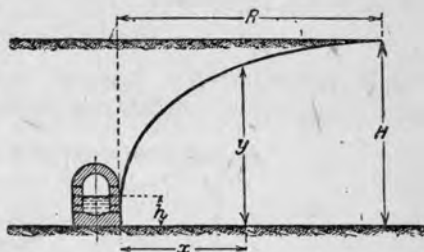


Рис. 130. Инфильтрационная штольня.

При этом предполагается, что стенки штольни абсолютно водопроницаемы. Если налицо имеется приток с обеих сторон, то величина  $Q$  будет вдвое больше.

Согласно Форхгеймеру дебит при коротких штольнях длиной  $L$  равняется дебиту колодца с диаметром, равным  $\frac{L}{2}$ .

## 2. ЗАКОН ДЕБИТА ПО ДАРСИ

### а) Колодцы со свободным зеркалом

Если из уравнения (19) на стр. 166:

$$Q = \pi k \frac{(H^2 - h^2)}{\ln \frac{R}{r}}$$

определить  $h$ , то получится уравнение параболы, т. е. при колодцах, заложенных в водоносных пластах со свободным зеркалом, зависимость дебита от депрессии, не находящейся под влиянием сопротивления самого колодца, выражается законом параболы.

Обозначим по рисунку 131:

$q$  и  $a$  — изменяющиеся величины дебита и депрессии. Последняя отсчитывается от естественного зеркала, где депрессия равна нулю.

$Q$  и  $A$  — координаты параболы, соответствующие максимальному дебиту и понижению.

Рис. 131. Парабола дебита колодца со свободным зеркалом.

$a$  — постоянная величина. Если ось параболы лежит в направлении дебита, то:

$$(A - a)^2 = a(Q - q). \quad (22)$$

Хотя в этой формуле не учитывается сопротивление колодца, она все же неоднократно подтверждалась опытными данными, в которых вследствие несовершенства колодца (ср. стр. 171) установленный размер депрессии повышался от сопротивлений при входе воды. Несмотря на это ясно выявлялись параболы, очень хорошо совпадавшие с наблюдениями.

Так для опытного колодца в Глейзентале близ Мюнхена Тим нашел следующее уравнение:

$$(6,54-a)^2 = 0,215 (199,9 - q).$$

В распоряжении имелось четыре различных дебита с соответствующими величинами понижения уровня. На рис. 132 и в следую-

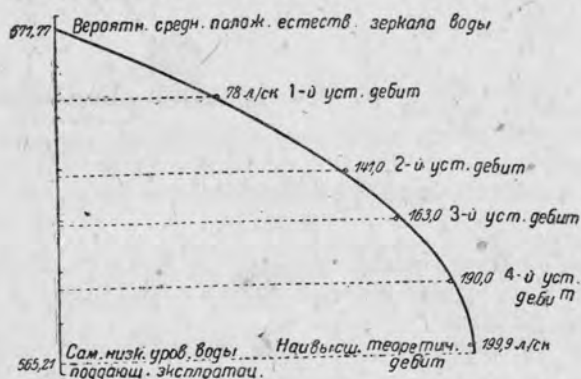


Рис. 132. Парабола дебита опытного колодца в Глейзентале близ Мюнхена (по А. Тиму).

щей таблице приведены наблюдаемые и вычисленные величины. Понижения в 6,5 м соответствовало максимальному дебиту. Последний метр понижения повысил дебит лишь незначительно.

Депрессия (в м)	Количество в л/сек.		
	Наблюдения	Наблюдения	Ошибки
6,54	—	199,9	—
5,09	190	190,1	+ 0,1
3,84	163	166,0	+ 3,0
2,89	141	138,0	- 3,0
1,39	78	76,7	- 1,3
0,00	0	1,2	+ 1,2

Соответствие между наблюдением и вычислением не оставляет желать лучшего.

Однако в этом полного подтверждения правильности закона Дарси не видно. Оно было бы лишь в том случае, если бы вершина параболы совпадала с поверхностью водопроницаемого ложа, т. е.  $A = H$ .

## в) Колодцы с напорным уровнем

Из уравнения дебита (20) для колодцев с напорной водой:

$$Q = 2\pi km \cdot \frac{H-h}{\ln \frac{R}{r}}$$

следует, что для таких колодцев дебит и депрессия находятся между собой в прямо пропорциональном соотношении.

Прямолинейный закон дебита для колодцев с напорным зеркалом, строго говоря, действителен лишь при предположении, что отсутствует сопротивление от трения о стенки колодца при движении воды в нем. Если же принять во внимание это сопротивление, то  $H-h$  равняется понижению, получающемуся по формуле дебита и уменьшенному на потерю напора в самом колодце.

Установлено, что понижение, вытекающее из формулы дебита, непосредственно пропорционально дебиту и квадрату сопротивления в колодце. Если понимать под  $\alpha$  и  $\beta$  постоянные величины, то из этого следует:

$$H-h = \alpha \cdot Q + \beta Q^2.$$

Это является уравнением параболы, выражающей зависимость между глубиной депрессии  $H-h$  и величиной расхода  $Q$ . Ось параболы направлена вертикально; параметр ее  $\frac{1}{\beta}$  и  $AB = -\frac{\alpha}{2\beta}$  и  $BC = -\frac{\alpha}{4\beta^2}$  координаты вершины.

Если согласно рисунку 133 в начале координат  $A$ , который принадлежит также параболе, провести касательную к параболе и ее точку пересечения с осью параболы обозначить через  $D$ , ее угол с горизонтальной осью — через  $\delta$ , то получим:

$$BD = 2BC = \frac{\alpha^2}{2\beta},$$

т. е.

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{BD}{AB} = \alpha.$$

Если провести через положение депрессионного уровня воды  $G$  горизонталь, то она пересечет параболу в точке  $E$ , а касательную — в точке  $F$ , благодаря чему получим

$$GF = \frac{H-h}{\operatorname{tg} \delta}.$$

Так как из уравнения параболы при  $\beta = 0$  выводится величина

$$\frac{H-h}{\alpha}$$

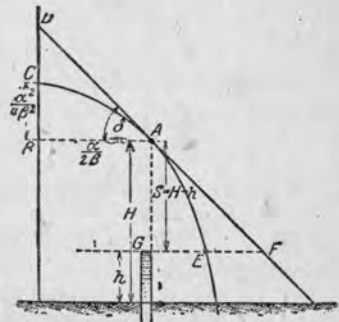


Рис. 133. Линии дебита колодца с напорным зеркалом.

для количества  $Q$ , соответствующего понижению  $H - h$ , то расстояние  $GF$  соответствует тому количеству, которое может быть дано колодцем, если сопротивление его равно нулю. Величина  $GE$  дает действительное количество  $Q$  при том же понижении, когда сопротивление колодца имеет существенное значение.

Таким образом, если измерение количества  $Q$  при различных депрессиях  $H - h$  привело к параболе, то нанесением касательной в начальном пункте координат можно для любого понижения  $H - h = = AG$  на участке  $EF$  найти количество, которое может быть добыто при расширении данного колодца или путем устройства, нового колодца, лежащего по соседству с первым.

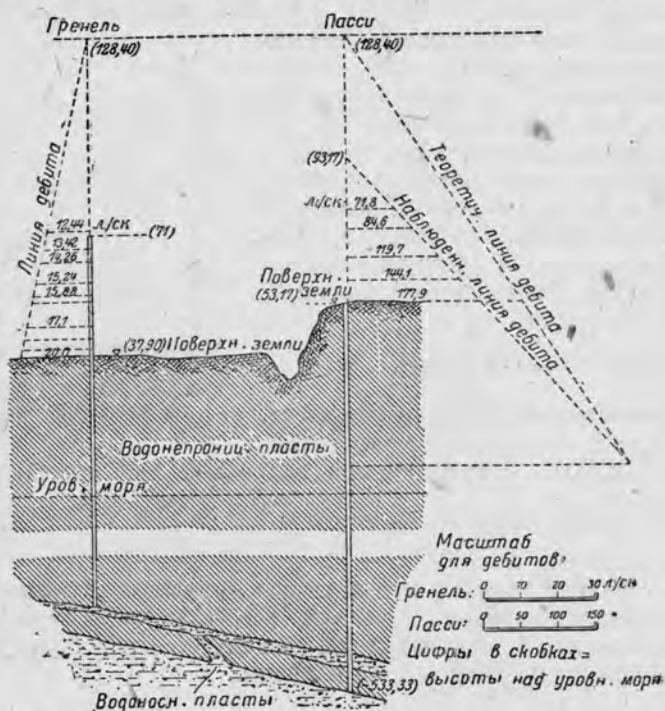


Рис. 134. Линии дебита артезианских колодцев в Гренеле и Пасси (по Дююю).

Дююю произвел подобное исследование над артезианскими колодцами в Пасси и Гренеле (рис. 134). Что закон Дарси дает для напорных водоносных слоев также практически пригодные величины достаточной точности, было доказано действительными наблюдениями А. Тима.

Два опытных колодца для водоснабжения Лейпцига дали следующие результаты, рядом с которыми поставлены вычисленные величины (см. табл. на стр. 171).

Соответствие чисел не оставляет и здесь желать большего. Дебит равнялся на 1 м понижения 12,5 или 13,4 л/сек. Подобные же соотношения между величинами, полученными наблюдениями и вычисленными при колодцах с напорным зеркалом, нашли А. Тим в опытном

Опытный колодец I			Опытный колодец II		
Дебит в л/сек.	Депрессия в метрах		Дебит в л/сек.	Депрессия в метрах	
	наблюденная	вычисленная		наблюденная	вычисленная
0	0,00	0,00	0	0,00	0 00
44	2,75	2,72	44	2,85	2,89
54	4,30	4,32	82	5,40	5,40
70	5,60	5,60	86	5,70	5,60

колодце для Фюрте в Баварии, Г. Тим при предварительном изыскании для Ландесхута в Силезии и автор в опытном колодце для Форста у Лейпцига.

### 3. ПЕРЕХОД ОТ НАПОРНОГО К СВОБОДНОМУ ЗЕРКАЛУ

Во многих случаях увеличением отбора воды вызывается столь значительная депрессия, что вблизи колодца зеркало отделяется от водонепроницаемой кровли и становится свободным.

Если такое отделение ограничено в пространстве, то его влияние на ход дебита имеет лишь второстепенное значение. Если наблюдение показывает, что прямолинейный закон дебита переходит в параболический, то это является доказательством того, что зеркало грунтовых вод свободно на значительном пространстве.

### 4. ДЕБИТ НЕСОВЕРШЕННЫХ КОЛОДЦЕВ

Колодец является совершенным, если он достигает основания водоносного пласта и его стенки хорошо водопроницаемы на всю мощность пласта. Если колодец не достигает водонепроницаемого слоя и стенки его ниже депрессированного зеркала водонепроницаемы, то мы имеем несовершенный колодец.

Согласно Форхгеймеру дебит колодца будет тем меньше, чем менее глубина погружения колодца в водоносный пласт. Ротер также вывел формулы, исчисляющие нижнюю границу дебита совершенных колодцев; формулы эти он применил при изменяющейся глубине колодца, который обладает по всей своей длине погружения в водоносный пласт достаточной водопроницаемостью. Вычисленные дебиты, если принять дебит совершенного

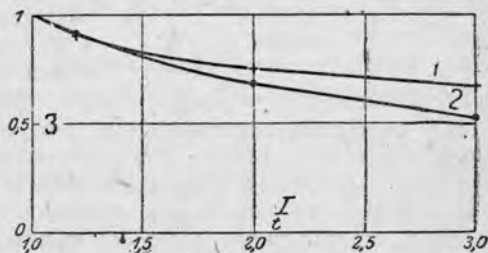


Рис. 135. Диаграмма дебитов несовершенных колодцев по Ротеру (нижняя граница) и по Форхгеймеру.

1 — Форхгеймер; 2 — Ротер; 3 — дебит

колодца за единицу, изображены на рисунке 135. Они нанесены согласно Кирилейсу (Kyrieleis) в зависимости от отношения  $\frac{T}{t}$  глубины совершенного колодца к величине, на которую несовершенный колодец не доходит до подошвы водоносного пласта. Для сравнения приведены также данные опытов Форхгеймера над колодцами с водопроницаемыми стенками и водонепроницаемым дном. Вначале данные Ротера довольно точно совпадают с данными Форхгеймера. Отклонение увеличивается с возрастанием отношения  $\frac{T}{t}$ ; однако величины Ротера являются всегда меньшими.

С практической точки зрения можно высоту  $H$  в несовершенных колодцах считать от дна колодца.

### 5. КРИВАЯ ДЕПРЕССИИ И ПониЖЕНИЕ УРОВНЯ ВОДЫ

Из формулы (19), приведенной под рубрикой: «Вертикальный колодец при свободном зеркале» на стр. 166, следует, что:

$$y^2 - h^2 = \frac{Q}{\pi k} \ln \frac{x}{r}.$$

Эта формула выражает уравнение поверхности вращения, осью которой является ось колодца. Сечения этой поверхности вращения, проведенные через ось, имеют форму параболической кривой.

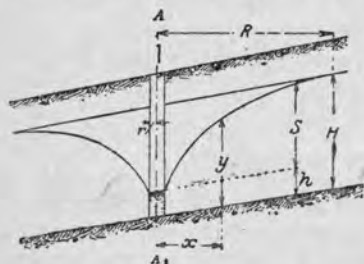


Рис. 136. Кривая депрессии колодца.

1 — колодец

Если зеркало грунтовых вод имеет падение, то это, как уже выше объяснялось, не оказывает влияния на те ветви кривой депрессии, которые расположены перпендикулярно к направлению потока. Они должны иметь (рис. 114) симметричную форму, как если бы грунтовая вода находилась в покое. Если падение грунтовых вод создает скорость  $v$ , то выше оси колодца  $AA_1$  (рис. 136) эта скорость будет ускорять искусственно вызван-

ное движение частиц воды, направленное к центру колодца, а ниже  $AA_1$  — наоборот, замедлять его. Разрез воронки депрессии, данный на рисунке 136, можно воспроизвести, откладывая ординаты; полученные из обычного уравнения для горизонтального слоя от основания водоносного пласта. То же самое применимо для любого другого сечения, проходящего через ось колодца.

Для соотношений между дебитом и депрессией практически совершенно безразлично, обладает грунтовая вода естественной скоростью или нет.

Математические выводы по этому вопросу дали А. Тим и Люгер.

Теоретически наибольшая величина депрессии равняется  $H$ . Практически она конечно не может быть достигнута полностью.

## 6. ДЕПРЕССИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОТБОРА ВОДЫ

Если в уравнении (19):

$$Q = \pi k \frac{H^2 - h^2}{\ln R - \ln r}$$

звести депрессию  $s = H - h$ , то это уравнение переходит в

$$Q = \pi k \frac{s(2H - s)}{\ln R - \ln r}$$

Исходя из этого, если соответствующее депрессии  $s_1$  в колодце количество воды  $Q_1$  известно, то из уравнения:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{s_1(2H - s_1)}{s_2(2H - s_2)}$$

можно вычислить количество воды  $Q_2$ , дающее депрессию  $s_2$ .

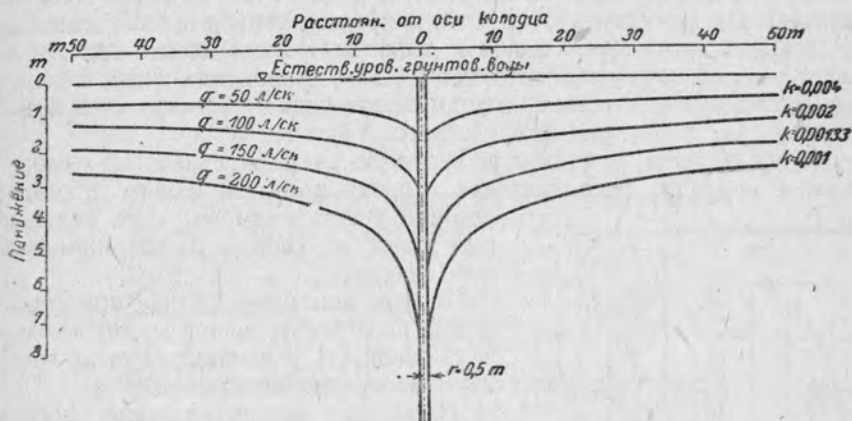


Рис. 137. Кривая депрессии колодца с радиусом, равным 0,5 м (по Кирилейсу).

При отборе воды  
 $q = 50, 100, 150, 200$  л/сек.  
 $H = 20$  м  
 $k = 0,002$  м  
 $R = 1000$  м

При изменяющемся  $k$   
 $q = 100$  л/сек.  
 $H = 20$  м  
 $R = 1000$  м

На рисунке 137 нанесены по Кирилейсу (Kyrieleis) кривые депрессии для разных отборов воды при радиусе колодца  $r = 0,5$  м и при изменяющейся водопроницаемости.

## 7. ДЕПРЕССИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МОЩНОСТИ ВОДОНОСНОГО ПЛАСТА

Из уравнения (19):

$$Q = \frac{\pi \cdot k (H^2 - h^2)}{\ln \frac{R}{r}}$$

полагая  $s_1 = H - h$ , получим:

$$s_1 = H - \sqrt{H^2 - \frac{Q}{\pi k} (\ln R - \ln r)} \quad (24)$$

Это новое уравнение показывает, что чем меньше величина  $H$ , т. е. мощность водоносного пласта, тем больше должна быть депрессия.

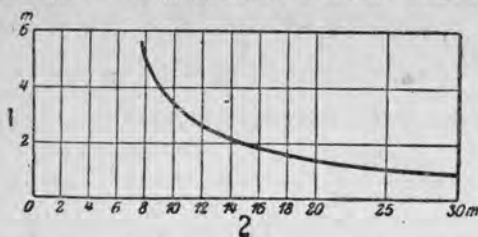


Рис. 138. Диаграмма зависимости между депрессией  $S$  и мощностью водоносного пласта (по Кирилейсу).

1 — депрессия  $S$ ; 2 — мощность водоносного пласта  $H$ ;  
 $a = 50$  л/сек.;  $K = 0,002$ ;  $R = 1000$  м;  $r = 1,0$  м

незначительно. Влияние мощности водоносного пласта  $H$  значительно сильнее. На рисунке 139 наглядно представлены эти соотношения.

Колодец например в 0,5 м в свету дает теоретически при одинаковом понижении приблизительно  $\frac{2}{3}$  того количества воды, которое дает колодец в 4 м в свету и приблизительно 50% количества воды, которое дает колодец в 8 м в свету.

Таким образом, принимая во внимание расходы, связанные с сооружением колодца, рекомендуется строить колодцы малого диаметра

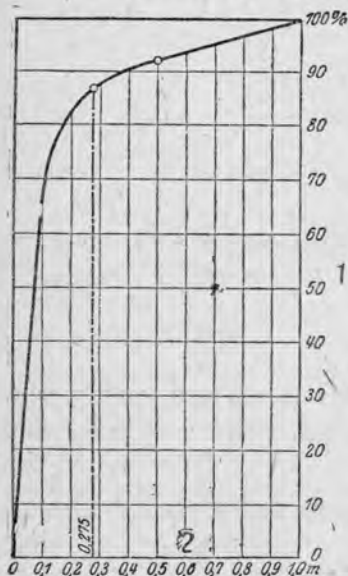


Рис. 139. Диаграмма влияния диаметра колодца на его дебит.

1 — отнесено к дебиту колодца диаметром в 1 м; 2 — диаметр колодца

сооружению диаметр колодца, дающего при минимальных затратах наибольший дебит, должен быть приблизительно в 200—250 мм в свету.

Соотношение это наглядно представлено на рисунке 138.

## 8. ВЛИЯНИЕ ДИАМЕТРА КОЛОДЦА НА ДЕБИТ

Как вытекает из уравнения:

$$Q = \frac{\pi k (H^2 - h^2)}{\ln \frac{R}{r}}$$

дебит колодца с увеличением диаметра  $r$  возрастает очень

незначительно. В этом последнем случае при повышении входных скоростей может возникнуть опасность вымывания частиц грунта и засорения колодца песком. В хорошо водопроницаемой породе не следует рекомендовать сооружение колодцев с большим диаметром, а именно больше 1 м в свету, так как их дебит в сравнении с большими расходами на их сооружение, не обладает достаточной мощностью.

По наблюдениям и опыту автора при среднепроницаемой водоносной породе и при средних расходах по

сооружению диаметр колодца, дающего при минимальных затратах наибольший дебит, должен быть приблизительно в 200—250 мм в свету.

По наблюдениям и опыту автора при среднепроницаемой водоносной породе и при средних расходах по

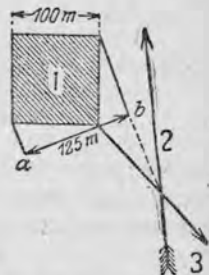


Рис. 140. Четырехугольный каптаж водопровода города Лютиха (по Детини).

1 — четырехугольный каптаж; 2 — направление течения; 3 — отвод.

Различные колодцы с большим диаметром показали, что на практике колодцы с диаметром больше вышеуказанной нормы себя не оправдали.

Такие же опыты, как и с колодцами больших диаметров, были произведены с четырехугольным каптажем размерами  $100 \times 100$  кв. м для водопровода города Люттиха (рис. 140), и при этом способе каптажа результаты не оправдали ожиданий. Действие четырехугольного каптажа дешевле и проще всего заменяется линией каптажа  $ab$ , которая направлена поперек потока. Длина линии  $ab$  равняется всего 125 м вместо 400 м периметра четырехугольного каптажа. Детиннэ (Detinné) приводит подробные математические соображения, из которых вытекает, что удлинение стороны четырехугольного каптажа дает только  $\frac{1}{10}$  часть той прибыли воды, которую можно получить при удлинении на ту же величину простого прямолинейного каптажа.

## Х. МЕТОД ТИМА (ε-МЕТОД)

Метод Тима в противоположность способу удельных дебитов дает абсолютные, а не относительные величины водопроницаемости.

Этот способ состоит в ряде пробных откачек небольшого масштаба, требующих сравнительно небольших расходов, и вполне заменяет собой очень дорогой способ опытных колодцев.

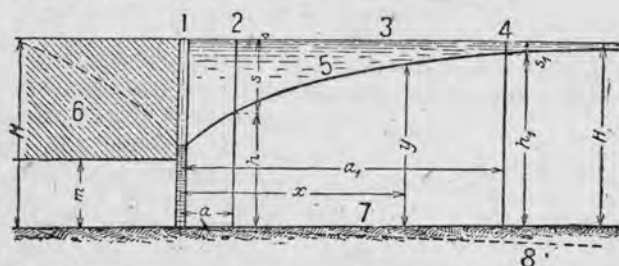


Рис. 141. Продольный разрез эксплуатируемого колодца со свободным зеркалом (справа) и напорным зеркалом (слева).

1 — колодец; 2 — наблюдательная скважина; 3 — естественный уровень грунтовой воды; 4 — наблюдательная скважина; 5 — пониженный уровень грунтовой воды; 6 — пласт, обуславливающий напор; 7 — водопроницаемое ложе; 8 — горизонтальная линия

Пробная откачка воды в количестве  $Q$  производится из центрального бурового колодца; в то же время в двух наблюдательных скважинах на расстоянии  $a$  и  $a_1$  (рис. 141), расположенных в любом направлении от центра колодца, определяются величины  $h$  и  $h_1$ , на которые при свободном зеркале понижается уровень воды над водопроницаемой постелью; при напорном зеркале понижается против естественной величины высота уровня  $H$ . Разности  $h = H - s$  и  $h_1 = H - s_1$  получены из естественной величины  $H$  и из депрессий естественного зеркала воды  $s$  и  $s_1$ , установившихся в обоих наблюдательных пунктах  $a$  и  $a_1$ . Для линии депрессии, соединяющей уровень воды обоих наблюдательных пунктов  $a$  и  $a_1$ , действительны следующие уравнения при свободном зеркале:

$$y^2 = \frac{Q}{\pi k} \ln x + C,$$

при напорном:

$$y = \frac{Q}{2\pi \cdot km} \cdot \ln x + C,$$

как то установлено и в том случае, когда уровни  $y$  измерены на расстоянии  $x$  над наклонной водонепроницаемой постелью.

Если же для  $x$  и  $y$  ввести полученные величины пары  $a$  и  $h$ , а также  $a_1$  и  $h_1$ , заменив коэффициент проницаемости  $k$  равнозначным обозначением  $\varepsilon$  единичного дебита, то путем вычитания получим для свободных уровней:

$$h_1^2 - h^2 = \frac{Q}{\pi \varepsilon} (\ln a - \ln a_1),$$

или при условии введения величины депрессии  $s$  и  $s_1$ :

$$\varepsilon = \frac{Q (\ln a_1 - \ln a)}{\pi (h_1 + h)(s - s_1)}, \quad (25)$$

а для напорных уровней:

$$h_1 - h = \frac{Q}{2\pi \varepsilon m} (\ln a_1 - \ln a),$$

или:

$$\varepsilon = \frac{Q (\ln a_1 - \ln a)}{2\pi m (s - s_1)}. \quad (26)$$

Вычисленная таким путем для района бурового колодца величина единицы дебита  $\varepsilon$  вместе с местным

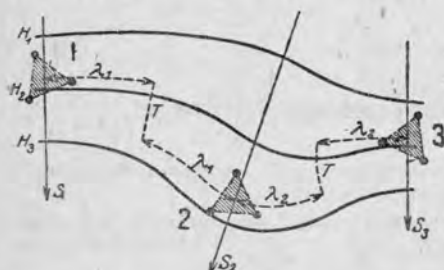


Рис. 142. Определение длины поперечного разреза потока грунтовой воды по способу Тима.

1 — группа буровых скважин; 2 — группа буровых скважин; 3 — группа буровых скважин

условием является, чтобы плоскость сечения потока была перпендикулярна направлению потока. Для того чтобы точно определить направления потока, нужно кроме бурового колодца сделать в каждом наблюдательном пункте еще две (для наблюдения над уровнем) буровые скважины. Эти скважины вместе с колодцем должны образовать приблизительно равносторонний треугольник. Стороны треугольника не должны превышать 50—100 м. Взаимное расстояние между двумя такими групп буровых скважин при правильно сформированных водоносных пластах не должно превышать 500—800 м, при пластах же с неоднородным напластованием — 150—200 м.

На рисунке 142 показаны прямые  $s_1$ ,  $s_2$  и  $s_3$ , проведенные через центры отдельных треугольников буровых скважин, образующих группы 1, 2 и 3. Кроме того на этом рисунке изображены гидроизогипсы  $H_1$ ,  $H_2$  и  $H_3$ , проведенные по всему участку, охватывающему три группы треугольников. Между этими гидроизогипсами протяннуты из центров треугольников горизонталь  $\lambda$  и разрезаны на равные по длине части линиями  $T$  направления потока в пространства между двумя соседними группами. Таким образом между 1 и 2 группами отрезок  $\lambda_1$ , и между 2 и 3 группой  $\lambda_2$  для средней; группы буровых скважин  $l = \lambda_1 + \lambda_2$ .

Определение местного падения зеркала производится очень просто, если две буровые скважины лежат в направлении потока грунтовых вод. Это однако бывает только в виде исключения.

Обыкновенно направление потока образует острые углы по крайней мере с двумя из трех сторон треугольника буровых скважин. Местное падение зеркала  $i$  находится тогда путем деления на косинус одного из этих двух углов величины падения, которая получается из разницы между уровнями воды и расстояния обоих угловых буровых скважин на стороне, образующей угол треугольника (рис. 134). Для колодца при откачках рекомендуется применять фильтраты со свободной длиной 3—5 м, если откачка предполагается в 5—10 л в секунду. Откачка из бурового колодца должна продолжаться до тех пор, пока не установится стационарное состояние. Откачка должна быть равномерной. Равномерность откачки может быть ограничена последним часом. При ручной откачке необходимо наблюдать за равномерностью откачивания при помощи счетного приспособления. Электрический мотор для откачки является самым целесообразным, так как благодаря его применению получается почти равномерный отбор воды и почти константная депрессия.

Наблюдательные скважины для определения депрессии  $s$  и  $s_1$  и должны иметь приблизительно 25—30 мм в диаметре<sup>1</sup>. Все наблюдательные трубы по всей глубине своего протяжения должны быть по возможности просверлены и обсыпаны слоем из гравия. Для определения депрессии самое целесообразное использовать одну из двух угловых буровых скважин, образующих вместе с буровым колодцем треугольник буровых скважин, самую дальнюю из обоих наблюдательных пунктов. Лежащая между обеими скважинами самая близкая к колодцу скважина должна отстоять от колодца не ближе 5—10 м. Это требуется ввиду того, что в непосредственной близости эксплуатируемого колодца возникают нарушения в параллельном движении водяных струй и ввиду имеющих в колодце сопротивлений.

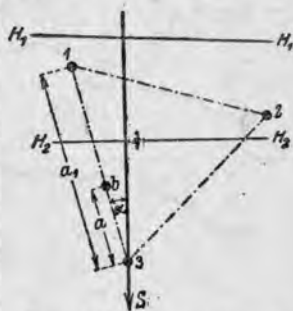


Рис. 143. Определение падения ( $i$ ), когда линия наблюдательных колодцев не совпадает с направлением течения потока.

1 — направление течения.

<sup>1</sup> Правильнее брать для наблюдательных скважин трубы диаметром не менее 50—75 мм. Примечание редакторов.

В виде практического примера исследования по способу Тима может быть дано более подробное описание исследования правой стороны долины Мульды около Каница.

На рисунке 144 жирными арабскими цифрами приведены места наиболее важных групп буровых скважин. На правом берегу Мульды

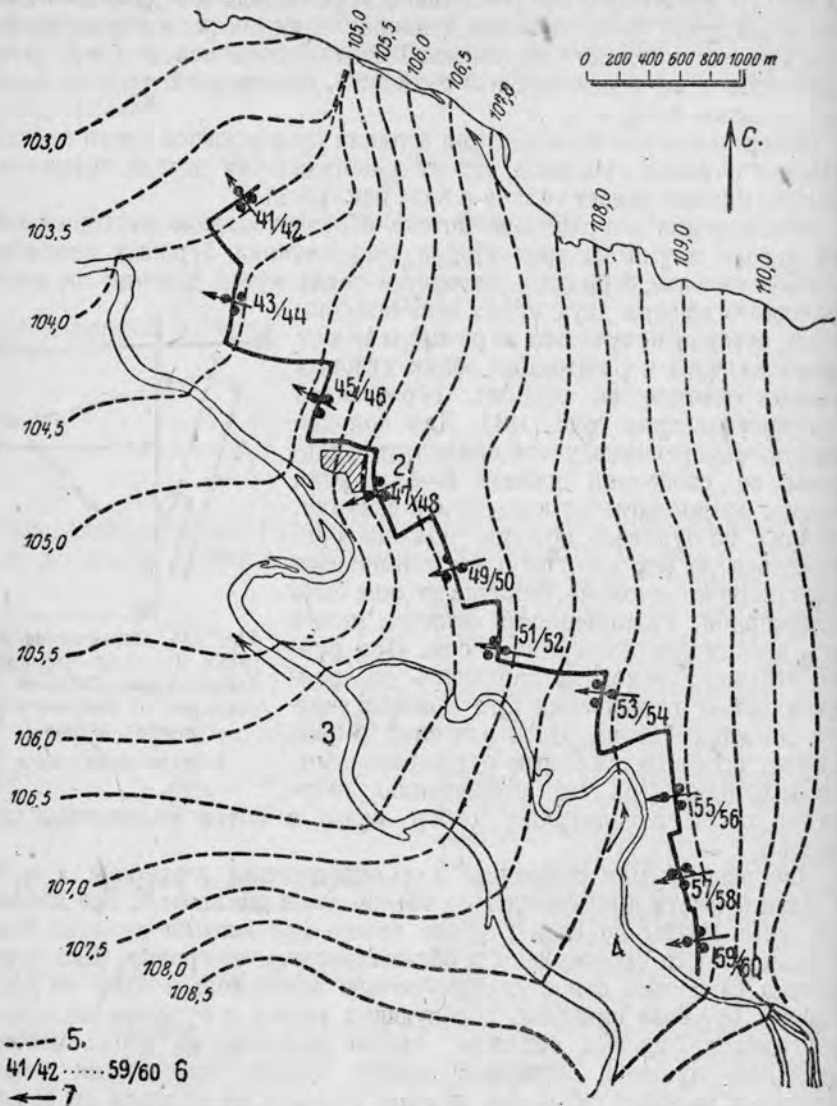


Рис. 144. Определение количества грунтовой воды по способу А. Тима в Мульде близ Каница.

1 — ручей Ласа; 2 — Каниц; 3 — Мульда; 4 — Мольграбен; 5 — гидроизогипсы грунтовых вод 28/29 января 1906 г.; 6 — группы буровых скважин; 7 — направление течения грунтовых вод

на протяжении 8 680 м было устроено 13 таких групп, причем среднее расстояние между ними равнялось 723 м. Расстояние между группами не следует смешивать с позже вводимыми в вычисление длинами



№ по порядку	Группа с указанием состояния уровня	$\varepsilon$ м <sup>3</sup> /сек.	Среднее естественное падение, изверженное на линиях соединения 2 буровых скважин $i_1$	Угол между направле- нием измер. и наибольш. падениям $\alpha$	$\cos \alpha$	$i_1$ $\cos \alpha = i$	Длина поперечн. про- филей $\frac{\lambda + \lambda_1}{m}$	Мощность воздушного паста м <sup>2</sup>	Площадь поперечного сечения паста м <sup>2</sup>	Дебит $q$ м <sup>3</sup> /сек.	M=0,6062	
1	35—36 . . . . . напорный	0,00293	0,0001	0°	1,0000	0,0001	0	2,85	0,00	0,0000		
2	37—38 . . . . .	0,00206	0,0008	30°	0,8660	0,0009	300	3,45	1035,00	0,0019		
3	39—40 . . . . .	0,00245	0,0004	28°	0,8829	0,0005	300	4,40	1320,00	0,0016		
4	41—42 . . . . .	0,00287	0,0008	29°	0,8746	0,0009	430	7,80	3354,00	0,0087		
5	43—44 . . . . .	0,00970	0,0009	3°	0,9986	0,0009	570	6,65	3790,50	0,0331		
6	45—46 . . . . .	0,0252	0,0010	8°	0,9903	0,0010	560	9,35	5236,00	0,1319		
7	47—48 . . . . .	0,0501	0,0008	24°	0,9135	0,0009	620	7,45	4619,00	0,1251		
8	49—50 . . . . .	0,0248	0,0017	22°	0,9272	0,0019	650	9,00	5850,00	0,2757		
9	51—52 . . . . .	0,0180	0,0012	3°	0,9986	0,0012	410	8,30	3403,00	0,0735		
10	53—54 . . . . . свободный	0,0151	0,0005	30°	0,8660	0,0006	560	8,10	4636,00	0,0411		
11	55—56 . . . . . напорный	0,00317	0,0006	6°	0,9946	0,0006	720	3,50	2520,00	0,0048		
12	57—58 . . . . . свободный	0,00111	0,0011	17°	0,9925	0,0011	500	8,00	4000,00	0,0049		
13	59—60 . . . . .	0,00082	0,0006	13°	0,9744	0,0006	460	10,10	4646,00	0,0023		

поперечных разрезов. Таблица на стр. 179 показывает определение величины  $\epsilon$  из результатов опытных откачек в отдельных группах скважин. Таблица на стр. 180 повторяет затем найденные величины  $\epsilon$ , которые колеблются между 0,00082 и 0,0301 м/сек. и составляют, в среднем 0,0106 м/сек.

Величина  $\epsilon$  не зависит от времени, она измеряется только в зависимости от местности. То же самое относится и к длине поперечного разреза. Наоборот при свободном зеркале величина протока зависит от колебаний зеркала. Для напорных вод, с которыми мы преимущественно имеем дело, величина протока не зависит от колебания зеркала.

Самому большому временному изменению подвержено падение зеркала вблизи реки. Для того чтобы здесь определить полезное количество грунтовой воды, потребовалось бы более продолжительное время для наблюдения, в течение которого производились бы периодические измерения. Из найденных величин для каждой группы в отдельности были взяты средние величины, которые и были применены к вычислению количества воды.

В таблице на стр. 180 были даны прочие величины, вытекающие из наблюдений, и наконец вычисленные по ним величины  $q$ . Величина дебитов отдельных групп колебалась между 0,000 и 0,276 м<sup>3</sup>/сек. Средняя величина дебита, полученная путем деления общей суммы дебитов отдельных групп на число групп, составила 0,0498 м<sup>3</sup>/сек.

Если на гидрологически обследованной площади принять во внимание будущую длину каптажа (в 3 км), которая простирается от группы 43—44 до группы 51—52; то на этом пространстве будут находиться четыре группы (№ 6—9). Эти группы обладают дебитом: 131,9+125,1+275,7+73,5=606,2 л/сек.

Ближайшие к концам этого каптажа группы дают 43,1+41,1=84,2 л/сек. Половину этого количества было бы целесообразно включить в район каптажа, и тогда этот каптаж давал бы в общем 643 л/сек.

Метод Тима применялся между прочим А. Тимом при изысканиях для устройства водопроводов для городов: Лейпцига, Праги, Магдебурга (опытное поле Fienegerbruch), Г. Тимом — для Шарлоттенбурга и М. Гладбаха, Лангом — для Дюссельдорфа, Гетцем — для Бремена, Курзаком — для Мигдебурга (Leitzlinger Heide), а также и при изысканиях для устройства водоснабжения в Бюртемберге.

Следующая таблица содержит в себе несколько величин  $\epsilon$ , полученных опытным путем.

Опытное поле	Величина $\epsilon$ м <sup>3</sup> /сек.		
	наименьшая	наивысшая	средняя
Лейпциг, левый берег Мульды . . . . .	0,00032	0,00705	0,0020
» правый » » . . . . .	0,00082	0,0301	0,0106
Прага (ненапорный поток) . . . . .	—	—	0,0042
» напорный » . . . . .	—	—	0,0035
М. Гладбах . . . . .	0,00096	0,00603	0,00349
Шарлоттенбург . . . . .	0,0007	0,0030	0,0019
Дюссельдорф . . . . .	0,00065	0,0163	0,0085
Бюртемберг (государственное водоснабжение) . . . . .	0,00035	0,01793	0,00664

А. Тим считает величину  $\epsilon = 0,002$  м<sup>3</sup>/сек. удовлетворительной.

Под данным Вейрауха особого внимания заслуживают опыты, произведенные над тремя колодцами сельского водоснабжения Вюртембургского района в течение дождливого лета 1910 г. и сухого 1911 г., дали следующие величины  $\varepsilon$ :

	1910 г.	1911 г.
Колодец VII . . . . .	$\varepsilon = 0,015516$ м/сек.	$\varepsilon = 0,012684$ м/сек.
» VIII . . . . .	0,005087 »	0,003440 »
» X . . . . .	0,017925 »	0,015552 »

Сравнение этих величин ясно показывает влияние более сухого 1911 г. на величину  $\varepsilon$ .

### ПРИЧИНЫ ОШИБОК, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДА ТИМА

Причины ошибок, возникающих при применении метода Тима, делятся на теоретические и практические. Теоретически можно возражать против этого способа, потому что он опирается на формулы, предполагающие параллелизм зеркала грунтовых вод с водонепроницаемой постелью, т. е. параллелизм водяных струй и равномерную водопроницаемость. При этом нужно заметить, что применяемые формулы имеют только приблизительное значение даже тогда, когда выполнены упомянутые теоретические требования.

С практической точки зрения Тиму можно сделать то возражение, что достигнуть достаточного приближения к стационарному состоянию динамического уровня в пределах депрессионной воронки, от которого существенно зависит надежность результатов, очень трудно. Далее при применении на практике способа Тима необходимо принять во внимание, что часто в течение короткого времени бывает совершенно невозможно достаточно точно установить действительное падение грунтовой воды. Последнее относится главным образом к напорным уровням, которые благодаря их большой чувствительности часто колеблются, как маятник, около горизонта их равновесия. Это относится также и к свободным уровням, когда они находятся под влиянием соседних поверхностных водоемов и колеблются вместе с последними.

При напорных уровнях в тех случаях, когда вблизи имеются поверхностные водотоки, связанные с водоносным пластом, вследствие водопроницаемости пород во избежание ложных выводов необходимо производить целый ряд опытов, дабы получить более или менее правильные результаты исследования.

По мнению автора описанный метод откачки в руках знающего и осторожного гидрогеолога представляет собой простое средство для сравнительно быстрого и довольно точного определения величины производительности водоносных пластов, в особенности для пластов большой мощности и однородного строения. В исключительно благоприятных случаях этот способ может заменить собой метод опытной длительной откачки.

В руках же неопытного гидрогеолога и в особенности, когда условия залегания грунтовых вод очень запутаны,  $\varepsilon$ -метод может ввести в заблуждение.

Этот способ поэтому применим не всегда и требует наличия некоторых благоприятных обстоятельств.

## XI. СПОСОБ ЛЮММЕРТА

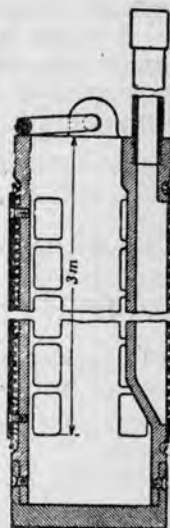
Способ Люммерта представляет собой упрощенный способ Тима.

Исходя из определения удельного дебита, Люммерт обходится без наблюдательных скважин, отстоящих от опытного колодца на известном расстоянии, как это требуется по методу Тима. Он измеряет понижение уровня непосредственно в фильтре опытного колодца, из которого производится откачка, и вводит в виде второй величины приблизительно определенную величину радиуса действия колодца, т. е. расстояние, на которое распространяется влияние откачки. Измерением депрессии непосредственно в фильтре в полученную измерением величину депрессии не входит величина сопротивления при входе воды в колодец, и применением формулы Форхгейма устраняется влияние несовершенства колодца на величину депрессии.

Для изменения депрессии у стенок колодца Люммерт пользуется особым фильтром с трубообразным загибом, который при помощи особой насаженной газовой трубы позволяет произвести измерение зеркала воды у наружной стенки колодца.

Преимущество способа Люммерта состоит в том, что при его применении не требуется сооружения вспомогательной буровой скважины. Составленными Люммертом числовыми таблицами и диаграммами значительно облегчается и упрощается вычисление.

Упомянутые на стр. 159 причины ошибок относятся и к методу Люммерта. Метод Люммерта может показывать хорошие услуги при выборе места для устройства каптажа.



## XII. ДРУГИЕ НЕЗАВИСИМЫЕ ОТ ДАРСИ ТЕОРИИ КОЛОДЦЕВ

Нуртье (Nourtier), Буссинек (Boussinesq) и Поше (Poschet) в числе других исследователей выработали особые теории движения грунтовых вод и их дебита.

По Нуртье дебит колодца пропорционален квадратному корню из диаметра колодца, а также квадратному корню из понижения уровня. По этой теории выгоднее например вместо одного колодца в 4,0 м в свету соорудить 10 меньших колодцев в 0,4 м в свету. Если  $Q$  будет дебитом 10 меньших колодцев,  $Q_1$  будет общим дебитом большого колодца, то при одинаковой депрессии  $H$  действительна будет формула:

$$\frac{Q}{Q_1} = \frac{10\sqrt{0,4d}}{\sqrt{4,0d}} = \sqrt{10},$$

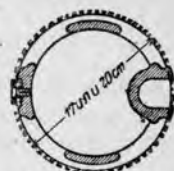


Рис. 145. Фильтр для измерения сопротивления колодца (по Люммерту).

т. е.  $Q = 3,16 Q_1$ . Другими словами, 10 маленьких колодцев с диаметром каждый в 0,4 м дадут при одинаковой величине депрессии  $H$  в 3,16 раза больше воды, чем один колодец с диаметром 4,0 м. По данным Нуртье для водосборной галереи дебит пропорционален

степени  $\frac{3}{2}$  высоты уровня воды в водоносном пласте, причем в этом случае предполагается, что каптаж опирается на водонепроницаемый слой.

Буссинек отстаивает ту точку зрения, что дебит водоносного пласта во время продолжительной засухи подчиняется тем же законам, как и охлаждение тонкой пластинки, не получающей извне притока тепла.

Взгляды Поше опираются почти исключительно на чисто теоретические построения; мы ограничимся лишь указанием на в высшей степени интересные с математической точки зрения работы Поше.

В общем теоретические работы Дарси, Дюпюи и А. Тима совершенно удовлетворяют потребностям теории сегодняшнего дня. Только будущее покажет, могут ли они быть заменены более точными и лучше применимыми новыми методами.

## **В. ПОДЗЕМНЫЕ ВОДОТОКИ**

В отделе «Подземные воды» мы обозначили в противоположность «Грунтовой воде» в качестве подземных водотоков ту воду, которая движется в щелях, трещинах, пещерах и других каналах в толщах плотных горных пород; причем здесь действуют те же законы движения воды, что и в открытых каналах.

В связи с этим происхождение подземных водотоков предусматривает известные условия напластования и действия геологических процессов в плотной горной породе, ведущие к образованию трещиноватости последней.

Из этого как следствие вытекает, что при возникновении подземных водотоков решающими моментами являются как геологические свойства горной породы, так и силы, действующие на нее разрушающе.

### **1. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ТОЛЩИ ГОРНЫХ ПОРОД, ПРОРЕЗАННЫХ ПОДЗЕМНЫМИ ВОДОТОКАМИ**

#### **1. ТРЕЩИНОВАТОСТЬ ПЛОТНОЙ ГОРНОЙ ПОРОДЫ**

Вместо необходимых для вмещения грунтовой воды промежутков между обломками горных пород, слагающих относительно рыхлые поверхностные наносы, при подземных водотоках необходимо присутствие трещин в толще плотной породы.

В общем трещиноватость горных пород возникает, во-первых, вследствие того, что их масса распадается по плоскостям наслоения или напластования на отдельные части или пласты (например при горных породах осадочного происхождения), во-вторых, вследствие образования так называемых поверхностей излома.

Поверхности наслоения являются результатом естественного осадочного процесса.

Поверхности же излома в большинстве случаев являются следствием тектонических движений.

В то время как поверхности напластования имеют довольно правильное развитие и их часто можно проследить далеко вглубь толщи горных пород, поверхности излома образуют обычно неправильные системы трещин, направление и размеры которых обычно очень изменчивы.

Так как мы в большинстве случаев не знаем ни направления, ни размера сил, способствующих развитию трещин в горных породах,

то из этого следует, что водные пути в таких породах, образовавшиеся и образующиеся вследствие трещиноватости, не поддаются никакому учету и потому по обнаруженной в одном месте трещиноватости пород нельзя судить о трещиноватости в соседних местах.

Между тем пустоты в горных породах не всегда ограничиваются трещинами и щелями, возникающими вышеописанным способом.

## 2. РАСШИРЕНИЕ ТРЕЩИН ГОРНЫХ ПОРОД

В большинстве горных пород пустоты, возникшие вследствие трещин, постоянно расширяются, с одной стороны, вследствие химического действия воды, а с другой — вследствие механического разрушения. Эти оба процесса обозначаются как разъедание (коррозия) и эрозия.

## 3. РАЗЪЕДАНИЕ (КОРРОЗИЯ), ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ И ЭРРОЗИЯ

Возникновение явлений разъедания и эрозии всегда обусловлено в массе горных пород там, где силы сопротивления химическому и механическому воздействиям атмосферной воды понижены.

Сильнее всего поддаются химическому воздействию воды различные виды известняков, так как известь легко растворяется в воде, содержащей углекислоту.

Из сравнения гидрогеологических особенностей отдельных типичных известняковых районов не трудно видеть, что результатом разрушающего действия просачивающейся воды всегда является образование и прогрессирующий рост

пещер в горной породе, пещеры имеют большое значение для скопления и движения воды в недрах земли. Конечным результатом этого процесса может быть полное разрушение горной породы.

Насколько велико может быть при известных обстоятельствах разрушение, видно из того, что например высота гор, когда-то возвышавшихся над Нампуром, считается в 5—6 тыс. м.

Химическое воздействие, или разъедание, основано на растворяющем действии воды. Этот процесс распространяется в тех местах, где вода легче всего проникает в массив горной породы. Такими ме-



Рис. 146. Схематическое изображение водоносной брекчи, возникшей вследствие выщелачивания провала (по Грюне).

1—300 м нижний пестрый песчаник; 2—11—20 м шифер; 3—20—25 м дехштейновые глины; 4—50—175 м каменная соль; 5—30—50 м ангидрид; 6—10—15 серая соленосная глина; 7—6—12 м калийная гонимина; 8—50—60 м каменная соль; 9—5—30 м ангидрид; 10—верхний пехштейн; 11—средний пехштейн; 12—300 м нижний пестрый песчаник; 13—10—50 м брекчия; 14—50 м ангидрид; 15—5—10 м серая соленосная глина; 16—4—10 м ангидрид; 17—верхний пехштейн; 18—средний пехштейн

стами являются имеющиеся уже налицо трещины и щели, оказывающие текущей снаружи воде наименьшее сопротивление.

В особенно легко растворимых горных породах процесс разъедания переходит в процесс растворения.

О подобных подземных явлениях в южном предгорье Гарца, где исчезли легко растворимые отложения каменной соли и более трудно растворимые ангидриды, пишет Грюне (Grüne). Мощность исчезнувших пластов исчисляется здесь округло в 130—150 м.

Обвалившаяся, перекрывающая кровля состоит из обломков глины, сланцев и песчаников, сцементированных в водонепроницаемую обломочную массу (рис. 146). Вода проникает в эти обломочные породы сверху, постепенно расширяя трещины и пустоты, которые, соединяясь, образуют целую систему подземных водных каналов.

Подобную подземную водную сеть, возникшую вследствие выщелачивания солей, в районе между Румским источником и границей Гарца более подробно описывает Тюрнау (Thuernau).

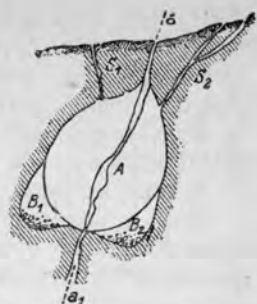


Рис. 147. Схематическое изображение образовавшейся вследствие коррозии и эрозии подземной пустоты.

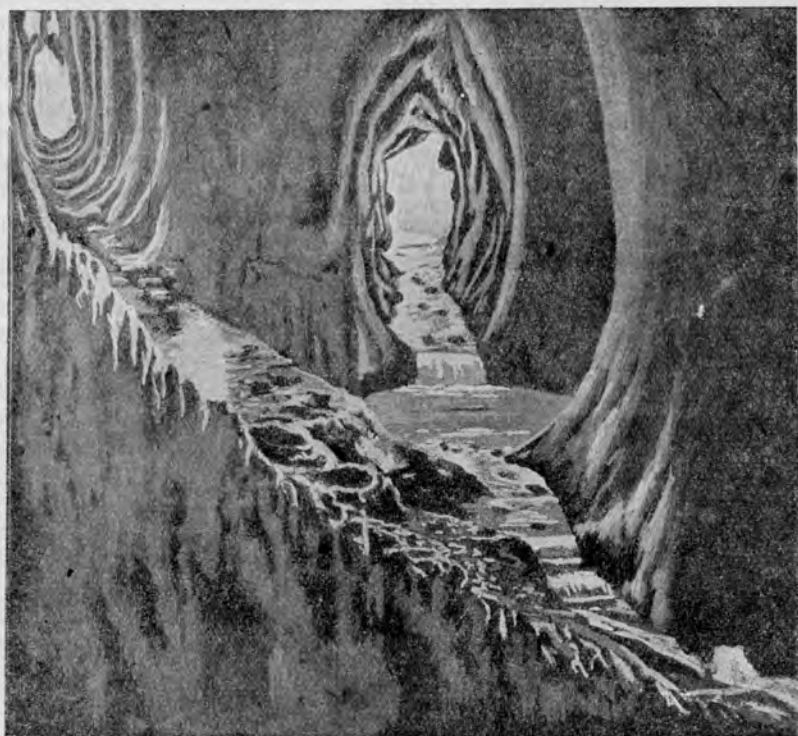


Рис. 148. Типичный поперечный разрез одного участка эрозии в пещерной реке (по Мартею).

Эрозия, или механическое разрушение горных пород, протекает в тесной связи с процессом разъедания. Это разрушение происходит таким образом, что увлекаемые текущей под землей водой обломки горных пород механически разрушают и отшлифовывают стенки трещин, вследствие чего уже существующие водные пути еще более расширяются.

Вышеописанные процессы ясно иллюстрируются рисунком 147.

Если  $a_1$  является первоначальной трещиной в горе, то такая трещина вследствие химических разрушающего действия воды постепенно расширяется в подземную пустоту  $A$ . Впоследствии под влиянием



Рис. 149. Образование каньона провалом пещеры (площадь реки Румеля близ Константины, по Зимлеру).

эрозии образуются углубления  $B_1$  и  $B_2$ . Отложения валунов в этих углублениях являются доказательством выдалбливающей работы несущей валуны воды.

Само собой понятно, что подобный процесс подземной эрозии может иметь место лишь в том случае, когда налицо имеется достаточно длинный и достаточно большой уклон пути, вследствие чего вода могла бы произвести свою разрушающую работу. По общему правилу этот случай возможен лишь тогда, когда трещины гор простираются так, что способствуют движению подземной воды. Таким путем возникают эрозионные каналы значительной длины, т. е. подземные пещерные реки (рис. 148).

Из вышесказанного видно, что разъедающее действие подземной воды происходит преимущественно в вертикальном направлении, процесс эрозии же, напротив, в большинстве случаев имеет горизонтальное направление.

Образование пещер в толще горных пород естественно ведет к уменьшению устойчивости перекрывающих пластов, которые постепенно становятся настолько слабы, что породы, залегающие между трещинами  $s_1$  и  $s_2$ , обрушиваются (рис. 147).

Рисунок 149 изображает по Зимлеру (Simmler) каньон реки Уэд-Румела в Алжире, образовавшейся вследствие такого обвала.

#### 4. ЦИКЛ ЭРОЗИИ

Из подземной пещерной реки вследствие дальнейших нарушений сноса материала и выравнивания поверхности возникает вышеописанным образом овраг. От этой новой поверхности начинается новая

работа воды, ведущая к образованию новых подземных водотоков и т. д.

Последовательность этих процессов называют циклом эрозии.

### 5. ВОДНЫЕ ПУТИ

Движение воды в подземных водотоках следует по давно установленным путям, определенным или по меньшей мере расширенным тектоническими процессами. Эти пути соответствуют естественным напластованиям, щелям и трещинам в горной породе и в большинстве случаев не связаны или имеют лишь второстепенную связь со строением поверхности земли.

Насколько водные пути в трещиноватых породах разнообразны и с самого начала не поддаются определению, яснее всего видно из рисунка 150, который согласно Штапфу (Stapff) изображает пути подземной воды в горных массивах С.-Готарда.

Из вышеизложенного ясно видно, что водные пути в трещиноватых породах абсолютно не связаны с поверхностными водоразделами. Взаимно пересекаясь и скрещиваясь, они образуют сложную систему трещин, обычно не подчиненных никакой закономерности.

Нередко первоначальная простая система трещин, вызванных тектоническими процессами, подвергается большим нарушениям вследствие последующих тектонических движений. Эти нарушения выражаются в полном искажении правильного направления трещин, и в результате создается сложная и неправильная сеть их, среди которых имеются различного рода трещины: главные и боковые, более древнего и более молодого происхождения. В особых случаях можно наряду с первоначальной системой главных трещин явственно обнаружить и систему второстепенных трещин или даже несколько систем последних.

### 6. ПОСЛЕДУЮЩЕЕ ИЗМЕНЕНИЕ В СТРОЕНИИ ПОДЗЕМНЫХ ПУТЕЙ

Вследствие заиления, гидратизации (поглощение воды), каолинизации (превращение в результате выветривания извержен-

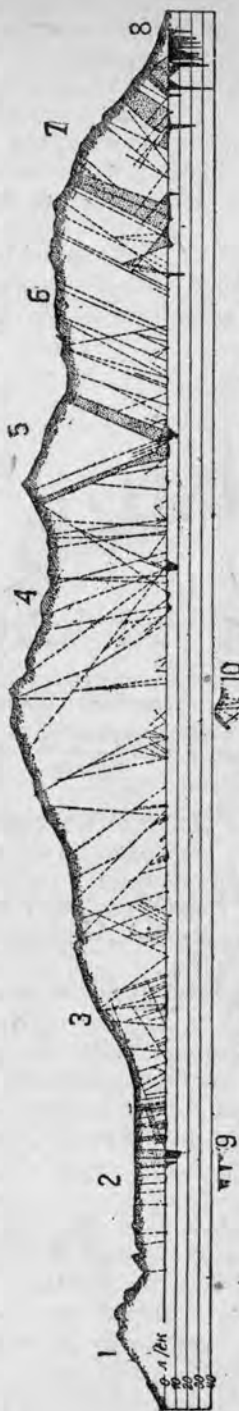


Рис. 150. Трещины, водоем которых питается С.-Готардский тоннель (по Штапфу).

1—Гомельск; 2—Урарская долина; 3—Вальс; 4—Долина Гуски; 5—Альпы Дала Селла; 6—Сорейтские Альпы; 7—Сиппенус; 8—Айроло; 9—количество воды в м/сек.; 10—трещины, по которым движется подземный поток.

ных и кристаллических горных пород в чисто глинистую горную породу) и выпадения минеральных веществ горные трещины и щели могут быть закупоренными и потом стать водонепроницаемыми. Это явление чрезвычайно важно для суждения о водном хозяйстве трещиноватых горных пород, так как с течением времени трещиноватость может этим путем сильно измениться. Этими не поддающимися учету процессами между прочим объясняется иногда уменьшение дебита источников. Средств борьбы против подобного падения дебита не существует.

## 7. ПЕЩЕРНЫЕ РЕКИ

Подземные водотоки значительной длины и с большим поперечным сечением называют пещерными реками. Необходимым условием

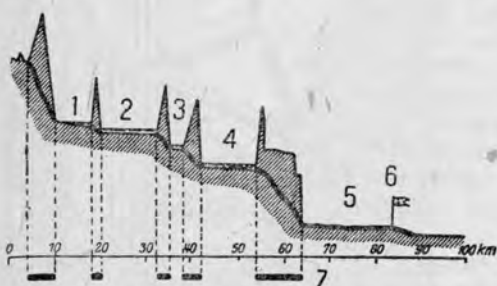


Рис. 151. Продольный разрез реки Лайбаха с врезающимися временными озерами по Шенкелю.

1 — Лаас; 2 — Пирникское озеро; 3 — Раибач; 4 — река Унц; 5 — река Лайбах; 6 — Лайбах (город); 7 — пещерные участки

для их образования является легкая растворимость горных пород; поэтому такие реки чаще всего встречаются в пластах, состоящих из известняка, доломита, мела и т. д., слагающих так называемые карстовые ландшафты (ср. параграф 8 «Гидрологические явления в карстовых областях»).

Пещерные реки нередко являются продолжением поверхностных водотоков, временно или надолго исчезающих в глубине земли.

Река Лайбах (Laibach) является примером подобной реки с временно поверхностным и подземным течением (рис. 151).

Поверхностные участки такой реки кончаются всегда там, где пласты горной породы с большей сопротивляемостью процессам карстообразования сменяются пластами, легко поддающимися разрушению водой.

Подобные явления можно встретить также и там, где поверхность образует замкнутые отрицательные формы рельефа. Так например в карсте образование пустот вызывается отдельными горными хребтами, которые тянутся один



Рис. 152. Разрез через Синиские, Ливанские и Гламоцкие поля по (Баллифу).

1 — Дальмация; 2 — Босния; 3 — Адриатическое море; 4 — Синиско-полье; 5 — река Цетинья; 6 — Ливанское поле; 7 — Гламоцкое поле.

за другим вдоль берега моря, отделяя море от водораздела. Между этими хребтами лежат (часто террасообразно) соединяющиеся друг с другом понижения. Если эти понижения растянуты и извилисты, то они называются «долинами» (Dolinen), если же они широки и углублены ваннообразно — полями (Polien) (рис. 152). Особенно развиты пещерные реки в Бельгии, где они подробно изучены Брюком, Мартелем и Раиром (Вюеск, Matre, Rahir).

Таковыми являются реки Лесс с ее притоками, Лома и Вама, которые питаются целым рядом подземных пещерных рек.

Подземный водоток реки Лесс является самым замечательным и грандиозным явлением не только в этом районе, но и во всей Европе (рис. 153а и 153б).

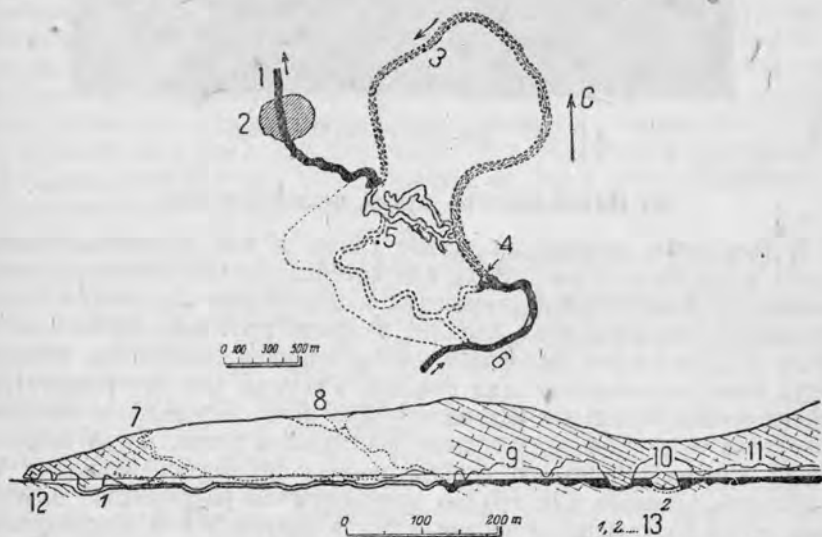


Рис. 153а и 153б. Подземное течение реки Лесс выше озера Гана на Лессе (по Ванброку).

1 — Лесс; 2 — Гана на Лессе; 3 — Шаве; 4 — Грот Бельво; 5 — подземное течение р. Лесс; 6 — Лесс; 7 — воронки Пико; 8 — воронки Синейи; 9 — Стикс; 10 — Саль-дю-дам; 11 — Саль-де-драпери; 12 — Грот Бельво; 13 — Дюккерт.

Если идти от Гана на Лесс вдоль ее старого русла, называемого Ла-Шаве, то попадешь к гроту Бельво (Belvaux), в который Лесс низвергается, протекая дальше в виде подземной пещерной реки. Высота падения реки Лесс равняется приблизительно 160 м.

Рисунок 154 изображает внутренний вид грота, в котором река, пенясь, исчезает. Лишь зимой, когда грунт не в состоянии поглотить всей воды Лесса, Шаве частично затопляется. Таким образом река Лесс распадается на две части: одна постоянная, протекающая грот Гана под землей, и другая от времени до времени выступающая на поверхность, ниже грота Гана соединяющаяся с подземным рукавом. Подземный путь равняется приблизительно 2 км. Падение на этом участке при обычном уровне воды равняется приблизительно 1 м. Для прохождения этого пути в воде требуется около 24 часов. Под Фурфотцем часть Лесса снова исчезает, чтобы позднее у Тру дела-Лутр снова соединиться с надземным рукавом.



Рис. 154. Грот Бельво (по Вайброку).

### а) Изменяемость путей пещерных рек

В результате отложения песка, глины и ила подземный канал может постепенно стать отчасти или совершенно водонепроницаемым. Вследствие постепенного повышения и понижения положения русла нередко возникают водные каналы, лежащие друг над другом; такие русла в зависимости от своего направления и количества осадков могут быть водоносными или сухими. Рисунок 155 изображает подобные соотношения (по Шенкелю — Schenkel). Предельное понижение русла пещерной реки обычно достигается тогда, когда поддающаяся карстообразованию горная порода прорезана каналами до водонепроницаемого или трудно поддающегося разрушению пласта. Если легко поддающийся эрозии пласт в вертикальном направлении маломощен, то и степень понижения подземных водотоков незначительна. Если же, напротив, растворимая горная порода слагает мощную толщу, то может образоваться целый ряд подземных речных систем, связанных между собой пустот и пещер, лежащих друг над другом и отделенных друг от друга плотными пластами, не поддающимися карстовому процессу. Таким образом получают лежащие более близко к поверхности или, напротив, более глубоко залегающие подземные водотоки, как например в Карсте.

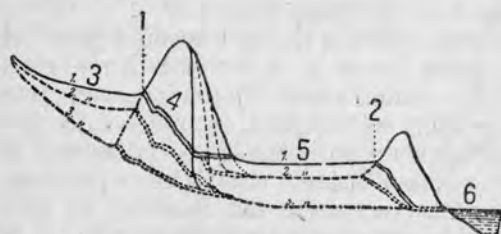


Рис. 155. Ступенчатые падения пещерной реки (по Шенкелю).

1 — Понор; 2 — Понор; 3 — 1 состояние; 4 — пещерная река; 5 — 1 состояние; 6 — море.

Большая или меньшая глубина заложения эрозионных каналов в легко растворимой горной породе зависит не только от мощности и положения эродируемой формации, но также и от разницы высот между первоначальным источником подземного водотока и его естественным устьем.

Если устье водотока по каким-либо причинам понижается, то обычно дальнейшее углубление подземного водотока происходит до тех пор, пока не наступит гидрологического равновесия между стоком и притоком воды. Углубление подземного канала в большинстве случаев идет в направлении вверх по течению.

### б) Свойство пещерных рек задерживать и спускать воду (Переменяющиеся озера)

Сток подземных водотоков и питающихся ими источников ограничен, так как в большинстве случаев вода движется в замкнутых поперечных разрезах, вследствие чего выход из берегов, как это наблюдается в поверхностных водотоках, здесь не может иметь места. Следствием этого наступает подпруживание и затопление поверхностных бассейнов, если между поверхностным и подземным течениями реки имеется гидрологическая связь. Если соединившиеся таким образом подземные и поверхностные воды впадают в замкнутый бассейн, то возникают периодические озера, как например Циркницкое озеро (Zirknitzersee) (рис. 151), образующее часть реки Лайбах.

Многочисленные периодически затопляемые так называемые поля карста представляют собой явление (рис. 156) такого же характера. Подобные затопления являются не чем иным, как следствием обратного поворота подземного стока. При обычных условиях стока оба канала *a* и *b* (рис. 156) действуют, как подземные сточные каналы, и именно до тех пор, пока приток воды не превзойдет проводящей способности подземного водотока. Если приток больше поглощающей способности подземного канала, то происходит запруживание.

Тогда притоки *a* и *b* превращаются в запруды и наступает наводнение.

Замедления в протоке могут также наступить вследствие уже выше упоминавшихся сужений поперечного разреза, отложений наносного материала, провала кровли и также вследствие воздушных мешков, образующихся в переплетенных подземных ходах. Выход воздуха из естественных воздушных мешков происходит лишь очень медленно, и таким путем часто могут быть объяснены особенности движений подземных вод и замедления их стока, кажущиеся загадочными и трудно объяснимыми.

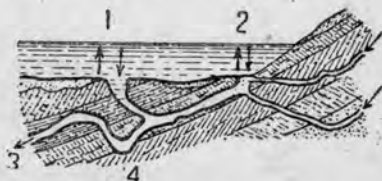


Рис. 156. Переменный характер взаимодействия поверхностных и подземных вод. То подземная вода изливается на поверхность, то поверхностная поглощается.

- 1 — выталкивающий и поглощающий канал;  
2 — выталкивающий и поглощающий канал;  
3 — пещерный сток; 4 — Дюкер<sup>1</sup>.

### в) Исчезновение пещерных рек и впадение последних в море

Значительное число подземных водотоков, раз исчезнув, никогда больше не появляется. В многочисленных случаях возникает вопрос, куда эти значительные количества воды поступают. На это часто нет возможности дать ответ. Этот вопрос легче разрешается в прибреж-

<sup>1</sup> Дюкер — обратный сифон.

ных странах, где море является естественным выходом подземных водотоков.

Подобными подземными пещерными реками являются: Тимаво (Timaŵo) (так называемая в верхнем течении «Река»), Файба (Faiba), Лика (Liĉa), Гака (Gaska), Требиничика (Trebinuŝika), состоящая из двух главных рек, и др.

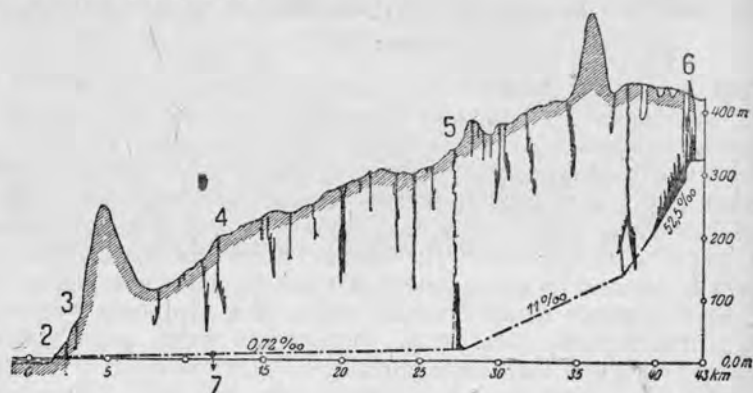


Рис. 157. Продольный разрез подземного течения реки Тимаво между гротом Сен-Кавциан и Дуино (по Бегану).

1 — Адриатическое море; 2 — Тимаво; 3 — естественный колодец близ С.-Джованни ди Дуино; 4 — грот Ноо; 5 — грот Требич; 6 — грот С.-Кавциан; Река; 7 — источник Аурезиню.

В качестве примера подобной пещерной реки приводится предполагаемое русло реки Тимаво от грота Гациана до ее впадения в Адриатическое море (рис. 157).

#### д) Образование систем подземных водотоков в пещерных реках

Подземные водотоки и пещерные реки могут при известных обстоятельствах образовать целые системы, отделяющиеся друг от друга подземными водоразделами. Пример подобной системы образуют исследования Штилле (Stille) подземные водотоки в меловой формации выше Падерборна. Падерборнские источники питаются трещинами и щелями, стягивающимися близ Падерборна в одну систему. Эти трещины и щели, как видно на рисунке 158, пересекают толщу земли в следующих направлениях.

1. Гамборн — Эбинггаузен (Hamborn — Ebbinghausen).
2. Грундштейнгейм — Лихтенау (Grundsteinheim — Lichtenau).
3. Дал — Грундштейнгейм (Dahl — Grundsteinheim).

Водораздел грунтовых вод направляется от Падерборна выше Гамборна к Мейергофу и отделяет в гидрологическом отношении Падерборнскую систему источников от четвертого района источников, простирающегося выше Кирхборхена (Kirchborchen). В так называемых карстовых областях пещерные реки представляют собою особенно яркие примеры часто легко разветвляющихся систем подземных водотоков, для которых они являются характерными.

Их возникновение и развитие является предметом науки о пещерах.

Работы Кнебеля (Knebel), Бока (Bock), Бренка (Brock), Мартеля и Раира, а также и в журналах, Mitteilungen für Höhlenkunde дают сведения об исследованиях пещер

### 8. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В КАРСТОВЫХ ОБЛАСТЯХ

Сильно развитые пещерные реки встречаются в так называемом «карсте». Возникновение их объясняется преимущественно легкой растворимостью горных пород в таких областях. Однако было бы неправильно утверждать, что подобные явления ограничиваются лишь районом Карста, понимаемого в географическом смысле. Местности с ярко выраженным карстовым характером или по крайней мере с указаниями на такой характер можно найти во всех частях света, так как условия, способствующие возникновению так называемых карстовых явлений, наблюдаются в определенных геологических формациях, широко распространенных по всему земному шару.

Ниже приводится ряд областей Европы, где встречаются карстовые образования.

1. Германия (Вестфалия, Вюртемберг, Франкский Альб).

2. Моравия, Дахштейнский и Динарский районы.

3. Бельгия (Динарский байссен).

4. Франция (департамент Лота, Юры, Côte d'Or и Ионы).

5. Англия (Йоркшир, Девоншир).

6. СССР (Уфа, Пермь, Крым).

7. Италия (различные известняковые области).

8. Балканы (Албания, Эпир, Сербия, Болгария).

9. Испания (Лейанские горы).

Карстовые образования в большинстве случаев бедны водой лишь на поверхности, в подземных же каналах в толще карстовых массивов собираются, накапливаются и движутся большие количества воды.

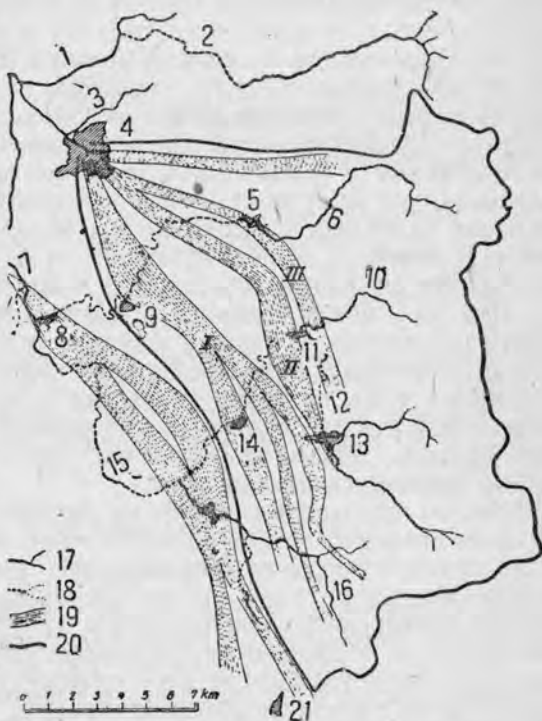


Рис. 158. Подземные водотоки в меловых отложениях выше Падерборна (по Штилле).

1 — Липпе; 2 — Аске; 3 — ручей Рета; 4 — Падерборн; 5 — Дале; 6 — Ручей Эллер; 7 — Ломе; 8 — Кирборхен; 9 — Гамбор; 10 — Шмитвассер; 11 — Грундштейнгейм; 12 — Зауер; 13 — Лихтеау; 14 — Эббингаузен; 15 — Альтенау; 16 — Альтенау; 17 — неиссякающие ручьи; 18 — неиссякающие летом ручьи; 19 — подземные водотоки; 20 — граница водного района Падерских источников; 21 — Мерсгоф

Малое количество воды на поверхности ни в коем случае не является признаком незначительного количества осадков, так как во многих карстовых областях отмечено чрезвычайно большое количество дождей. Так например годовое количество осадков на западном побережье Истрии составляет в среднем 800—1 000 мм и повышается в Триестском и Чиченском карсте до 1 800 мм, в Маджноре достигая 3 000 мм. Одной из наименее плодородных и наиболее засушливых карстовых областей является Кривочи, расположенная севернее Катарро и обладающая 4 360 мм годовых осадков; эта область относится к наиболее богатым осадками областям Европы. Если несмотря на это здесь почти совершенно не имеется поверхностных водотоков, то это должно быть объяснено лишь тем, что дождевая вода здесь немедленно просачивается в глубину. Большие ливни бывают здесь нередко, и вода исчезает в грунте, который в высокой степени дренирован сетью широко разветвляющихся карстовых каналов.

Если принять во внимание незначительное удерживающее свойство щелистой и трещиноватой поверхности земли, то станет вполне очевидно, что быстрый сток воды в глубину должен вызывать значительные колебания зеркала воды в подземных водотоках. Выравнивание подобных колебаний зеркала имеет место в больших пещерах и в других расширениях подземных каналов.

Пещеры и боковые каналы не должны непременно иметь постоянную гидравлическую связь с текучими водами. В том случае, когда такая постоянная связь отсутствует, пещеры и подземные каналы действуют лишь во время паводков в качестве резервуаров, принимающих участие в явлениях подземного стока, между тем как при среднем, вернее, при низком стоянии воды, они представляют собою мертвые скопления воды.

Как бы просты сами по себе ни казались эти естественные дренирующие процессы, они все же могут очень запутанно видоизмениться, если гроты, пустоты со стоячей водой, дюкеры, подъемы и многие расположенные друг над другом или лежащие рядом горизонты действуют одновременно при различном уровне воды и образуют в зависимости от обстоятельств гидравлически зависящие или независящие друг от друга каналы или водохранилища.

В таком случае встречаются пещеры, сухие или наполненные проточной водой, обширные галлереи с уступами и разветвления, в которых воды или соединяются или распадаются на отдельные русла; здесь же встречаются находящиеся под давлением наклонные каналы, которые подчиняются влиянию подъемов и дюкеров.

Этим объясняется, почему многие исследователи придерживаются того мнения, что наблюдаемая в карсте вода должна быть особенной водой. Грунд (Grund) указывает на эту воду как на особый вид грунтовой воды и называет ее «карстовой водой». Он полагает, что в карсте собственно грунтовая вода находится в полном покое в виде стоячей воды, а что карстовая вода представляет собою ту часть просочившихся атмосферных осадков, которая движется над стоячими грунтовыми водами.

Бок (Bock), Катцер (Katzner), Ваагени и другие справедливо возражали против такого мнения. Как нами указано в начале книги, характерным отличительным признаком грунтовых вод от

подземных водотоков является не состояние покоя или движения воды, но род водоносного пласта, которым и обуславливаются законы движения воды в каждом отдельном случае.

В карстовых областях можно также встретить грунтовые воды, но лишь там, где водоносные пласты, состоящие из обломочных пород, обуславливают существование такой воды.

Если поверхностная вода движется например в аллювии, то и в карстовых областях могут образоваться грунтовые воды, так как мало водопроницаемый песок и гравий ослабляют подземный сток. Для образования сплошного более значительного количества грунтовой воды необходим, само собой понятно, хороший водонепроницаемый пласт между водоносным пластом и трещиноватой горной породой.

Таким образом по аллювию течет р. Пойк (Poik) и образует здесь грунтовые воды. Пойк становится подземным водотоком лишь тогда, когда он протекает непосредственно над трещиноватым известняком.

Подобные соотношения согласно данным Катцера можно также встретить в долинах Яла (Jalatal) и Спреча (Spreccatal) близ Д. Тузла (D. Tuzla), где налицо имеются обширные водоносные пласты с грунтовой водой, возможность использования которых для водоснабжения Д. Тузла подвергнута обсуждению (рис. 159).

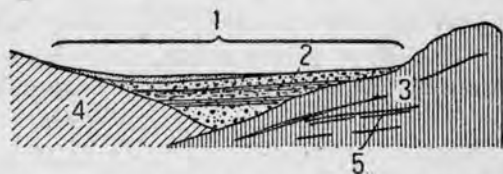


Рис. 159. Грунтовые воды, под которыми расположены подземные водотоки (по Катцеру).

1 — глинистые отложения; 2 — грунтовая вода; 3 — древние породы; 4 — неоген; 5 — подземные водотоки.

## II. ПОИСКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОДОТОКОВ

### 1. СКРЫТЫЕ ПОДЗЕМНЫЕ ВОДОТОКИ

Имея дело с открытыми водотоками, гидрогеолог лишь в редких случаях бывает в состоянии вести столь же систематическое исследование, как это возможно при грунтовых водах.

Местности, сложенные трещиноватыми горными породами, лишены, как мы выше уже видели, какой бы то ни было закономерности в развитии подземных путей, и поэтому мы никогда или лишь в очень редких случаях можем из отдельных наблюдений делать здесь выводы о направлениях водных путей.

Если искать подземные водотоки при помощи бурения и если при бурении промывная вода пропадает, то это не всегда является доказательством того, что вскрытые бурением пласты не содержат воды. Исчезновение такой воды может быть основано на том, что воспринимающие, проводящие воду под землей водоносные трещины не целиком наполнены водой.

Случаи, в которых можно систематически проследить ход подземных водотоков, чрезвычайно редки, в большинстве случаев можно проследить только пещерные реки и водотоки, вскрытые шахтами и штольнями, первоначальной целью которых были разработки месторождений и которые лишь впоследствии, когда горная порода оказалась достаточно водоносной, были использованы для добычи

воды и в качестве водохранилищ. Примерами могут служить водопроводы городов Аахена и Висбадена. Основанные на чисто геологическом изучении строения горных пород предсказания о наличии воды в том или ином месте оказались совершенно не соответствующими действительности, как то было подтверждено при постройке многочисленных тоннелей.

Право искать и добывать воду помощью горных разработок не должно оспариваться. Однако следовало бы при этом вероятность гидрогеологических результатов не оценивать выше, чем то позволяют внешние признаки.

## 2. ПРИЗНАКИ

(Подземный шум, просадки, провалы, поглощающие воронки, безводные долины)

Наряду с источниками, являющимися естественными поверхностными признаками подземных водотоков, можно указать следующие признаки: подземный шум, просадки, провалы, поглощающие воронки и во многих случаях безводные долины, бывшие в прежнее время водоносными и теперь отдавшие свое водное богатство недрам земли.

В отдельных случаях поверхность земли попросту покрыта поглощающими воронками. Иногда можно также заметить, что провалы расположены по определенным линиям. В таком случае они указывают направление, в котором движется вода под землей.

Провалы встречаются во всех видах гор, подверженных химическому и механическому разрушению и разъеданию. В Пленерской равнине близ Падерборна находятся провалы до 25 м глубины,



Рис. 160. Поверхность земли близ Ремушамп, покрытая провалами (по Бреку).

- 1 — ручей Стинваль; 2 — ручей Мосбеф; 3 — ручей Грю; 4 — Шантуар-М-Блсе; 5 — ручей Кора; 6 — ручей Гуржумон; 7 — ручей Жервоваль; 8 — выход Рубикона; 9 — Ремушамп; 10 — Амблев; 11 — поглощающие воронки; 12 — русла ручьев; 13 — ручей Нигленспо.

представляющие собой круто ниспадающие воронки до 30 м в диаметре. Густота подобных провалов очень значительна, например вблизи Шванау (Schwanau), где на 1 кв. км поверхности приходится 42 провала. Из провалов могут возникать также озера, как например близ Пирмонта (Pirmont).

Рисунок 160 изображает окрестности Ремушампа в Бельгии, где многочисленные поверхностные водотоки исчезают в трещинах земли. Эти водотоки соединяются позднее на возвышенности Ремушампа в значительный поток, называемый Рубиконом и питающий реку Амблеву.

Если подземные водотоки, или, вернее, пещерные реки, впадают в море, то признаками их выходов служат водяные воронки и другие подобные явления, усиливающиеся при увеличении количества осадков. Такие места в большинстве случаев хорошо известны рыбакам как местопребывания известных пород рыб, любящих пресную воду.

Выступающая вблизи побережья из водотока вода может быть как пресной, так и солоноватой или совершенно соленой. Это зависит от степени отдаленности от моря и от характера гидравлических взаимоотношений между морем и подземным притоком, а также от воздействия прилива и отлива. В зависимости от гидравлического давления, обусловленного разницей уклонов, один род воды преодолевает или вытесняет другой. Вследствие этого затем в смеси получается различное соотношение между пресной и соленой водой.

### **III. ДОКАЗАТЕЛЬСТВА СУЩЕСТВОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОДОТОКОВ ПУТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ВЫХОДОВ ИСТОЧНИКОВ**

Там, где подземные водотоки выступают на поверхность в виде ключей, количество находящейся в них воды может быть измерено с такой же точностью, как и количество воды естественных выходов грунтовых вод.

Здесь однако следует лишь сослаться на уже приведенные указания в отделе «Грунтовые воды». Там, где в долинах отсутствуют выходы ключей на поверхность, не всегда можно заключить, что более глубокие слои земли не содержат воды. Здесь при известных обстоятельствах зеркало воды может лежать так глубоко, что даже при наиболее высоком стоянии воды зеркало не достигает поверхности земли, вследствие чего образование источников невозможно.

### **IV. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ВОДЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОДОТОКОВ**

#### **1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПО ВЕЛИЧИНЕ ИНФИЛЬТРАЦИИ, ИЛИ, ВЕРНЕЕ, ПО КОЛИЧЕСТВУ ПОГЛОЩЕННОЙ ВОДЫ И ПО РАЙОНУ ВЫПАДАЮЩИХ ОСАДКОВ**

Для определения количества воды подземных водотоков по району осадков и величине инфильтрации действительны те же рассуждения, которые мы привели в гл. VI, п. 1 при разборе грунтовых вод.

В подземных водотоках, стоящих благодаря трещинам и провалам в связи с поверхностными водами, процесс инфильтрации переходит в процесс поглощения. Если трещины перекрыты обломками горных пород (песок, гравий), это поглощение начинается с инфильтрации, и благодаря этому часто возникают сложные процессы питания трещиноватой породы.

Нельзя математически подойти к вычислению величины инфильтрации или количества погрузившейся в грунт воды.

При этом поверхностный район выпадения осадков или в соответствующих случаях район питания в большинстве случаев настолько не совпадает с подземным районом питания, что основывать свои вычисления на величине поверхностного района не представляется возможным.

По общему правилу в складчатых горах подземные водоразделы не совпадают с поверхностными водоразделами. Такое несовпадение водоразделов особенно сильно проявляется в случае легко растворимых пластов. В растворимых горных породах подземный водораздел нередко меняет свое положение, что очень важно не только с гидрологической точки зрения, но и с точки зрения водного права.

Очень часты случаи, когда несмотря на существование ясно выраженного поверхностного водораздела происходит изливание воды из одного речного бассейна в другой соседний речной бассейн. Тут нужно упомянуть об особо типичном случае инфильтрации Дуная у Ваденско-Вюртембергской границы.

Вдоль участка Дуная между Иммендингом (Баден) и Фридингом (Вюртемберг) происходит инфильтрация воды Дуная таким образом, что шварцвальдские воды Дуная отводятся под землей в реку Аах (рис. 161).

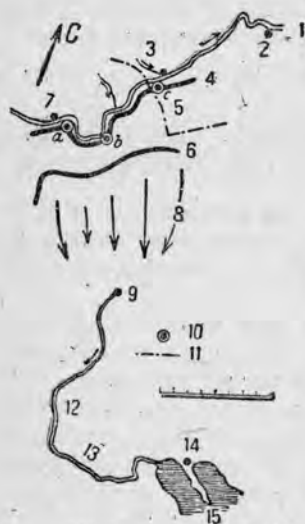


Рис. 161. Просачивание воды Дуная в районе Ааха (Рейн).

1—Дунай; 2—Фридрихсгайм; 3—Туллинген; 4—подземный водораздел; 5—Вюртемберг; 6—поверхностный водораздел; 7—Иммендинген; 8—Баден; 9—Аахтоф; 10—погружение; 11—государственная граница; 12—Зинген; 13—Бах; 14—Рудольфсцел; 15—Боденское озеро.

Таким образом массы воды, принадлежащие, судя по поверхностному водоразделу, к бассейну Дуная, благодаря связи реки Аах с Боденским озером попадают подземным путем в бассейн реки Рейна. Инфильтрация воды происходит в точках *a*, *b* и *c*, и подземный водораздел тянется местами в самой глубокой части долины вдоль ложа Дуная. Поверхностный водораздел лежит дальше к югу, и в глубине земли он прорезается насквозь водой. Хотя замечательный процесс поглощения воды давно уже известен, но на него было обращено серьезное внимание всего только 35 лет назад, с тех пор из года в год это явление изучается все больше и больше. Так как собирающаяся выше Иммендинга вода Дуная не попадает больше в Вюртемберг, то от этого сильно страдали принадле-

жащие Вюртембергу селения, водоснабжение которых связано с притоками Дуная, что повлекло за собою судебные процессы между обоими соседними государствами.

## 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ВОДЫ ПО ТРЕЩИНОВАТОСТИ ПОРОДЫ

В том случае, как выяснено выше, когда мы имеем дело с водоносным пластом, мы можем пользоваться для вычисления количества содержащейся в нем воды данными о его водопроницаемости ввиду того, что эта последняя в достаточной степени закономерна и может служить основой для вычислений. Когда требуется определить количество воды в подземных водотоках, на место водопроницаемости вступает степень трещиноватости породы.

Существует не мало попыток выразить трещиноватость отдельных горных пород в цифрах. Однако все подобные попытки имеют

только теоретическое значение и для применения на практике непригодны, так как трещиноватость обычно имеет очень неправильный характер и зависит от разных условий, которые совершенно не поддаются учету. Правда, по количеству воды в трещиноватой горной породе можно судить о характере и величине трещин, но по характеру трещиноватости нельзя судить о количестве воды, вытекающей из горных пород.

### **3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ВОДЫ ПО ПОПЕРЕЧНОМУ СЕЧЕНИЮ ПОТОКА И ПО СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ВОДЫ**

#### **а) Поперечный разрез потока**

О поперечном разрезе потока в трещиноватых горных породах можно с практической точки зрения говорить только там, где подземные ходы принимают такие размеры, что вода в них может продвигаться по законам, действительным для движения воды в открытых каналах. Волосные щели, трещины и т. п., в которых вода движется, как в капиллярных порах, практически не могут рассматриваться как проводящие воду каналы.

Размеры подземных каналов очень различны и достигают наибольшей величины в пещерных реках. Однако они никогда не достигают ширины потоков грунтовой воды, доходящей часто до нескольких километров. Они не могут достигнуть такой ширины уже потому, что устойчивость покрывающих их пород ограничена. Как только поперечный разрез подземного водотока перешагнет известный предел ширины, неизбежно проваливается кровля, и подземный водоток превращается в открытый поверхностный водоем.

Определение поперечных сечений подземных водотоков возможно только в самых редких случаях. К этой задаче едва ли можно приступать при помощи бурения. По общему правилу приходится ограничиться съемкой только таких каналов (например пещерные реки, гроты и т. д.), которые доступны обходу и только потому могут быть точно сняты.

#### **б) Зеркало воды**

Зеркала подземных водотоков (поскольку речь не идет о волосных щелях и т. п. водяных путях, в которых действуют законы капиллярности) находятся только под влиянием тяготения земли так же как в поверхностных водотоках со свободным зеркалом или в закрытых трубах при напорном зеркале.

Здесь совершенно отпадает особое сопротивление водоносной породы, которое ярко проявляется в грунтовой воде.

Питание большинства подземных водотоков инфильтрацией поверхностной воды естественно должно отражаться на форме зеркала и на характере его колебаний. Тут отсутствуют задерживающая сила и ослабление движения воды сопротивлением породы, и потому зеркало большинства подземных водотоков отражает тотчас же влияние каждого более значительного притока воды с поверхности земли. Зеркало подземных водотоков, как правильно говорится, «следует за дождем».

Быстрый сток осадков в подземные каналы проявляется в том, что почти одновременно с изменением уровня воды на поверхности

земли наступает и соответствующее изменение подземного уровня воды. За выпадением осадков на поверхности земли и наступившим половодьем немедленно следует и повышение уровня подземного водотока, как это видно на рисунке 162, который по данным Бегана (Voegan) изображает положение зеркала воды в гроте Требик.

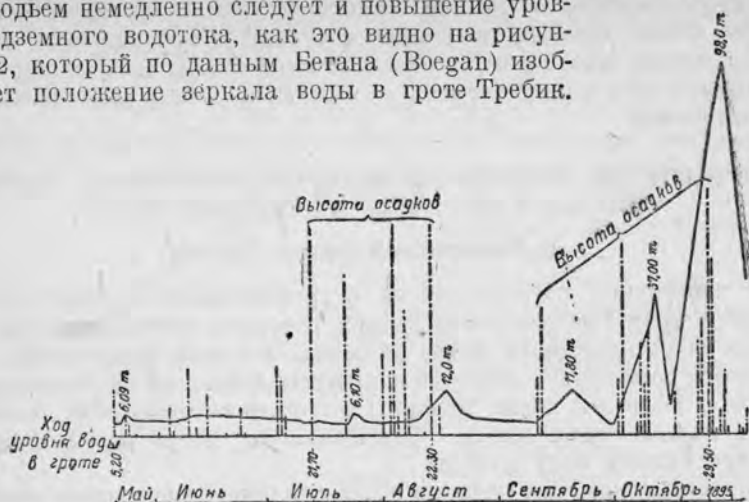


Рис. 162. Диаграмма количества осадков и колебаний зеркала воды в гроте Требик (по Бегану).

### с) Колебания уровня

В то время как при грунтовой воде колебания уровня сравнительно малы и обыкновенно не превышают 1—2 м, в подземных водотоках такие колебания могут быть очень велики. Нередко колебания уровня достигают 10—30 м. По данным Бегана во время половодья реки «Река» в гроте Требик подземное зеркало воды подымается на 92,9 м.

Зеркало воды лежит там в среднем в круглых числах на 320 м ниже поверхности земли.

Связанный с подземным наводнением подъем зеркала бывает иногда так велик, что старые, заброшенные и обыкновенно сухие каналы внезапно становятся водоносными, и если они находятся в связи с поверхностью земли, то могут возникнуть из них даже временные, перемежающиеся источники. Если трещиноватая горная порода особенно легко поддается эродирующим силам, то может случиться, что положение зеркала, лежащего над ней водоносного пласта, не поддающегося размыву, остается неизменным, в то время как зеркало подземного водотока опускается все глубже и глубже. Следствием этого наступает образование двух или нескольких лежащих одно на другом горизонтов, вертикальное расстояние между которыми постоянно увеличивается.

Часто случается, что подземные водотоки опускаются под выполненные аллювием долины, причем вода их не смешивается с грунтовой водой аллювия. Затем по ту сторону долины они опять подымаются и в верхних пластах выступают на поверхности земли в виде ключей (рис. 164).

Величина и форма подземных пустот иногда ведет к замедлению подземного стока. В противоположность поверхностному режиму воды это влечет за собой не образование отдельных волн половодья большой мощности, но вызывает разделение воды на две или несколько волн половодья меньшей мощности. Между отдельными волнами половодья протекают иногда значительные промежутки времени. Так например по описанию Гутцмана (Gutzmann) в Лише под влиянием подземного притока воды происходит с правильными промежутками от 6—22 дней регулярно двукратное повышение зеркала половодья.

#### д) Измерение скорости движения воды

##### а) Различные средства измерения

Для измерения количества воды в подземных водотоках по поперечному разрезу протока и по скорости движения воды действительны те же положения, как и при определении этих величин в надземных каналах. Трудность такого определения заключается в том, что подземные каналы в большинстве случаев недоступны и формы и размеры их неизвестны. В данных условиях при определении скорости воды возникает вопрос о возможности применения для этой цели в качестве измерительных приборов, приведенных в гл. IV, п. 2, например поплавков, опилок и т. п. При применении пловучих тел необходимо подумать о том, что в подземных каналах занесенные туда листья, хворост, сучья и т. п. образуют в подходящих местах своего рода запруды, которые хотя и не мешают прохождению воды, но задерживают все плавающие предметы, между прочим и те, которые должны служить для определения скорости воды. Это может служить причиной больших ошибок. О такие препятствия нередко разбиваются все попытки произвести измерение скорости воды в подземных водотоках.

Для измерения скорости воды в закрытых каналах более пригодны микроорганизмы, а также поваренная соль и красящие вещества. Для измерения скоростей подземных вод между прочим применялись дрожжевой грибок и разные бактерии, как то: *V. violaceus*, *V. ruosseus*, *V. acetii*, *V. prodigiosus*. Бактерии *Coli* в общем менее пригодны для этой цели, так как они могут попасть в воду вместе с животными и с человеческими экскрементами.

Опыты с поваренной солью могут производиться таким же образом, как мы это указали в гл. VI<sub>1</sub>, п. 2с (g) для грунтовой воды. Наиболее часто для определения скорости воды в подземных водотоках применяются окрашивающие вещества.

##### б) Определение скорости воды окрашивающими веществами

Применяемые для определения скорости движения воды окрашивающие вещества должны обладать стойкостью против разложения и абсорбции в подпочве и должны быть безвредны для людей, животных и растений.

При опытах по окрашиванию применяются фуксин, сафранин, конго красное, эскулин, но главным образом флуоресцин и уранин.

Растворенный в воде флуоресцин имеет прозрачную розоватую окраску с зеленым оттенком с поверхности. Зеленая окраска ви-

дима невооруженным глазом даже при концентрации 1 : 200 миллионов.

Недостатком уранина является его слабое сопротивление по отношению к абсорбции. Вместо кали-уранина лучше всего применять соединения натрия ( $C_{20}H_{10}O_2Na_5$ ). При кислой почве и кислой воде оба соединения оказываются недействительными, так как они выделяются из раствора.

Скорость, с которой продвигаются красящие вещества в грунте, равна:

$$v = \frac{L}{T},$$

где.

$L$  — длина пройденного пути,

$T$  — потребное для этого время.

При этом предполагается, что красящее вещество введено непосредственно в подземный канал. Если местом ввода красящего вещества будет поверхность земли, то  $T$  зависит от свойства инфильтрующего грунта и  $F = t_1 - t_2$ , где  $t$  представляет собой время, потребное для того, чтобы красящее вещество проникло в подземный канал, и  $t_2$  — время, потребное для прохождения красящим веществом пути по самому каналу.

Тогда мы получим подземную скорость воды

$$v = \frac{L}{T - t_1}. \quad (28)$$

В действительности скорость воды больше скорости, с которой движется краска, причем скорость воды превосходит скорость движения красящего вещества по вычислениям Шалона (Chalon) приблизительно на 30%.

Количество красящего вещества, потребного для такого опыта, зависит от разных обстоятельств. Особая формула для вычисления необходимого количества краски дана была Динером (Dienet). Формула эта гласит:

$$A = k \cdot \Delta \cdot l,$$

где:

$A$  — количество красящего вещества в граммах,

$k$  — коэффициент, колеблющийся в зависимости от рода краски,

$\Delta$  — мощность всех источников (в  $см^3/сек.$ ),

$l$  — расстояние места ввода краски до самого отдаленного источника (в  $см.$ ).

Опыты окрашивания флуоресцином часто не удаются вследствие того, что взято недостаточное количество красящего вещества. По указаниям Мартеля (Martel) количество красящего вещества (в килограммах) должно быть равно расстоянию между местом ввода краски и пунктом наблюдения (в километрах), помноженному на протекающее количество воды, измеряемое в куб. метрах в секунду у истока.

Для установления флуоресценции лучше всего пользоваться флуороскопом Триллата. Приспособление это состоит из двух трубок белого стекла высотой в 1 м с диаметром в 2 см. В одной трубке находится чистая вода, а в другой окрашенная. Белая окраска дна трубок помогает сравнению.

При помощи флуороскопа Триллата легко установить окраску воды при концентрации меньше 1 : 500 миллионов.

Определение степени окраски воды уранином производится по К в и т ц о в у (Quitzw) также при помощи стеклянного цилиндра высотой от 0,75 до 1 м, дно которого окрашено в черный цвет.

Если на столб воды смотреть сверху, то и в этом случае невооруженным глазом можно увидеть окраску воды и при концентрации раствора 1 : 500 миллионов. Сравнением, с одной стороны, с чистой пробой воды, с другой же стороны, с пробой воды, немного более сильно окрашенной, видна еще окраска при растворе 1 : 1 миллиард. Конечно если вода обладает слабой естественной окраской, легко могут получиться ложные выводы. Ввиду этого в сомнительных случаях мы считаем полезным прибегать к химическому способу определения степени окраски, так как этот способ при многократных опытах оказался очень надежным. Этот способ позволяет обнаружить окраску воды даже в растворе 1 : 10 миллиардов, когда вода на вид кажется совершенно бесцветной. 1,8 л подлежащей исследованию воды наливается в стеклянную колбу с узким горлышком (так называемая Стоманская стеклянная колба) емкостью в 2 л. Эта вода слабо окисляется азотной или уксусной кислотой. После этого подливается 0,2 л эфира, и вся жидкость сильно взбалтывается до тех пор, пока большая часть эфира не будет поглощена водой. Остаток эфира (10—30 куб. см), который скопляется в длинном, узком горлышке колбы и поглощает весь содержащийся в воде уранин, отсасывается пипеткой и переливается в узкую стеклянную трубку, и в него добавляется 1 капля аммиака. Повторным взбалтыванием имеющийся там в минимальном количестве уранин соединяется с аммиаком и благодаря наступающей при этом флуоресценции становится видимым. Если вода содержит живые растения, то иногда вытяжка эфира окрашивается хлорофиллом в зеленый цвет. При этом присутствие хлорофила сейчас же узнается по кровавокрасной отраженной окраске.

Удачные опыты с уранином были между прочим проведены для отыскания причины вспыхнувшей в Падерборне тифозной эпидемии; эти опыты подробно описывает Г е р т н е р. Динерт описывает опыты с окрашиванием в районе источников рек Авры и Ванны, произведенные в связи с вопросами водоснабжения Парижа.

Предпринятые над Падерскими источниками опыты с окрашиванием показали, как сообщает Штилле, что не все источники реагируют на окраску. Некоторые совершенно не реагируют. Окрашивание наступало только в источниках, замутняющихся при сильном дожде. Источники, остающиеся прозрачными, не давали даже следа окраски.

При опытах с окрашиванием надо главным образом избегать пыли. Кроме того люди, проводящие опыт с окрашиванием, ни при каких обстоятельствах не должны соприкасаться с людьми, на обязанностях которых лежит отбор и исследование окрашенной воды.

Если способом окрашивания хотят исследовать подземные водотоки, принадлежащие к одному общему бассейну, с выходами воды  $Q_1$   $Q_2$   $Q_3$  и  $Q_4$  и  $Q_1^1$ ,  $Q_2^1$ ,  $Q_3^1$  и  $Q_4^1$  (рис. 163) и выяснить их направление и взаимные между ними соотношения, то, как указывает Динерт, целесообразно будет разделить весь район условной линией  $AB$  на две половины. На этой линии прежде всего в точках  $a$ ,  $b$ ,  $c$  вводятся красящие вещества, и потом этот опыт распространяется и на ряды  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $c_1$  и  $a_2$ ,  $b_2$ ,  $c_2$ .

Подобные опыты очень хлопотливы и дороги, и потому гораздо выгоднее путем предварительных изысканий получить исходные точки для определения подземного движения воды.

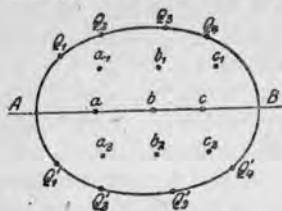


Рис. 163. Распределение мест наблюдений при опытах с окрашиванием (по Динерту).



Рис. 164. Пересечение долины реки Ванны подземным водотоком (по Динерту).

1—места ввода красящего вещества (Виллье-Луи); 2—источник Ноз; 3—ванна.

Прорезающая исследуемый район река иногда не служит препятствием для продвижения воды поперек реки под ее дном. Так например по Динерту опыты в долине реки Ванны показали, что красящие вещества, введенные в подпочву в Виллье-Луи (Villier-Louis), пересекли ложе реки и проявились на другом берегу в источнике Ноз (рис. 164).

#### γ) Причины ошибок при опытах с окрашиванием

Если хотят способом окрашивания доказать гидравлическую связь между водами грунтовыми и поверхностными, то при этом рекомендуется соблюдать особую осторожность, так как отрицательный результат такого опыта не является безусловным доказательством абсолютной способности подпочвы задерживать микроорганизмы. Не всегда почва, не пропускающая красящие вещества, можно считать непроницаемой и для бактерий. Даже нужно помнить, что отрицательный результат опытов с окрашиванием может получаться не только благодаря непроницаемости грунта. В

этом случае может играть большую роль и самоочищающее действие естественной фильтрации грунта, как это будет более подробно объяснено далее.

Многие красящие вещества исчезают в водоносном слое, либо задерживаясь абсорбцией либо разлагаясь под влиянием присутствующих окисляющих веществ. Поэтому по отрицательному результату окрашивающего способа нельзя сделать вывод об абсолютной непроницаемости поч-



Рис. 165. Схематическое изображение подземных водотоков, питающих источники Авра (по Динерту).

1—третий район; 2—Труа-Мюла; 3—Фуазане; 4—Труа'о;  
5—Гравия; 6—Ривьера; 7—второй район; 8—первый район.

вы. Условия очищения воды от бактерий и от красящих веществ неодинаковы, и только положительные результаты опытов с окрашиванием могут быть использованы для окончательных выводов.

Во всех тех случаях, когда опыты с окрашиванием дают отрицательные результаты, рекомендуется произвести параллельные опыты с бактериями или с неподдающимися разложению веществами (например с поваренной солью). Рекомендуется также производить повторные опыты с окрашиванием, потому что скорость воды подвергается большим колебаниям в зависимости от количества выпавших осадков и других условий. При этом нужно также помнить, что смотря по стоянию уровня воды мертвые протоки могут ожить, и наоборот, водоносные каналы могут высохнуть. Поэтому нужно считаться с тем, что опыты с окрашиванием, смотря по привходящим обстоятельствам, иногда дают верные результаты, а иногда представляют совершенно ложную картину. Описанные Динертом опыты, произведенные Фуригие и Манэном в июне 1903 г., показывают, насколько различны могут быть результаты опытов с окрашиванием при разнице во времени всего в 200 часов. В Го-Шеврие (Haut-Savoie) было брошено 2,5 кг флуоресцина, и потом наблюдали за появлением окраски в источниках Гравиер, Фуази, Ривьер, Тру-д'о и Труа-Мюлэ (рис. 165).

Место наблюдений	Наступление максимальной окраски в часах	
	Первый опыт	Второй опыт 200 часов спустя
Истоки Гравиер . . . . .	78	0
» Фуази . . . . .	72	93
» Ривьер . . . . .	72	95
» Тру-д'о . . . . .	78	103
» Труа-Мюлэ . . . . .	78 перв. макс. 114 втор. »	107 перв. макс. 125 втор. »

Из этой таблицы видно, что опыты, произведенные в разное время, дают значительно отличающиеся друг от друга результаты. Пройденный красящим веществом путь в среднем равнялся 8,6 км. На рисунке 165 видно, что источники распадаются на три группы, находящиеся однако во взаимной связи. Таким образом здесь не может быть и речи об одном, строго ограниченном районе инфильтрации. Дальнейшие причины ошибок, свойственных способу окрашивания, следует искать во встречающихся в каналах препятствиях, в неправильностях пути, задерживающих сток и т. д.

Красящее вещество может задерживаться как в углублениях поперечного разреза канала (рис. 166), так и в боковых извилинах (рис. 167).

В результате таких задержек происходят задержки в распространении окраски и явления интерференции.

Причина ошибок лежит еще во влиянии движения воды и во влиянии диффузии; эти явления вызывают изменения в форме и распространении несущего красящее вещество тела. Это явление совершенно тождественно описывают Раготце и Раир (Rahozée).

Первоначальное тело красящего вещества из четырехугольника *a, b, c, d* постепенно переходит в форму сердца *e, f, d, h*. Окрашенная

масса не только неправильно распределяется в поперечных разрезах  $Q_1$ ,  $Q_2$ , но становится и неравномерной по своей концентрации, что ведет к большим ошибкам в измерениях.

В общем можно сказать, что по мере удлинения пути красящего вещества возможность ошибок увеличивается, и таким образом ре-



Рис. 166. Задержка красящего вещества в углублениях поперечного разреза.  
1 — скоропроходящее окрашивание; 2 — устойчивое окрашивание.

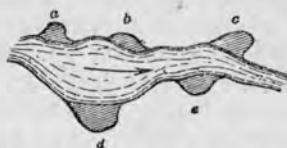


Рис. 167. *a*, *b*, *c*, *d* — боковые заливы, задерживающие красящее вещество.

зультаты наблюдения могут стать совершенно непригодными для использования их на практике.

Бросающуюся в глаза разницу между быстрым подъемом подземного водотока и сравнительно большим временем, потребным для продвижения красящего вещества, можно во многих случаях объяснить подземным накоплением воды. Питание некоторых рукавов потока происходит тогда не непосредственно просачивающейся водой, но эти рукава питаются скопившейся под землей водой, которая начинает поступать вниз только по наступлении определенной высоты уровня воды. Вследствие этого наступает не только замедление в движении красящего вещества, но и уменьшение концентрации этого вещества. Существование таких подземных бассейнов при постоянных количествах стока проявляется в растяжении гребня волн подъема воды.

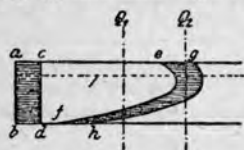


Рис. 168. Изменение формы красящего вещества силой течения воды.

### б) Фактически измеренные скорости подземных водотоков

Как велики и различны могут быть скорости воды в подземных водотоках, видно из следующей таблицы, составленной по Ле Купэ-де-ла-Форест.

Место запуска индикатора	Пройденный путь (в метрах)	Характер горной породы	Количество протекающей воды (в л/сек.)	Скорость м/сутки
1. Водопроницаемая почва . . . . .	6 000	рыхлый известняк	20	4 224
2. Поглощающая яма . . . . .	8 400	известняк	300—400	6 168
	1 250	известняк с пустотами		24 000
3. Водопроницаемая почва . . . . .	4 750	известняк с трещинами	7—8	1 028
	6 006			1 992

Из этого видно, что скорости подземных водотоков по сравнению со скоростью грунтовых вод чрезвычайно велики. В указанном примере они колеблются в зависимости от места производства опыта и рыхлости горных пород от 1 028 до 24 000 м в сутки. Точно так же видно, что скорость воды в зависимости от длины пройденного пути значительно колеблется даже в одном и том же грунте. В случае 1-м скорость воды равняется 4 224 и 6 168 м в сутки в зависимости от длины пройденного пути в 4 224 или 8 400 м. Из этого следует, что скорость воды неравномерна, но в разных местах меняется скачками.

Точно так же из опытов с окрашиванием, произведенных над Падерскими источниками и описанных Штилле, вытекает, что на одном и том же участке скорости воды сильно колеблются. Это видно из следующей таблицы.

Опыты с окрашиванием на Падерских источниках по Штилле						
Место окраски	Время	Красящее вещество	Количество (в кило-граммах)	Подземный путь (в метрах)	Время в часах	Скорость в сутки (в метрах)
Выше Даля . . . . .	1,6 1897	Кали-уранин	1,5	9 000	32	6 750
Ниже » . . . . .	3,6 1897	»	1,5	6 600	21	7 900
Ниже » . . . . .	11,8 1897	»	2,0	6 900	60,5	2 750
Выше » . . . . .	24,11 1897	»	—	8 600	80	2 600

Разница в скоростях вызвана колебаниями количества воды и изменениями падения, связанными с этими колебаниями.

Окрашивание не задерживалось больше чем на 1 день, из чего вытекает, что в толще горных пород в данном случае нет больших пещерообразных бассейнов, которые задерживали бы окрашенную воду.

#### 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИ ПОМОЩИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОПЫТНЫХ КОЛОДЦЕВ

И в трещиноватых породах опытный колодец может дать ценные данные о геологических свойствах.

Однако в таких случаях не может быть и речи о всех тех определенных величинах, которые получаются при длительных опытах с откачкой из водоносного пласта, сложенного песчаными породами. Правда можно определить величину отбора воды в опытном колодце, но из этой величины нельзя вывести точную величину каптажа, потребную для получения определенного количества воды. Иногда по ходу депрессии зеркала колодца

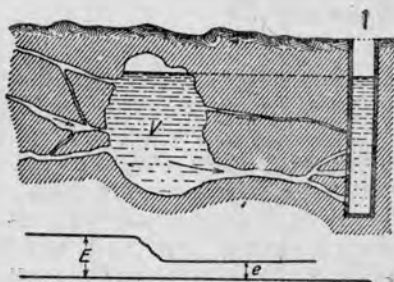


Рис. 169. Опытный колодец в трещиноватой породе.

1—опытный колодец

можно сделать правильные выводы о внутреннем строении горной породы. Это особенно важно потому, что ввиду неправильного направления путей подземных вод их часто не удается обнаружить буровыми работами. Если например начальный дебит опытного колодца, устроенного в трещиноватой горной породе, при приблизительно постоянном уровне зеркала велик и потом внезапно падает, причем падает и уровень воды, то мы имеем дело с подземной пустотой, вместимость которой и высота положения могут быть приблизительно вычислены (рис. 169).

Величина  $E$  соответствует увеличенному запасным бассейном  $V$  дебиту, величина же  $e$  является постоянным дебитом подземного канала. Результаты опыта с откачиванием могут быть дополнены наблюдениями над процессом наполнения колодца. По ходу кривой депрессии или кривой наполнения колодца можно приблизительно определить наличие и высоту положения второстепенных каналов и величину их стока.

### 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПО ШТОЛЬНЯМ И ТОННЕЛЯМ

Штольни и тоннели в горных разработках можно рассматривать как опытные колодцы в большом масштабе.

Сооруженные в горах Таунус штольни, заложенные для получения технической и питьевой воды, показывают насколько велики могут быть колебания воды, заключенной в разных местах в одной и той же горной породе, составляющей одно геологическое целое. По Рейнаху (Reinach) составлена следующая таблица.

Ш т о л ь н и	Длина (в метрах)	Общее количество воды ( $m^3$ /сутки)	Количество на 1 погонный метр ( $m^3$ /сутки)
Шеферские головные штольни . . . . .	1 848	2 635	0,70
Мюнцбергские штольни . . . . .	2 909	2 680	0,90
Келлерские головные штольни . . . . .	2 015	1 600	1,26
Верхние и Нижние Кенигс-Стейнерские штольни . . . . .	432	750	0,57
Брауманские штольни . . . . .	712	500	1,42
Заальбургские » . . . . .	900	950	1,00

Дебиты между тем колеблются не от штольни к штольне, но они меняются в пределах одной и той же штольни в зависимости от рода горной породы, через которую проходит вода. Так например дебит в Мюнцбергской штольне на 1 погонный метр в филлитах равняется  $0,43 m^3$  в сутки против  $2,75 m^3$  в слюдястых сланцах и в кварцитах Таунуса. В шеферских головных штольнях дебит в слюдястых сланцах и в кварцитах Таунуса равняется только  $1,75 m^3$ /сутки. Точно так же и многочисленные железнодорожные тоннели дают верные данные о сильно колеблющемся количестве масс притекающей воды, которые могут быть получены из толщи горных пород и которые не поддаются предварительному учету.

По описанию Тарнуцера (Tarnuzzer) при постройке Албуласского тоннеля северный участок тоннеля, прорытый в граните, оставался совершенно сухим, дальше появилось незначительное число маленьких источников. В южных же штольнях при входе в тоннель протекало по мере продвижения работ на:

936 м . . . . .	14 л/сек. воды
1036 » . . . . .	45 » »
1811 » . . . . .	60 » »
2241 » . . . . .	70 » »
2834 » . . . . .	97 » »

На 2834 м произошел прорыв между двумя половинами штольни. Следовательно в северной половине штольни количество воды на 1 погонный м равняется почти нулю, в южной же половине — 0,04 л/сек.

### Вскрытие при прорытии С.-Готтардского тоннеля количества воды (по Штаффу)

Участок	Между поперечн. разрезами	Длина (в метрах)	Приток воды л/сек.	Приток воды на погонный метр тоннеля л/с к.	На 1 погонный м³/сут.
Финстераархорнск. массив . . . . .	0—2 000	2 000	1,0	0,0005	0,043
Урзенталь . . . . .	2 000—2 593	593	1,0	0,0017	0,147
Водоносный участок (Андерматский известняк) . . . . .	2 593—3 390	797	25,5	0,3200	0,467
Сухой участок . . . . .	3 390—3 650	260	> 0,0	> 0,0000	> 0,000
Водоносный участок (Ваншель, источники Андермата) . . . . .	3 650—4 822	1 172	> 7	> 0,0060	> 0,518
Сухой участок . . . . .	4 822—4 598	136	> 0,0	> 0,0000	> 0,000
Водоносный участок (Гуршенальп) . . . . .	4 958—7 306	2 348	7,0	0,0030	0,259
Сухой участок (середина тоннеля) . . . . .	7 306—6 415	1 919	> 0,0	> 0,0000	> 0,000
Водоносный участок (долина Гуппис) . . . . .	6 415—5 870	545	12,0	0,0220	1,900
Сухой участок . . . . .	5 870—4 784	1 086	> 0,0	> 0,0000	> 0,000
Водоносный участок (южная часть) . . . . .	4 784—4 300	484	16,0	0,0331	2,868
Средний участок (Альпы до Соресциа) . . . . .	4 300—3 037	1 263	2,5	0,0020	0,173
Водоносный участок Альп до Соресциа . . . . .	3 037—2 390	647	18,0	0,0278	2,384
Средний участок . . . . .	2 390—2 320	70	> 0,0	> 0,0000	> 0,000
Водоносный участок (Сцинсиус) . . . . .	2 320—1 930	390	15,0	0,0885	3,313
Средний участок . . . . .	1 930—1 803	127	> 0,0	> 0,0000	> 0,000
Водоносный участок (Стуей) . . . . .	1 803—1 070	733	32,5	0,0443	3,830
Средний участок . . . . .	1 070—971	129	> 0,0	> 0,0000	> 0,000
Водоносный участок (источник Айроло) . . . . .	941—0 юг	941	117,5	0,1249	10,800

Как показано на приведенной таблице, условия водного режима, обнаруженные при прокладке С. Готтардского тоннеля, особо показательны.

Из цифр двух последних столбцов ясно видно, что и в С. Готтардском тоннеле в разных его участках количество воды сильно меняется и что таким образом здесь речь идет только о случайных величинах, предсказать которые и математически вычислить невозможно.

## У. ВЫВОДЫ О ТРЕЩИНОВАТОСТИ ГОРНОЙ ПОРОДЫ ПО ДЕБИТУ ПОДЗЕМНЫХ ВОДОТОКОВ

Во всех тех случаях, когда подземные водотоки выступают в виде ключей на поверхность земли, можно на основании гидрогеологических съемок судить о степени трещиноватости водоносной породы и о мощности ее водного запаса.

Постоянство дебита подземного водотока, выступающего в виде ключа на поверхность земли, поддерживается тем, что между местом питания и стоком находится регулятор, который собирает и накапливает неравномерно выпадающие осадки. Роль регулятора играют здесь пустоты, которыми являются трещины и расселины трещиноватой горной породы. Чем больше будет подобный бассейн и способность его задерживать воду, тем сильнее будет и его регулирующее действие и тем меньше будут колебания в дебите источника. Однако дальнейшее развитие высказанных соображений встречает ряд затруднений.

Питание водоносного пласта происходит из атмосферы, а расход воды в форме как видимых, выступающих на поверхность ключей, так и невидимых подземных потоков, которые в большинстве случаев нельзя проследить и которые могут быть установлены приблизительно по количеству воды и характеру ее движения, должен быть принят предположительно.

Между питанием пласта и расходом воды должно быть состояние равновесия.

Наблюдением над количеством выпадающих осадков можно определить величину питания водоносного пласта; для определения же количества вытекающей воды в нашем распоряжении имеются только поддающиеся измерению ключи. Величина прочих подземных потоков остается для нас неизвестной.

О свойствах и величине подземных бассейнов можно судить только по первой и второй группам наблюдений, и так как часто количество инфильтрующейся из атмосферных осадков воды поддается вычислению с большим трудом и притом недостаточно, то подобные измерения приводят к цели только в исключительных случаях.

В гидрогеологической литературе нет недостатка в трудах, посвященных определению емкости подземных водотоков. Здесь мы упомянем только о трудах Губера (U. Huber), посвященных источникам окрестностей Тешена и Ешкенских гор в Чехо-Словакии.

Губер исходит из предположения, что вместимость трещиноватых горных пород, питающих источники, при недостатке притока атмосферной воды постепенно иссякают. Закономерное уменьшение дебита источника можно изобразить логарифмической кривой  $p$ -ой степени. Однако в действительности бассейны эти никогда не иссякают совершенно, так как сократившийся во время засухи запас воды вновь пополняется как в результате конденсации, так и выпадающими

позже осадками. Продлением кривой можно изобразить полное опоражнивание такого бассейна и по кривой стока можно вычислить количество заключающейся в недрах горной породы воды и вместе с тем емкость этого бассейна. Этим путем Губер определил наполненную водой долю массива Ешкенского известнякового района в 0,0005. Для района питания Мюнценбергских штолен Висбаденского водопровода объем заполненного водой пространства определяется в 0,05. Из обеих этих величин видно, насколько различны могут быть степени водоёмкости трещиноватых пород.

## VI. ЗАКОНЫ ДЕБИТОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОДОТОКОВ

Для того чтобы по дебиту ключей, питающихся водой из трещиноватых пород, определить дебит подземных водотоков, необходимо непрерывно измерять и графически записывать как количество воды источника, так и количество выпадающих в районе питания источника осадков. Чем чувствительнее система трещин к количеству осадков, тем чаще и продолжительнее должны производиться подобные измерения. Часто проходят годы, прежде чем будет получена надежная картина изменений дебита и связанных с ними явлений.

Из новейших гидрогеологов, пытавшихся вывести законы дебита подземных водотоков по ходу дебита питаемых ими ключей и старавшихся изобразить эти законы в виде математических формул, в первую очередь следует назвать *М а й е* (Maillot), который систематически исследовал большое число подземных водотоков, питающих ключи.

Маие (ср. также Форхгеймер) кладет в основу своего подразделения источников соотношение между наивысшей и наименьшей величинами дебита и величину этого соотношения  $R$  принимает за коэффициент колебания. Смотря по величине числа  $R$  он обозначает источники при:

- $R = 1$  до  $2$  — постоянными,
- $R = 2$  до  $10$  — среднепеременными,
- $R = 10$  до  $50$  — сильнопеременными

и приходит к следующей сводке, в которой обозначают:

- $R$  — соотношение между наивысшим и наименьшим дебитами для промежутка времени в несколько лет,
- $R_a$  — то же соотношение для одного года,
- $a$  — коэффициент уменьшения дебита во время засухи, когда источник не получает притока новой воды и питается только подземным запасом воды,
- $R_m$  — соотношение наибольшего отклонения цифр наивысшего дебита для промежутка времени в несколько лет.

Из этой таблицы видно, что каждая система подземных водотоков, питающих источник, должна иметь свой собственный закон дебита и что постоянство дебита будет тем больше, чем меньше будет величина коэффициента замедления.

Особо важное гидрогеологическое значение имеет определение величины дебита источника за определенный промежуток времени, в течение которого он не получает притока воды извне. По этому

Место источника	$R$	$R_a$	Средняя величина $R_a$	$a$	$R_m$	Годы наблюдения	
Постоянные	Нюэ (Ванн) . . . . .	2,18	1,67—1,13	1,40	—	1,64	1887—1903
	Дюи . . . . .	1,70	1,49—1,25	1,37	0,038	1,33	1886—1902
	Гамман (Алжир) . . . . .	1,59	1,17—1,03	1,10	—	1,47	1881—1900
Средне-переменные	Телемли (Алжир) . . . . .	6,17	1,78—1,08	1,43	0,108	3,65	1881—1900
	Цэрилли (Ванн) . . . . .	4,81	3,14—1,48	2,31	0,1068	2,15	1881—1902
	Теллан (Бордо) . . . . .	2,63	1,61—1,15	1,38	—	2,08	1896—1903
Сильно-переменные	Эп-Зэбужка (Алжир) . . . . .	1,33	13,3—3,0	8,2	0,264	18,18	1881—1900
	Воклюз . . . . .	22,22	14,3—5,1	9,7	0,300	2,78	1878—1885
	Бевансон . . . . .	16,4	—	—	—	—	—

вопросу Майе приходит к выводу, что для многих источников дебет их, не находящийся под влиянием дождей, может быть выражен следующей формулой.

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

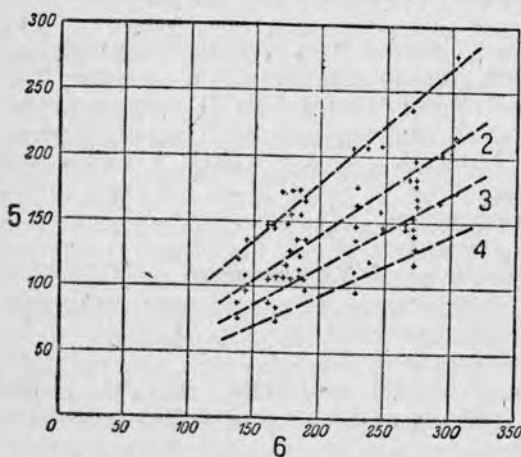


Рис. 170. Диаграмма дебита источника Церилли (по Мелэ).

1—0 через 1 месяц; 2—через 3 месяца; 3—через 5 месяцев; 4—через 7 месяцев; 5—после 1, 3, 5 и 7 месяцев; 6— $Q_0$  в литрах.

В этой формуле означают:

$Q$  — дебит,  
 $C$  — постоянная величина (которая может равняться нулю),

$Q_0$  — дебит за период времени  $t_0$  и  $t-t_0$  — месяцы или части месяца.

Майе дает следующий график режима (рис. 170) для источников в Церилли (Cerilly). Из этого графика видно, что в любое время по замеренному в данный момент дебиту источника можно предсказать наибольшее падение дебита, которое можно ожидать на следующие месяцы. Если с течением времени наблюдаемый дебит начинает отклоняться от предсказанной величины, то, нужно, начиная с этого момента, повторять вычисления, исходя из наблюдаемого дебита и принимая его за  $Q_0$ .

Из составленных Майе формул путем вычислений вытекает приведенное нами уже на стр. 212 положение, что хотя по гидрогеологическим условиям можно сделать соответствующие выводы о трещиноватости толщ горной породы, тем не менее общих точных законов установить для этого нельзя. Каждая система подземных водотоков имеет свой собственный закон или иначе сказать имеет свои индивидуальные особенности.

## VII. ЛЕВИ-ЛЕЙМБАХОВСКИЙ СПОСОБ ДЛЯ ИЗЫСКАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Совершенно особый способ обнаружения подземных вод при помощи электрических волн и вибрации первоначально применили Леви и Леймбах (Loewy — Leimbach).

Этот способ основан на следующем различии физических свойств веществ, слагающих кору: часть этих веществ хорошо проводит электрический ток, другая же часть проводит электричество плохо.

Хорошими проводниками между прочим являются и вода и насыщенные водой пласты земли, т. е. водоносные пласты.

В отношении стремления установить присутствие грунтовой воды по электропроводности разных пластов необходимо однако заметить, что по сопротивлению пластов чрезвычайно трудно сделать правильные выводы, так как сопротивление это зависит не только от влажности почвы, но и от температуры, количества имеющихся в породе растворимых солей, от примесей органических веществ, давления воды и т. п.

Так например в Бюро стандартов (Bureau of Standards) было определено что:

Удельное сопротивление при 5% влаги составляло свыше . . . . .	2 000 000 ом/м <sup>3</sup>
» » » 11.1% » » » . . . . .	237,400 »
» » » 16.7% » » » . . . . .	13,880 »
» » » 44.5% » » » . . . . .	4,725 »

по мере дальнейшего возрастания количества воды сопротивление вновь увеличивается.

Разные виды почвы дали следующие сопротивления.

Почти рыхлая слюдяная пыль при 4.7% влажности	156,400 ом/м <sup>3</sup>
Мокрая глина и песок » 30.0% » »	41,490 »
Почти рыхлый песок » 7.6% » »	2,700 »
Сырая серая глина » 11.7% » »	651 »

Произведенные до сих пор Леви — Леймбахом опыты не подвинулись еще настолько вперед, чтобы на основании их можно было бы безошибочно судить о наличии подземных вод, и остается только ждать, будут ли они и в какой степени пригодны для гидрологических определений.

# Е. ФИЗИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ, БАКТЕРИОЛОГИЧЕСКОЕ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДЫ

## I. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Подземная вода применяется в домашнем хозяйстве и в промышленном производстве.

Статистика эксплуатации водопроводов ясно показывает, что большая часть каптированной подземной воды потребляется в домашнем хозяйстве. Лишь более незначительная часть служит для чисто технических целей.

Просачивающаяся или проникающая в почву вода подвержена в своем подземном движении различным изменениям. Она увлекает с собой на пройденном ею пути различные растворимые вещества, которые отчасти вследствие химических процессов испытывают новые превращения. На протяжении этого же пути вода изменяет также и свою температуру. В мелких порах почвы выделяются увлеченные водой во взвешенном состоянии органические или неорганические вещества. Здесь кроме того бактерии почвы разрушают растворенные в воде вещества. Таким образом тут можно говорить об естественном процессе очистки. На этом основании можно во многих случаях в пределах известных границ по растворенным в воде химическим примесям и их гигиеническим свойствам судить согласно древней поговорке: «*Tales sunt aquae, quales terra, per queam fluunt*» о химическом составе и механическом строении водоносных пластов.

## II. ВЗЯТИЕ ПРОБ ВОДЫ

Для взятия химических и бактериологических проб воды и для их исследования особенно желательно иметь постоянно работающего в этом деле специалиста. Однако на практике это требование не всегда может быть выполнено, и часто к этому делу привлекается окружной врач, аптекарь или кто-либо другой из местных людей.

В таких случаях однако желательно, чтобы привлеченное таким образом лицо ограничилось лишь взятием проб воды и взятые им пробы передавались бы в надлежащие лаборатории и вообще специалисту этого дела.

Часто рекомендуется, чтобы гидрогеолог во время гидрогеологических изысканий не только сам брал пробы воды из источников, из пробных буровых скважин, из имеющихся налицо колодцев и из

опытных колодезных сооружений, но также сам исследовал эти пробы на содержание определенных веществ.

Однако подобными предварительными исследованиями не следует ограничиваться, и они должны быть повторены специалистом-аналитиком. Эти предварительные исследования необходимы для правильного развития изысканий. В этом-то и заключается их ценность.

Во многих случаях исследуемые участки являются не только очень обширными, но и значительно отдаленными от населенных мест и от химико-гигиенических лабораторий. Вследствие этого часто проходят дни или недели, прежде чем получается ответ о результатах произведенного специалистами-аналитиками исследования. Произведенные в течение этого времени предварительные работы нередко могут оказаться бесцельными, так как в результате анализа вода

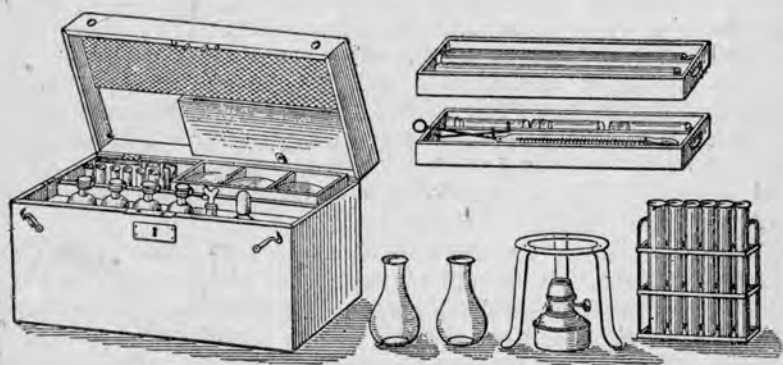


Рис. 171. Ящик для исследования по Клютю.

может оказаться или слишком жесткой или богатой содержанием хлоридов, благодаря чему такая вода должна быть признана по своим химическим свойствам непригодной.

Поэтому всегда выгодно, чтобы гидрогеолог на основании естественных или уже имеющихся налицо мест для взятия пробы подземной воды выяснил известные качества воды и закладывал буровые скважины в первую очередь в местах, давших особенно благоприятные результаты.

Поэтому наряду с температурой, окраской, вкусом и запахом ниже будет говориться только о тех составных частях воды, выяснение количества которых необходимо для ориентировки гидрогеолога в поле, при этом будут указаны только те методы и исследования, которые при некотором опыте могут быть применены на месте работ с достаточной для практики точностью и не химиком. Подробные рассуждения о химических и гигиенических свойствах воды, а также надлежащие способы определения можно найти в трудах Гертнера, Грюнхута, Клюта, Ольмюллера-Спитта, Спитта, Тиман-Гертмана, Тильманса и Виналера, а также у русских авторов Хлопина, Бутырина, Славянова, Палей и др.

Для исследования воды на месте рекомендуется применять ящик с походной лабораторией, сконструированный Клютю и вмещающий необходимые аппараты и реактивы (рис. 171).

### III. ДЕЗИНФЕКЦИЯ КАПТАЖЕЙ ПЕРЕД ВЗЯТИЕМ ПРОБ ВОДЫ

При взятии проб воды и при оценке полученных результатов осторожность рекомендуется главным образом в том случае, когда речь идет об источниках или об уже имеющихся налицо хозяйственных колодцах, расположенных вблизи человеческих жилищ. В данном случае нередко естественное качество воды таких мест отбора находится под неблагоприятным влиянием загрязненной почвы и прочих побочных обстоятельств.

При сооружении новых каптажей тоже никогда нельзя совершенно избежать загрязнения воды во время самой постройки, поэтому необходимо перед взятием пробы из новых каптажей откачивать воду до тех пор, пока она не будет достаточно очищена. В тех случаях, когда подобное очищение невозможно, а также при старых зараженных колодцах необходимо произвести дезинфекцию колодца перед взятием проб воды для бактериологического исследования и до выдачи разрешения на пользование ею. В качестве средства для очищения колодцев применяется между прочим пар под высоким давлением. Однако при этом необходимо колодцы, подлежащие очистке, закрывать, чтобы не было утечки пара и была достигнута возможно высокая, близкая к точке кипения, температура.

Части колодца, на которые пар мог бы вредно действовать, должны перед применением пара быть удалены.

В качестве химических очистительных средств применяются лишь средства неядовитые и не придающие воде неприятного привкуса. Хорошо показала себя на деле известь, которая вводится в колодцы в виде свежего известкового молока. Ввиду образующегося в данном случае на дне осадка, в особенности при артезианских колодцах, требуется особая осторожность.

По О п и т ц у (Opitz) очень пригодным средством для очистки колодцев является марганцевокислый калий. Марганцевокислый калий не действует разрушающе на металлы, и в этом отношении он предпочтительнее серной и соляной кислот, которые также являются пригодными дезинфицирующими средствами. Последние принадлежат к самым сильным средствам и убивают в 1-процентном растворе в несколько минут все вредные микроорганизмы, однако они легко разрушают и стенки колодца. Если соляная кислота придет в соприкосновение со значительными выделениями извести, то при известных обстоятельствах могут произойти несчастные случаи.

Время, необходимое для действия дезинфекционных средств, различно.

Известковое молоко и марганцевокислый калий требуют для этого несколько часов, кислоты — несколько минут. Удаление из тела каптажа дезинфекционных средств производится посредством продолжительного откачивания при одновременном испытании воды на содержание прибавленного вещества.

### IV. ИНСТРУКЦИИ К ОТБОРУ ПРОБ ВОДЫ

Прусский государственный институт гигиены воды в Берлине-Далеме издал для взятия проб воды особую инструкцию и анкету к ней. Нижеприведенные указания составлены применительно к этой инструкции.

## УКАЗАНИЯ К ОТБОРУ ПРОБ ВОДЫ

Общие предписания. От каждой подлежащей исследованию пробы должно быть послано в лабораторию не менее 1,5—3 л.

Для пересылки должны применяться абсолютно чистые, прополосканные по меньшей мере трижды подлежащей исследованию водой стеклянные бутылки по возможности со стеклянными пробками. За исключением последних бутылки должны закупориваться новыми корковыми прокипяченными пробками.

Бутылки не следует запечатывать сургучом. Если же бутылка должна быть запечатана, то пробки нужно обвязывать шнурками и печать наложить не на пробку, а на шнурки. В противном случае при откупорке бутылки сургуч может попасть в пробу воды и вредно повлиять на результаты исследования.

Место и время взятия пробы должно быть отмечено на бутылках. В сопроводительной записке должно быть указано, кем дан заказ на исследование, как помечена бутылка, куда надлежит отправить результаты исследования.

Прежде чем выбирать воду для исследования, нужно непосредственно перед этим в течение по крайней мере двадцати минут каптаж медленно и равномерно откачивать, причем нужно следить за тем, чтобы откачанная вода не дотекла снова в каптаж.

Если в каптаже имеется мало воды или если непосредственно перед взятием пробы было для других целей откачено более значительное количество воды, то вышеуказанное время откачки может быть соответственно сокращено.

Если при исследовании воды встречается свободный газ, например углекислота, исследование которой должно быть произведено на месте, то рекомендуется тщательно очищенную согласно предписанию бутылку со стеклянной пробкой осторожно, не пропуская воздуха, наполнить до краев подлежащей исследованию водой. После этого нужно стеклянную пробку, вращая ее вокруг своей оси, винтить в бутылку. Этот способ закупоривания необходим для удаления проникшего в бутылку воздуха, для того чтобы в бутылке не образовались воздушные пузырьки.

### АНКЕТА, ОТНОСЯЩАЯСЯ К ИССЛЕДОВАНИЮ ВОДЫ

Из . . . . . В . . . . . (указание местности)

Район. . . . . область . . . . .

1. Причина, по которой применяется исследование воды (требование инспекции и т. п.).

2. Цель исследования воды (указание, идет ли речь о питьевой, хозяйственной или о воде для питания котлов или о воде, употребляемой для определенных других промышленных целей и каких).

3. Каптажные сооружения: буровые колодцы, шахтные колодцы, источники и приспособления для подъема воды (ручные или паровые насосы, вытяжные ведра и т. п.).

4. Если речь идет о буровых колодцах:

а) насколько глубок колодец;

б) как глубоко под поверхностью земли находятся входные отверстия в колодец (верхний край фильтра), и может ли вода вдоль трубы попадать с поверхности земли во входное отверстие;

в) как глубоко под поверхностью земли стоит зеркало воды;

г) изменяется ли стояние воды по временам года, при ливнях или с колебанием зеркала соседнего открытого водоема и как велики эти изменения.

5. Когда речь идет о шахтном колодце:

а) как глубок колодец;

б) как глубоко под поверхностью земли находится зеркало воды;

в) где поступает вода в колодец, через открытые швы (на какой глубине под поверхностью земли) или через дно. Чем перекрыто дно;

г) изменяется ли стояние воды по временам года, при ливнях или с изменением стояния зеркала воды соседнего поверхностного водоема, и как велики эти изменения;

д) качество стенок и дна колодца (строительный материал: дерево, камень, кирпич, цементные кольца). Герметичные швы зацементированы или законопачены мхом или другим материалом, не имеющим ли вдоль стенок колодца пути для просачивания воды и т. п.;

е) выведен ли шахтный колодец над поверхностью земли, если да, то насколько высоко, или край колодца находится на одной высоте с окружающей колодец поверхностью земли. Открыта или закрыта шахта колодца. Чем колодец перекрыт. Состоит ли перекрытие из одного сплошного куска или из нескольких частей. Достаточно ли сфуговано перекрытие и достаточно ли плотно заделана выведенная через перекрытие труба колодца,

чтобы было исключено проникновение поверхностной воды. Выдвигается ли крышка колодца за край шахты или нет. Укреплена ли крышка или свободно наложена;

ж) как выведена труба насоса, если таковая имеется, — вверх или в бок из шахты колодца или заделана у крышки. Если состоит из дерева, было ли дерево гнилым; если и железа, не наблюдается ли образование ржавчины в большой степени; как укреплена труба насоса к поперечным балкам и т. п. Имеется ли в установке насоса под поверхностью земли железо, свинец или другие металлы, не зарывавшие ли железные части.

6. а) Когда заложен колодец;
- б) производилась ли во время работ починка и какого рода была починка;
- в) в хорошем ли состоянии находится в данный момент колодец.
7. а) Как велико в среднем количество воды, отбираемое ежедневно из колодца;
- б) имеет ли при этом место понижение зеркала;
- в) имеются ли более или менее точные данные о дебите.
8. За сколько времени непосредственно перед взятием пробы была произведена откачка колодца.

9. Когда речь идет об источнике:

- а) установлен ли дебит посредством измерения;
- б) является ли температура источника постоянной или изменяется в зависимости от различных времен года. Производятся ли измерения температуры. Наблюдается ли помутнение воды источника и когда;

в) пройден ли источник лишь шурфом или каптирован и каким образом.

10. а) Находится ли место отбора (колодец или источник и т. п.) в затопляемом районе;

- б) как часто в течение года и в какие времена года наблюдались паводки;
- в) когда в последний раз перед отбором данной пробы был паводок;
- г) имеются ли на внутренних стенках колодца следы действия просачивающейся воды (темные полосы, нарастание грибов и т. п.).

11. Поверхностный слой почвы естественного ли происхождения или насыпной. В последнем случае — из чего состоит насыпь (песок, строительный мусор и т. п.).

12. Что известно в отношении геологического строения пластов земли, особенно о водоносных пластах, в которых находятся колодцы, источники и т. п. (указание разреза через водоносные пласты).

13. Имеются ли человеческие жилища вблизи отбора воды (колодца, источника и т. п.) и на каком расстоянии от него.

14. Имеются ли вблизи места отбора воды (колодца или источника и т. п.) и в каком отдалении от него выгребные ямы, помойки, инфильтрационные сооружения, кладбища, конюшни, фабрики (какого рода) и прочие сооружения, которые своим расположением могут оказывать на воду неблагоприятное влияние. Проходят ли вблизи колодца, источника и т. п. общественные водотоки, сточные каналы, дренажные каналы или каменные решетки. Каково их падение, в каком роде почвы они заложены и из чего сделаны их стенки.

15. Как выглядит, какой вкус, запах и температура воды обычно, непосредственно после взятия пробы, и каковы они были во время отбора пробы. Была ли замечена разница во внешних свойствах воды вначале откачки и после более продолжительного откачивания.

16. Какова была температура воздуха ко времени взятия пробы.

17. Изменяется ли иногда вода и в каком отношении. Замутняется ли вода тотчас же по взятии пробы или лишь позднее и в течение какого времени.

Число..... года 193...

Подпись . . . . .

## У. ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОДЫ

### 1. ТЕМПЕРАТУРА

Чрезвычайно большое значение для температуры воды имеет происхождение воды, геологические свойства и мощность водоносного пласта как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении, кровля зеркала воды, скорость движения воды, соседство поверхностной воды, высота по отношению уровня моря и географическая широта.

Температура воды, если она служит для питания, должна быть между  $7^{\circ}$  и  $12^{\circ}\text{C}$ .

Температура воды зависит от ее происхождения и глубины залегания.

При очень незначительной скорости грунтовая вода тем легче воспринимает температуру почвы, в которой она движется, чем длиннее проделываемый ею путь до ее естественного выхода на поверхность или до места ее искусственного отбора.

Однако в почву вследствие малой теплопроводности покрова ежедневные колебания температуры поверхности проникают лишь на незначительную глубину от 1 до 2 м. Годовые колебания температуры прекращаются в немного более глубоких пластах, обладающих почти постоянной температурой; глубина в этом случае зависит от рода горной породы и географической широты. Под этими пластами температура почвы согласно так называемому геотермическому градиенту снова повышается. В связи с этим более глубоко лежащие грунтовые

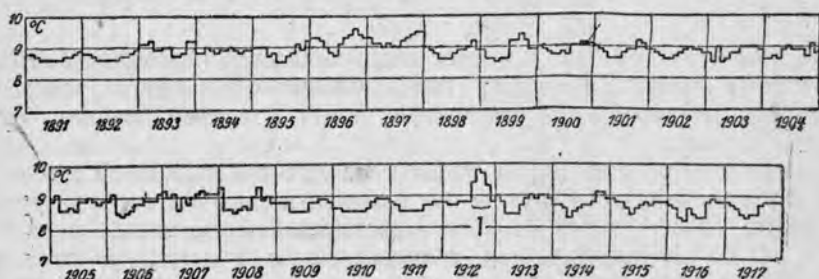


Рис. 172. Диаграмма температуры грунтовой воды второго Наунгофского каптажа.  
1 — перерыв в эксплуатации.

воды меньше подвергаются колебаниям температуры данной местности.

Наглядный чертеж, приведенный на рисунке 172, дает обзор температурных колебаний Лейпцигского водопровода в Наунгофе в течение продолжительного промежутка времени.

В течение ряда лет (1891—1917) ход температуры обнаруживает регулярные колебания. Колебания регулярны и происходят в границах от  $8,4$  до  $9,6^{\circ}\text{C}$ . Только в 1912 г. отмечается повышенная температура грунтовых вод, обусловленная перерывом эксплуатации и связанным с этим повышением зеркала воды.

Изменение температуры грунтовых вод, в зависимости от географической широты, если естественное зеркало лежит приблизительно на 1—2 м под поверхностью земли, видно из нижеследующей таблицы (см. стр. 222).

Температурные колебания в большинстве подземных водотоков значительно сильнее, чем в грунтовых водах. Большие температурные колебания подземных водотоков и пещерных рек могут быть легко объяснены большой быстротой движения воды в подпочве и постоянным соприкосновением свободного зеркала с движущимся в пустотах воздухом. Доступу воздуха снаружи нередко способствуют особые воздушные шахты, извергающие зимой мощные столбы водяного пара, которые видны особенно далеко. Это производит впечатле-

Местность	Средняя температура грунтовых вод в градусах	Северная широта в градусах
Бухарест . . . . .	12,0	44,3
Лугано (Долина Ведеджио) . . . . .	11,0	46,0
Долина Рейнская близ Кельна . . . . .	10,0	51,0
Лейпциг . . . . .	9,0	51,3
Копенгаген . . . . .	8,5	55,6
Стокгольм . . . . .	6,7	58,2
Абр . . . . .	5,9	60,4
Вава . . . . .	5,0	63,0

ние, как будто на таких местах поддерживается постоянный огонь. Подобные воздушные шахты (так называемые дымящиеся ямы) известны главным образом в пещерных реках Бельгии (Комблен, Фурфотц, Кувин).

Медгер приводит цифры наблюдавшихся им колебаний температуры в зависимости от высоты над уровнем моря и от географической широты. Своеобразным свойством подземной воды является обратная пропорциональность ее температуры к температуре воздуха. Как видно из рисунка 172, в более теплые времена года наблюдается более низкая температура грунтовой воды и наоборот. Такая обратная пропорциональность температуры встречается главным образом при грунтовых водах, зеркало которых лежит на средней глубине под поверхностью земли.

В подземных водотоках обратная пропорциональность температуры по отношению к температуре воздуха также нередкое явление.

Так например выступающий на высоте 917 м над нормальным уровнем среди карстового ландшафта ручей Вальдбах около Гальштадта обладает здесь по данным Кребса летней температурой 3,6—3,8°C. Зимой же его температура равняется 4,5°C. Далее в Гиршбруннене повышение зимней температуры составляет округло 1,8°C. Это явление объясняется тем, что вода, находящаяся высоко в горах, зимой замерзает и питание источника происходит лишь из более глубоко лежащих, более теплых пластов.

Часто более значительные колебания температуры источника указывают на приток поверхностной воды в глубину. Однако по постоянству температуры нельзя судить о чистоте подземной воды, так как при неизменяемом соотношении смеси температура также остается неизменной.

## 2. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Точное измерение температуры особенно важно в том случае, когда на основании изучения хода кривой температуры нужно выводить ответственные заключения, например при проникновении поверхност-

ных вод в колодцы, каптажи источников и т. п. Кноблаух и Генки (Knoblauch — Hensky) опубликовали подробное руководство к точным измерениям температуры.

Все применяемые для измерения температуры инструменты должны быть перед употреблением тщательно проверены. Проще всего это достигается сравнением с нормальным термометром. Скорость действия термометра должна быть также известна. Для точных измерений рекомендуется термометры с делениями в  $\frac{1}{5}$  градуса.

Наиболее простым способом измерения температуры является погружение термометра в текущую струю воды источника, в исток колодца, измерительного ящика, перепада и т. п. Надо выждать пока не установится температура и смотреть на термометр, продолжая держать его в воде.

Ошибочно смотреть на термометр, когда он находится вне текущей воды, так как при ветре и неравномерном стекании с термометра воды это может повести к ошибке.

Максимальные и минимальные термометры дают при измерениях температуры хорошие результаты.

Целесообразно также применение термометров, защищенных от действия тепла твердой резиной, как например термометр «Комиссии по исследованию немецких морей» (рис. 173).

Надежные результаты измерения дают так называемые «ленивые термометры» (Faule Thermometer), снабженные сравнительно большим ртутным шариком.

Часто при измерениях температуры применяются черпательные термометры (рис. 174), ртутный шарик которых окружен открытым сосудом, наполняющимся водой при погружении прибора.

Существенное усовершенствование теплоизмерителей представляют введенные в практику Туммом (Thumm) проточные термометры, быстро и верно работающие и удобные для наблюдения за температурой. Прибор состоит (рис. 175) из снабженного стоком и шлангой стеклянного сосуда, в котором помещается термометр. Воду дают протекать через сточную трубку измерительного прибора до тех пор, пока не установится постоянная температура. Еще лучше приспособлен для измерения при постоянном дебите камерный термометр Тумма (рис. 176), который представляет собой сосуд, состоящий из двух камер, в одной из которых может быть подвешен термометр. Камера снабжена окошком, через которое удобно следить за тем-

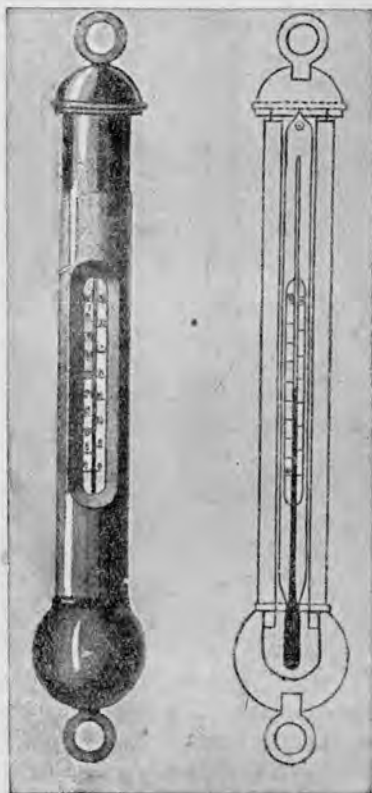


Рис. 173. Термометр «Комиссии для исследования немецких морей».

пературой, а также отверстиями для опоражнивания и для удаления воздуха.

При систематических измерениях температуры применяются саморегистрирующие термометры.



Рис. 174. Черпательный термометр.

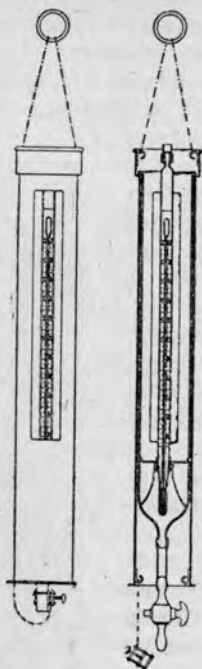


Рис. 175. Проточный термометр (по Тумму).

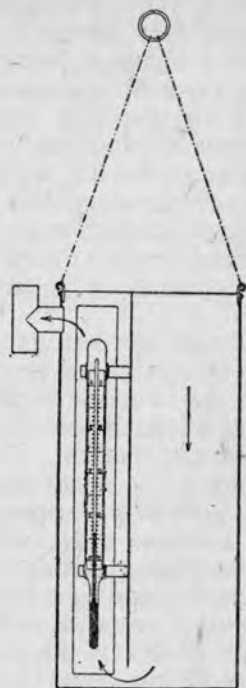


Рис. 176. Ящичный термометр (по Тумму).

### 3. ЧИСТОТА И ПРОЗРАЧНОСТЬ

Вода, пригодная для употребления в пищу людьми, должна быть прозрачная. Мутная вода неаппетитна. В гигиеническом отношении мутность воды может быть безвредной (происходящая от перегноя, железа, глины и т. п.), однако она может быть также обусловлена и примесью вредной для здоровья сточной воды.

Неспециалист, не имея возможности верно определить причину замутнения, правильно поэтому отвергает такую воду до тех пор, пока он не убедится в том, что мутность не является признаком вредных с гигиенической точки зрения свойств воды.

Само собой понятно, что взятая из каптажа для исследования проба не должна быть замутнена песчаными, глинистыми и прочими примесями, происходящими из окрестностей каптажа или самого каптажа.

Поэтому очистка от песка новых каптажей должна всегда производиться до тех пор, пока проба воды не будет чистой и прозрачной.

Определение прозрачности воды должно всегда производиться на месте непосредственно после взятия пробы, так как с течением времени степень прозрачности воды может измениться.

Если иметь дело например с водой, содержащей железо, то по истечении короткого времени можно часто уже наблюдать, что первоначально прозрачная вода принимает опаловый оттенок. В результате следует выпадение железа в виде желто-коричневых хлопьев. Сильное взбалтывание ускоряет процесс выпадения железа.

Опалесценция, появляющаяся на воде, бывшей первоначально прозрачной, служит верным признаком того, что вода содержит железо. По количеству появляющегося затем осадка можно приблизительно определить количество содержащегося железа. По окончании процесса выпадения железа вода становится снова прозрачной.

#### 4. ОКРАСКА

Совершенно бесцветная вода редко встречается в природе. Однако чистая сама по себе естественная вода бывает окрашена настолько слабо, что на практике это не принимается во внимание. В толстом слое химически чистая вода имеет голубой цвет.

Для выяснения вопроса, окрашена вода или нет, она должна быть совершенно прозрачной или при надобности должна быть предварительно профильтрована.

Если же, наоборот, свежезачерпнутая проба воды окрашена с самого начала в желтый или коричневый цвет, будучи однако прозрачной, то из этого можно заключить, что окраска воды происходит от гуминовых веществ, т. е. органических примесей. Воды, окрашенные гуминовыми веществами, не могут быть обесцвечены и не образуют осадка.

Окраска, происходящая от гуминовых веществ, в большинстве случаев технически трудно устранима, поэтому гидрогеологу следовало бы по возможности избегать воды, окрашенной гумусом.

Рекомендуемый Хазеном и Випле (Hazen und Whipple) простой прибор служит главным образом для определения коричневой окраски, происходящей от гуминовых веществ, часто встречаемых в грунтовых водах (см. у Гертнера и Тильманса).

#### 5. ВКУС

Вкус воды зависит главным образом от чувствительности вкусовых нервов человека. Оценка вкусовых испытаний производится согласно этой чувствительности.

Низкие температуры ведут к вкусовым заблуждениям, и потому рекомендуется вкусовые пробы подогревать до 10—20° С. Тогда вкус воды выступает яснее. Из опытов Фридмана вытекает, что жесткая вода вкуснее мягкой, вернее, что в жесткой воде углекислота в значительно меньшей концентрации ощущается на вкус раньше, чем в мягкой. Отсутствие углекислоты обычно заметно по приторному вкусу воды.

Главы «Хлориды» и «Железо» содержат более подробные данные о вкусе поваренной соли и железа.

Подробную таблицу о вкусе соли и взвешенных веществ в питьевой воде приводит Клют (Klut).

## 6. ЗАПАХ

Безукоризненная вода не должна иметь запаха. Так как определение запаха при различной чувствительности отдельных исследователей к запахам зависит от обоняния человека, то отзывы о запахе воды нужно принимать с осторожностью.

Многие воды при низкой температуре не имеют запаха. Запах их ощущается лишь при нагревании. Поэтому всегда следует испытывать на запах сначала свежую пробу, а затем повторять это испытание после подогревания ее до 40—50° С.

Вода, содержащая гумус, в большинстве случаев отдает болотом. В водах, содержащих железо, обычно наблюдается запах сероводорода. Сероводород в соединении с углекислотой образует сероокись углерода  $\text{COS}$ , обладающую слабо кисловатым запахом, напоминающим запах кислой капусты.

Легучие вещества, как например сероводород и сероокись углерода, большей частью вернее определяются на запах, чем химическим способом. Однако запах нередко исчезает при соприкосновении с воздухом или при более длительном сохранении воды в бутылке; поэтому определение запаха воды на месте имеет особенно большое значение. С целью определения запаха рекомендуется взболтать до половины наполненную водой бутылку, затем быстро открыть пробку и произвести испытание.

## 7. ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ВОДЫ

Электропроводная способность воды различна в зависимости от концентрации и степени диссоциации растворенных в ней веществ. Растворами, определяющими электропроводность воды, являются главным образом растворы неорганических кислот, солей и оснований. Электропроводность повышается с возрастанием содержания электролитов.

На этом факте основана возможность делать выводы о растворенных в воде веществах по колебаниям силы тока.

Главное преимущество этого способа в том, что благодаря ему можно удобно, постоянно и автоматически устанавливать изменения свойств воды. Поэтому этот способ особенно пригоден для наблюдений за водопроводами, подверженными нежелательному увеличению содержания солей и т. п. (как например поваренной соли).

В отделе «Водное хозяйство» этот способ будет рассмотрен более подробно.

Рисунок 177 изображает по сообщению Спитта и Плейснера (Spitta — Pleusner) регистрирующий аппарат, непрерывно указывающий электропроводность воды. Нужно однако заметить, что способ определения растворенных веществ с помощью электропроводности воды никогда не может заменить собой точного химического анализа.

## 8. РАДИОАКТИВНОСТЬ

О том, что присутствие радиоэманации в воде много более распространенное явление, чем обычно думают, свидетельствуют многочисленные исследования, произведенные над водами обыкновенных колодез. Так например Штарке (Starke) нашел, что 32 колодца, распо-

ложенные вблизи Галле на Заале, испытанные на содержание радия, все имеют радиоактивную воду. По данным Руффа (Ruff) вода Данцигского водопровода, а также различные ключевые воды окрестностей Данцига являются также радиоактивными.

Согласно Зифекингу (Siveking) почти все источники указывают на содержание радиоэманации; источники, не обнаруживающие следов эманации, являются редкостью. В большинстве случаев по истечении короткого промежутка времени эманация подвергается превращению.

Радиоактивность выражается посредством единиц Маха =  $10^3$  электрическим единицам. Ясно, что незначительные количества радио-

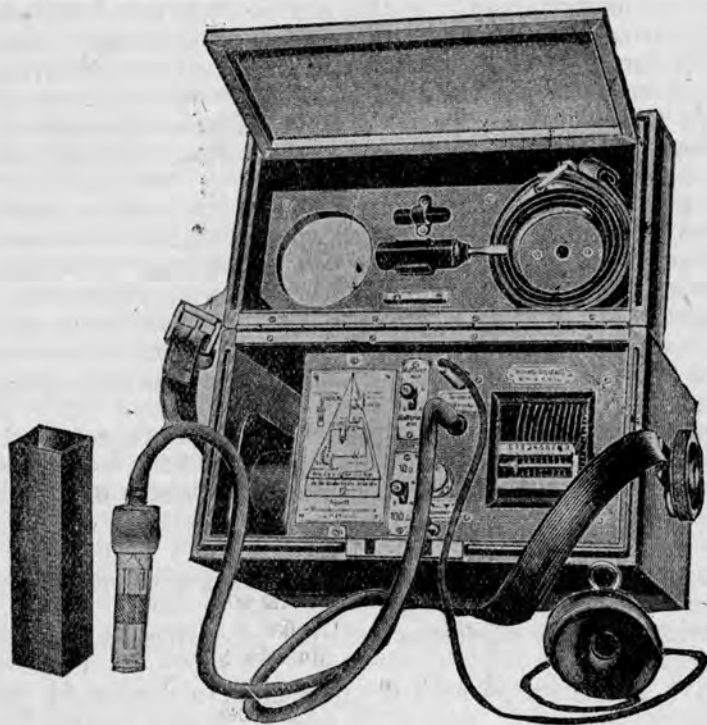


Рис. 177. Портативный аппарат для измерения электропроводности воды (по Шлейнеру).

активности (немного меньше 100 единиц Маха) в общем не могут иметь какого-либо существенного целебного действия. Согласно мнению специалистов хорошее целебное действие возможно лишь приблизительно при 1 000 единицах Маха.

Гоккель (Goskel) и Тум приводят данные о содержании радия в различных горных породах.

Содержание радиоэманации в большинстве случаев подвержено значительным колебаниям, причем на него оказывают влияние и метеорологические условия. Содержание эманации при известных обстоятельствах почти теряется от движения воды, высасывающего действия насосов, аэрации (как например в обезжелезивающих сооружениях и т. п.).

Определение присутствия активных примесей производится проще всего помощью электроскопа, для чего наиболее пригоден фантаскоп, сконструированный Энглером и Зифекингем. Испытание на радиоэманацию имеет значение только при изучении целебных источников.

## VI. ИССЛЕДОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОДЫ

### 1. ЖЕСТКОСТЬ

В домашнем хозяйстве и в промышленности жесткость воды играет большую роль.

Для хозяйственных целей, как например для стирки, варки и большинства промышленных целей, мягкая вода имеет определенное преимущество перед жесткой. Мясо, овощи и стручковые плоды в жесткой воде трудно увариваются. Такие напитки, как кофе, чай, сваренные на жесткой воде, не так вкусны, как сваренные на мягкой. При этом конечно играет роль также и привычка. Согласно Клютю даже очень жесткая вода — до 100 немецких градусов и больше — не вредна для здоровья.

Жесткость воды вызывается растворенными в воде щелочно-земельными металлами, которые при наличии больших количеств дают при испарении воды значительные твердые осадки. Эти осадки при кипячении воды и при образовании пара столь же невыгодны, как и при стирке; расход мыла возрастает пропорционально жесткости.

Жесткость воды измеряется градусами. Градусы жесткости, применяемые в качестве мерил жесткости воды, в разных странах различны.

В Германии вода имеет 1° жесткости, когда в 100 тыс. частях воды содержится одна часть извести (окись кальция  $\text{CaO}$ ), т. е. в 1 л воды содержится 10 мг  $\text{CaO}$  или эквивалентное количество окиси магния.

$$\text{MgO} : \text{CaO} = 40 : 56 = 1 : 1,4.$$

Во Франции при одинаковом соотношении в качестве мерил жесткости является карбонат кальция ( $\text{CaCO}_3$ ).

В Англии 1 часть карбоната кальция рассчитывается на 70 тыс. частей воды.

Градусы жесткости различных стран стоят в следующем отношении между собой:

1 немецкий градус жесткости	= 1,25 английск.	= 1,79 французск.	градуса жесткости
1 французск. »	»	= 0,56 немецк.	= 0,7 английского »
1 английский »	»	= 1,43 франц.	= 0,8 немецкого »

Следующее распределение по Клютю дает приблизительный критерий для обозначения степени жесткости воды.

Общая жесткость в немецких градусах	Обозначение
0—4 . . . . .	Очень мягкая
4—8 . . . . .	Мягкая
8—12 . . . . .	Средней жесткости]
12—18 . . . . .	Довольно жесткая
18—30 . . . . .	Жесткая
свыше 30 . . . . .	Очень жесткая

В качестве веществ, присутствие которых в воде обуславливает ее жесткость, следует указать соединения кальция и магния. В своей совокупности они представляют общую жесткость. Бикарбонаты этих обоих элементов образуют временную или устранимую жесткость, которая обозначается также карбонатной жесткостью. Хлориды, нитраты, сульфаты, фосфаты и силикаты кальция и магния представляют постоянную жесткость.

Источник жесткости воды следует искать в тех пластах горных пород, в которых движется вода. Первоначально мягкая метеорная вода обладает в отношении минеральных веществ значительной восприимчивой способностью. Ее растворяющая способность повышается присутствием углекислоты и других кислот, находящихся в воздухе и в почве и воспринимаемых водой в момент выпадения осадков и в процессе инфильтрации. В зависимости от растворимости омываемых водой минеральных веществ жесткость воды с длиной проходимо-го ею подземного пути будет увеличиваться, достигая при известных обстоятельствах предела насыщения.

Поэтому и говорят, что геологическое строение находит себе в общем выражение в жесткости подземной воды; а в пределах известных величин можно по жесткости воды заключать о характере породы, слагающей водоносный пласт и также наоборот. Но так как растворяющий процесс зависит не только от минералогических свойств проходимых водой пород, но усиливается также в зависимости от присутствия в воде различных разрушающих средств (кислоты и т. п.), то подземная вода, проходя через одни и те же слои, может обнаруживать значительные колебания в своей жесткости.

Согласно сводкам Гертнера, Имбо, Вейрауха и других авторов жесткость воды может быть в пределах тех же самых геологических горизонтов совершенно различной в зависимости от сопровождающих обстоятельств.

В общем можно сказать, что наиболее мягкая вода находится в кристаллических горных породах и что наивысшие градусы жесткости должны быть отмечены в известняках. В воде из порфира, гранита, гнейса и пестрого песчаника в среднем находят от 0,3 до 6 немецких градусов жесткости. В известняковых областях жесткость возрастает до 40 немецких градусов и выше. Отдельные источники в Лотарингии (гипсовые образования) имеют жесткость выше 120 немецких градусов. В аллювиальных и ледниковых областях градусы жесткости также значительно колеблются. Автор нашел, что в аллювии и ледниковых отложениях можно обнаружить жесткость от 1,5 до 40 немецких градусов.

Из 311 немецких источников грунтовой и родниковой воды имеют:

150 . . . . .	0,7—10,0	немецких	градусов	общей	жесткости
124 . . . . .	10,0—20,0	»	»	»	»
29 . . . . .	20,0—30,0	»	»	»	»
5 . . . . .	30,0—40,0	»	»	»	»
3 . . . . .	40,0 и выше	»	»	»	»

Наиболее жесткой водой обладают следующие немецкие водопроводы: Берибург — 31,2°, Рейхенбах в Силезии — 36,0°; Вюрцбург — 36,1°, Мерзебург — 45,5° общей жесткости в немецких градусах.

В грунтовых водах, залегающих в четвертичных образованиях, большую роль играет минералогический состав пород, слагающих

наносы. Если преобладают легко растворимые обломки, состоящие из веществ, вызывающих жесткость, то следствием этого является более значительная жесткость воды.

Поэтому при выборе подходящего места для каптажа при известных обстоятельствах целесообразно быть осведомленным о происхождении, составе и распространении исследуемых горных пород. Для этой цели должны быть произведены изыскания, имеющие целью выяснить, обломки каких пород играют преобладающую роль в составе данных наносных толщ.

Ответ на данный вопрос можно часто найти в разбросанных на полях валунах, песчаных карьерах, в речных берегах и речных террасах.

Рисунок 178 изображает распространение наносов Рейна и Мааса согласно съемкам Курца (Kurts), из которых видно, на каком протяжении отложения Рейна и Мааса не смешиваются между собой и каким распространением обладают смешанные отложения той и другой реки.

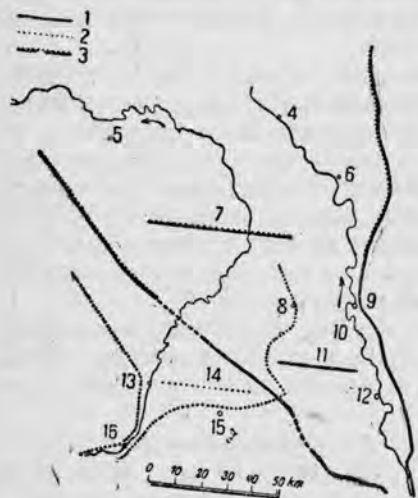


Рис. 178. Район распространения галек Рейна в Маасе (по Курцу).

1—граница Рейнских валунов; 2—граница Маасных валунов; 3—граница Рейно-Маасных валунов; 4—Эммерих; 5—Маас; 6—Везель; 7—граница Рейна и Мааса; 8—Глаттбах; 9—Дюссельдорф; 10—Рейн; 11—гравий Рейна; 12—Кельн; 13—Маастрихт; 14—гравий Мааса; 15—Аахен; 16—Лютих.

Рейнские отложения несут сравнительно мягкую грунтовую воду, между тем как отложения реки Майна обладают значительно более жесткой водой. Этим и объясняется то, что город Мангейм устроил свой каптаж грунтовой воды не в ближней к нему долине реки Майна, а в более далеко от него отстоящей долине Рейна.

В зависимости от условий отложения водоносных пластов в них иногда встречаются скопления местных минералов, обуславливающих собой жесткость воды. Благодаря этому возникают гнезда жесткости. Гидрогеолог, желая найти мягкую воду, должен таких гнезд избегать.

Отложения мергеля, пресноводного известняка, торфа и болотные образования обычно ведут к тому,

что жесткость воды одного и того же горизонта в зависимости от места сильно колеблется. В таких случаях, когда нужно найти место для каптажа, который мог бы давать возможно продолжительное время мягкую воду, необходимо предпринимать систематические гидрогеологические изыскания.

По поручению города Лукенвальде автор произвел гидрогеологическое исследование, имевшее целью отыскание мягкой воды.

Исследованный водоносный пласт является частью аллювиального, частью ледникового происхождения. Так как главной целью было установить, является ли жесткая вода, найденная в опытном колодце 1 (рис. 178), который был рекомендован городу для отбора воды дру-

гим специалистом, чисто местным явлением или распространяющимся также и на более широкие окрестности, то прежде всего были взяты пробы воды из многочисленных, уже имеющих налицо колодцев и исследованы на степень их жесткости. Дополнительно к этому были взяты еще пробы воды различных поверхностных водотоков и опытных буровых скважин.

Для того чтобы получить ясную картину распределения жесткости, на исследованной поверхности были проведены на основании полученных данных кривые одинаковых градусов жесткости. Рисунок 179 изображает полученные таким образом кривые. Они ясно показывают, что распределение жесткости в исследованной области происходило неравномерно, но определенно понижаясь ступенями.

Особенно примечательно то, что как раз положение эксплуатируемого опытного колодца 1 представляет собой центр сравнительно высокой жесткости. Закладывать здесь опытный колодец было сле-

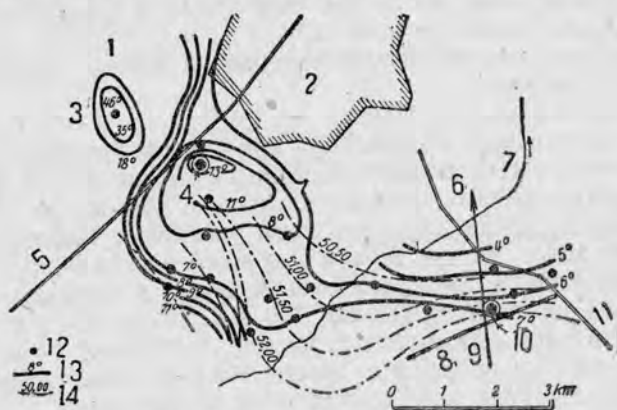


Рис. 179. Кривые одинаковой жесткости воды (изоклеры) на опытном участке в городе Люккенвальде.

1—Вейберг; 2—гор. Люккенвальд; 3—Гартманский колодец; 4—опытный колодец; 5—Мальсдорфская дорога; 6—направление течения грунтовой воды; 7—Кенигсграбен; 8—стратегическая железная дорога; 9—естественное; 10—опытный колодец; 11—Энекендорфское шоссе; 12—наблюдательные трубы; 13—кривые одинаковой жесткости; 14—гидроизогипсы грунтовых вод.

довательно совершенно ошибочно. Второй центр жесткости представляет собой Гартманский колодец, вблизи дороги на Вейберг, содержащий воду, имеющую 46 немецких градусов жесткости.

Эти новые данные о распределении жесткости привели к сооружению опытного колодца 2, эксплуатация которого дала возможность длительно добывать мягкую воду (7,1 немецкого градуса).

Десятилетняя эксплуатация Люккенвальдского водопровода всецело подтвердила целесообразность каптажа вблизи второго опытного колодца.

Водоносные пласты, содержащие воду с различными градусами жесткости, могут залегать между прочим непосредственно друг над другом, без наличия гидравлически разделяющего промежуточного слоя. В большинстве случаев жесткость воды по мере углубления увеличивается. Так например Штейер (Steuer) нашел в буровой

скважине в Рудельгейме на Рейне воду различной жесткости, постепенно возрастающей с глубиной.

26,9	немецкого	градуса жесткости	на	глубине	12 20—14,60	метров
36,5	»	»	»	»	»	33,05—35,00
41,2	»	»	»	»	»	36,00—38,40

Здесь из глубоких горизонтов более жесткие воды поднимаются вверх и в естественном состоянии не смешиваются с более мягкой верхней водой.

Смешивание происходит лишь при более значительном отборе воды, чем может быть например легко объяснено увеличение жесткости добываемой воды.

### 1а. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ

Наиболее простым и целесообразным способом определения жесткости в поле является мыльный способ.

Для определения жесткости этим способом требуются:

- 1) бюретка емкостью в  $50 \text{ см}^3$ ,
- 2) стакан емкостью приблизительно в  $200 \text{ см}^3$ , снабженный стеклянной пробкой,
- 3) мыльный раствор Кларка.

Для определения отмеривается при помощи пипетки  $100 \text{ см}^3$  воды, которые вводятся в хорошо очищенный стакан емкостью в  $200 \text{ см}^3$ , снабженный притертой стеклянной пробкой. На высоте  $10 \text{ см}^3$  стакан имеет отметку. Если жесткость воды превышает  $12^\circ$ , что встречается во многих водах, то при первом опыте отмеряется лишь  $10 \text{ см}^3$ , которые разбавляются дистиллированной водой в стакане, снабженном стеклянной пробкой до отметки  $100 \text{ см}^3$ . После этого приливают из бюретки титрованный мыльный раствор до тех пор, пока от сильного встряхивания не образуется густая нежная пена, которая остается в течение 5 минут на поверхности воды, не изменяясь.

Сначала между каждым взбалтыванием подливают мыльный раствор сразу, к концу же взбалтывания прибавляется каждый раз приблизительно  $0,6—1 \text{ см}^3$  и наконец — по каплям, пока излишек мыльного раствора не вызовет образования пены. Взбалтывание должно всегда производиться одним и тем же способом. Лучшее всего взбалтывать сверху вниз, причем пробку и горлышко сосуда следует держать правой рукой, дно же сосуда — левой рукой.

Для второго опыта употребляют то же количество воды, а если для разбавленной воды ( $10 : 100$ ) было употреблено лишь немного мыльного раствора, то воды берется соответственно больше, 25 или  $50 \text{ см}^3$  или столько, чтобы требуемое количество мыльного раствора было близко к  $45 \text{ см}^3$ , но не более.

Употребленное для первого опыта количество (или вычисленное) подливают теперь таким образом, чтобы после прибавления  $5 \text{ см}^3$  раствора его каждый раз сильно взбалтывать. После приближения таким образом к известной точке насыщения на  $1—2 \text{ см}^3$  опыт доводится при взбалтывании после дальнейших прибавлений по несколько капель до конца.

Как только достигается некоторый опыт в титровании с мыльным раствором, можно без труда определить по следующему предваритель-

ному опыту необходимую степень разбавления дистиллированной водой. В реактивной пробирке смешивается приблизительно 20 см<sup>3</sup> воды с 6 см<sup>3</sup> (приблизительно) мыльного раствора и после взбалтывания наблюдается вызванное этим выпадение осадков. Если жидкость станет лишь опаловой, то можно взять воды 100 см<sup>3</sup>, если же наоборот образуется большой осадок или если на поверхности жидкости возникнет пенная пленка (присутствие соединений магния), то совершенно необходимо значительно большее разбавление.

Из потребленных см<sup>3</sup> мыльного раствора можно при помощи нижеприведенной таблицы получать соответствующие градусы жесткости воды, которые в случае предварительного разбавления перемножаются на число разбавления. Если для опыта было применено лишь 10 или 25 см<sup>3</sup> воды (разбавленной до 100 см<sup>3</sup>), то найденный градус жесткости перемножается на 10 или на 4.

Если вода содержит много соединений магния, то мыльный раствор дает неточные результаты.

Более точным является метод С. Б л а х е р а (С. Blacher) с применением  $\frac{1}{10}$  нормального раствора пальмитата калия. При помощи этого способа одновременно определяется и карбонатная жесткость (ср. Тильманса).

#### Градусы жесткости

См <sup>3</sup> мыльного раствора	Градусы жесткости	Разница	См <sup>3</sup> мыльного раствора	Градусы жесткости	Разница
1,4 . . . . .	0	—	24 . . . . .	5,87	0,27
2 . . . . .	0,15	0,15	25 . . . . .	6,15	0,28
3 . . . . .	0,40	0,25	26 . . . . .	6,43	0,28
4 . . . . .	0,65	0,25	27 . . . . .	6,71	0,28
5 . . . . .	0,90	0,25	28 . . . . .	6,99	0,28
6 . . . . .	1,15	0,25	29 . . . . .	7,27	0,28
7 . . . . .	1,40	0,25	30 . . . . .	7,55	0,28
8 . . . . .	1,65	0,25	31 . . . . .	7,83	0,28
9 . . . . .	1,90	0,26	32 . . . . .	8,12	0,29
10 . . . . .	2,16	0,26	33 . . . . .	8,41	0,29
11 . . . . .	2,42	0,26	34 . . . . .	8,70	0,29
12 . . . . .	2,68	0,26	35 . . . . .	8,99	0,29
13 . . . . .	2,94	0,26	36 . . . . .	9,28	0,29
14 . . . . .	3,20	0,26	37 . . . . .	9,57	0,29
15 . . . . .	3,46	0,26	38 . . . . .	9,87	0,30
16 . . . . .	3,72	0,26	39 . . . . .	10,17	0,30
17 . . . . .	3,98	0,27	40 . . . . .	10,47	0,30
18 . . . . .	4,25	0,27	41 . . . . .	10,77	0,30
19 . . . . .	4,52	0,27	42 . . . . .	11,07	0,30
20 . . . . .	4,79	0,27	43 . . . . .	11,38	0,31
21 . . . . .	5,06	0,27	44 . . . . .	11,69	0,31
22 . . . . .	5,33	0,27	45 . . . . .	12,00	0,31
23 . . . . .	5,60	0,27			

## 2. ХЛОР (ХЛОРИДЫ)

Хлор встречается в воде в естественных условиях не в виде свободного газа, но всегда связанным с металлами, главным образом с натрием, т. е. в виде хлоридов. Поэтому было бы вернее говорить о содержании в воде хлоридов. Так как различные, встречаемые в воде хлориды (хлористый натрий, хлористый кальций, хлористый магний) обладают различным молекулярным весом, то количественно их нельзя сравнивать между собой, потому что это легко может повести к ошибкам. Поэтому обычно металлические составные части хлоридов не указываются и вычисляется только содержание хлора. Ввиду этого усвоено краткое обозначение «содержание хлора» несмотря на то, что это выражение не вполне точно. Как и большинство остальных растворенных солей в воде (исключая бикарбонатов), хлориды также не могут быть из нее удалены.

Воды, содержащие большое количество хлоридов, заметное на вкус, не могут быть улучшены. В таком случае они для употребления в пищу должны быть разбавлены водой с меньшим содержанием соли.

Однако нужно заметить, что полученное аналитическим путем содержание хлора непосредственно не дает критерия для вкуса воды и что при этом много зависит от того, с каким металлом (натрием, кальцием, магнием) связан встречающийся в воде хлор. (В физико-химическом смысле соли содержатся в воде большей частью распавшимися на ионы).

Как уже выше упоминалось, хлор находится в воде главным образом в виде хлористого натрия, или поваренной соли. На вкус он не слишком ярко выражен и не неприятен. Нельзя точно определить границу его ощущения подобно всем другим вкусовым ощущениям. Эта граница также зависит от содержащихся в воде возбудителей жесткости и углекислоты. Обычно принято, что 412 мг поваренной соли, соответствующие содержанию хлора в 250 мг/л, на вкус еще не ощущаются (ср. изданные в Германской республике руководства для устройства эксплуатации и надзора за общественными водопроводами, служажими не исключительно для технических целей, разъяснения к № 7). Средняя общая величина осолонения в Магдебурге по данным Штофа определяется в 250 мг хлора в литре.

В грунтовых водах, загрязненных водами калиевых рудников, степень допускаемого осолонения зависит от степени допустимой жесткости воды, следовательно допустимое общее осолонение в различных случаях различно.

Хлористый кальций также ощущается на вкус только в сравнительно больших количествах. Напротив хлористый магний, попадающий в большом количестве в реки со сточными водами калиевых заводов и попутно проникающий также в лежащие по соседству с рекой колодцы, уже в незначительном количестве проявляется противным сладковато-горьким (терпким) вкусом.

В некоторых голландских приморских городах было решено совместно с обществами по водопроводам принять как наивысшую допустимую норму хлористого натрия (поваренной соли) 400 мг в литре.

В общем питьевая вода не должна содержать больше 250 мг Cl в литре, не более 100 мг хлористого магния ( $MgCl_2$ ), 500 мг хлористого кальция ( $CaCl_2$ ) и 400 мг в литре поваренной соли (ср. Кюта).

Содержание хлоридов в подземных водах объясняется в большинстве случаев просачиванием из глубины воды, содержащей соль. В Северогерманской низменности очаг осолонения лежит обычно в глубоководно залегающих слоях цехштейна.

Эти слои имеют очень большое распространение, простираясь от нижнего Рейна и устья Везера до СССР. Цехштейн содержит не только отложения каменной соли, но также и калийные соли. Несмотря на свое часто глубокое залегание слои цехштейна проявляются повышенным содержанием соли и в более высоко лежащих потоках грунтовых вод. Подъем соленых вод из глубины существенно облегчается тем, что водонепроницаемые перекрывающие породы бывают часто сильно разрушены выщелачиванием и просадками.

Поэтому гидрогеологу рекомендуется при поисках грунтовой воды в местностях, подстилаемых формациями каменной соли, соблюдать большую осторожность, так как в противном случае не исключена опасность, что дорого стоящий каптаж может стать непригодным вследствие последующего осолонения воды.

Распределение поваренной соли в почве иногда бывает весьма закономерно. Рисунок 180 изображает согласно Джексоу (Jackson) съемки залежи поваренной соли Нью-Йорка и Новой Англи. Расположение линий, представляющих содержание хлора, очень закономерно. Содержание хлора достигает наивысшей величины у берега моря и понижается по направлению во внутрь страны.

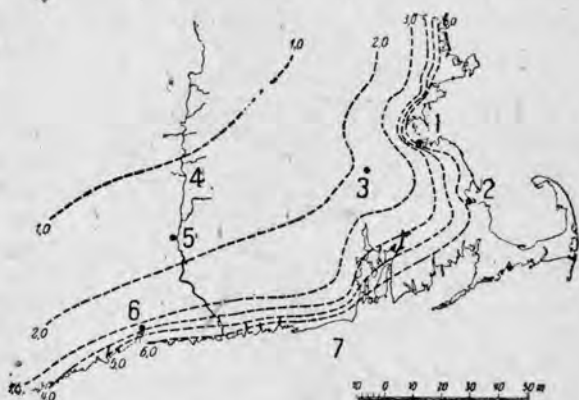


Рис. 180. Линии одинакового содержания хлора (изохлоры) (миллионные доли) в штате Нью-Йорк (по Джексоу).

1—Бостон; 2—Плимут; 3—Ворчестер; 4—река Коннектикут; 5—Гартфорд; 6—Нью-Гавен; 7—Атлантический океан.

Содержание хлора достигает наивысшей величины у берега моря и понижается по направлению во внутрь страны.

Однако часто содержание поваренной соли в грунтовых водах наблюдается в виде островов. В качестве примера подобного островообразного осолонения может согласно Финкелнеру (Finkener) считаться окрестность Келеника близ Берлина. Там был найден участок соленой грунтовой воды с содержанием от 484 до 908 мг хлористого натрия в литре. В окрестностях этого участка было однако установлено содержание хлористого натрия лишь от 5,7 до 16,1 мг в литре.

В местностях, где поваренная соль залегает на большой глубине, приводят к цели лишь те изыскания, которые охватывают большие площади и при которых производится определение содержания поваренной соли в каждой отдельной буровой скважине.

Подобные изыскания были например произведены автором в связи с гидрогеологическими предварительными изысканиями для водопроводов городов Зальцведела, Вустрова в Ганновере и Вазы.

По кривым, соединяющим точки с одинаковым содержанием поваренной соли, определяется наиболее выгодное положение места каптажа.

Однако длительные опытные откачки должны еще также доказать, что вследствие искусственного отбора воды не увеличивается содержание поваренной соли в воде.

Рисунок 181 изображает условия распределения поваренной соли в грунтовых водах окрестностей города Вазы в виде кривых, представляющих собой линии одинакового содержания поваренной соли.

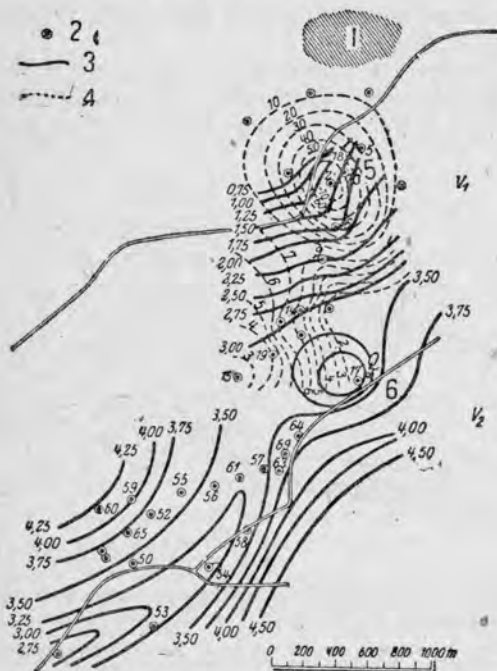


Рис. 181. Линии одинакового содержания соли в окрестностях города Вазы (Финляндия).

1—Смесь; 2—буровая скважина; 3—ли разломы грунтовых вод; 4—кривые одинакового содержания хлора; 5—опытный колодец; 6—опытный колодец.

ски непригодный был оставлен, и были произведены поиски более благоприятного места.

Пресный источник Q, лежащий далее в глубь страны, и новые буровые скважины повели к постройке второго опытного колодца и производству эксплуатации в каптаже V<sub>2</sub>. Опытный колодец эксплуатировался округло 15 месяцев и в состоянии равновесия давал 12 л/сек.

Интересно то, что опытный колодец 6 давал по сравнению с опытным колодцем 5 более пресную воду.

Содержание соли колебалось в незначительных границах и установилось к концу опыта на неизменяющейся величине, приблизительно в 50 мг в литре.

Содержание хлора колебалось здесь между 14,2 и 283 мг/л.

Для того чтобы установить, является или нет это высокое содержание хлора временным явлением, между бедными поваренной солью буровыми скважинами 13 и 18, указывавшими округло лишь 40 мг хлора в литре, был сооружен опытный каптаж V<sub>1</sub>, состоящий из 8 отдельных колодцев. Эксплуатация продолжалась в течение 4 месяцев. Колодцы давали в состоянии равновесия 8 л воды в секунду при ширине отбора в 900 м. Ежедневные измерения хлора показали, что содержание хлора постоянно увеличивалось и скоро достигло величины свыше 1 тыс. мг в литре. Стало быть исследуемый участок содержал воду, притекающую из обильного поваренной солью очага. На этом основании исследованный участок как практически

Бросается в глаза то, что это благоприятное место было установлено несмотря на незначительное отдаление обоих опытных колодцев (округло 1,3 км).

Не всегда вода, содержащая соль, залегает в глубине. Известны также и случаи, когда над слоями с пресной водой лежит слой, содержащий соленую воду.

Так например согласно Гагелю (Gagel) пески, лежащие под наносным мергелем близ Олдеслое, содержат пресную воду, в то время как пески, лежащие над ними, заключают воду, содержащую соль. Содержание соли настолько велико, что раньше ее извлекали в солеварнях. Осолонение обусловлено Пермскими соленосными отложениями, выступающими среди ледниковых отложений.

Особое внимание с точки зрения содержания хлоридов заслуживает вода, заключенная в морских дюнах, которые тянутся или вдоль морского побережья или представляют островамиобразные возвышения, омываемые со всех сторон морем.

Гидрогеологические условия залегания грунтовых вод в дюнах находятся в сильной зависимости от моря. Влияние моря проявляется как в количестве воды в дюнах, так и в химическом составе этой воды.

В прибрежных дюнах зеркало грунтовых вод понижается только в сторону моря. В островах же, состоящих из дюн, понижение зеркала происходит во все стороны. Таким образом поверхность зеркала воды таких дюн представляет собой как бы сферическую поверхность с более или менее выступающими волнообразными повышениями.

Важным последствием водопроницаемости слагающих дюны песчаных толщ, нижние части которых в большинстве случаев залегают глубоко под зеркало моря, является проникновение соленой морской воды в более глубокие слои дюнных отложений.

Таким образом пресная вода дюн как бы плавает на соленой морской воде.

Проникание соленой воды в тело дюн происходит как под влиянием гидравлического напора, так и вследствие диффузии. Эти два фактора и определяют собой форму нижней поверхности тела пресной воды в толще дюны. Между удельным весом более легкой пресной воды и лежащего под ней морского инфильтрата, содержащего соль, всегда должно существовать гидравлическое равновесие.

Эти условия были гидравлически и математически исследованы впервые Бадоном — Гижбеном (Badon — Ghijben), Герцбергом (Herzberg), а также позднее д'Андримоном (d'Andrimont) и Виндгенсоном (Windgensohn). О круговороте пресной и соленой воды в дюнной области в Голландии пишет Kijksbureau voor Dringroeter vorziehing.

Согласно сообщению Герцберга о наблюдениях, сделанных им над явлениями дюнной воды на острове Нордерней, гидравлическое рав-



Рис. 182. Пресная вода дюн, плавающая на соленой воде (по Герцбергу).

1—уровень моря; 2—уровень грунтовых вод; 3—пресная вода; 4—соленая вода.

новесие между пресной и соленой водой наступает тогда, когда согласно рисунку 182:

$$\frac{h}{t} = \frac{\gamma_0}{\gamma_1 - \gamma_0}$$

в котором означают:

$\gamma_0$  — удельный вес пресной воды,

$\gamma_1$  — удельный вес морской воды,

$t$  — уровень грунтовых вод над зеркалом моря.

$h$  — глубина пресных грунтовых вод под зеркалом моря.

В тех случаях, когда  $\gamma_0 = 1$  и  $\gamma_1 = 1,027$ , вычисленная величина  $h = 37 t$ , что приблизительно соответствует действительности.

Так как вес  $\gamma_1$  в отдельных случаях колеблется, то соотношение между  $h$  и  $t$  является также непостоянным.

О подобных условиях на острове Лонг Айленд близ Нью-Йорка пишет Эмбо (Imbeaux).

Эти теоретические вычисления близко подходят к действительным соотношениям лишь тогда, когда песок дюн не содержит водонепро-

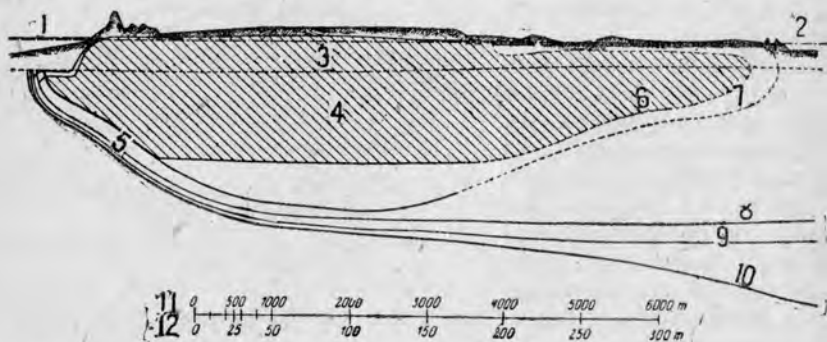


Рис. 183. Содержание хлора в грунтовых водах в дюнах Гаарлемского моря (по Пеннинку).

1—Северное море; 2—Гаарлемское море; 3, 4—район пресных вод; 5—500 мг хлора в литре; 6—100 мг хлора в литре; 7—200 мг хлора в литре; 8—500 мг хлора в литре; 9—1000 мг хлора в литре; 10—1500 мг хлора в литре; 11—масштаб длины; 12—масштаб высоты.

нимаемых включений и обладает мощностью, которая равна по крайней мере вычисленной.

Изолированное тело пресных вод может образоваться также и в пределах материка, когда дюны с одной стороны омываются морем, а другой стороной граничат с польдером, зеркало воды которого обычно искусственно держится ниже уровня моря.

На рисунке 183 Пенник (Pennink) изображает гидрогеологические условия Гаарлемского ландшафта польдеров.

Здесь соленая вода в глубине движется по направлению внутрь страны, что происходит не столько вследствие диффузии, сколько под влиянием господствующей в польдерах депрессии зеркала, которая вызывает уклон зеркала внутрь страны. Кроме очага пресной воды, равномерно окруженного соленой водой, как показано на рисунке 181, в теле соленой воды образуются в действительности при этом еще неправильные гнезда солоноватой воды.

При таком характере движения налицо имеется в большей мере динамическое состояние равновесия, чем гидростатическое. При этом играют роль не только падение поверхности воды, направленное внутрь страны, но также и приливы и отливы. Граница между соленой и пресной водой находится в постоянном движении.

Еще более запутаны взаимоотношения тех и других вод в дюнах, когда последние прорезаны водонепроницаемыми пластами. Подобный случай описывает д'Андримон (рис. 184).

В то время как колодец  $B_1$  в обоих горизонтах дает только пресную воду, колодец в положении  $B$  достигает сперва пресной воды, затем следует соленая вода. После прохождения водонепроницаемого пласта только в редких случаях наткнутся на пресную воду, которая и тогда с увеличивающейся глубиной становится снова соленой.

Иногда в водах, содержащих соль, встречается углеводород, присутствие которого обычно объясняется наличием нефти. В таких случаях нефть появляется часто в виде эмульсии. Эмульсионды выделяются благодаря содержанию соли.

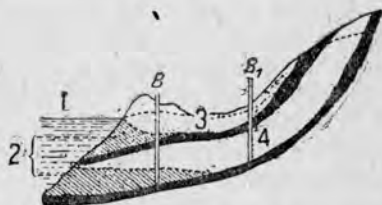


Рис. 184. Схема залегания водоносных пластов, содержащих пресную и соленую воду, если между ними имеется водонепроницаемый пласт (по д'Андримон).

1 — море; 2 — соленая вода; 3 — пресная вода; 4 — пресная вода.

## 2а. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХЛОРИДОВ

Для определения хлоридов требуются:

- 1) белая фарфоровая чашка емкостью приблизительно в 200 см<sup>3</sup>,
- 2) бюретка из оранжевого стекла емкостью в 25 см<sup>3</sup>,
- 3) пипетка емкостью в 1 см<sup>3</sup>,
- 4) стеклянная палочка,
- 5) раствор азотнокислого серебра, каждый см<sup>3</sup> которого осаждал бы 1 мг Cl.
- 6) 10-процентный раствор хромокалиевой соли.

Определение хлоридов основано на выпадении хлора в виде хлористого серебра из воды, к которой прибавлено незначительное количество свободной от содержания хлора нейтральной хромокалиевой соли. Это выпадение происходит при помощи титрованного нейтрального раствора азотнокислого серебра. При этой реакции сперва выпадает только белое хлористое серебро. После выпадения всех хлоридов следующая капля раствора азотнокислого серебра дает коричнево-красную хромосеребряную соль. Переход окраски из желтой в коричнево-красную указывает таким образом на окончание определения.

Для производства этого определения 100 см<sup>3</sup> воды смешиваются с 1 см<sup>3</sup> 10-процентного раствора хромокалиевой соли, причем раствор азотнокислого серебра прибавляется по каплям из бюретки до тех пор, пока не наступит изменение окраски.

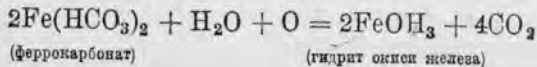
Кислые или сильно щелочные воды должны быть предварительно нейтрализованы.

### 3. ЖЕЛЕЗО

Железо в качестве спутника воды в общем присутствует значительно чаще, чем это принято думать, так как вода, содержащая железо, встречается как в первичных горных породах, так и в более молодых формациях и прежде всего в ледниковых и аллювиальных отложениях. Поэтому почти везде в грунтовой воде Северогерманской равнины может быть встречено железо.

Железо встречается в воде в самых различных соединениях, и его спутником часто является марганец. Часто железо находится в соединении с органическими кислотами (например гумусовой кислотой), с форфорной кислотой и другими минеральными кислотами.

В большинстве случаев железо присутствует в воде в виде растворенной двууглекислой закиси железа (ферробикарбонат), представляющей собой чрезвычайно легко окисляющееся соединение. Уже при незначительном доступе атмосферного воздуха происходит при отщеплении углекислоты превращение в нерастворимый в воде гидрат окиси железа, так как углекислая окись железа (феррокарбонат), которая теоретически должна была бы при этом образоваться, является неустойчивой.



В результате этого превращения замутнение воды происходит, как только содержание железа превысит приблизительно 0,2 мг Fe на литр. По истечении некоторого времени выделяется светлая до темнокоричневой железная охра, придающая воде не только неаппетитный вид, но делающая ее также мало пригодной для варки пищи, для стирки и для промышленных целей.

Если вода, содержащая железо, проводится при помощи трубопровода дальше, то в трубопроводах появляются отложения, закупорки и подобные явления, чрезвычайно препятствующие эксплуатации. Закупорка в трубопроводах особенно неприятно выявляется, когда в воде, содержащей железо, зарождаются две водоросли (*Gladothrix*, *Crenothrix*), потребляющие железо для поддержания жизни. Эти водоросли могут своими нитями в сравнительно короткое время совершенно закупорить любой трубопровод.

Эти неприятные свойства воды, содержащей железо, увеличиваются тем, что воды, содержание железа которых превышает определенную меру, обладают не только чрезвычайно неприятным чернилообразным вкусом, но также пахнут очень сильно сероводородом. Этот сероводород имеет не органическое, но минеральное происхождение, и поэтому он не указывает ни на какое гигиенически вредное происхождение.

До конца 80-х годов XIX столетия водопроводная практика была совершенно бессильна в отношении этих неприятных свойств грунтовой воды, содержащей железо. Тогда не существовало еще никакого простого, технически пригодного для широкой эксплуатации способа, которым можно было бы грунтовую воду, содержащую железо, сделать пригодной для водоснабжения. Это между прочим послужило причиной того, что многократно оставляли неиспользованными громадные количества грунтовой воды, которые текут например в недрах Северогерманской равнины.

Лишь в начале 90-х годов научились удалять железо из грунтовой воды. Заслуга эта принадлежит П и ф к е и О с т е н у, которые систематическими опытами нашли конструктивную основу для так называемых «обезжелезивающих сооружений», при помощи которых можно воды с очень высоким содержанием железа сделать почти безупречными.

С появлением возможности освободить грунтовую воду от железа и использовать ее без ограничения для целей водоснабжения в городском водном хозяйстве (особенно в Северной Германии) произошла огромная перемена. Целый ряд городов, которые до сих пор ввиду недостатка технически пригодных способов получением грунтовой воды покрывали потребность в воде использованием поверхностной воды, перешли к применению грунтовой воды. Например Берлин передал свои водопроводы с поверхностной водой в водопроводы с грунтовой водой и провел новые водопроводы с грунтовой водой. Бреславль, Киль, Брауншвейг, Гамбург и др. заменили свои водопроводы с поверхностной водой на водопроводы с грунтовой водой с последующим обезжелезиванием.

Так как удаление железа из железистой грунтовой воды возможно только лишь при помощи особых обезжелезивающих сооружений, требующих расходов по устройству и эксплуатации, то в хозяйственном отношении следует предпочитать грунтовую воду, свободную от железа.

Если в связи с этим вопрос о воде должен быть разрешен гидрогеологически, то долгом гидрогеолога является сперва исследовать, может ли быть добыта свободная от содержания железа грунтовая вода в практически допустимом отдалении от района потребления или нет. При этом всегда нужно помнить, что содержание железа выявляется в некоторых случаях лишь при более сильной эксплуатации и что потому нужно принимать во внимание возможность устройства обезжелезивающего сооружения позднее.

О том, свободна от железа или содержит железо грунтовая вода, во многих случаях можно судить уже после поверхностного осмотра исследуемого участка. Источники и прочие выходы железистых грунтовых вод могут быть узнаны потому, что края источников и боковые стенки водосточных канав покрыты железной охрой. Это явление наблюдается в том случае, когда вода, содержащая железо, течет через препятствия, разделяющие воду на струи, водовороты, каскады и т. п., чем достигается особенно сильная аэрация воды. Тогда происходит естественное выпадение железа, и по количеству выпавшего железа и по длине водотока, на протяжении которого происходит выпадение железа, можно приблизительно судить о размере содержания железа.

Проникающая в подпочву метеорная вода является средством, при помощи которого железо под почвой переходит в растворимую форму. Так как метеорная вода уже при своем возникновении воспринимает из воздуха кислород, а также уголекислоту, особенно важную для растворения железа, то воды эти обладают повышенной растворяющей способностью. Содержание уголекислоты в просачивающейся метеорной воде еще возрастает вследствие соприкосновения ее с почвой, на поверхности и под поверхностью которой везде имеются более или менее густо скучившиеся и гниющие растения. Эти остатки растений дают соприкасающейся с ними воде наряду с уголекислотой еще органические вещества. Таким образом обогащенная кислородом,

углекислотой и органическими субстанциями вода приобретает сильную разрушающую способность, вследствие чего такой воде при более или менее длительном сроке ее воздействия не может противостоять ни один минерал.

Разрушающему действию воды, содержащей углекислоту, прежде всего подвергаются легко растворимые горные породы. В качестве таковых прежде всего принимаются во внимание различные виды известняка, которыми богаты четвертичные породы. Ныне известковые соединения сосредоточиваются почти исключительно в более глубоких пластах, так как верхние слои благодаря выщелачиванию с течением времени утратили много

содержащейся в них известности и идут к постоянному обеднению последней. Это отсутствие известности в верхних слоях почвы имеет следствием невозможность моментальной нейтрализации углекислоты, содержащейся в инфильтрационной воде. Поэтому инфильтрационная вода долго сохраняет свои кислые свойства и имеет достаточно времени для разрушения тех содержащих железо силикатов, которые лежат в сфере ее действия.

В результате этих процессов получается целый ряд растворимых карбонатов, и таким образом появляется и железо в грунтовой воде.

В дальнейшем содержание железа в грунтовой воде увеличивается вследствие инфильтрации новых количеств органических соединений. В результате окисления органических веществ является углекислота, которая вызывает разрушение содержащих железо силикатов и восприятие водой железа.

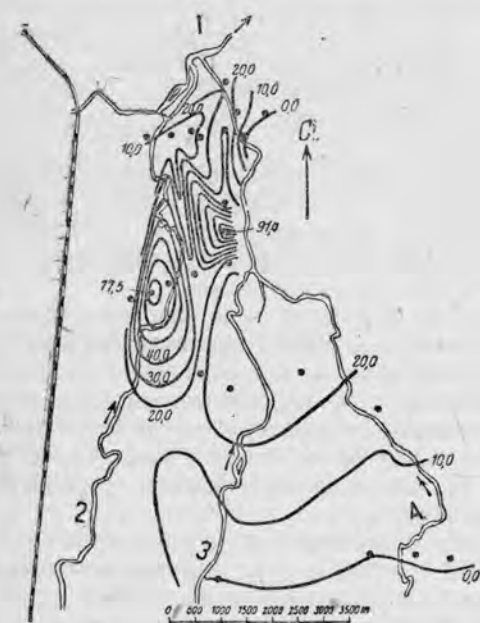


Рис. 185. Линии одинакового содержания железа в грунте южнее города Лейпцига (по А. Тиму).

- 1 — Эльстер; 2 — Эльстер; 3 — сплавной канал;  
4 — Плейссе.

кислота, которая вызывает разрушение содержащих железо силикатов и восприятие водой железа.

Таким образом возникают местные обогащения железом. На рисунке 185 изображены при помощи изолиний, представляющих одинаковое содержание железа, условия содержания железа водоносным грунтом южнее Лейпцига. Можно ясно отличать друг от друга два средних пункта содержания железа с редко высоким, от 77,3 или 91,4 мг в литре, содержанием последнего.

Содержание железа в подземных водах бывает очень различно. Согласно данным Прусского государственного института гигиены воды в Берлине Далеме было найдено например в грунтовой воде близ Бреславля 15—20 мг, близ Финстервельде — 9—10, близ Глогау — 7—23, близ Рутшук — 5—9, близ Штангерта — 2—6 и близ Ште-тина —

0,05—0,2 мг  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в литре. В большинстве случаев содержание железа равняется 1—3 мг Fe в литре. При содержании железа в воде ниже 0,2 мг Fe на литр выделение его происходит редко. В виде исключения встречаются воды с содержанием железа до 100 мг Fe в литре и выше.

Если железо, растворенное в виде закиси, превышает 0,3 мг Fe на литр, то такие железистые воды обладают ярко выраженным чернилообразным вкусом. В качестве вкусовой границы Леман (Lehman) указывает, что в случае необходимости вода еще пригодна, если она имеет 25 мг сернистой закиси железа в литре (т. е. 5 мг железа в литре), и 37 мг хлористого железа в литре (т. е. 12 мг железа) (ср. также Гертнера).

Вредным для здоровья не является даже в общем высокое содержание железа. Наряду с этим ошибочно считать, как это часто бывает, что каждая содержащая железо вода обладает целебным свойством. Содержащая железо вода, которая могла бы быть применена для лечебных целей, должна помимо совершенно выдающегося содержания железа в виде особых благоприятных химических соединений обладать еще и другими химическими свойствами, на которых здесь более подробно останавливаться не будем.

### За. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ЖЕЛЕЗА В ВОДЕ

Определение содержания в воде железа проще всего производится по Тильмансу способом Гейблена.

Для этого употребляется:

1) 5 колбочек со вздутым дном и тубусом, которые служат для сравнения окрасок. Они содержат смесь из хлорной платины и хлористого кобальта, которые соответствуют по цвету содержанию железа от 0,1 до 0,5 мг в литре;

2) цилиндр 42 см длины, 2 см в диаметре и с делениями на 10, 25, 50, 100 и 110  $\text{см}^3$ ;

3) соляная кислота;

4) перекись водорода;

5) 10-процентный водный раствор роданистого калия.

Определение производится следующим образом.

100  $\text{см}^3$  воды вливаются в цилиндр, потом прибавляются 2  $\text{см}^3$  соляной кислоты и 10 капель перекиси водорода. После этого в цилиндр добавляется 10-процентный раствор роданистого калия до деления 110. После надлежащего перемешивания смотрят сверху через жидкость на белый фон и сравнивают, с какой колбочкой совпадает окраска. Если налицо имеется больше чем 0,5 мг железа, то появляется отчетливо красная окраска, вода должна быть перед определением железа разбавлена дистиллированной водой. Для этой цели цилиндр имеет кроме отметок на 100 и 110 еще метки и на 10, 25 и 50  $\text{см}^3$ .

Наилучшим реактивом в данном случае согласно опытам Клютя является химически чистый раствор сернистого натра. Для испытания вода, подлежащая исследованию на железо, смешивается в цилиндре с 2—3 каплями раствора сернистого натра. Цилиндр этот должен быть из бесцветного стекла от 2 до 2,5 см в диаметре, приблизительно 30 см высоты и иметь плоское дно, защищенное сбоку от доступа лучей света слоем лака или, еще лучше, сжимающееся черной металлической гильзой.

Сверху через столб жидкости смотрят на находящийся в некотором отдалении (3—4 см) белый фон, например фарфоровую пластинку. В зависимости от количества имеющегося налицо железа наступает тотчас или в течение 2 минут зелено-желтая окраска, а при некоторых обстоятельствах — более темная, до черно-коричневой.

Содержащееся в воде железо при этом превращается в сернистое железо, остающееся растворенным в коллоидальной форме. При незначительных количествах железа в воде рационально для сравнения производить всегда опыт с водой, свободной от содержания железа, лучше всего с дистиллированной, или применять первоначальную воду, не смешанную с реактивом.

Таким способом может быть определено до 0,15 мг Fe в литре воды. При содержании Fe ниже 0,5 мг оттенок воды в большинстве случаев зеленоватый, свыше этого более зеленовато-желтый и при еще большем количестве железа темнозеленый, коричневый до коричнево-черного.

При содержании железа в 1 мг Fe в литре и выше можно хорошо наблюдать зеленое окрашивание в реактивной пробирке уже по истечении 2—3 минут.

Если в воде налицо имеются, что однако редко бывает, еще другие тяжелые металлы (речь идет наряду с медью главным образом о свинце), то при этом от сернистого натрия наступает то же окрашивание. Если такая возможность имеется, то окрашенную жидкость окисляют несколькими кубическими сантиметрами концентрированной соляной кислоты. Когда налицо имеется только железо, то окрашивание должно исчезнуть, так как сернистое железо в разбавленной соляной кислоте легко растворяется. Если же, наоборот, не замечается разницы, то налицо имеются свинец или медь — металлы, сульфиды которых в разбавленной соляной кислоте не растворимы.

Результаты исследования на железо даются химиками в очень различной форме, в большинстве случаев в виде окиси железа, однако также в виде железа или закиси железа. Оказалось наиболее целесообразным давать в анализах соединения железа в виде Fe. Иногда случается, что в анализах указывается содержание железа вместе с глиноземом. Подобные анализы для гидрогеологических целей являются бесполезными, так как по ним нельзя вычислить количество железа.

Числовые соотношения железа в его соединениях даны в следующей таблице:

	Железо	Закись железа	Окись железа
1 часть железа (Fe) . . . . .	1,0	1,286	1,429
1 » закиси железа (FeO) . . .	0,778	1,0	1,11
1 » окиси железа (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) . . .	0,7	0,9	1,0

#### 4. МАРГАНЕЦ

В большинстве случаев в грунтовых водах, содержащих железо, наряду с железом находят также и соединения марганца. Согласно данным Вейса (Weiss) значительные количества марганца содер-

жат например источники Пирмонта, а именно 20 мг Мп в литре, источник Георгий-Виктор близ Марниенбада — 2,3 мг Мп в литре, грунтовая вода близ Штетина — 0,5—5,2 МпО, грунтовая вода близ Нейса — 0,7 Мп, грунтовая вода близ Глогау — 2—5 МпО, грунтовая вода близ Гаале на Заале — 0,1—0,5 Мп<sub>3</sub>О<sub>4</sub> и грунтовые воды долины Одера близ Бреславля, Штаргарда и т. п. Вкусовая граница для марганца приблизительно 0,5 мг в литре. Марганец в большинстве случаев появляется лишь отдельными гнездами и на первый взгляд не так легко заметен, как железо. Характерным для марганца является то, что соединения вызывают преимущественно темнокоричневую до черной окраску содержащих его пород.

Встречающиеся в грунтовой воде соединения марганца проявляют в своих соединениях и режиме большое сходство с солями железа, о которых шла речь в предыдущей главе. Грунтовая вода содержит марганец как в виде карбонатов, так и в виде сульфатов. Карбонатные соединения сравнительно легко окисляются и выпадают, в то время как сульфаты довольно устойчивы. Соли марганца так же вредно влияют на качество воды, как и соли железа. Они так же вызывают помутнение воды, дают осадки в трубопроводах и являются значительно неприятней соединений железа. Между прочим марганец выпадает также и на поверхности фильтра в сооружении по удалению марганца (Фленсбург), а также в самом теле фильтра, цементируя и образуя песчаникообразные массы (Штаргард).

Разрушающее действие марганца на водопроводы узнали значительно позже, чем такое же действие железа.

Проскауер (Proskauer) был одним из первых, который в 1891 г. обратил внимание на сходное действие марганца и железа.

Однако все считали, что марганец в сравнении с железом играет лишь второстепенную роль спутника железа и что марганец легко может быть выделен из воды при помощи обезжелезивающих сооружений, вошедших тем временем в употребление. И лишь марганцевая катастрофа на новом Бреславльском водопроводе, происшедшая в 1906 г., доказала, что марганец может при известных обстоятельствах появиться в грунтовой воде в количествах, делающих грунтовую воду совершенно непригодной для употребления.

Бреславльский каптаж грунтовой воды, с которым произошла марганцевая катастрофа, лежит в низменности рр. Оле (Ohle) и Одера, выше города Бреславля. Водоносная толща состоит из аллювиальных пластов, залегающих в водонепроницаемых отложениях северного ледника. Первоначально каптаж состоял из 317 трубчатых колодцев.

Согласно определениям специалистов подлежащая каптированию вода была во всех отношениях безукоризненна и содержала железо приблизительно 6 мг в литре.

Согласно бывшим до настоящего времени опытам устранение железа могло быть произведено здесь при помощи обыкновенных обезжелезивающих приспособлений.

Соединений марганца не было обнаружено. В течение целого года водопровод работал безукоризненно, но дойти до постоянного потребления в количестве 60 тыс. м<sup>3</sup> в сутки, определенного на основании гидрогеологических предварительных изысканий, не удалось, так как уже при добыче 40 тыс. м<sup>3</sup> в сутки была достигнута максимальная депрессия. В течение первого года эксплуатации содержание железа

постепенно возросло с 6 на 20 мг в литре, однако это количество железа обезжелезивающим сооружением было устранено до самых незначительных следов его. После продолжительного засушливого периода район каптажа был в ночь с 28 на 29 марта 1906 г. затоплен половодьем реки Одера.

С наступлением половодья химический состав грунтовой воды внезапно совершенно изменился.

Содержание железа в сборном колодце I возросло с 9 мг до 101 мг в литре и в сборном колодце II — с 18 мг на 80 мг в литре. В отдельных трубчатых колодцах наивысшее содержание железа доходило до 400 мг Fe в литре при одновременном содержании до 200 мг марганца.

При помощи обезжелезивающих сооружений эти большие количества железа могли быть совершенно устранены, однако в воде оставался марганец в растворенном виде, вследствие чего вода сделалась непригодной для питья и других целей.

Причина внезапного появления солей марганца была найдена в своеобразном составе водоносной породы. Дополнительно произведенные съемки поверхности и исследования почвы показали, что в пределах района каптажа на водопроницаемых пластах залегают отложения или (наносный грунт), содержащие много железа и марганца. Так Людеке нашел в отдельных пробах до 20% окиси марганца, вместе с этим другие соединения последнего. Кроме того, как позднее было установлено, водоносные пласты содержат восстанавливающие вещества органического и неорганического происхождения (как например гумус, болотные вещества, серный колчедан).

Карбонаты и перекиси железа и марганца, образующие составную часть породы, сами по себе в воде нерастворимы и поэтому без превращения они не могут изменить свойства воды. Подобное превращение может быть вызвано лишь химическими процессами в подпочве при наличии органических веществ и воздуха, и в этом случае возникают растворимые в воде соединения марганца.

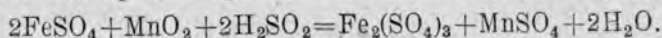
Так как химическое изменение Бреславльской грунтовой воды наступило лишь после более продолжительной эксплуатации колодцев, то нужно думать, что причину ухудшения воды следует прежде всего искать в искусственном удалении воды из породы. Результатом подобного удаления воды является более или менее полное высыхание первоначально водоносных пластов. Вместо грунтовой воды появляется атмосферный воздух, который путем окисления превращает нерастворимые соли в растворимые. Химический процесс, наступивший после последовавшего высыхания одной части водоносных пластов, согласно данным Людеке и Люрига, протекал следующим образом.

Встречающееся в наносных пластах сернистое железо оставалось до тех пор не измененным, пока высокое стояние грунтовых вод препятствовало доступу воздуха к нему.

После наступившего высыхания верхних пластов атмосферный воздух мог беспрепятственно проникнуть через поры наносов к сернистому железу. Благодаря этому сернистое железо было превращено при выделении свободной серной кислоты в железный купорос, которым нерастворимая перекись марганца была превращена в сернокислый марганец, растворимый в воде. Насколько велико количество, которое может накопиться таким образом возникшей серной кислотой, показывает тот факт, что например 3 апреля 1906 г. Людеке установил

в Бреславльской грунтовой воде не менее 379 мг  $H_2SO_4$  в литре. Такая вода должна при всех обстоятельствах иметь кислую реакцию.

Химический процесс протекает согласно следующему уравнению:



Выщелачивание образовавшихся таким путем солей происходило благодаря проникновению в породу воды во время половодья, и так как процесс превращения продолжался достаточно долгое время, то высокое содержание растворимых соединений железа и марганца, внесенно попавших в колодцы, вполне понятно.

При больших количествах соединений железа и марганца, остающихся еще в породе, вышеописанный процесс превращения и выщелачивания должен будет при повторных наводнениях снова возобновиться. Совершенное вымывание в течение короткого времени вредных солей марганца невозможно.

В большинстве случаев марганец выпадает значительно труднее, чем железо. Согласно данным А б е л я (Abel), Ф л ю г г е (Flügge) и С п и т т а (Spitta) марганец в тех количествах, в которых он обычно встречается в воде, для здоровья безвреден.

#### 4а. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ МАРГАНЦА В ВОДЕ

Для определения марганца в воде согласно Фольгарду (Volhard) требуется:

- 1) одна колбочка емкостью приблизительно в 100 см<sup>3</sup>,
- 2) 25-процентная чистая азотная кислота,
- 3) химически чистая перекись свинца.

Определение производится следующим образом. Приблизительно 50 см<sup>3</sup> подлежащей испытанию воды подогреваются в колбочке с 5 см<sup>3</sup> чистой азотной кислоты (25-процентной) до точки кипения. Затем пламя удаляется и во избежание выбрызгивания жидкости, обусловленного замедлением кипения, приблизительно через две минуты добавляется при взбалтывании на кончике ножа 0,5 г (приблизительно) химически чистой перекиси свинца и подогревается еще 2—5 минут до выпадения осадка.

Затем жидкости дают осесть и наблюдают стоящую над осадком прозрачную жидкость на белом фоне. Если вода содержит марганец, то жидкость окрашивается в фиолетово-красный цвет вследствие образовавшейся марганцевой кислоты от слабого оттенка до отчетливой окраски в зависимости от количества имеющегося налицо марганца. Границей восприятия этого реактива является содержание Mn 0,1 мг в литре. При очень высоком содержании хлора (начиная приблизительно с 300 мг Cl на литр) по Клютю реакция марганца может быть нарушена. В таких случаях более долгим кипячением до прибавления перекиси свинца мешающие хлориды могут быть удалены.

1 часть	MnO	= 0,77	частей	Mn
1	»	MnCO <sub>3</sub>	= 0,48	»
1	»	MnSO <sub>4</sub>	= 0,36	»
1	»	MnS	= 0,63	»
1	»	Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	= 0,72	»
1	»	Mn <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	= 0,39	»
1	»	Mn	= 1,29	»

В анализах рекомендуется марганец обозначать как чистый Mn.

## 5. УГЛЕКИСЛОТА

Углекислота встречается в воде в виде:

- 1) прочно связанной,
- 2) полусвязанной или в виде бикарбонатов,
- 3) свободной,
- 4) разрушающей (агрессивной) углекислоты.

Крепко связанная и полусвязанная углекислота оказывает влияние на жесткость воды (карбонатная жесткость воды).

Особое гидрогеологическое и главным образом техническое значение имеют свободная и агрессивная формы углекислоты.

Все воды, содержащие карбонаты кальция и магния, образующие временную или карбонатную жесткость, должны обладать для поддержания карбонатов в растворенном виде известным количеством свободной углекислоты. Если в воде имеется больше свободной углекислоты, чем требуется для растворения карбонатов, то в этом случае свободная углекислота разрушает металлы и известковые кладки.

Тильманс обозначает подобные воды как агрессивные. Однако и воды, содержащие свободную, но не агрессивную углекислоту, все же могут действовать растворяюще на железо, но только в том случае, если вода совсем не содержит или содержит лишь самое незначительное количество кислорода воздуха. Действие свободной углекислоты на металлы и известковые кладки чрезвычайно важно, так как от этого не только зависит прочность многих технических, особенно водопроводных, сооружений, но в результате растворения металлов может произойти даже отравление (стр. 250).

### 5а. ОПРЕДЕЛЕНИЕ В ВОДЕ СВОБОДНОЙ УГЛЕКИСЛОТЫ

В качестве средства для определения можно согласно Петтенкоферу (Pettenkofer) рекомендовать розоловую кислоту.

Для определения свободной углекислоты требуется:

- 1) колбочка емкостью приблизительно в 50—100 см<sup>3</sup>,
- 2) розоловая кислота в алкогольном растворе.

Для открытия свободной углекислоты 50—100 см<sup>3</sup> воды, подлежащей испытанию, смешиваются в колбочке с 5—10 каплями алкогольного розолового раствора. При наличии свободной углекислоты вода становится желтой.

Воды, кисло реагирующие на розоловую кислоту, обладают свойством разрушать металлы и известковые материалы.

Количественное определение свободной углекислоты следует лучше всего предоставлять специалисту.

## 6. АММИАК

Аммиак является частым спутником грунтовой воды.

Аммиак содержится в воде не в свободном состоянии, а в связанном. Поэтому установить присутствие аммиака по запаху нельзя.

В неглубоко залегающих водоносных пластах и при плохо сооруженных каптажах аммиак в большинстве случаев имеет органическое происхождение и указывает в таком случае на загрязнение воды с поверхности земли.

Однако очень часто находят аммиак в количествах от 0,1 до 1,0 мг в литре и выше также и в глубоко лежащих водоносных пластах

именно тогда, когда воды содержат органические вещества, или железо, или марганец. Так например в Пфедерсгейме и в Пфримтале нашли согласно данным Штейера (Steuer) даже на глубине в 310 м воду с ясно выраженными следами аммиака. В Куксгафене в грунтовой воде, залегающей на глубине 12—18 м под поверхностью земли было найдено 50,18 мг аммиака в литре.

Так как однако в глубоко лежащих пластах биологические процессы, которые могли бы повести к образованию аммиака, исключены, то возникновение аммиака в глубине может быть объяснено лишь физико-химическими изменениями.

Клют объясняет возникновение аммиака следующим образом. Поверхностная вода растворяет при просачивании через верхние слои земли содержащиеся в них нитраты и нитриты и поглощает находящуюся в почве углекислоту. Обогащенная углекислыми и азотнокислыми солями вода просачивается дальше в глубину и здесь соприкасается с сернистым железом и с сернистым марганцем.

Сернистое железо и сернистый марганец широко распространены в почве. Аммиак образуется путем восстановления из нитратов при наличии сульфатов. В таких водах в результате указанного процесса не находят больше нитратов и нитритов. Одновременно железо и марганец в виде ферробикарбонатов и карбоната марганца переходят в раствор. Освобождающийся при этом сероводород придает воде специфический запах.

Появление аммиака в глубоко лежащих грунтовых водах с гигиенической точки зрения не имеет значения.

## 7. АЗОТИСТАЯ КИСЛОТА

Азотистая кислота в общем возникает в воде от деятельности микроорганизмов и часто является признаком загрязнения.

Иногда азотистую кислоту находят и в железистых водах в глубоких пластах.

Тогда ее возникновение должно быть объяснено несовершенным восстановлением нитратов (ср. аммиак). Такие воды с гигиенической точки зрения должны считаться безвредными.

По Клоту достойно внимания то обстоятельство, что водопроводная вода, простоявшая долгое время (например в течение ночи) в оцинкованных железных трубах, легко образует вследствие восстановления нитратов немного азотистой кислоты, которая уже при очень незначительных количествах окрашивает мясо (именно мясо рогатого скота) при варке в красный цвет. В гигиеническом отношении это не имеет значения.

В пробах воды, взятых непосредственно за обезжелезивающим сооружением, находят также между прочим азотистую кислоту, возникшую вследствие окисления аммиака, встречающегося в сырой неочищенной воде. Азотистая кислота, возникшая таким путем, в гигиеническом отношении также безвредна.

## 8. АЗОТНАЯ КИСЛОТА

Азотная кислота является окончательным результатом окисления всех органических веществ почвы, содержащих азот (процесс минерализации). В чистых грунтовых водах ее обычно не находят или же находят в незначительном количестве,

Однако встречаются и колодезные воды с содержанием от 10 до 30 мг азотной кислоты в литре, не вызывающие при этом каких-либо сомнений с санитарной точки зрения, так как прочие свойства воды и положение колодца гигиенически безупречны. Так например по Клютю нижепоименованные города обладают водопроводной водой с повышенным содержанием нитратов (миллиграммов в литре).

Ашаффенбург . . . . .	33	N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Рапштатт . . . . .	44	»
Эмден . . . . .	48	»

### 9. СЕРОВОДОРОД

Сероводород является также далеко передним спутником подземных вод. В неглубоко залегающих водоносных пластах появление сероводорода указывает почти всегда на загрязнение, проникающее с поверхности земли.

Воды более глубокого происхождения содержат почти без исключения больше или меньше сероводорода минерального или ископаемого происхождения.

Поэтому установление содержания сероводорода с гигиенической точки зрения здесь не имеет значения.

Сероводород минерального происхождения возникает от разложения серного колчедана и других содержащих серу минералов.

Он является почти всегда спутником воды, содержащей железо. В третичных и еще более древних пластах (как например битуминозные известняки и мергель) свободный сероводород возникает от действия гуминовой и других органических кислот, восстанавливающих сернистые соли.

Улетучивающийся из грунтовых вод свободный сероводород (например при опытных колодцах и обезжелезивающих сооружениях) можно ощущать органами обоняния (по запаху) часто на расстоянии сотен метров.

Свободный сероводород легко удаляется из подземной воды всяким видом аэрации, и разные предубеждения, нередко высказываемые профанами в отношении вод более глубокого происхождения, содержащих сероводород, совершенно неосновательны.

Уже в незначительных количествах сероводород ощущается на запахах. Присутствие сероводорода может быть доказано химическим путем при помощи свинцовой бумажки. Г л о ц б а х (Glötzbach) определяет крайнюю вкусовую границу сероводорода в 0,28 мг на литр.

## VII. ВОДЫ, РАЗРУШАЮЩИЕ МЕТАЛЛЫ И ИЗВЕСТКОВЫЕ КЛАДКИ

Многочисленные подземные воды, служащие для питья и для промышленных целей, обладают свойствами разрушающе действовать на металлы и известковые кладки.

По К л ю т ю такими свойствами обладают почти все мягкие и содержащие воздух воды, а также воды с незначительной временной (карбонатной) жесткостью (немного меньше 7 немецких градусов). Как уже упоминалось на стр. 248, воды, содержащие свободную,

агрессивную углекислоту, действуют разрушающе не только на металлы, но и на известковые кладки и цемент. Так же обстоит дело и с водами, кисло реагирующими на раствор розоловой кислоты, лакмусовую и конговую бумажки.

Органические кислоты, как например гуминовые кислоты болотных вод, обладают также разрушающе действующими свойствами. Подобным свойством обладают также воды, содержащие много хлоридов, сероводород и сульфиды.

Таковыми водами разрушаются и растворяются между прочим железо, свинец, медь, никель и цинк.

В гигиеническом отношении особое внимание нужно уделять главным образом растворению разрушающе действующими водами свинца, так как свинец почти во всех своих соединениях является опасным ядом и по Клютю вызывал неоднократно тяжелые заболевания (например в Дессау, Оффенбахе-на-Майне, Эмдене, Вильгельмсгафене, Наунгофе).

На основании имеющихся до сих пор опытов можно сказать, что вода, длительно содержащая не больше 0,3 мг (Pb) в литре, может считаться безвредной для здоровья. При 0,5 мг свинца в литре уже рекомендуется осторожность.

Для суждения о вопросе, обладает ли вода свойствами разрушать металлы и известковые растворы, рекомендуется по Гейеру (С. Heuer) так называемый «опыт с растворением мрамора» (данные Тильманса). Опыт производится следующим образом.

В хорошо закупоривающуюся медицинскую склянку емкостью около 500 см<sup>3</sup> насыпают 2—3 г мраморного порошка, после чего бутылка наполняется подлежащей исследованию водой. Все это хорошо смешивают и оставляют бутылку на несколько дней (3—7) закупоренной; при мягкой воде достаточно 3, а при жесткой — 7 дней. От стоящей сверху прозрачной жидкости осторожно сливается сифоном 100 см<sup>3</sup> и титруется  $\frac{1}{10}$  нормальной соляной кислотой и метилоранжем. Каждый 1 см<sup>3</sup>  $\frac{1}{10}$  нормальной соляной кислоты соответствует 2,2 мг связанной углекислоты.

Количество агрессивной углекислоты определяется по излишку соляной кислоты, потребленной в этом случае, сравнительно с количеством соляной кислоты, потребной для воды без прибавления мраморного порошка.

В общем по Клютю можно считать, что воды с нижеприведенным химическим составом не обладают практически существенными свойствами разрушать металлы и известковые материалы.

Воды, имеющие временную (карбонатную) жесткость не ниже 7 немецких градусов. Воды, содержащие небольшое количество кислорода воздуха, особенно при незначительном содержании карбонатов. При очень мягких и бедных карбонатами водах немного ниже 4 немецких градусов может лишь незначительное количество кислорода (несколько миллиграммов кислорода в 1 л) оказывать ограниченное действие на материал труб. Воды, содержащие незначительное количество хлоридов, нитратов и сульфатов. Воды, в которых отсутствуют агрессивная углекислота и сульфиды (сероводород). Воды, дающие реакцию на лакмус и розоловую кислоту от слабой до отчетливо щелочной, так как все кислые, а также и большинство нейтрально реагирующих вод обладают разрушающими и растворяющими свойствами.

## VIII. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДЫ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЦЕЛЕЙ

Для большинства промышленных целей согласно Клютю наиболее пригодны воды возможно прозрачные, бесцветные и без запаха, обладающие щелочной реакцией, практически свободные от содержания железа и марганца, мягкие и с незначительным содержанием азотистых соединений, органических веществ, хлоридов и сульфатов.

При питании котлов особое значение имеет степень жесткости воды. С какого градуса жесткости необходима очистка воды, в общем сказать нельзя, так как это зависит от конструкции котлов, продолжительности работы, производительности котла и состава воды. Для трубчатых паровых котлов ввиду трудности их очистки требуются наименее жесткие воды. При них следовало бы допустить не больше 5—6 немецких градусов жесткости.

Для стирки жесткая вода непригодна, потому что соли извести и магния с жирными кислотами мыла дают нерастворимые соединения. При 20 градусах жесткости на каждый литр воды непроизводительно тратится 2,4 г мыла (см. у Гертнера).

Для солодовенных и пивоваренных заводов вода, содержащая более или менее значительные количества железа, марганца, аммиака, сероводорода, органических веществ и вредных микроорганизмов, является непригодной. Присутствие гипса не вредно, отчасти даже желательно.

Винокуренные заводы и ликерные фабрики требуют мягкой, свободной от железа воды.

Крахмальные фабрики требуют воды, свободной от всех взвешенных веществ и от возбудителей брожения.

При изготовлении сахара особенно мешают гниющие органические вещества, высокое содержание солей и нитраты.

Для кожевенных заводов и клеевых фабрик вода также должна быть свободна от гниющих органических веществ. Сульфаты благоприятны.

Белильни, красильни и бумажная промышленность требуют мягкой, свободной от железа и марганца воды. Нитриты мешают.

## IX. ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ВОДЫ

Содержание в подземной воде химических составных частей подвержено более или менее значительным колебаниям.

Естественные колебания обычно бывают значительно слабее, чем колебания, вызванные искусственным отбором воды, и находятся под заметным влиянием выпадения осадков и под воздействием соседних поверхностных вод. По наблюдениям Дунбара (Dunbar) жесткость воды например риклингского водопровода города Ганновера равнялась во время половодья 14,64 немецкого градуса, а после половодья— 20—24,8 немецкого градуса.

Подобные же наблюдения были сделаны и в других местах.

Содержание хлоридов в риклингском водопровode колебалось в зависимости от высокого или низкого стояния воды между 408 и 74,5 мг в литре. По данным Эмбо содержание соли в колоде Ла-Рошель, отдаленном от моря на 3,5 км, составляло в июле 316 мг в литре и повышалось в декабре до 1040 мг в литре. Это явление стоит в связи с водо-

проводящей способностью грунта, которая вследствие значительных весенних осадков в июле значительно больше, чем в сухое осеннее время.

Содержание железа и марганца обычно обнаруживает существенные колебания тогда, когда дренирование грунта значительно. Осушенные толщи горных пород становятся доступными действию кислорода воздуха до больших глубин, что делает возможным превращение присутствующих в породах солей железа и марганца в растворимые соединения. Если тогда проходят большие дожди или наступают наводнения, то скопленные в толщах горных пород и ставшие растворимыми соли железа и марганца выщелачиваются, и происходит обогащение грунтовой воды железом и марганцем, подобное описанному на стр. 245. Первоначальное содержание железа или марганца может тогда (при известных обстоятельствах) повыситься в 100 и более раз.

Стоящим внимания примером изменения свойств грунтовой воды в течение эксплуатации является, как видно из рисунка 186, грунтовая вода города Зальцведела.

С 1903 по 1914 г. происходит постоянное увеличение как хлоридов, так и их жесткости. Источник хлоридов нужно искать в пластах горной породы, где на большой глубине залегают калий. Нужно считать, что постепенное осолонение грунтовой воды вызывается отдельными струями щелочных растворов, просачивающимися из глубины.

Известное для минеральных вод явление нарушения гидравлического равновесия, вызванное отбором воды, может иногда иметь место и в обычных грунтовых водах и в известных условиях может привести к опасным последствиям.

Поэтому везде, где есть опасность обогащения грунтовой воды минеральными веществами, залегающими на глубине или близко к поверхности, следует так же, как и при минеральных источниках, возможно меньше нарушать естественные гидрогеологические условия грунта.

Для этого следует держать депрессию по возможности не глубоко.

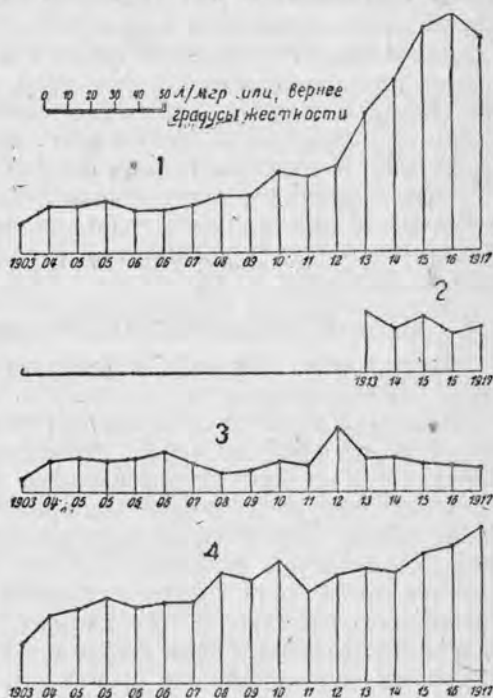


Рис. 186. Диаграмма увеличения количества хлоридов, жесткости, железа и свободной углекислоты во время эксплуатации водопровода города Зальцведела.

1—хлориды; 2—свободная углекислота; 3—железо; 4—немцы градусы жесткости.

## **Х. ЗНАЧЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДЫ ДЛЯ СУЖДЕНИЯ О НЕЙ С ГИГИЕНИЧЕСКОЙ ТОЧКИ ЗРЕНИЯ**

Физико-химическое исследование воды имеет значение не только для гидрогеологов при поисках воды, но также и для гигиенистов.

Основу для санитарной оценки в большинстве случаев составляют гидрогеологические условия. Поэтому гидрогеолог должен предоставить в распоряжение гигиениста необходимые данные для суждения о водоносном пласте (состав, мощность, защита от загрязнения).

Нужно заметить, что для суждения о пригодности исследуемого места имеет значение не только его естественное состояние. Необходимо принимать во внимание также и те изменения, которые будут вызваны предполагаемым отбором воды.

Наряду с местными условиями основу для гигиенического исследования образуют также результаты физико-химического, бактериологического и микроскопическо-биологического исследования.

Для суждения о гигиенических свойствах воды ориентировочные химические анализы гидрогеолога являются недостаточными. Для этой цели нужно всегда производить еще повторные точные и полные химические анализы.

## **ХИ. БАКТЕРИОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДЫ**

Большинство бактерий в естественном грунте является безвредным. Их присутствие и деятельность даже совершенно необходимы для самоочищения почвы, так как бактериями почвы органические вещества, залегающие в ней, минерализуются и могут быть восприняты более высоко организованными растениями.

Обыкновенные почвенные бактерии чрезвычайно малы и представляют собой растительные микроорганизмы, измеряемые тысячной долей миллиметра. Несмотря на свою чрезвычайно малую величину, они все же не могут в мелкозернистом, хорошо фильтрующем грунте проникнуть так глубоко, как химически растворенные вещества; они постепенно задерживаются в грунте и на более значительной глубине погибают. Чем глубже они проникают, тем неблагоприятнее для них становятся жизненные условия. Это относится главным образом к патогенным бактериям, вызывающим болезни, которые попадают в глубину попутно с человеческими и животными экскрементами. Для воды принимаются во внимание почти исключительно только бактерии тифа, паратифа, дизинтерии и холеры. Наилучшие условия жизни они находят в человеческом и животном организме; там в концентрированных соках организма они находят не только достаточное питание, но и наиболее подходящую для себя температуру. В самых верхних слоях почвы они в течение некоторого времени еще могут находить условия для своего существования и главным образом, когда почва загрязнена.

Естественно, что вода, служащая для питья, не должна содержать никаких болезнетворных зародышей.

Обыкновенно бактериолог в пересланной ему для исследования воде патогенных зародышей не ищет, так как подобное исследование является не только очень сложным и трудным, но и довольно безнадежным. Речь идет не об установлении факта, содержит ли подземная

вода в данный момент патогенные зародыши, являющиеся для человеческого организма вредными, но о том, могут ли подобные зародыши вообще попасть в водоносный пласт. Налицо может быть такой случай, что ко времени исследования вблизи водоснабжающего сооружения не имеется болезнетворных зародышей. Поэтому было бы неправильно по отрицательному результату исследования на содержание болезнетворных бактерий делать заключение о густоте зародышей в водоносном пласте или перекрывающих слоях.

Согласно опыту подземная вода, вообще не содержащая бактерий или содержащая их в небольшом количестве, является также и не зараженной болезнетворными бактериями. Если же наоборот в подземной воде находят много зародышей, то надо думать, что между последними могут быть также и патогенные или что они могут при удобном случае попасть в воду.

Поэтому наиболее важной бактериологической работой является прежде всего не установление отдельных видов бактерий, но определение количества зародышей. В гигиенически безукоризненной подземной воде находят в среднем не свыше 50 зародышей, в большинстве же случаев — меньше.

Если результаты исследования различных вод должны сравниваться между собой и быть пригодными для применения их на практике, то определение содержания зародышей в воде должно производиться по одному общему для всех случаев способу, причем работы эти должны исполняться по особым инструкциям. Однако таким ниже описанным способом не устанавливается абсолютное, действительно имеющееся содержание зародышей, но лишь число тех зародышей, которые при посеве на определенную питательную среду, при определенной температуре и при определенном промежутке времени их сохранения могут в течение этого времени вырасти в колонии и при помощи слабой луны быть ясно видимыми. Питательной средой является питательная желатина, приготовленная согласно определенным предписаниям — температура сохранения равняется  $+20$  до  $+22^{\circ}$  С, время сохранения — 48 часов. Однако этот на вид простой способ дает надежные результаты лишь в руках бактериологически образованного и опытного специалиста. Поэтому ниже приводится более подробное описание этого способа.

Вычисление числа зародышей отнесено всегда на  $1 \text{ см}^3$  исследуемой воды, даже если при закладке питательных пластинок применяется меньше или больше  $1 \text{ см}^3$  воды.

Из отдельных видов бактерий наиболее важной бактерией для суждения о густоте зародышей в почве является бактерия *coli*, происходящая из кишечника человека и животного. Эта бактерия очень распространена на поверхности земли и в своих жизненных условиях не столь требовательна, как другие различные болезнетворные бактерии. Если бактерия *coli* не имеет возможности проникнуть в грунтовую воду, то можно с уверенностью принять, что и другие возбудители вышеназванных болезней, обладающие меньшей способностью сопротивляться, не могут также проникнуть туда. Поэтому следовало бы по возможности всегда предпринимать наряду с подсчетом колоний также и исследование воды на присутствие бактерий *coli*.

Поэтому бактериолог при исследовании воды также обыкновенно производит исследование воды и на бактерию *coli*. Если однако бак-

терия соли в воде обнаружена, то можно утверждать, что палицо имеются недостаточно фильтрующие пласты почвы, проводящие с поверхности земли или с верхних слоев почвы загрязненную воду в глубину. Имеются надежные методы установления бактерии соли, которые могут быть произведены без большого труда.

Если даже бактериологическое исследование и является довольно простым, то отбор пробы и главным образом предварительное исследование, производимое в большинстве случаев на месте отбора воды, требуют все же большого опыта. Кроме того для бактериологического исследования требуются более значительная аппаратура и лаборатория, ввиду чего гидрогеологу не рекомендуется предпринимать бактериологических работ.

Для действительно верной оценки бактериологических исследований совершенно необходим особый опыт. Если по какой-либо причине устанавливается более высокое число зародышей бактерии соли, то этим еще не доказано, что вода должна безусловно или вернее постоянно быть вредной для здоровья. Неблагоприятный результат может быть при известных обстоятельствах объяснен недобросовестно выполненной постройкой каптажа, загрязнением при починках и нарушениями в грунте. Вызванный этим вред может быть устранен соответствующими мероприятиями.

При известных обстоятельствах можно даже воду с большим содержанием зародышей и даже с содержанием бактерии соли при известной обработке применять в пищу.

## ХII. МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДЫ

Выделив достаточную охранную зону, можно добиться того, что никакие болезнетворные бактерии не проникнут в непосредственный район каптажа. Если поэтому несмотря на геологические условия, обуславливающие наличие здоровой питьевой воды, в воде все же будут найдены болезнетворные бактерии, то возникает вопрос, не следует ли произвести повторное испытание воды специалистом.

Кроме физико-химического и бактериологического исследования воды в некоторых случаях для суждения о гигиенических свойствах воды, как например при подземных водотоках, необходимо также микро-биологическое исследование.

Иногда при помощи определения присутствия растений и микроорганизмов растительного и животного происхождения, происходящих из поверхностных вод, можно с уверенностью доказать связь между поверхностной и подземной водами. В большинстве случаев для микро-биологического исследования достаточно проб, взятых для химика. В других случаях требуется пропускать более значительные количества воды через так называемую планктонную сеть из мелких ячеек из Мюллеровского газа, для того чтобы иметь возможность уловить низшие фауну и флору.

Подобные исследования могут быть предприняты также только специалистом.

Если же иногда обстоятельства вынуждают гидрогеолога взять пробу воды самому, то предварительно он должен получить подробные инструкции от специалиста.

В таком случае пробы нужно отбирать, применяя соответствующие приборы. Полученный биологический материал, согласно преподанным указаниям, сохраняется в формалине и затем отсылается для исследования.

### ХИИ. ОЧИЩАЮЩЕЕ СВОЙСТВО ЕСТЕСТВЕННЫХ ГРУНТОВ

С гигиенической точки зрения недостаточно, чтобы подпочва сама по себе была чиста; от нее требуется гораздо большее, а именно, чтобы в нее не могли проникать нечистоты извне или, если они в нее проникают, чтобы почва задерживала и обезвреживала их.

Исходя из этого, можно говорить об очищающем свойстве естественной почвы.

Очищающее действие естественных грунтов зависит конечно от геологического строения. И в данном случае, как и в предыдущих главах, мы должны делать различие между водоносными пластами, состоящими из рыхлых обломочных пород, и трещиноватыми пластами, другими словами — различать грунтовую воду и подземные водотоки.

#### 1. ОЧИЩАЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ВОДОНОСНОГО ПЛАСТА

Если водоносный пласт состоит из рыхлых зернистых и обломочных пород, т. е. из песка, гравия и т. п., он представляет собой естественный фильтр с высоким очищающим действием. Естественный очищающий процесс почвы можно назвать «естественной фильтрацией».

Очищающее свойство водоносного пласта с грунтовой водой является довольно запутанным процессом, до сих пор не совсем выясненным. В первое время при бактериологических анализах придерживались того мнения, что посторонние вещества, содержащиеся в воде, т. е. загрязнения органического и неорганического характера (главным образом взвешенные частицы), удерживаются вследствие застревания этих веществ в порах мелкозернистого грунта. Если однако подумать о том, что зерна в мелкозернистом песке имеют диаметр едва 0,2—0,3 мм, и припомнить, что размер бактерий едва ли равняется одной сотой части этой меры, то становится ясным, что очищающее действие почвы не может быть объяснено таким образом. Предположение, что бактерии связаны между собой слизистой оболочкой, содержащей много микроорганизмов, которыми они как бы приклеены к почве, не доказано. Точно так же нельзя объяснить очищающее действие почвенного фильтра поверхностным молекулярным и абсорбционным действием почвы.

Согласно данным Кисскальта, который произвел опыты с искусственными фильтрами, можно считать, что отмирание бактерий в водонепроницаемой почве вызывается главным образом представителями Protozoa, которые живут в воде и питаются бактериями. Опыты Кисскальта показали далее, что и температура оказывает влияние на очищающее действие почвы. Низкие температуры тормозят очищающий процесс, и этим можно объяснить, что именно в водоносных пластах грунтовой воды со сравнительно высокой, почти постоянной температурой очищающее действие особенно велико.

Из вышеприведенных данных можно сделать вывод, что здесь происходит подземная борьба за существование микроорганизмов, кото-

рая особенно благоприятно развивается благодаря привходящим обстоятельствам именно в мелкозернистой почве.

Очищающее действие почвы настолько велико, что даже гнилотная вода может при просачивании через достаточно мощный слой почвы быть освобождена от вредных примесей и стать гигиенически безукоризненной. На этом очищающем свойстве водопроницаемой почвы основан например способ очистки городских сточных вод полями орошения. Что в этом случае почвенные бактерии вызывают фильтрующее действие почвы (взгляд Кисскальта), видно из того, что летом, когда микроорганизмы особенно сильно размножаются, поля орошения работают значительно лучше, чем зимой.

Наблюдения, произведенные П и ф к е (Piefke) совместно с автором над инфильтрационным сооружением фабрики красящих веществ доказали выдающееся очищающее действие естественной почвы.

В день просачивалось воды в количестве от 6 до 800 м<sup>3</sup>. Вода содержала приблизительно 8 000 мг на литр хлоридов, обладала температурой около 30°С и была сильно окрашена анилином. Количество анилина колебалось в широких границах.

Влияние инфильтрации на зеркало грунтовой воды, а также уменьшение количества хлоридов и понижение температуры видны на рисунке 187.

Из рисунка видно, что обогащенная солями грунтовая вода выдвигается в виде острого мыса в долину и что содержание хлоридов уже

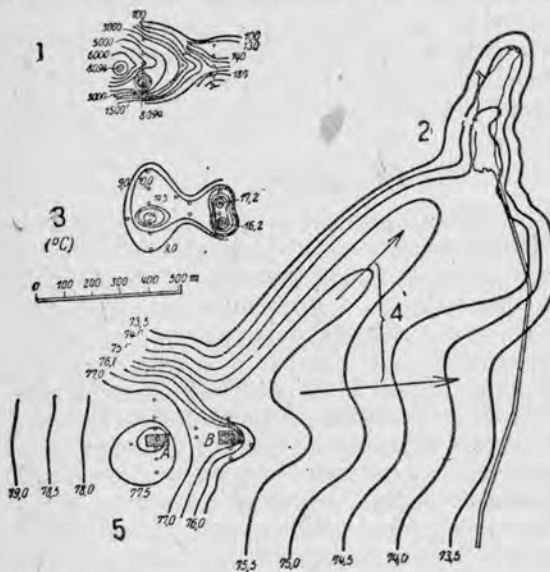


Рис. 187. Диаграмма, изображающая очищающее действие почвы.

1 — кривые одинакового содержания хлора (мг/л); 2 — гидроизогипсы естественного уровня грунтовых вод; 3 — кривые одинаковой температуры; 4 — направление течения; 5 — А, В — места инфильтрации.

на расстоянии приблизительно 300 м уменьшилось с 8 тыс. на 200—100 мг в литре. Грунтовая вода уже после прохождения 70—170 м подземного пути приняла нормальную температуру. Сокращение количества анилина в грунте было очень велико, однако проследить ход этого сокращения не было возможности, так как убыль красящих веществ была весьма неравномерна.

Многочисленные гигиенисты, как например Ф о д о р (Fodor) и Ц. Ф р е н к е л ь (С. Fraenkel), доказали, что в фильтрующей почве на более значительную глубину бактерии проникают с трудом. Это явление имеет силу главным образом для болезнетворных бактерий, развитие которых очень ограничено уже в верхних пластах почвы.

Френкель нашел, что невозделанная, поросшая только травой почва, состоящая из песка и гравия, содержит в верхних пластах 100—400 тыс. зародышей в 1 см<sup>3</sup>. Наибольшее количество было установлено не на поверхности, но на глубине приблизительно 0,25 м. Далее вглубь число зародышей стало значительно уменьшаться, и на глубине 1,5 м пласты уже были свободными от зародышей.

Напротив того Кабрель (Habrhel) наблюдал, что в безусловно чистых отложениях песка с лесными насаждениями по мере углубления число бактерий сначала также уменьшилось, но затем при продвижении на большую глубину, а именно вблизи зеркала грунтовых вод, снова значительно увеличивалось. Это бросающееся в глаза явление он объясняет тем, что вблизи корней растений образуется пыльное развитие микробов. Несмотря на большое число бактерий Кабрель получил после откачки в течение нескольких часов (и даже в нестерилизованном колодце) воду, почти свободную от зародышей.

Согласно Гертнеру также наибольшее количество бактерий содержат именно верхние слои земли, так как здесь в достаточном количестве имеются налицо необходимые для поддержания их жизни вещества. Из следующей таблицы по Гертнеру видно, что по мере углубления число бактерий уменьшается.

Содержание бактерий в верхних слоях почвы и убыль их по мере углубления  
(число бактерий в кубических сантиметрах)

Наблюдатель	Френкель		Кабрель		Кюммель	
Место наблюдений	Потсдам		Прага		Альтона	
Род почвы	Глубина	Гумозный песок, ниже ледниковый песок	Глубина	Дилловий	Глубина	Луговая почва, ниже песок
	Поверхностный, разжиженный		—	—	—	—
	0,5	70 000 бакт.	0,3	827 529 бакт.	0,25	6 442 бакт.
	1,0	1 000 »	1,00	5 040 »	0,50	7 060 »
	2,0	0 »	1,5	1 120 »	2,0	50 »
	2,5	250 »	1,7	3 400 »	3,0	0 »
	3,0	0 »	—	15 120 »	4,5	0 »
	4,0	0 »	2,2	200 »	6,5	0 »
	4,5	100 »	3,1	260 »	—	—
	5,0	0 »	грунтовая вода	400 »	—	—
		грунтовая вода				

Наилучшее доказательство очищающего действия водопроницаемой почвы дают кладбища, где в грунтовую воду попадают патогенные (болезнетворные) микроорганизмы и продукты разложения трупов.

Так Петри например установил, что на находящийся в Гавельберге вблизи кладбища колодец процессы гниения трупов не оказывали влияния.

Из подробного отчета Маттеса (Matthes) далее следует, что даже там, где вода наполняет могилы и гробы, в окружающей почве не были обнаружены патогенные зародыши. Получающиеся от разложения трупов растворяющиеся соединения при доступе воздуха легко распадаются на свои составные части, т. е. воду, углекислоту и аммиак.

Флек (Fleck) нашел в Дрездене, что кладбищенские воды в своем содержании гниющих органических веществ немногим отличались от среднего состава прочих колодезных вод города. Согласно

Шумахеру (Schuhmacher) вода Раштоцкого кладбищенского колодца по своему химическому составу и содержанию зародышей была даже лучше, чем вода городских колодцев, а по Росцахеугу (Rözsahéug) оказалось, что грунтовая вода на самом большом кладбище в Будапеште, в котором было зарыто от 180 до 190 тыс. трупов, оказалась менее загрязненной, чем вода окрестностей, занятых жилыми домами.

Согласно данным Маттеса особенно подробные наблюдения над грунтовыми водами кладбища были произведены на кладбище близ Гамбурга. Наблюдения эти производились в течение более 20 лет.

Кладбище занимало площадь более 180 га, и ко времени исследования в нем погребено приблизительно 260 тыс. трупов. Поверхность кладбища слегка волниста и имеет уклон приблизительно в 15 м (рис. 188).

Подпочва состоит из ледниковых песков различной водопроницаемости и из глины и дренируется гончарными трубами до 25 м в глубину.

Рис. 188. Влияние трупов на грунтовую воду в Ольсдорфском кладбище близ Гамбурга.

1 — Альстер; 2 — направление течения грунтовых вод; 3 — наблюдательные трубы и колодцы; 4 — участки с зарытыми гробами; 5 — горизонтальная поверхность земли.

Грунтовая вода движется в направлении к реке Альстер с юго-востока к северо-западу. Глубина могил колеблется между 1 и 1,5 м.

Количество каптированной под кладбищем грунтовой воды повторно измерялось у выхода сборных труб. Оно составляло в 1902 г. в среднем около 12,5 л/сек. Для наблюдения служили многочисленные трубчатые и обыкновенные колодцы. Колодцы 20, 21, 23, лежащие вне площадей, в которых были зарыты трупы, имели воду, сухой остаток которой колебался между 100 и 450 мг на литр. Органические вещества соответствовали потреблению на окисление их от 0 до 18 мг на литр марганцевокислого калия. Содержание хлоридов держалось

между 11 и 35 мг в литре. В колодеце 21 однажды наблюдалось 62 мг азотной кислоты в литре, обычно же аммиака, азотистой и азотной кислот совсем не содержалось или были лишь следы их. Причину накопления в отдельных случаях азотной кислоты нужно искать в естественных свойствах почвы, содержащей органические вещества. Колодец 18, лежащий в одном из участков кладбища, в котором с 1884 г. непрерывно погребались трупы, давал несмотря на это лучшую воду всего района. Вода его имела 120—464 мг в литре сухого остатка, потребляла на окисление 4,48—8,96 мг  $KMnO_4$  на литр воды, 13,3—53,2 мг хлоридов, азотистой кислоты от 0 до следов ее и азотной кислоты от 0 до 93,6 мг в литре.

Очищающее действие подпочвы лучше всего видно из свойств грунтовой воды, вытекающей из дренирующих канав. Из результатов многочисленных анализов вытекает следующая сравнительная таблица, в которой влияние погребения яснее всего должно быть видно у сборных каналов 35 и 38, окружающих площади с погребенными трупами.

Как из результатов химических исследований, так и по числу найденных зародышей несмотря на непрерывное погребение не наступило ни загрязнения подпочвы, ни ухудшения качеств грунтовой воды. Из этого вытекает, что как фильтрующее, так и абсорбционное свойство почвы в состоянии предотвратить всякую опасность со стороны кладбищ.

		Сухой остаток по выпариванию	Окисляемость по потреблению $KMnO_4$	Азотистая кислота	Азотная кислота	Хлориды	Зародыши в $cm^3$
в мг/литр							
Смешанная вода	Нормальная	158	7,31	Следы	31,5—35	20	—
Канал 35	Участки с погребенными трупами 1898—1902 г.	115—146,6	2,2—7,3	0 до следов	Следы—39,9	11,0—42,0	0—120
Канал 38	Участки с погребенными трупами 1895—1897 г.	136—410	1,6—3,6	0 до следов	0—157,0	11,0—24,0	8—44

## 2. ПРЕДЕЛЫ ОЧИЩАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ВОДОНОСНОГО ПЛАСТА

Очищающее действие естественной почвы лежит в известных границах. Можно утверждать, что очищающее действие тем больше и надежнее, чем мельче и правильнее зерна фильтрующего пласта, чем правильнее залегание, чем меньше эксплуатация горизонта, чем правильнее поток и чем незначительнее колебания зеркала грунтовых вод.

При сильной эксплуатации каптажей, лежащих вблизи поверхностных вод, фильтрующая сила подпочвы иногда перестает действовать во время половодья и когда при увеличенном падении грунтовых вод скорость движения воды превышает известную минимальную величину.

Наоборот фильтрующее действие каптажа может усиливаться в течение эксплуатации ввиду накопления в нем мелкого песка.

До сих пор не имеется вполне законченных и безукоризненных опытов, которые позволяли бы судить о пределах фильтрующего действия почвы. Опыты, произведенные Крузе (Kruse), показали, что в различных каптажах, сооруженных в рейнских наносах, очищающее действие почвы было вполне достаточным даже при половодье. Крузе приводит каптажи Бона, Кельна, Эльберфельда и Дюссельдорфа, где во время половодья было обнаружено лишь незначительное повышение числа бактерий.

Противоположное явление наблюдалось в каптажах Дрездена, где по Шиллю (Schill) и Ренке во время половодья вода колодезев становится мутной и содержит значительно увеличенное количество бактерий.

Подобные наблюдения были произведены Леманом в Вюрцбургском каптаже и Крузе в Аре и в рурских наносах барменского водопровода. В Вюрцбурге однажды число бактерий в водопроводной воде повысилось до 27 тыс. в куб. см, 18 и 19 января 1899 г. число их в Бармене возросло до 32 тыс. и 19 и 21 февраля 1900 г. — на 4 050, или на 2 250 против обычного числа 100.

Факт, что фильтрующее действие грунта находится в зависимости от скорости движения воды, яснее всего выявляется наблюдением над ныне выключенным водопроводом с грунтовой водой в городе Бармене. Здесь фильтрующий грунт состоит не из мелких песков, но из отложенный гравия мощностью в 5—8 м. Размер зерна колеблется от 1 мм до размера кулака. Длина каптажа, заложеного вдоль реки Рура, равняется приблизительно 150 м, и подземный поперечный разрез потока составляет приблизительно  $2\ 006,5 = 1\ 300\ \text{м}^2$ . Из этого расчета суточная скорость фильтрации при количестве отбора воды в 30 тыс. м<sup>3</sup> в сутки составляет  $30\ \text{тыс.} : 1\ 300 = 23\ \text{м}^3$ . Таким образом она достигает колоссальной величины, превышая обычную скорость искусственных фильтров приблизительно в 10—15 раз. Поэтому неудивительно, что таким образом перегруженный естественный фильтр при крупнозернистом составе грунта в отношении фильтрующего действия оставляет желать лучшего.

Также и в высоких горах обычно находят, что щебень высоких гор, горный гравий и прочие отложения с большим и неправильным диаметром зерна обладают незначительным фильтрующим действием и воду не фильтруют, но как бы «просеивают». При этом прежде всего исключается возможность биологической очистки воды простейшими животными (Protozoa).

Вследствие недостаточности такого «просеивания» многочисленные каптажи в высоких горах портятся и дают часто мутную и подозрительную с гигиенической точки зрения воду. Взгляд, что высокие горы дают только здоровую воду, правилен только отчасти. Фильтрующее действие грунта в горных местностях затрудняется еще или совершенно парализуется тем, что стекающая с высоких гор вода ввиду

ее короткого пути, низкой температуры и содержания гуминовых кислот, неблагоприятно действующих на животные организмы, мало или совсем не содержит планктона, который мог бы способствовать образованию активной фильтрующей пленки. Поэтому часто случается, что искусственные опыты с фильтрацией, производимые в высоких горах над ключевой водой, не удаются.

Если здесь желательнее достичь фильтрующего действия, то нужно в воду ввести вещества, которые способствовали бы образованию фильтрующей пленки. Поэтому доверие к фильтрующему действию естественной почвы не должно быть безграничным, и осторожность требует в каждом отдельном случае тщательного определения свойств подпочвы и добросовестных наблюдений во время эксплуатации каптажей, особенно во время половодья. В таких случаях бактериологическое исследование на бактерию *coli* имеет выдающееся значение.

### 3. ЗАМУТНЯЮЩЕЕ И ОЧИЩАЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОДОТОКОВ

Своеобразным свойством подземных водотоков являются нередко наступающие замутнения текущей в них воды после дождя. Подобное замутнение можно легко видеть в источниках, питаемых подземными водотоками. Они дают возможность заключить, что в данном случае мы имеем дело с недостаточно или совершенно нефильТРованными водами.

Замутнение наступает или тотчас же после выпадения осадков или через несколько дней. Интересно то, что в одном и том же районе наблюдаются наряду с мутными и совершенно прозрачные воды. Мутные и прозрачные водотоки часто совершенно неправильно чередуются, так что часто между мутными водотоками встречаются совершенно чистые и наоборот.

Причину этого интересного, существенно затрудняющего гидрогеологического исследования явления нужно искать или в области питания или в самых подземных водотоках. Если область питания покрыта фильтрующим песком или гравием и если на протяжении подземного водного пути не наблюдается подмывания замутняющих частиц земли, то вода остается прозрачной. Отсутствие фильтрующих пластов и размывающее действие воды ведут наоборот к замутнению. Временные замутнения могут наступить тогда, когда например между замутняющимися и незамутняющимися водотоками имеются налицо особые подземные соединительные каналы и перекарты, которые действуют лишь тогда, когда вода достигнет определенного уровня. Провалом кровли горных пород может быть также вызвано временное замутнение.

Во всяком случае причины подобных замутнений чрезвычайно разнообразны и имеют также различное значение.

Гигиенически безвредным является например замутнение вод трещин, которые описывает Штапф (Stapff). В С.-Готтардском туннеле были встречены гранитные пласты, которые вследствие колоссального давления гор перемолотись в порошкообразную массу, придававшую воде молочный вид.

Только тщательное исследование на месте может показать, имеет ли замутнение подземных водотоков гигиеническое значение и в каком размере.

Даже технически совершенный каптаж подземных водотоков часто почти не может устроить мелких взвешенных веществ и загрязнений, содержащихся в воде, так как при сильных дождях не может произойти осаждения взвешенных веществ, вследствие чего конечно должно наступить замутнение воды. Даже многократно характеризовавшийся идеальным один из источников (Кайзербруннен), питающий венский водопровод родниковой воды, по временам замутняется, когда в горах наступает половодье. Когда в 1899 г. в Шварцтале наступило необыкновенное половодье и замутнение стало все более увеличиваться, этот источник был 13 сентября выключен.

Если в подземных водотоках встречаются отстойные бассейны и подземные отмели, то в таковых могут задерживаться валуны и замутняющие воду взвешенные вещества. Таким образом происходит совершенное или по крайней мере частичное очищение воды, а также и улучшение ее гигиенических свойств. Этим можно также объяснить и то, что в пещерных реках можно иногда найти прозрачную воду, в то время как они получают с поверхности лишь мутную воду. Подобные замутнения и загрязнения могут в подземных водотоках наступать периодически, и поэтому при суждении о свойствах воды недопустимо ограничиваться лишь отдельными наблюдениями. Для окончательного суждения здесь нужно положить в основу систематические и длительные наблюдения.

Постоянное наблюдение над подземными водотоками тем более необходимо, что вода, бывшая безукоризненной в течение ряда лет, может при исключительно больших наводнениях, повторяющихся быть может лишь раз в десятки лет, внезапно стать зараженной под действием вновь оживших подземных водотоков. В этом отношении играют опасную и часто трудно обнаруживаемую роль главным образом выше лежащие горизонты, перекаты и мертвые котловины, бездействующие в течение многих лет.

Связанные с подземными водотоками опасности для здоровья особенно велики потому, что многие источники, питаемые ими, почитаются народом, считающим их лечебными. Ван-Брок приводит как разительный пример пещерную реку Валон-Сек-Сорин (Valon-Sec-Sortine), питающую фонтан Патернис в Динанте. Вода этой реки несмотря на вызванные повторные заболевания в городе до настоящего времени считается целебной.

#### 4. ФИЛЬТРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОДОТOKОВ

Подземные воды, заключенные в плотных трещиноватых горных породах, обладают совершенно иным характером в отношении их очищающего действия, нежели воды, заключенные в водоносных пластах.



Рис. 189. Трещиноватый песчаник, наполненный мелким песком.

В таких видах горных пород речь о фильтрующем действии может идти только там, где или щели столь узки, что могут действовать наподобие пор мелкозернистого песчаного фильтра, или там, где в более значительных подземных бассейнах вода очищается вследствие отстаивания. В противном случае поверхностные воды попадают в глубину неочищенными, или лишь немного очищенная вода

подземных водотоков по своим свойствам представляет тогда не что иное, как погружившуюся в глубину поверхностную воду. Такая вода должна обладать всеми свойствами, которыми она обладала на поверхности земли. В крупно трещиноватых видах горных пород тогда можно в виде исключения ожидать безукоризненную воду, когда горная порода перекрыта фильтрующими отложениями или когда она обладает способностью распадаться на обломки такой величины и свойства, что они могут заменить собой активный фильтр.

В качестве примера здесь приводятся источники Зибензеебаден 2-го венского водопровода родниковой воды, которые переходят из трещиноватых пластов триасовой системы в лежащий впереди них щебень морены. Последняя таким образом становится фильтром.

Если сильно трещиноватые виды горных пород перекрыты песчаным покровом (например дюнами), то этот покров становится фильтром. Такого рода явления делают понятным то, что в некоторых случаях подземные водотоки гигиенически безукоризненны.

Способность различных видов песчаника распадаться на мелкие обломки придает им свойство фильтрующих пород. Этим объясняется то, что сильно трещиноватые песчаники дают иногда чрезвычайно чистую воду. Так например нередко находят, что широкие и глубокие трещины песчаников совершенно заполнены мелким песком, фильтрующее действие которого имеет громадное гигиеническое значение (рис. 189).



Рис. 190. *Actinocrinus stellaris* de Kon.

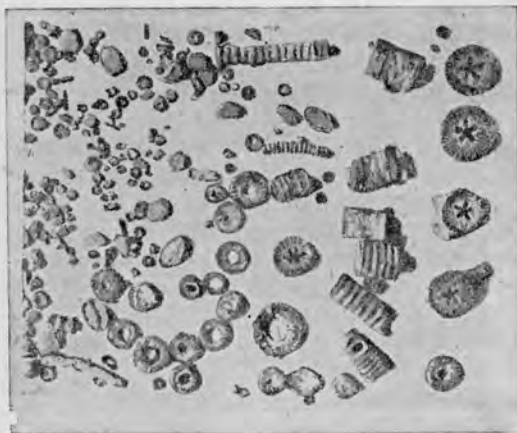


Рис. 191. Просеянные осколки криноидного известняка.

Так например согласно данным Штейера исследования, произведенные в трещиноватых формациях пестрого песчаника Шварцвальда в районе Лапакских источников, дали лишь от 0 до 22 зародышей. Пласты известняка могут также хотя и редко и при особо благоприятных условиях содержать несмотря на их трещиноватость превосходную воду.

Подобными свойствами обладает водоносный раковинный известняк в районе рек Заара и Мозеля и в Люксембурге, где его ниж-

ние слои не трещиноваты, но песчанисты и поэтому обеспечивают хорошую воду.

С гигиенической точки зрения особенно интересен режим криноидных известняков Турнея в Бельгии, о чем подробно пишет Брок.

Эти известняки образуют сплошные толщи мощностью до 400 м. Их особенность состоит в том, что они легко распадаются на мелкозернистые обломки, которые вследствие высокого содержания кремнезема и полевого шпата хорошо защищены от растворения и дальнейшего распада. Их главными составными частями являются различные виды морских лилий, главным образом *Actinocrinus stellaris* de Kon (рис. 190). Рисунок 191 изображает просеянные обломки распавшегося криноидного известняка. Ясно, что результатом является мелкозернистая масса, которая должна обладать высоким фильтрующим действием. По этой причине источники, выходящие из криноидных из-

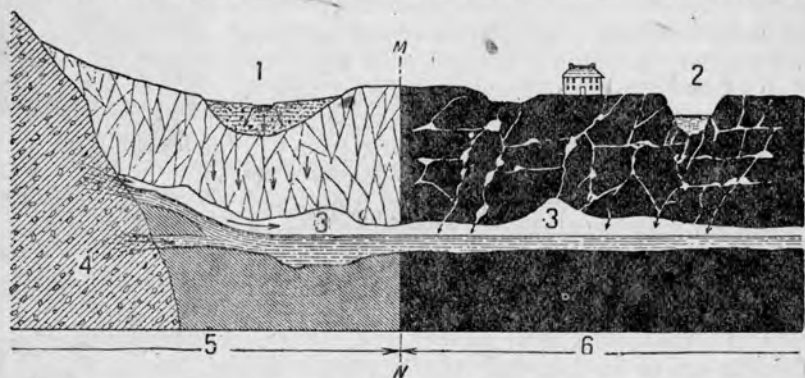


Рис. 192. Различное качество воды в гигиеническом отношении в отдельных участках подземного водотока.

1 — река с фильтрующим дном; 2 — дно реки, прорезающей трещиноватый известняк; 3 — подземный водоток; 4 — песчаник; 5 — гигиенически безукоризненная вода; 6 — гигиенически подозрительная вода.

вестняков, действительно очень чисты. Они отличаются также незначительными колебаниями температуры и дебита.

Из рисунка 192 видно, каким различным образом нужно судить между прочим о гигиенической ценности отдельных участков подземных водотоков.

До границы MN «подземный водоток» гигиенически совершенен, так как он выходит из фильтрующих пластов песчаника и частью питается просачивающейся речной водой, которая в песчаном дне реки подвергается процессу фильтрации. Ниже границы MN по течению потока подземная вода загрязняется с поверхности земли неочищенной водой, проникающей в трещины, а также поглощаемой речной водой.

## Е. КАПТАЖ ГРУНТОВЫХ ВОД

### 1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

#### 1. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Предварительные исследования подземных вод должны производиться систематически, по заранее разработанному плану. При этом нужно всегда придерживаться следующего главного правила.

«Предварительное исследование является основой каждого водного сооружения. От результатов изысканий всецело зависит окончательное разрешение любого вопроса по водному строительству».

К сожалению очень часто случается, что при проектировании того или иного сооружения как раз наиболее важной части, а именно предварительным изысканиям, уделяется слишком мало внимания, и только этим можно объяснить то, что многочисленные водосборные сооружения с самого начала или по истечении самого короткого времени иссякают. Таким образом на расходы по устройству часто теряются сотни и тысячи рублей. Эти суммы можно было бы сберечь, если бы важность и значение предварительных изысканий правильно оценивались и очень небольшой процент напрасно истраченных на сооружение сумм был бы отдан в распоряжение добросовестного гидрогеолога для производства достаточно полных предварительных исследований.

Так например в водопроводе района Атерсон (Англия) ошибочные гидрогеологические изыскания обошлись очень дорого, так как начальный дебит колодца в размере 1 360 м<sup>3</sup> в сутки с течением времени упал до 113 м<sup>3</sup> в сутки, т. е. составлял меньше 10% предварительного расчета. Здесь по всей вероятности речь идет об истощении подземного бассейна, не имеющего притока. Гидрогеологическое состояние этого бассейна могло бы быть без сомнения ясно показано планом в горизонталях зеркала грунтовых вод. Принимая во внимание, что несмотря на добросовестно исполненные изыскания все же бывают случаи неудач, следовало бы всегда отклонять предложения различных предпринимателей устраивать сооружения по водоснабжению без производства предварительных изысканий, хотя бы такие предложения и обставлялись гарантиями. Такие предприниматели совершенно не понимают важности взятых на себя обязательств, им гораздо интереснее на этом нажиться, чем действительно разрешить вопросы водоснабжения. Результатом во многих случаях является судебный процесс.

Если гидрогеологические изыскания должны дать практически пригодные результаты, то они должны основываться не на предполо-

жениях, а на строго научных наблюдениях, измерениях и точно установленных количествах воды.

При предварительных изысканиях необходимо вперед точно знать, во что они обойдутся. Следует избегать районов, которые не могут быть исследованы обычными доступными средствами, и делать расходы, которые не будут оправданы практическими результатами. Если гидрогеологическое изыскание, которое должно только определить присутствие воды, будет стоить столько же, сколько стоит окончательный каптаж воды, то оно является ничем не оправдываемой хозяйственной ошибкой.

Так как при большинстве гидрогеологических заданий имеется возможность выбрать несколько районов для изысканий, то уже будет делом гидрогеолога исследовать сначала такой район, где внешние условия легче и делают наиболее выгодными предварительные изыскания.

Наибольшим препятствием являются прежде всего глубоко лежащие горизонты воды, напрасно увеличивающие не только глубину скважины, но и делающие также воду, достигнутую с помощью бурения, недоступной. Глубокое положение и недоступность воды ведет к неточным измерениям и требует сложных приспособлений при пробных откачках, предпринимаемых с целью установления дебита и для взятия проб воды. Между тем глубокое положение уровня воды и его недоступность удорожают не только предварительные изыскания, но также и сооружение самого каптажа, и затрудняют эксплуатацию в том случае, когда речь идет о постоянных водопроводах. Поэтому долгом работающего на практике гидрогеолога является тотчас же после установления глубины положения уровня воды, дать себе отчет в том, каковы будут трудности строительных мероприятий и стоимость их, связанная с глубоким каптажем.

Если в распоряжении гидрогеолога для предварительных изысканий имеются ограниченные суммы и если он должен выбирать между кратковременным исследованием, хотя и производящимся согласно всем тонкостям науки, и более полным исследованием, могущим производиться более продолжительное время, то по общему правилу следует предпочесть последнее. Это следует делать потому, что при практической оценке гидрогеологического значения водоносного горизонта отдельные хотя и абсолютно точные числовые величины не столь важны, как ряд продолжительных опытов, из которых можно вывести характерные особенности режима водоносного пласта.

Само собой понятно, что лучше всего располагать всегда целым рядом точных измерений.

Так как колебания зеркала, изменения падения грунтовых вод и т. п. протекают в зависимости от времени года, то необходимо на всех исследуемых участках производить измерения уровня воды на протяжении по меньшей мере одного года. На участках, расположенных в районах, подвергающихся наводнениям, наблюдения должны также производиться весь тот промежуток времени, в течение которого длится наводнение.

Если гидрогеолог согласно указаниям, данным в главе «Поиски грунтовых вод», получил достаточно ясную картину исследуемой поверхности, то он может приступить к разведке с помощью бурения, шурования и т. п.

Местоположение буровых скважин и шурфов должно по возможности выбираться таким образом, чтобы они во всякое время были легко доступны для наблюдения. Именно на этом основании скважины для наблюдения должны по возможности закладываться на краях дорог и полей. Этим избегаются порча и повреждение земли. Далее скважина, содержащая воду, должна откачиваться. Это без затруднения возможно только в том случае, если место расположения буровой скважины имеет хороший сток воды.

Скважины для наблюдения должны всегда буриться лишь посредством сухого бурения. Забивку буровых труб и бурение с промывкой лучше следует избегать, так как таким путем нельзя получить ясной картины о естественных свойствах проходимых пород и водоносности их.

Необходимо брать образцы по мере смены пластов, точно записывая их петрографический характер и глубину, с которой они взяты. Эти пробы сохраняются в особых ящиках до окончания постройки.

Если речь идет об образцах из буровых скважин для водопровода, то таковые должны всегда сохраняться продолжительное время, так как в случаях иссякания колодцев, расширения водопровода и т. п. очень важно точно знать, с какими геологическими условиями приходится иметь дело. Буровые журналы и графические изображения последовательности пластов являются недостаточными и не могут заменить образцов.

Все результаты бурения, включая точный журнал буровых работ, должны быть отосланы в ближайшее областное или краевое геолого-разведочное управление.

На основании буровых проб для каждой буровой скважины устанавливается по нижеприведенному образцу особый указатель пластов, который дополняется результатами пробных откачек.

Гидрогеологические исследования . . . . .	
Республика . . . . .	
Край, область . . . . .	
Район . . . . .	
Указатель пластов буровой скважины № . . . . .	
Пробы имеются в количестве . . . . .	(штук)
Положение буровой скважины . . . . .	
Способ бурения . . . . .	
Диаметр бура в мм . . . . .	
Высота устья (поверхности) буровой скважины . . . . .	
Труба для наблюдения находится между . . . . . м и . . . . . м	
Высота верхнего края трубы для наблюдения . . . . .	м
Произведенное от . . . . . до . . . . .	
Откачка . . . . . от . . . . . до . . . . .	
Фильтр находится в пласте № . . . . . от . . . . . м до . . . . . м	
Свободная длина фильтра . . . . .	м
Диаметр фильтра . . . . .	см
Абсолютная высота естественного зеркала грунтовых вод . . . . .	м
Высота ест. зеркала грунтовых вод над/под поверхностью . . . . .	м
Добываемое количество воды (Q) . . . . .	л/сек.
Понижение уровня (S) . . . . .	м

№ пласта	Абсолютная высота	Мощность пласта (в метрах)	Глубина от поверхности	Название пород	Геологический возраст	Просеивающийся через сито с шириной ячеек	
						. . . м.м	. . . %
1 . . . . .	196,32	1,10	0,00	глина	Аллювий	—	—
2 . . . . .	195,22	1,25	1,10	песок, глинистый галечник			
3 . . . . .	193,97	1,20	2,35	валунный мергель	ледниковые отложения	2,0	68
4 . . . . .	192,77	0,05	3,55				
	192,72	—	3,60		»	6,0	42
					»	—	—

Удельный дебит  $\frac{Q}{S} = \dots \dots \dots$  л/сек.

- Качество воды (прозрач., мутнеющая по истечен. час., осадок) . . . . .
- Температура в градусах Цельсия . . . . .
- Жесткость . . . . . (немецкие градусы) . . . . .
- Хлориды . . . . . мг/литр
- Железо . . . . . мг/литр
- Свободная углекислота . . . . .
- Прочие замечания . . . . .

Разрезы, проходящие через буровые скважины, должны наноситься на чертеж и постоянно пополняться. Эти разрезы вместе с планами с нанесенными гидроизогипсами определяют места, в которых целесообразно закладывать новые буровые скважины.

Во время процесса бурения нужно строго следить за положением уровня воды в буровой скважине. Появление внезапных изменений в положении уровня необходимо рассматривать с точки зрения приведенных в рубрике «Ненормальные и ложные уровни грунтовых вод», объяснений и гидрогеологически их учитывать. Положение уровня воды в буровой скважине важно измерять вечером, по окончании буровых работ, и утром — перед их началом. Если уровень воды во время перерыва работ повышается, то это является нередко признаком того, что в глубине появился еще один водоносный горизонт, обуславливающий повышение зеркала воды.

## 2. ОТКАЧКА ОТДЕЛЬНЫХ БУРОВЫХ СКВАЖИН И УДАЛЕНИЕ ПЕСКА

Каждая отдельная буровая скважина, содержащая воду, должна откачиваться при помощи насосов. Для этой цели в водопроницаемый пласт, кажущийся подходящим, вводится фильтр (рис. 193), состоящий из железных прутьев и скрепляющих колец, затянутый соответствующей сеткой. Дно фильтра закрыто посредством деревянной пробки *b*. Для вытягивания фильтра служит посредством деревянной пробки *b*. Для этой цели прикреплен фильтр.

Перед пробной откачкой следует предварительно основательно удалить песок, что достигается опусканием всасывающей трубы насоса приблизительно на 20—30 см от поверхности находящегося в фильтре песка. Периодически действующие насосы выкачивают песок лучше, чем непрерывно действующие насосы. Если часть фильтра очищена от песка, то всасывающая труба должна опускаться ниже, и удаление песка должно производиться до тех пор, пока фильтр не будет свободен от песка на всей своей длине. Для этой цели часть всасывающей трубы должна всегда состоять из резиновой шланги, чем облегчается опускание трубы на разные глубины.

Количество песка, извлекаемое при очистке артезианского колодца с диаметром 200—250 мм и при длине фильтра в 5—10 м, может по наблюдениям автора в зависимости от разных обстоятельств равняться 0,5—1,0 м<sup>3</sup>.

Особенно велики бывают извлекаемые из артезианских колодцев массы песка в тех случаях, когда технически невозможно устроить защитные (сетки, пробки, запоры у дна) приспособления против засорения колодца песком.

По данным Перу артезианский колодец Мезон-Лафит (Maison-Lafitte), достигший на 576 м глубины очень водоносных глауконитовых песков, выносил вместе с водой в течение первых дней работы округло 20 м<sup>3</sup> мелкого песка в день.

По истечении 18 дней количество песка составляло еще 1,21 г в литре и только лишь с 21 дня вода начала постепенно проясняться..

### 3. ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ДЕБИТА, ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ВОДЫ В ПОЛЕ

После полного удаления песка можно приступить к определению удельного дебита, т. е. дебита на 1 м понижения, который дает сравнительный масштаб водопродности водоносного пласта.

Для достижения наиболее совершенных результатов измерения необходима равномерная откачка, лишь благодаря которой достигается достаточное приближение к равновесию между количеством добываемой воды и положением зеркала. Число качаний насоса должно всегда проверяться секундомером. Для измерения добываемой воды служит бочка емкостью приблизительно в 100—200 литров. Пониженный уровень должен измеряться при начале наполнения бочки и по окончании ее наполнения. Если оба измерения значительно разнятся между собой, то это является признаком неравномерной работы насоса. Пробная откачка в таком случае должна быть снова повторена. Во всех случаях следует производить измерения, служащие для определения удельного дебита, два раза и брать среднее из полученных значений.

По окончании пробной откачки производится измерение температур и отбираются пробы воды. Исследование воды на запах, вкус, жесткость, хлориды, железо и свободную углекислоту должно всегда производиться на месте и одновременно с пробной откачкой или долж-

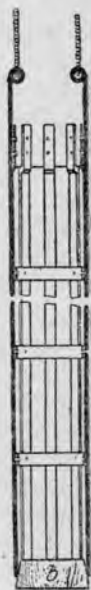


Рис. 193. Фильтр для откачки буровых скважин.

но имеет место не позднее следующего дня. Результаты должны быть внесены в буровой журнал.

По окончании пробной откачки в наиболее водопроницаемый слой устанавливаются трубы для наблюдений; трубы прокладываются вместе с фильтром, причем трубой выталкивается деревянная пробка в фильтра (рис. 139).

Если с помощью буровой скважины было обнажено несколько водоносных горизонтов или пласты различной водопроницаемости, то пробная откачка должна быть вторично произведена в каждом водоносном горизонте, т. е. в каждом самостоятельном водоносном пласте. Пробные откачки должны предприниматься, начиная с нижнего горизонта, постепенно поднимаясь вверх<sup>1</sup>. Если каждый водоносный горизонт должен иметь особую трубу для наблюдения, то буровая скважина должна запово прокладываться до самого глубокого горизонта. Затрубные пространства в промежуточных водонепроницаемых пластах должны быть по возможности затампонированы глиной.

Нанесением удельных дебитов на плане исследуемой площади получается ясная картина условий водопроницаемости водоносного слоя. Если места наибольшей водопроницаемости соответствуют прочим требованиям, предъявляемым хорошему каптажу (ср. отдел «Каптаж», стр. 284), то на этих местах можно приступить к устройству пробных колодцев.

## II. ОПЫТНЫЙ КОЛОДЕЦ

### 1. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Если предварительные изыскания проведены надлежащим образом и полно, то в большинстве случаев пробный колодец даст вполне удовлетворительные результаты. Не следует устраивать пробный колодец там, где предварительные изыскания не были доведены до конца.

Главной целью устройства опытного колодца должно быть безусловное подтверждение путем проведенных в большом масштабе откачек воды того, что опытный участок отвечает требованиям давать в течение продолжительного времени определенное количество грунтовой воды, как то было выявлено предварительными изысканиями. Для неспециалиста каждый секундо-литр воды, протекающий в действительности, является более убедительным, чем научные исследования и математические вычисления, как бы правильны они ни были. Поэтому эксплуатация опытного колодца должна всегда завершать собой каждое гидрогеологическое исследование.

Источники ошибок, свойственных при определении зеркала потока, падения, водопроницаемости, скорости движения воды и т. п., во многих случаях бывают весьма многочисленны, и даже ученый исследователь и осторожный наблюдатель с большим трудом могут правильно оценить значение неточностей, зависящих от тех или иных

<sup>1</sup> Во многих случаях будет неправильным производить испытание разных водородных пластов, начиная с нижнего, после того как они будут пройдены все, так как при таком испытании невозможно бывает хорошо изолировать нижние пласты. Лучше производить откачки, начиная с более верхних слоев, по мере их вскрытия.

Примечание редакторов.

ошибок. Не нужно забывать, что гидрогеолог, руководящий работами, не может произвести все наблюдения и измерения сам, но должен полагаться на достоверность и данные наблюдения своих сотрудников. Опытный колодец действует в этом отношении выравнивающе и дополняюще.

Между тем целью опытного колодца является не только подтверждение величины ожидаемого количества воды, но также и установление влияния забора воды из водоносного пласта на качество воды. Подобные определения часто бывают крайне важны, и для их получения не существует другого способа кроме пробной эксплуатации, которая в известной степени должна отвечать будущим условиям отбора воды.

## 2. ПОЛОЖЕНИЕ ОПЫТНОГО КОЛОДЦА

Для выбора места под опытный колодец должны служить приведенные на стр. 284 и ранее указания. Для правильной эксплуатации колодца необходимо, чтобы вблизи его находился сток для откачиваемой воды. Длинные сточные каналы с недостаточным падением летом очень легко зарастают сорной травой, зимой же они заносятся снегом.

## 3. УСТРОЙСТВО ОПЫТНОГО КОЛОДЦА

Если пробный колодец служит лишь временным вспомогательным средством, то в большинстве случаев все же можно подземную часть последнего, т. е. тело каптажа, соорудить таким образом, чтобы после окончания пробной эксплуатации эта часть могла бы быть превращена посредством подходящих изменений и прибавлений в постоянный каптаж, который в дальнейшем мог бы в таком виде оставаться. Таким путем большая часть расходов утилизируется для постройки.

В качестве удобного и наиболее простого каптажа рекомендуется трубчатый колодец. Он имеет преимущество в дешевизне и быстроте его сооружения, подходит к различным геологическим условиям, и если пробный колодец не даст удовлетворительных результатов, трубы могут быть легко извлечены и применены на другом месте.

Точно так же и в тех случаях, когда мощность водоносного пласта оставляет желать лучшего, можно применить из экономических соображений трубчатый колодец в качестве каптажа. Однако в таком случае необходимо распространить гидрогеологические наблюдения на характер дренирующего действия пробного колодца для того, чтобы из этого можно было вывести заключение, следует ли в качестве окончательного каптажа сохранить вертикальный колодец или он должен быть заменен горизонтальным.

Шахтные колодцы в большинстве случаев с успехом применяются там, где водоносная порода обеспечивает везде гидравлическую связь, т. е. если налицо имеется только один водоносный горизонт, не обладающий большой мощностью и оказывающий движению грунтовой воды лишь незначительные сопротивления. Эти условия дают возможность производить сравнительно большой отбор воды даже тогда, когда вода поступает в колодец лишь через его дно. Шахтный колодец позволяет при использовании постройкой незначительной площади эксплуатировать сравнительно большую полосу потока грунтовых вод. Шахтный колодец рекомендуется закладывать также там, где зеркало воды лежит глубоко, так как в шахтном колодце можно и насос опустить без особых приспособлений достаточно глубоко.

Если мощность водоносного пласта незначительна, то рекомендуется дренажная канава. Однако для пробных целей это выгодно лишь в том случае, если трудности постройки не слишком велики. В противном случае цель опыта может быть достигнута по меньшей мере приблизительно путем устройства ряда тесно расположенных по соседству шахтных колодцев, которые позднее при отстройке каптажа могут послужить в качестве промежуточных шахт. Между шахтами



Рис. 194. Опытный колодец с шахтой при глубоко лежащем зеркале грунтовых вод.

1 — уровень грунтовых вод.

прокладывается тогда сборная галерея. При этом необходимо, чтобы шахтные колодцы с самого начала были снабжены потребными для сборной галереи отверстиями.

Для соединения отдельных трубчатых колодцев можно применить чугунные и железные трубы. В качестве прокладки рекомендуется применять подвижные резиновые кольца, которые обладают преимуществом в быстрой сборке труб и которые совершенно не подвержены влиянию перемен наружной температуры.

Если делаются свинцовые прокладки, то по крайней мере муфты должны быть покрыты землей, так как в противном случае заделка будет находиться под влиянием колеблющейся температуры воздуха и постепенно становится неплотной.

Уровни воды в колодце должны быть доступны для измерения. Для этой цели в самом колодце устраиваются или особые трубы для наблюдения или же измерения производятся в затрубном пространстве, между стенкой колодца и всасывающей трубой.

С целью установления взаимодействия колодцев следует между отдельными колодцами также заложить наблюдательные скважины. Очень важно иметь возможность по крайней мере для отдельных колодцев измерять уровни воды непосредственно с наружной стороны фильтра, чтобы иметь возможность определить также сопротивление колодцев. По сторонам опытного колодца должны быть также заложены скважины для наблюдения, располагаемые по линиям, проходящим через ось колодца. Число и распределение этих скважин уста-

навливается в зависимости от местных условий. В общем вблизи колодцев взаимные расстояния между наблюдаемыми скважинами могут быть меньшими, чем вдали от колодцев.

Первые результаты откачки позволяют легко установить, в каком направлении необходимы новые наблюдательные скважины.

В качестве водоподъемных механизмов прежде всего рекомендуются центробежные насосы, которые приводятся в движение локомотивами, нефтяными моторами или электромоторами, если вблизи имеется электрический ток. Всасывающее действие, как и вообще степень плотности проводки, лучше всего наблюдать постоянно при помощи ртутного вакуумметра.

Если по каким-либо причинам устройство опытного колодца в местах с глубоколежащим зеркалом грунтовых вод неизбежно, то в таком случае рекомендуется опустить шахту на такую глубину, чтобы дном последней почти достигнуть зеркала грунтовых вод. Насос устанавливается на самом дне. Вертикальный ременный привод по общему правилу ведет к затруднениям при эксплуатации и поэтому рекомендуется лишь в необходимом случае (рис. 194).

Шахта должна быть легко доступной, чтобы иметь возможность легко очищать насос и также легко измерять зеркало колодца.

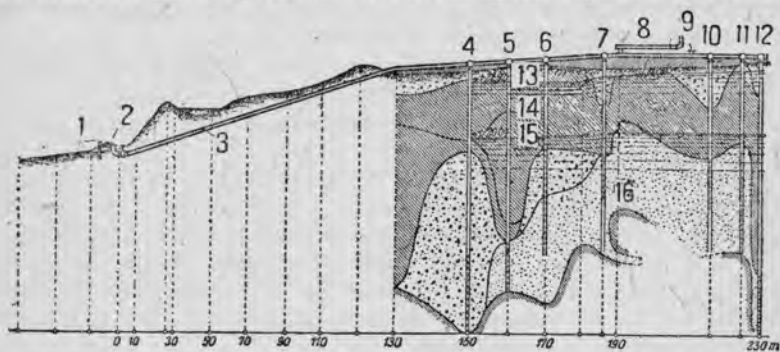


Рис. 195. Опытный колодец с сифонным трубопроводом.

1 — перепад; 2 — сток; 3 — сифонный трубопровод 150 мм в diam.; 4 — колодец первый; 5 — колодец второй; 6 — колодец третий; 7 — колодец четвертый; 8 — насос; 9 — подпора для наполнения; 10 — колодец пятый; 11 — колодец шестой; 12 — колодец седьмой; 13 — естественный уровень грунтовых вод; 14 — водопроницаемые пласты; 15 — пониженное зеркало грунтовых вод; 16 — пласт с грунтовой водой.

Для опытных целей при глубоко лежащем зеркале пригодны также воздушные подъемники системы Маммут. Однако нужно считаться с тем, что воздушные подъемники требуют более высокого столба воды и что с уменьшением его коэффициент полезного действия подобных установок падает и удорожается пробная эксплуатация.

Для откачки из пробных колодцев можно также применять пульзометры. Они отличаются незначительной стоимостью установки, но имеют однако тот недостаток, что добываемая вода ими нагревается. Для опытов, главной целью которых является бактериологическое исследование, применением этого способа возбуждает сомнения.

Если условия рельефа позволяют, то рекомендуется производить пробную эксплуатацию с помощью сифона.

Это является самым простым и дешевым способом опытной эксплуатации, так как при условии достаточной плотности трубопровода расходы по эксплуатации равняются почти нулю.

Откачка при помощи сифона отличается также большой правильностью. Длинные сифоны имеют тот недостаток, что при них понижение уровня воды не может быть доведено до полной высоты всасывания

насоса, так как сопротивление движению воды в трубах уменьшает достижимую высоту всасывания.

Однако этот недостаток при всех преимуществах сифона может не приниматься во внимание. Необходимой принадлежностью сифона является возможно больший всасывающий воздушный колпак с приспособлением для удаления воздуха. Рисунок 195 изображает ряд опытных колодцев с сифонным оборудованием, сооруженных автором для опытных откачек на Вейсенбургском плацдарме.

#### 4. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОПЫТНЫХ КОЛОДЦЕВ

Перед началом эксплуатации опытного колодца необходимо изменить естественное положение уровней грунтовых вод в районе всего опытного участка, включая стояние воды соседних поверхностных водотоков и водоемов. Сравнение с прежними измерениями уровней покажет, какого приблизительно хода уровней можно ожидать во время искусственного воздействия на грунтовую воду.

Наиболее простым способом эксплуатации опытного колодца будет всегда тот, при котором вода выступает на поверхность или в виде нисходящего или в виде восходящего ключа, т. е. свободно вытекает на поверхность земли.

В этом случае каждый источник или артезианская скважина представляет собой самостоятельный опытный колодец, и гидрогеологические наблюдения ограничиваются измерениями зеркала и дебита.

При искусственной добыче количество добываемой воды должно всегда измеряться. Наиболее пригодными для измерения являются описанные в гл. IV водосливы, на которых должны быть поставлены саморегистрирующие приборы.

Измерительный ящик с самопишущим аппаратом дает точные данные как о количестве добываемой воды, так и обо всех изменениях в эксплуатации, неправильностях в ней, нарушениях и т. п.

Рисунок 196 изображает автоматическую запись подобного измерительного прибора. Из этой записи можно для любого момента получить данные о положении эксплуатации и иметь безошибочное средство для наблюдения над машинистом, которому поручена откачка.

На этом основании самопишущий прибор следует всегда держать под запором. Он должен быть только виден машинисту, но в то же время к нему не должно быть доступа.

Количество добываемой воды должно устанавливаться из ежедневных записей измерительного прибора и заполняться определением температуры и т. п. Постоянная запись добываемого количества в совокупности с ходом кривой уровней дает точные сведения о действии колодца.

Измерение количества воды при помощи водомера для опытных колодцев рекомендуется в меньшей степени, так как каждый опытный колодец в течение известного промежутка времени выносит песок. Благодаря увлекаемому водой песку водомеры вскоре становятся непригодными. Но если тем не менее хотят для измерения пользоваться водомером, то в этом случае последний следует устанавливать лишь после окончательного очищения от песка.

Во избежание ошибок необходимо обязательно выждать наступления равновесия.

Для возможно быстрого достижения этого равновесия выгодно производить опыт с возможно большим количеством воды или при большей депрессии, чем это было предварительно намечено. После этого однако нужно остановиться на продолжительное время на установленной ранее мере <sup>1</sup>, по возможности избегая каких-либо нарушений. При этом однако не используется наивысшее действие эксплуатируемого сооружения в отношении количества воды и депрессии.

Если предположено произвести несколько опытов с извлечением различного количества воды и установлением различных понижений, то рекомендуется произвести в том же роде ряд опытов с уменьшенным количеством воды или уменьшенными понижениями. Проведение таких многократных опытов весьма желательно, потому что результаты их при обработке служат для взаимной проверки.

Если предстоят многие опыты с различным количеством добываемой воды или с различными понижениями, то обыкновенно каждому новому количеству добываемой воды или каждой новой депрессии соответствует не только новая депрессия или другое количество воды, но и другая область питания колодца.

Каждой откачке и величине депрессии соответствует также своя площадь поперечного сечения потока, захватываемого колодцем. Если мы определим отношение величины расхода колодца к площади поперечного сечения потока, идущего в колодец, то

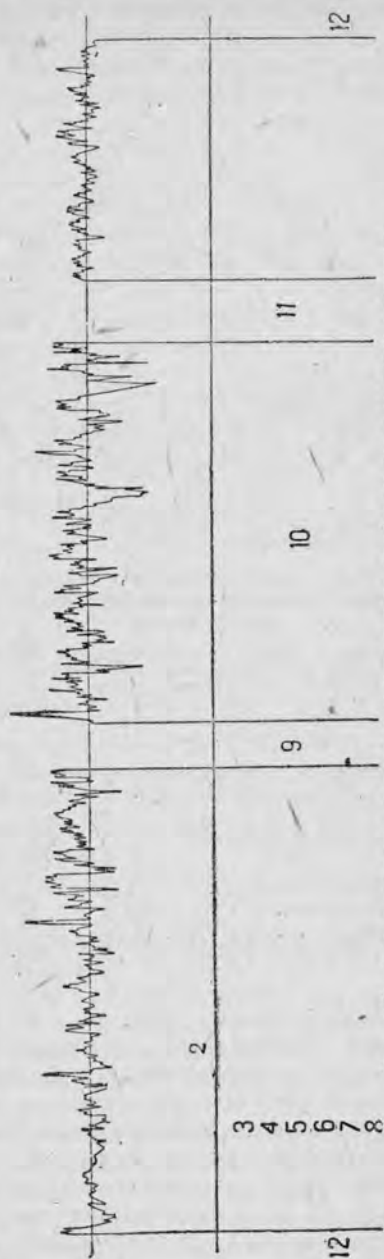


Рис. 196. Автоматическая запись измерительным прибором высоты струи водослива.

1 — опытный колодец города...; 2 — 15 м над ребром переноса; 3 — средняя депрессия в колодцах — 4,21 м; 4 — 70-бываемое количество 3,856 м<sup>3</sup>; 5 — температура — 9,3° С; 6 — влажность (общ.) — 7,7 нем. гр.; 7 — хлориды — 12,2 мг/л; 8 — железо Fe — 0,7 мг/л; 9 — перерыв для смазки; 10 — в эксплуатации все колодцы; 11 — ремель сокотина; 12 — 6 час. вечера.

<sup>1</sup> Предлагаемый способ предварительного форсирования откачки, а затем уменьшения ее интенсивности возбуждает сомнение в отношении точности и правильности.

Примечание редакторов.

эт) отношение представит собой естественную среднюю скорость фильтрации в соответствующем поперечном разрезе.

В общем можно считать, что в том направлении, в котором зеркало колодца наиболее чувствительно к колебаниям во время эксплуатации, нужно также искать и место наибольшей водопроницаемости и наибольшего притока воды.

А. Тим определил с помощью пробной эксплуатации колодца в Глейзентале увеличение области питания в зависимости от четырех ступеней добываемого количества. Ширина отбора (питания) (рис. 197) была определена вдоль гидроизогины—572 м, которая, как показывает ее направление, столь отдалена от колодца, что может считаться находящейся вне сферы влияния колодца. При этом были найдены:

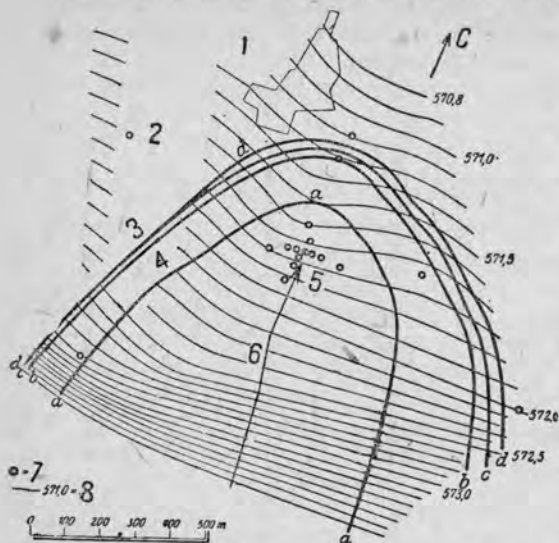


Рис. 197. Районы питания опытного колодца в Глейзентале при различных количествах отбора воды (по А. Тиму).

1 — Дейзенгофен; 2 — перерыв в потоке грунтовых вод; 3 — граница района питания в конце опыта *a*; 4 — граница района питания в конце опыта *a*; 5 — опытные колодцы; 6 — естественное направление течения; 7 — точки наблюдений; 8 — гидроизогины естественного уровня грунтовых вод.

Опыт	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	
Ширина района питания	365	620	655	700	м
Разница	255		35	45	»
Высота поперечного сечения	7,1		7,3	7,4	»
Увеличение дебита	63		22	27	л/сек.
Поверхности	1 810		256	333	м <sup>2</sup>
Скорость фильтрации в день	3,06		7,82	7,0	м

Из этой таблицы видно, что скорость, а с ней также и водопроницаемость сильно увеличиваются к востоку. Причиной этого явления оказалось то, что колодец лежит на краю западного берега потока, а линия потока реки ледникового времени, образовавшей водоносный пласт, лежала дальше на восток. Поэтому и главные водные запасы должны были находиться тоже на востоке. У западного берега долина сложена из более мелкого материала, к востоку же, до линии потока, где скорость воды была наибольшей, крупность наносов возрастает. Соответственно таким условиям напластования с приближением к оси потока возрастают водопроницаемость и дебит.

Из этого рассуждения видно, что из чисто гидравлических результатов испытания опытного колодца можно сделать вывод о геологиче-

ском строении грунтового потока. Поперечный разрез, полученный путем разведочного бурения (рис. 198), показал, что указанные выводы соответствуют действительности.

После окончания опыта или каждой отдельной части его нужно на основании измерения уровней воды на всем опытном участке составить план в гидроизогнсах, наступившие гидрологические изменения сравнить с естественными условиями и вывести из этого соответствующие выводы.

Особенно важным для суждения о действии колодцев на грунтовой поток являются условия, создающиеся в нижней части продольного разреза в том месте, где образуется водораздел.

Для каждой депрессии рекомендуется устанавливать место этого водораздела, даже если для этого необходимо произвести дополнительное бурение.

Как мы видели в отделе С, глава VI<sub>2</sub> п. 2, *d* нижний водораздел является исходной точкой для проведения нейтральной линии, отделяющей область заимствования или область питания колодца.

Посредством проведения нормалей к гидроизогнсам депрессированного зеркала можно установить границы питания опытного колодца. Если подобному чертежу свойственна даже некоторая неточность, то все же для практики он дает полезные указания. При оценке подобных вспомогательных средств нельзя забывать, что точно установленного размера для района питания колодца указать нельзя, так как дебит водоносного пласта является не постоянной величиной, а всегда колеблющейся подобно поверхностным водоемам.

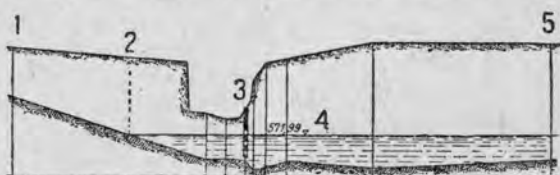


Рис. 198. Поперечный разрез опытного колодца в Глейзентале.

1 — запад; 2 — берег потока грунтовой воды; 3 — опытный колодец; 4 — естественный уровень грунтовых вод 240/IX 1873 г.; 5 — восток.

## 5. СОСТОЯНИЕ РАВНОВЕСИЯ В КОНЦЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОПЫТНОГО КОЛОДЦА

В зависимости от рода водоносного пласта уменьшение дебита до наступления состояния равновесия может продолжаться в течение месяцев. Уменьшение первоначального дебита может значительно падать. Так например А. Тим установил в опытном колодце города Або, что начальный дебит упал с 36 л в секунду на 16,9 л в секунду, т. е. больше чем на половину. Для достижения положения равновесия понадобилось почти 12 месяцев.

В опытном колодце для военного лагеря Вейсенбурга, откачками которого руководил автор, состояние равновесия при падении дебита с 17,6 на 12,8 л в секунду было получено по истечении 13 месяцев.

Замедление в наступлении стационарного состояния происходит в том случае, если в верхнем течении напорного потока подземной воды имеются участки, где зеркало свободно.

Насколько часто необходимо в течение довольно продолжительного времени выждать наступления состояния равновесия, настолько же важна правильная оценка результатов наблюдений, достигнутых во время состояния равновесия. Согласно формуле (19) в гл. VIII коэффициент водопроницаемости  $k$  обратно пропорционален  $(H^2 - h^2)$  разности квадратов высоты  $H$  первоначального и  $h$  пониженного уровня воды в колодце (рис. 128) или обратно пропорционален произведению  $(H+h)(H-h)$  суммы на разность этих обеих высот.

Разность  $H - h$  составляет наблюдаемое в колодце понижение уровня  $A$ ; введение последней величины в вышеприведенное произведение может быть выражено формулой  $(2H - A) \cdot A$ . Во избежание ошибки при определении  $A$  необходимо иметь по крайней мере один пункт наблюдения, который подобно точке  $B$  на рисунке 199 лежал бы вне границ питания и влияния опытного колодца и, не находясь под его влиянием, указывал бы естественное колебание зеркала грунтовых вод. Для того чтобы судить о достигнутом приближении к состоянию равновесия и получить, если это приближение окажется

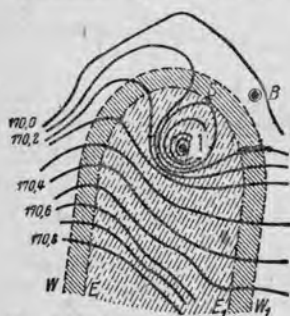


Рис. 199. Положение наблюдательной скважины  $B$ , не находящейся под влиянием опытного колодца за границей питания и влияния последнего.

1 — опытный колодец.

достаточным, правильную величину депрессии, надо в наблюдаемые понижения вносить поправки на естественные колебания уровня грунтовых вод, т. е. получающуюся в колодце депрессию сравнивать не с уровнем воды, установленным в колодце в начале опыта, а с уровнем, исправленным согласно с наблюдаемым ходом естественных колебаний уровня грунтовой воды, не находящимся под влиянием откачки.

Приближение к стационарному состоянию считается достаточным, если пониженное зеркало колодца при неизменяющемся отборе воды в течение определенного промежутка времени ведет себя в полном соответствии с естественным режимом зеркала грунтовых вод для данного пункта, т. е. совершает колебания в те же промежутки времени и с такой же амплитудой, сохраняя без изменения разницу между пониженным и естественным уровнями воды. Эта остающаяся неизменной разница уровней и является истинной величиной депрессии. Если разница обоих уровней определяется при их ходе вниз, то процесс их точного определения растянется по крайней мере на несколько дней. При ходе же вверх для этого потребуется более короткое время.

## 6. ПОЛОЖЕНИЕ ЗЕРКАЛА ВО ВРЕМЯ И В КОНЦЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОПЫТНОГО КОЛОДЦА

Ход уровня опытного колодца для города Штендаль по произведенным автором наблюдениям воспроизведен на рисунке 200. Из этого рисунка ясно видно, насколько нарушение эксплуатации действует на колебания зеркала. Депрессия, исходящая от опытного колодца, распространяется лучеобразно на район его питания; величина депрессии по мере удаления от колодца должна уменьшаться. То же

самое имеет силу при повышении зеркала. Изменения уровня воды сильнее всего происходят в самом колодце.

Особенно ясно это выступает при понижении добываемого количества и при остановке эксплуатации, причем в соседних пунктах уровни повышаются медленнее, чем в самом колодце. В последнем процесс восстановления уровня усиливается тем, что при падении дебита сопротивление движению воды в колодце частично отпадает, вследствие чего наступает тотчас же повышение зеркала в колодце. Для соседних наблюдательных колодцев подобных сопротивлений не существует, и они лишь медленно выравниваются вместе с увеличивающимся наполнением воронки депрессии.

После окончания каждой опытной эксплуатации колодца следовало бы, как видно из рисунка 200, следить также за ходом депрессии зеркала во время его подъема до тех пор, пока зеркало не примет естественного положения. Чем правильнее протекает повышение зеркала, тем равномернее можно считать и строение водоносного пласта.

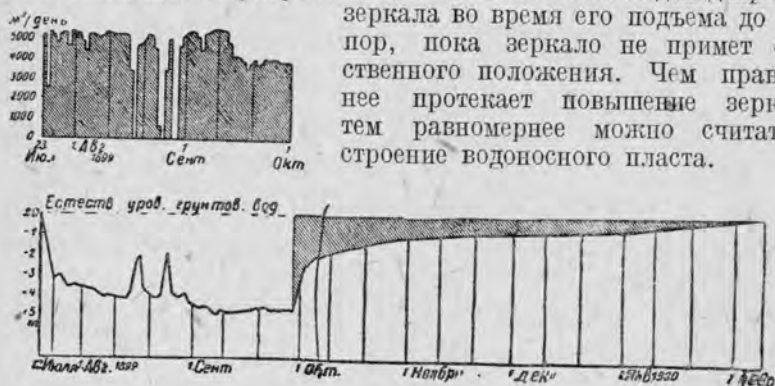


Рис. 200. Кривая депрессий и отбора воды в опытном колодце города Штендаль.

В опытном колодце города Штендаль время, потребное для восстановления естественного положения зеркала, выразилось приблизительно в 110 дней, после чего при депрессии в 5,1 м количество добываемой воды составляло 4 тыс.  $\text{м}^3$  в сутки.

## 7. НАРУШЕНИЯ В СТРОЕНИИ ВОДОНОСНОГО ПЛАСТА ВБЛИЗИ ОПЫТНОГО КОЛОДЦА

Данные эксплуатации опытных колодцев могут лишь в том случае согласоваться с законами движения грунтовых вод, когда водоносный пласт имеет правильное и более или менее однородное строение, для которого законы фильтрации вполне применимы.

Если в водоносной породе имеется примесь крупных валунов, то после вымывания при усиленной эксплуатации колодцев более мелких частиц грунта в водоносном пласте образуются более широкие водные пути. Движение воды вблизи колодца происходит тогда не только согласно законам фильтрации, но также и по законам движения воды в каналах. Подобные каналы имеют в большинстве случаев очень неправильные формы поперечного сечения и не поддаются никакому математическому выражению. В результате этого явления вблизи колодца в грунте возникает движение смешанного характера, не согласующееся ни с законами фильтрации, ни с законами движения воды в каналах.

## 8. ЧИСЛОВЫЕ ДАННЫЕ, ПОЛУЧЕННЫЕ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОПЫТНЫХ КОЛОДЦЕВ

Ниже в таблице приведены результаты эксплуатации некоторых опытных колодцев.

Местонахождение опытного участка	Уклон грунтовых вод	Количество воды л/сек.	Депрессия (в метрах)	Удельный дебит л/сек.	Срок наступления состояния равновесия (в дн.)	Радиус района отбора (в метрах)	Радиус действия (в метрах)	Наблюдатель
Зальцведель . .	1:380	29,20	5,00	5,85	18	600	1 250	Е. Прииц
Штендаль . . .	1:1000	46,40	5,10	9,09	53	—	—	»
Форст . . . . .	1:720	67,00	3,80	17,72	86	—	—	»
Гримма на Заалс	1:1000	54,00	3,50	15,43	52	—	—	А. Глейцман
Лукенвальде .	1:285	43,60	4,00	10,90	44	750	—	Е. Прииц
Тройсдорф . .	1:450	78,00	4,80	16,25	—	470	—	Е. Рутзатц
Або . . . . .	—	16,90	—	—	360	—	—	А. Тим
Познань . . . .	—	70,00	—	—	72	—	—	»
Трир . . . . .	1:1350	34,50	—	—	—	800	—	С. Баль

## 9. СОСТОЯНИЕ РАВНОВЕСИЯ ОПЫТНОГО КОЛОДЦА И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЭТОГО СОСТОЯНИЯ В КАПТАЖЕ

Трудно выразить, насколько важно достигнуть при откачке из опытного колодца достаточного приближения к состоянию равновесия. Только при этом условии можно рассчитывать на то, что заложенный в исследуемом месте постоянный каптаж будет давать то количество воды, на которое можно рассчитывать согласно результатам эксплуатации опытного колодца.

Однако и тут могут встретиться ошибки и неверные выводы. Если налицо нет ошибок другого рода, то в большинстве случаев нужно искать причину в том, что опытный колодец не забирает всю воду, которую должен забирать постоянно действующий каптаж. Кроме того части района каптажа оказываются вне зоны питания, которая была выведена по результатам действия опытного колодца. Трудность преодоления заключающейся здесь опасности всегда увеличивается по мере увеличения количества воды, подлежащего определению. Ошибки однако могут быть устранены путем полного определения гидрогеологических свойств водоносного слоя и при достаточной осторожности в обобщениях по результатам, полученным опытными колодцами. Между тем неудача постоянного каптажа может быть только кажущейся. Это будет иметь место в том случае, когда водоносный горизонт в действительности способен давать ожидаемое на основании опытной откачки количество воды, но сам каптаж не в состоянии принять в себя всю эту воду без достаточного увеличения депрессии. При

известных обстоятельства допущенная при устройстве каптажа ошибка может быть причиной неудачи. Кроме того увеличение сопротивления каптажа (стр. 353) может оказать вредное влияние на дебит. Подобная неисправность исчезнет лишь после устранения причины падения дебита, но при повторном увеличении сопротивления

О действительной неудаче может быть речь лишь тогда, когда производительность каптажа будет уменьшаться даже после очистки или ремонта.

Если даже в течение ряда лет после начала эксплуатации каптажа наблюдается постоянная депрессия уровня воды по соседству, то это явление никоим образом не может считаться неблагоприятным признаком. Это обыкновенно бывает совершенно закономерным явлением. Причину этого явления надо искать в том, что при городских водопроводах с приростом населения происходит также постоянное увеличение отбора воды.

В начале эксплуатации до тех пор, пока состояние равновесия не наступит, уровни воды по всей окрестности каптажа должны постоянно подвергаться депрессии.

Наглядный пример колебания уровня воды при эксплуатации представлен на рисунке 201, который изображает результаты произведенных в 1896—1917 гг. наблюдений в районе второго лейпцигского водопровода близ Наунгофа. Замечаемая здесь из года в год все увеличивающаяся депрессия не может быть отнесена на истощение водоносного горизонта, но является естественным следствием постоянно увеличивающегося отбора воды. Рисунок показывает также влияние неравномерного по величине и продолжительности забора воды. Необходимо еще заметить, что на большие колебания, которым подвержено соотношение между отбором воды и понижением уровня в сборном колодце, также влияют соседние каптажи.

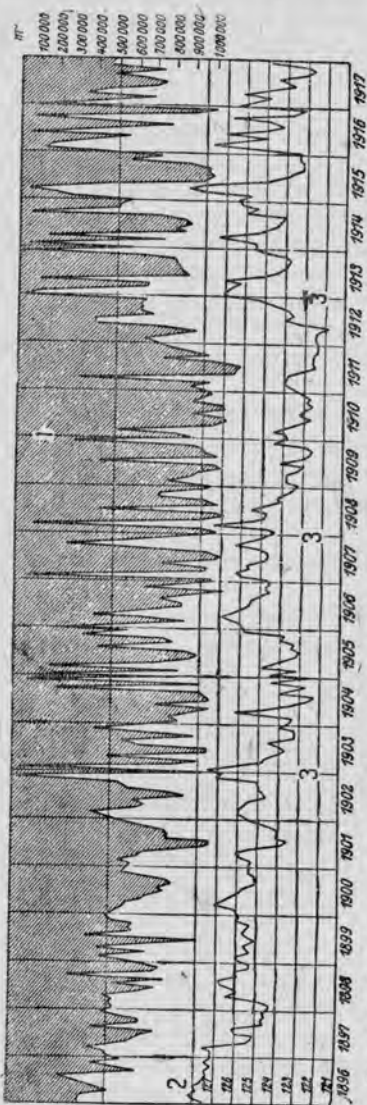


Рис. 201. Кривая добываемого количества воды и уровень воды сборного колодца (1896—1917) второго водопровода города Лейпциг в Наунгофе.

1 — ежегодное количество добываемой воды; 2 — 120 м над уровнем моря; 3 — средние месячные уровни воды в сборном колодце.

### III. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРИ УСТРОЙСТВЕ КАПТАЖА ДЛЯ ГРУНТОВОЙ ВОДЫ

#### 1. ВЫБОР МЕСТА КАПТАЖА

Для выбора места каптажа наряду с гидрогеологическими данными являются решающими: условия рельефа, глубина зеркала воды, высота положения зеркала воды по отношению к месту потребления, отдаленность от района снабжения, род улиц, путей сообщения, сток воды, род владения и т. д.

Неблагоприятные привходящие обстоятельства, не имеющие гидрологического характера, иногда соединяются таким образом, что им приходится по хозяйственным соображениям подчиняться и брать гидрогеологически благоприятное место для каптажа.

Выбранное место для каптажа должно быть до начала постройки точно исследовано бурением и главным образом в тех местах, где возводятся соответствующие сооружения для эксплуатации. Если в случае необходимости сооружения глубоких фундаментов трудности слишком велики (как например при пльвунах, болотистой почве), то должен быть изменен план расположения сооружений.

#### 2. РЕЛЬЕФ ПОВЕРХНОСТИ И ГЛУБИНА ГРУНТОВЫХ ВОД

В качестве благоприятных мест для каптажа являются по возможности вытянутые, плоские поверхности с незначительной глубиной залегания грунтовых вод.

Далее особенно благоприятным местом для каптажа являются равнинные пониженные места поверхности долин, так как здесь из-за

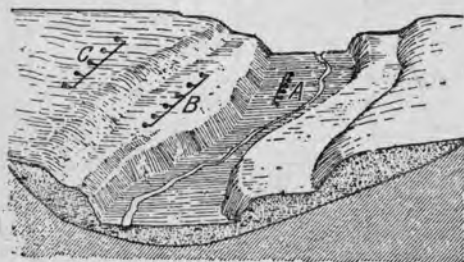


Рис. 202. Расположение каптажей на речных террасах.

сравнительно высокого положения зеркала воды не только предварительные изыскания, но и сооружения каптажа просты и дешевы.

Для сооружения каптажей пригодны также речные террасы, гидрогеологическое значение которых было описано выше. Им предоставляется преимущество в качестве места для каптажа в том случае, когда они не подвержены наводнениям. Если

нужно выбирать между поймой реки *A*, где каптаж лежит в затопляемом районе (рис. 202), и террасами *B* и *C*, то наилучшей площадью для каптажа является неподверженная наводнениям терраса *B*. При недостаточном развитии террасы *B* можно также остановиться на террасе *C*; однако здесь в большинстве случаев зеркало грунтовых вод лежит глубоко. Многие города Рейна и долины Мааса соорудили свои каптажи на нижних террасах.

#### 3. ВЫБОР НАПРАВЛЕНИЯ КАПТАЖА

Между направлением каптажа и направлением грунтовых вод действительны те же соотношения, как между водохранилищами и запрудами, которые прокладываются поперек направления поверхностного потока.

Направление каптажа грунтовых вод должно быть приблизительно перпендикулярным к естественному направлению потока грунтовых вод, т. е. должно пересекать этот поток поперек.

При более длинных каптажных сооружениях целесообразно, принимая во внимание сопротивление, встречающееся во всасывающем трубопроводе, дать оси каптажа против горизонталей грунтовых вод уклон, и именно такой величины, чтобы естественное зеркало в конце каптажа лежало выше сборного колодца на величину, соответствующую сопротивлению. Поэтому при каптаже с двумя отводами необходимо, чтобы в случае прямолинейного направления горизонталей грунтовых вод (рис. 203) отводы лежали не на одной линии, но поворачивали в сторону, вверх по течению. Этим путем достигается для всех колодцев одинаковая величина депрессии.

При незначительном падении грунтовых вод можно в виде исключения придать оси каптажа большой угол к естественному направлению потока и направить послед-



Рис. 203. Схематическое расположение каптажа с двумя отводами, отклоняющегося вверх по течению.

1 — направление течения; 2 — каптаж.

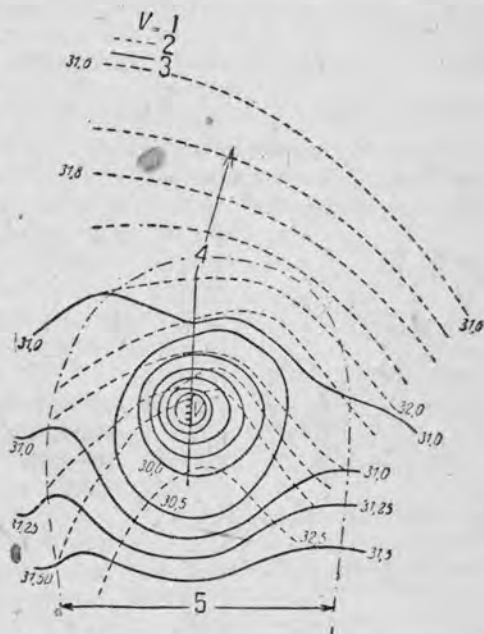


Рис. 204. Ось каптажа по направлению течения грунтовой воды (опытный колодец города Штендаль).

1 — опытные колодцы; 2 — гидроизогипсы естественного уровня грунтовых вод; 3 — гидроизогипсы пониженного зеркала грунтовых вод; 4 — естественное направление течения грунтовой воды; 5 — граница района питания.

ний даже по линии потока, не подвергаясь опасности, что этим мероприятием работе каптажа будет нанесен ущерб.

Так например автор вследствие больших трудностей при покупке участка земли для каптажа был вынужден соорудить каптаж для водопровода города Штендаль приблизительно в направлении потока грунтовых вод. При этом кривые депрессии опытного колодца ясно показали, что депрессионная воронка принимает приблизительно форму, не зависящую от направления потока (рис. 204).

#### 4. КАПТАЖ МЕЖДУ НАРУШЕННЫМИ ГОРИЗОНТАЛЯМИ

Если горизонталы указывают на какие бы то ни было нарушения, то при сооружении каптажа следует такие места избегать, так как неправильности горизонталей могут быть вызваны только наруше-

ниями в водоносном горизонте. Причинами подобных нарушений прежде всего являются: изменение в водопроницаемости, сужение поперечного сечения потока и т. п. Если при неизменяющемся количестве грунтовой воды неправильности падения указывают на изменения водопроницаемости грунта, то более сильный уклон соответствует меньшей водопроницаемости водоносного слоя, а более слабый уклон — более значительной водопроницаемости. На этом основании никогда не следует сооружать каптаж в местах, где горизонталь зеркала грунтовых вод сближаются.

Во многих руководствах высказывается мнение, что целесообразно сооружать каптаж как раз там, где падение грунтовых вод наиболее значительно. Это мнение неправильно, так как в грунтовых потоках

скорость воды  $v = k \frac{dy}{dy}$  зависит не только от падения, но также и от

коэффициента водопроницаемости  $k$ . Чем меньше водопроницаемость, тем больше сопротивление, которое водоносная порода противопоставляет движению, и для преодоления сопротивления требуются тем большие падения. Из приведенной в гл. VI

2 б, j таблицы удельного дебита видно, что меньшим уклоном соответствует большая водопроницаемость.

Так же ошибочен широко распространенный взгляд, что каптаж выгодно сооружать там, где естественное зеркало грунтовых вод образует понижения или повышения.

Если например иметь перед собой повышение (рис. 205), то каптаж  $FF_1$  лежит на водоразделе. Что

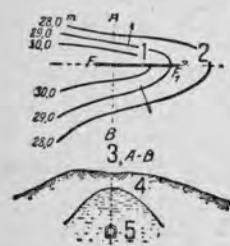


Рис. 205. Положение каптажа в приподнятой складке зеркала грунтовых вод.

1 — каптаж; 2 — во. образцели;  
3 — разрез; 4 — во. образцели;  
5 — каптаж.

такое положение неблагоприятно, не требуется дальнейших доказательств.

Если же, напротив, каптаж  $FF_1$  (рис. 206) лежит в понижении, то значительное падение грунтовых вод указывает или на большое сопротивление или на естественное неблагоприятное питание колодца.

В обоих случаях для естественного движения грунтовых вод необходимо большое падение, так что искусственной, даже значительной депрессией можно достичь лишь незначительного увеличения дебита.

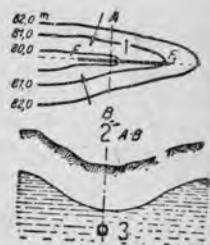


Рис. 206. Положение каптажа в пониженной складке.

1 — каптаж; 2 — разрез;  
3 — каптаж.

## 5. ЗЕРКАЛО КАПТАЖА С СИЛЬНЫМ ПАДЕНИЕМ

В узких речных долинах, в том случае, когда надо получить значительные количества воды, т. е. устраивать длинные каптажи, необходимо располагать ось каптажа в направлении течения реки. Естественным последствием такого положения каптажа является не горизонтальное зеркало каптажа.

Особенности устройства всасывающих трубопроводов при наклонном зеркале воды указаны на стр. 292.

## 6. КАПТАЖ В ГЛУБОКИХ КАНАЛАХ

В виде исключения каптажи устраиваются независимо от направления естественных потоков грунтовых вод в особенно глубоких подземных каналах или в котловинах, заполненных водоносными отложениями, особенно большой водопроницаемости и мощности.

Примерами этого являются каптажи городов Копенгагена близ Лилле-Вейлеа и Мюнхена.

## 7. КАПТАЖ ПРИ ГЛУБОКО ЛЕЖАЩЕМ ЗЕРКАЛЕ ГРУНТОВЫХ ВОД

Если нужно выбирать между глубоко лежащим зеркалом воды, находящимся вблизи района снабжения, и высоко лежащим, которое может быть достигнуто в более отдаленном месте, то указание, которому из обоих мест должно быть дано предпочтение, нужно искать в хозяйственном сравнении еще до начала предварительных изысканий. Подобное сравнение автор дал например для водопровода города Фридеберга.

Если водоносный пласт в районе города лежит приблизительно на глубине 100 м, а естественное зеркало находится округло на 25 м от поверхности земли (рис. 207) и если нужно каптировать потребное для снабжения города количество грунтовой воды, то для этого нужно не только сделать пробное бурение на глубину 80—100 м, но для окончательного каптажа следует заложить 5—6 колодцев одинаковой глубины.

Для эксплуатации колодцы должны быть соединены подземными штольнями приблизительно на глубине 25 м под поверхностью земли. Так как всасывающее действие насосов рассчитано не больше чем на 7 м, то следует весь подъемный трубопровод устроить в подземной шахте, лежащей также на глубине приблизительно в 25 м.

При подобной глубине не только эксплуатация затрудняется, но и расходы по постройке соответственно возрастают.

Расходы, которые требуют работы по отысканию грунтовой воды в районе города, включая стоимость постройки глубоких каптажей и сооружений для эксплуатации, по меньшей мере будут равняться в марках:

5 разведочных бурений . . . . .	9 000
Пробная откачка с компрессором . . . . .	10 000
4 колодца (по 80—90 м глубиной) по 4 000 марок . . . . .	16 000
Подземные штольни . . . . .	20 000
Водоотливная шахта глубиной в 27 м . . . . .	15 000
Дополнительные расходы по подъемным машинам . . . . .	5 000

Итого . . . . . 75 000

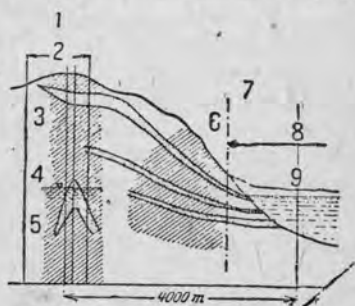


Рис. 207. Схематический разрез района каптажа города Фридеберга.

1 — положение 1; 2 — городской район; 3 — верхний горизонт воды (необильный); 4 — уровень грунтовой воды; 5 — нижний горизонт грунтовой воды (обильный); 6 — край долины; 7 — положение 2; 8 — долина Петце; 9 — уровень грунтовой воды.

Такая высокая стоимость оправдывается лишь в том случае, если совершенно невозможно найти в достаточном количестве безукорызненную воду в более выгодном с хозяйственной точки зрения месте.

Второй район каптажа (2-й вариант) отдален от города приблизительно на 4 тыс. м, однако имеет преимущество в высоко лежащем, легко доступном водоносном горизонте, в менее значительной глубине каптажа и вследствие этого дает значительное удешевление пробных сооружений и расходов по постройке каптажа.

Преодолеть такое большое расстояние между каптажем и городом следует прокладкой железного трубопровода. Стоимость изысканий и сооружения каптажа во втором пункте приблизительно следующая.

Предварительные изыскания, включая стоимость пробной эксплуатации колодецев (в марках): . . . . .	7 000
Каптаж (4 колодца по 500 марок) . . . . .	2 000
Итого . . . . .	9 000

Таким образом по сравнению с водоснабжающим сооружением в районе города экономится 75 тыс. — 9 тыс. = 66 тыс. марок. Этой экономии противопоставляются расходы по проводке воды в город. Расходы по погонному м составляют 10 марок, таким образом на всем расстоянии эти расходы будут равняться  $4 \times 10 = 40$  тыс. марок. Таким образом округло экономится все же 26 тыс. марок.

Из этого следует, что несмотря на отдаление от города второму варианту с хозяйственной точки зрения выгодней дать предпочтение.

### 8. ВЫБОР МЕЖДУ КАПТАЖАМИ С САМОТЕЧНЫМ ВОДОПРОВОДОМ И ИСКУССТВЕННЫМ ПОДЪЕМОМ

В некоторых случаях гидрогеолог стоит перед вопросом, выгодно ли каптировать грунтовую воду столь высоко, чтобы можно было ее провести самотеком к району потребления, или целесообразнее поднять каптируемую воду. В первом случае по общему правилу естественный самотек получается за счет длинных подводящих труб.

Делом гидрогеолога является установить те границы, в пределах которых наклонный трубопровод, идущий издалека, может соревноваться с хозяйственной точки зрения с подъемным сооружением, лежащем вблизи района снабжения. При условии, что разные водоемы равноценны в гигиеническом отношении, всегда следует рекомендовать устройство таких водопроводов, при которых общая сумма, составленная из расходов по сооружению и капитализированных эксплуатационных расходов, будет наименьшей.

Последовательность гидрогеологической обработки отдельных имеющих к выбору участков определяется помощью хозяйственных расчетов, подобных приведенным. Начинать сравнение следует с наиболее выгодных с хозяйственной точки зрения вариантов.

Подобные сравнения лишь в том случае бесспорны, если при этом приняты во внимание все местные условия.

Для сравнения здесь приводится в кратких чертах следующий пример. В распоряжении города имеются для эксплуатации два источника воды, из которых один лежит вблизи города, другой же наоборот

в большом отдалении от него. Вода первого из них должна быть поднута в высоко лежащий бак, вода второго — самотеком течет в резервуар. Высота подъема в первом случае равняется 50 м.

Ниже помещены основные цифры для сравнения выгодности с хозяйственной точки зрения обоих случаев.

Число жителей, принимая во внимание рост населения города . . . . .	20 000
Ежедневное среднее потребление воды на каждого потребителя . . . . .	0,66 м <sup>3</sup>
Высота подъема машин . . . . .	50,0 м
Производительность водопровода на 1 кг угля . . . . .	120,0
Цена 100 кг угля франко котел . . . . .	2,0 марки
Потребность в смазочном материале, пакли, содержание в исправности, выраженное в процентных потреблении угля . . . . .	0,2
Содержание персонала . . . . .	3 000 марок
Текущие расходы по эксплуатации капитализируются из 4%; следовательно множатся на . . . . .	25
Расходы по постройке водопровода . . . . .	40 000 марок
В таком случае расходы по постройке и капитализированные расходы по эксплуатации подъемного сооружения составят:	

$$K = 40\,000 + \frac{20\,000 \cdot 0,66 \cdot 365 \cdot 50 \cdot 2(1 + 0,2) + 3\,000}{120 \cdot 100} \cdot 25 = 208\,075, \text{ кругло} = 210\,000 \text{ марок.}$$

Эту сумму нужно перечислить на стоимость трубопровода. Если труба диаметром в 225 мм доставляет в высоко расположенный резервуар необходимое количество воды при естественном уклоне и если 1 погонный м трубы, включая расходы по прокладке со всеми накладными расходами, обходится в 15 марок, то разделив  $\frac{210\,000}{15} = 14\,000$  м, получим длину трубопровода, не выходя из 210 000 марок, если расходы по подъему и проводке должны взаимно компенсироваться.

Ввиду этого с хозяйственной точки зрения для города совершенно безразлично, поднимается ли искусственно вблизи города вода на высоту 50 м или же проводится водопровод, по которому вода течет самотеком на расстоянии 14 км.

С чисто технической точки зрения предпочтение в этом случае надо дать водопроводу, по которому вода течет самотеком.

Величина расходов по эксплуатации такого водопровода не подвергается колебаниям в зависимости от цен, и кроме того расходы по амортизации значительно меньше, чем при машинном подъеме. Так как диаметр наклонного трубопровода зависит от величины уклона, то вышеприведенный вывод является произвольным.

Падение можно увеличить, диаметр можно уменьшить и таким образом можно увеличить длину водопровода или же можно поступить наоборот.

Часто недооцениваются хозяйственные выгоды получения воды с высот, которое облегчает проводку воды к району потребления самотеком.

Всегда следует включать в район гидрогеологических изысканий и более отдаленные бассейны грунтовых вод.

## 9. СООРУЖЕНИЕ КАПТАЖА ДЛЯ ПИТАНИЯ БЫВШИХ ВОДОПРОВОДОВ С РЕЧНОЙ ВОДОЙ

Гигиенические и прочие преимущества, которыми обладают грунтовые воды, побуждают иногда превратить старый, много лет существующий водопровод с речной водой в водопровод с грунтовой водой.

В таких случаях гидрогеолог, считаясь с состоянием сооружения и эксплуатацией уже существующего водопровода с речной водой, должен будет решить, в какой мере при выборе положения нового каптажа и прочих сооружений он должен принять во внимание уже существующий водопровод.

В какой мере нужно считаться с существующим водопроводом, зависит от его хозяйственной ценности. Если его оборудование, т. е. котлы машины и насосы являются вполне годными, то хозяйственное значение последних растёт, и при сооружении нового каптажа необходимо с этим считаться. Если же наоборот имеем дело с устаревшим водопроводом, который в ближайшее время должен быть заменен новым, то совершенно безразлично, будут ли новые машины помещены в старом водопроводе или в новом.

В таком случае можно новый водопровод с грунтовой водой соорудить там, где целесообразнее по чисто гидрогеологическим соображениям. Новая постройка производится тогда, исходя из положения, что старого подъемного сооружения вообще не существует.

Если возможно заложить новый каптаж для грунтовой воды вблизи старого водопровода и если его машины находятся в хорошем состоянии и обладают достаточной производительностью, то перестройка при остальных благоприятных гидрогеологических условиях может ограничиться заменой забора воды в реке каптажем грунтовых вод. Соединение каптажа с существующим водопроводом проще всего тогда, когда зеркало грунтовых вод и зеркало реки лежат приблизительно на одной высоте. Если же положение естественного зеркала грунтовых вод наоборот значительно глубже положения зеркала реки, приходится поднимать воду, для чего при известных обстоятельствах пригодны старые насосы водопровода с речной водой.

В противном случае должны быть устроены особые насосы. В случае надобности они же могут быть применены для подъема воды и в обезжелезивающую установку.

Если же уровень грунтовых вод имеет довольно значительное падение, то рационально исследовать зеркало грунтовых вод вверх по течению до того места, откуда грунтовая вода смогла бы протекать в водопровод самотеком.

В таких случаях отпадает необходимость подъема воды, что не только исключает необходимость устройства подъемных сооружений, но означает и экономию в расходах при подъеме воды.

Подобную перестройку произвел например автор в Ратиборе. Здесь удалось проследить грунтовую воду по склону горы и настолько высоко ее каптировать, что она самотеком подается в старый водопровод.

## 10. ТЕХНИЧЕСКАЯ НЕВОЗМОЖНОСТЬ КАПТИРОВАТЬ ГРУНТОВУЮ ВОДУ

При устройстве искусственного каптажа всегда предполагается, что водоносный пласт состоит из гидрологически пригодного распределения пластов и такой мощности, чтобы закладка тела каптажа в нём была технически возможна.

Однако бывают также случаи, где сам по себе достаточно мощный водоносный пласт распадается на тонкие слои из крупно- и мелкозернистого песка.

При этом устройство каптажа значительных количеств грунтовой воды невозможно.

Окрестности города Стралзунда представляют собой пример подобных неблагоприятных гидрологических условий. Здесь изысканиями было доказано, что Пюттертейх и Боргвалзее получают вместе под землей 113 л воды в секунду. Вода однако проникает в водоем через дно озера отдельными незначительными струями. Об устройстве каптажа здесь нечего было и думать, и поэтому нужно было отказаться от добычи этих значительных количеств грунтовой воды.

#### IV. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ О КАПТАЖАХ

Каптирование грунтовой воды происходит при помощи особых сооружений, целью которых является собирание и проводка грунтовой воды из водоносного пласта к месту ее потребления. Каптаж воды должен всегда производиться таким образом, чтобы вода не потеряла своих первоначальных хороших свойств.

В зависимости от количества воды, подлежащей каптированию, отдельные каптажи соединяются в одно целое каптажное сооружение.

Своеобразие конструкции каптажей, применяемых в каждом отдельном случае, зависит главным образом от гидрогеологических условий, которым они должны соответствовать.

В гл. VI<sub>2</sub> п. 2, *k* было объяснено, при каких особых условиях следует отдавать предпочтение вертикальным или горизонтальным каптажам.

В качестве вертикальных каптажей являются трубчатые и шахтные колодцы: в качестве горизонтальных — водосборные галлерей, штольни и т. п.

#### V. ТРУБЧАТЫЕ КОЛОДЦЫ

##### 1. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Трубчатые колодцы устраиваются из труб сравнительно небольшого диаметра. Они опускаются в землю почти всегда при помощи бурения.

Питание трубчатых колодцев по общему правилу происходит через проницаемые с просверленными отверстиями стенки колодца. Внизу колодец заканчивается крепким сплошным дном.

Размер диаметра буровых колодцев сильно колеблется. Встречаются колодцы с диаметром от 50 до 500 мм и более.

Как мы уже говорили в гл. IX, 8, самым выгодным в хозяйственном отношении диаметром для трубчатых колодцев в большинстве случаев оказался диаметр в 200—250 мм. При таком диаметре колодца на сооружение его требуются наименьшие затраты, и получается наибольший дебит.

Трубчатые колодцы применимы в тех случаях, когда водоносные пласты имеют достаточную мощность и производительность. Трубчатыми колодцами можно пройти водонепроницаемые пласты большой мощности и при добыче воды можно не ограничиться одним только го-

ризонтом воды, но одним сплошным трубопроводом можно связать несколько лежащих друг над другом горизонтов воды.

Существенными преимуществами трубчатых колодцев являются следующие: скорое и дешевое их сооружение, пригодность для любых пород, возможность вынуть трубы из земли, если бы потребовалось убрать колодец. Благодаря этому, если цель бурения не достигнута, строительный материал не пропадает.

Эти преимущества привели к тому, что трубчатые колодцы почти повсеместно вытеснили шахтные колодцы. Это относится главным образом к большим городским и промышленным каптажам.

## 2. АБИССИНСКИЕ КОЛОДЦЫ

Самым простым трубчатым колодцем является абиссинский колодец, называемый также нортоновским.

Колодец этот сооружается забивным способом. Он сооружается только для временной надобности там, где нужно скоро добыть воду



Рис. 208. Абиссинский или нортоновский колодец.

и где водоносные пласты не залегают слишком глубоко и состоят преимущественно из рыхлого песка. Он обладает тем преимуществом, что его легко можно вынуть из земли и вновь заложить на новом месте. Поэтому он очень удобен при изысканиях, при передвижении войск и т. п. Он очень непрочен, потому что легко засоряется. Особенно скоро засоряется он тогда, когда приходится проходить глинистые породы его, причем засоряются отверстия фильтровой сетки, которые нельзя прочистить промывкой. В таком случае можно помочь делу только извлечением трубы для прочистки. При этом уже нужно считаться с тем, что при новой забивке труб опять может произойти засорение. Нортоновский колодец не дает возможности судить о составе пройденных пород. Поэтому при заложении его надо знать заранее о строении и глубине водоносного пласта. Иначе только случайно при применении такого рода колодца можно пасть на обильный водоносный пласт.

Нортоновские или абиссинские колодцы можно делать до 20 м глубины и до 25 мм в диаметре. Они состоят из железной трубы, нижняя часть которой снабжена отверстием и острием. При мелких песках часть трубы, снабженная отверстиями, обтягивается особыми сетками. При забивании трубы в землю необходимо соблюдать известную осторожность, чтобы сетка не попортилась. Для сохранения сетки от повреждений острие трубы снабжено особым выступом (рис. 208).

Для забивания труб применяются особые козлы (рис. 209). Бабьют по хомуту, который по мере углубления трубы в землю переставляется все выше и выше.

Донна рекомендует при изысканиях для военных нужд помещать все оборудование для устройства абиссинских колодцев на особо приспособленной тележке (рис. 210), колеса которой могут закрепляться специальными тормозами. Оборудование это при передвижении лежит на тележке и для работы поднимается при помощи особого

станка. На тележке помещаются все нужные инструменты, а также может помещаться и промывочное приспособление, служащее для опускания труб.

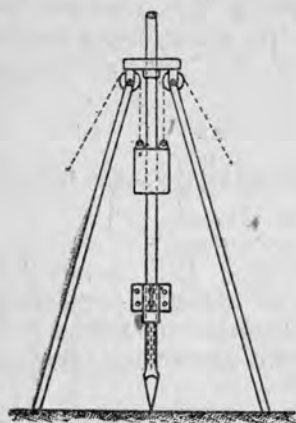


Рис. 209. Способ забивания абиссинских колодцев.

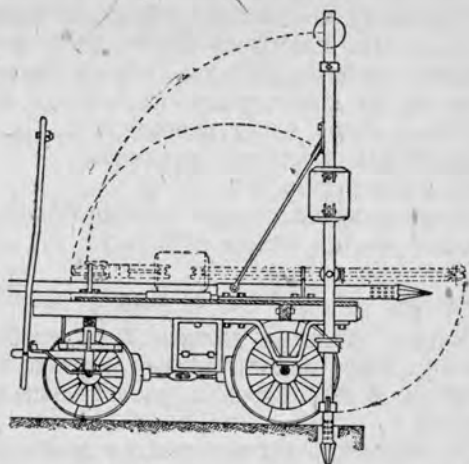


Рис. 210. Оборудование для устройства абиссинских колодцев, помещенное на особой тележке (по Доина).

### 3. БУРОВЫЕ ТРУБЧАТЫЕ КОЛОДЦЫ

Сравнительно дешевое и простое сооружение буровых трубчатых колодцев привело к тому, что их с успехом можно применять как для временного, так и для постоянного водоснабжения.

Как сооружение временного характера буровые колодцы играют значительную роль при временном понижении грунтовых вод, например при заложении котлованов в водоносных грунтах. Пригодность их в этом случае объясняется не только дешевизной их сооружения, но и той легкостью, с которой они могут быть извлечены из земли и использованы в другом месте.

### 4. ОБОРУДОВАНИЕ ТРУБЧАТЫХ КОЛОДЦЕВ

#### а) Фильтр

Самую важную часть трубчатого колодца составляет так называемый фильтр, т. е. нижняя его часть с просверленными в трубе отверстиями, через которые проникает вода из водоносной породы в колодец.

Если фильтр должен исполнять свое назначение долгое время, то он должен быть подобран тщательно в зависимости от местных условий. Совершенно ошибочно считать, что один какой-нибудь род фильтра пригоден во всех случаях.

По техническим и гигиеническим соображениям верхний край фильтра должен по крайней мере на 1 м лежать ниже пониженного зеркала воды. Это требуется потому, что в противном

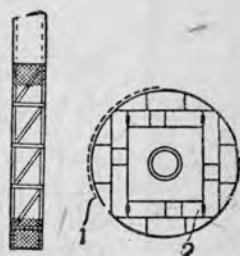


Рис. 211. Деревянный фильтр (по Стэн-Ван-Оммерн).

1—сетка; 2—изоляция смолой.



**Ф о р б а т** (Forbat) описывает постоянный колодец с фильтрами в 200—270 мм в диаметре, сделанными из лиственницы. Эти деревянные фильтры переходят в нормальные чугунные трубы.

#### д) Гончарные каркасы фильтров

При незначительных сравнительно глубинах достаточно стойкими против агрессивного действия щелочных и кислотных вод оказались гончарные фильтры. Рисунок 213 изображает спроектированный автором гончарный колодец в 15 м глубиной. Отдельные части фильтра длиной в 1 м в стыках соединены асфальтом. Так как такое соединение не может выдержать напряжение на растяжение, то под каждой муфтой устроены особые хомутики, через которые проходят особые якоря из круглого железа. Это приспособление предохраняет колодец также и от поломок в буровой скважине.

Шевен сконструировал гончарный колодец, снабженный особыми косыми щелями, предохраняющими его от заноса песком (рис. 214). Такие гончарные колодцы диаметром в 650 мм вполне оправдали себя на практике.

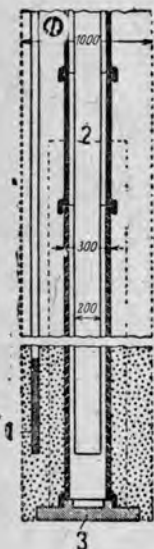


Рис. 214. Гончарный фильтр по Шевену.

1 — наблюдательная труба; 2 — всасывающая тр (а); 3 — бетонная плита.

#### е) Железные каркасы фильтров

Самый простой железный каркас фильтра состоит из свитого спирально полосового железа (рис. 215) или же из железного остова, скрепленного поперечными кольцами, как то видно на рисунке 193.

Подобные простые сооружения, так же как и описанный на стр. 270 фильтр, годятся больше для предварительных изысканий и для строительных работ, при которых колодец работает только временно и потом вновь извлекается из земли.

Часто применяются также и железные каркасы с просверленными отверстиями и щелями (рис. 216). Железные

фильтры однако очень непрочны, так как они легко разрушаются кислотами, содержащимися в воде. Ввиду этого всегда следовало бы применять железо.

Если применяется оцинкованный каркас, то необходимо, чтобы оцинковка производилась после пробивки в каркасе отверстий. Это требуется для того, чтобы и края отверстий были покрыты цинком.

Рисунки 217 и 218 представляют собой два железных американских фильтра с узкими щелями, спроектированные Бауманом (Baumann) и применяемые без сеток.

На рисунке 217 изображен так называемый фильтр Лейна, на рисунке 218 — фильтр Кока; оба эти фильтра запатентованы и отличаются большой прочностью и не так легко засоряются.



Рис. 215. Рама фильтра, сделанная из полосового железа.

В водопроводе города Рамбулье применяются многоугольные фильтры, спроектированные Липманном. Фильтр этот (рис. 219) по описанию Динера состоит из ряда спаянных, согнутых под тупым углом колодок, в которые пропущены особые фильтровальные пластины с отверстиями, соответствующими величине зерен водопосной породы.

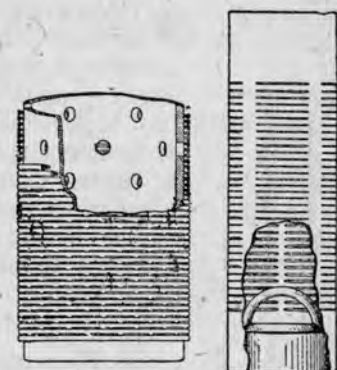
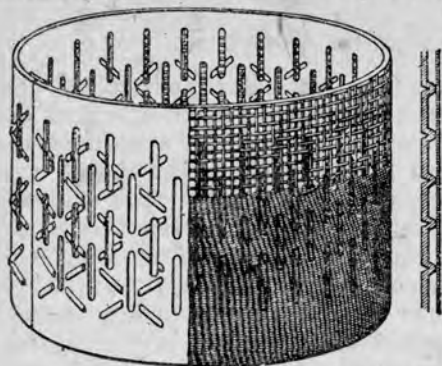


Рис. 217. Фильтр Лейна (по Бауману). Рис. 218. Фильтр Кока (по Бауману).

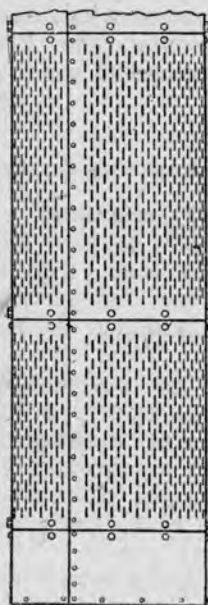
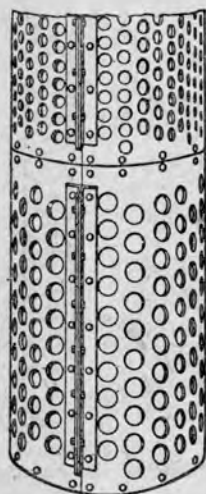


Рис. 216. Фильтры из железа с отверстиями.

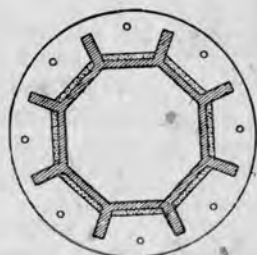


Рис. 219. Многоугольный фильтр (по Липманну).

### г) Чугунные каркасы фильтров

Чугунные фильтры выделяются среди других фильтров своей дешевизной и прочностью. Поэтому этот вид фильтров особенно пригоден для больших водопроводов. Он был введен в употребление А. Тимом и получил большое распространение не только в Германии, но и за границей.

Трубчатый колодец Тима (рис. 220) состоит из чугунного остова с прямоугольными отверстиями. Он составляется смотря по надобности из отдельных кусков от одного до трех метров длины каждый.



На это явление будет обращено особое внимание в главе «Долговечность каптажных сооружений».

Если нельзя обойтись без металлов, возбуждающих гальваническую токи, то безусловно необходимо заботиться о том, чтобы во всех точках соприкосновения их между собой они были надежно изолированы.

### 1) Многоярусные фильтры

Многоярусные фильтры применяются там, где водоносные пласты неоднородны, а состоят из пород крупнозернистых, перемежающихся с мелкозернистыми, или же где водоносные горизонты разделяются водонепроницаемыми пластами. В таких случаях используют для каптирования воды крупнозернистые пласты или различные горизонты и соединяют отдельные части фильтра трубами со сплошными стенками. Многие водопроводы, как например водопровод города Вормс, имеют фильтры подобного рода. В вормском водопроводе включены 4 фильтра, расположенные друг над другом.

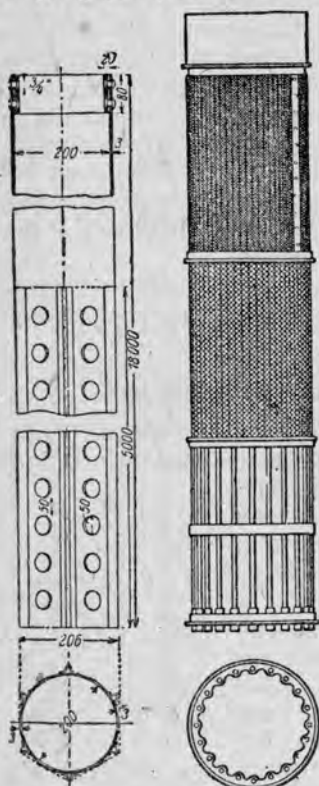


Рис. 222. Медный фильтр.

Рис. 223. Латунный фильтр (по Дезонису и Якоби).

### к) Предохранение колодцев от засорения песком

#### а) Общие замечания

Только в том случае фильтр может доставлять достаточное количество воды, когда в нем нет песка, когда другими словами он весь наполнен только одной водой. Если каким-нибудь образом в фильтр попадает песок, то часть площади  $H$  уменьшится на величину  $h$ , то есть на ту часть фильтра, которая засорилась. Вследствие этого увеличится скорость, с которой вода поступает в фильтр, и благодаря этому ускоряется



Рис. 224. Засоренный песком фильтр.

дальнейший процесс засорения, пока наконец весь фильтр не наполнится песком и перестанет давать воду.

Только там, где водоносный пласт состоит из твердой трещиноватой или же из крупнозернистой породы, каркас фильтра может без особых приспособлений предохранить тело каптажа от заноса песком. Но это бывает только в виде исключения. В подобных случаях стенку фильтра с просверленными отверстиями или щелями можно оставить без предохранительного покрова.

Ставить фильтры с незащищенными отверстиями можно только в крупнозернистом песке или гравии. Величина зерен в 2—4 мм

может считаться для этого минимальной величиной. Если зерна водоносного пласта будут мельче, то фильтр может быть предохранен от засорения только посредством особых защитных приспособлений. Таковыми могут быть особые сетки и засыпка из гравия.

Чаще всего на практике в виде защитного средства от запаса псском применяются сетки.

### 3) Сетки

Сетки для постоянных колодцев должны всегда делаться из особо стойких металлов, т. е. из меди или хотя бы из латуни.

Предпочтение следует отдать меди ввиду ее вязкости и способности противостоять разрушающим действиям воды; обыкновенно медная сетка еще и оцинковывается. Для сеток применяется также и фосфористая бронза.

Так как дебит колодца и его долговечность главным образом зависят от правильно подобранной величины ячеек сетки, то необходимо обращать самое серьезное внимание на правильный выбор ее. Сетка является посредником между водоносной почвой и фильтром, и так как величина зерен водоносного пласта сильно меняется в зависимости от места и глубины, то в каждом отдельном случае величина ячеек сетки должна приравливаться к величине зерен.

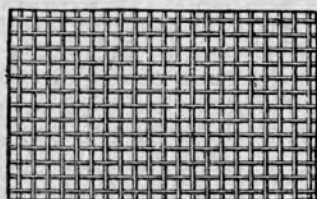


Рис. 225. Простое квадратное плетенье.

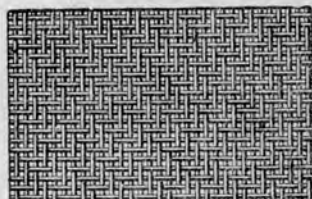


Рис. 226. Киперное плетенье.

Если водоносная порода крупнозерниста, а ячейки сетки малы, то создается колодец с слишком большим сопротивлением, что влияет на дебит, и наоборот при мелком песке и больших ячейках всегда рискуешь получить колодец, который скоро засорится и перестанет работать.

К сожалению на практике редко обращают на это внимание и профессиональные строители колодцев держат на складе обычно только один сорт так называемого галунного плетения и им снабжают всякий фильтр независимо от того, предназначается ли он для крупнозернистой или мелкозернистой породы. Следствием такого отношения к делу получаются маломощные или легко поддающиеся засорению колодцы.

До выбора величины ячеек сетки следовало бы всегда производить механический анализ пробуренных буром пород хотя бы самым грубо приближенным способом на ситах. Целесообразность подбора диаметра ячеек фильтровой сетки по величине зерен водоносной породы является несомненной. Диаметр ячеек может быть признан правильным, когда при просеивании приблизительно 50—60% грунта задерживаются ячейками. Задержанные ячейками частицы грунта образуют

за сеткой естественный фильтр, который хорошо предохраняет колодец от засорения. Проскочившие через сетку фильтра мелкие частицы песка должны быть тщательно удалены из него.

Наиболее употребительными при сооружении колодцев плетениями сеток являются: простое плетение (так называемое квадратное плетение), киперное плетение и галунное плетение.

Простое плетение состоит из перекрещивающихся под прямым углом проволок (рис. 225) и обыкновенно применяется при крупном песке и гравии или же в виде подкладки для более мелких сеток.

Под киперным плетением понимается плетение, при котором нити утока вертикально или косо перекрещивают ряды, причем между переплетениями известное число нитей свободно ложится одна возле другой.

Тем что нити лежат совершенно свободно, достигается мягкость сетки и большая водопроницаемость. Наиболее подходящей толщиной для проволоки считается толщина от 1 до 2,5 мм.

Такая проволока обладает достаточным сопротивлением как на разрыв, так и в отношении разрушительных свойств воды. Оба эти вида плетения принято выражать в миллиметрах толщины проволоки и ширины ячеек.

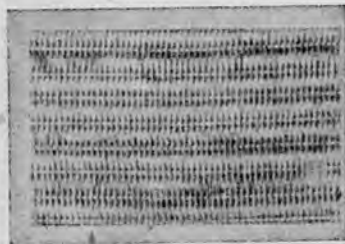


Рис. 227. Галунное плетение.

Галунное плетение (рис. 227) делается таким образом, что отдельные нити плетения винтообразно обтягиваются плоской проволокой, благодаря чему получается сетка с особенно мелкими ячейками. Галунное плетение отличается по номерам. Если на 1'' = 26 мм идет 10 составных нитей, то такое плетение помечается № 10 и т. д. Особый покров фильтра образуют свитые в виде каната тонкие проволоки (2—3 штуки), которые плотно обвивают весь фильтр.

Таким путем образуется очень плотный покров, который прочнее галуна и годится тоже для мелкозернистого грунта.

Для укрепления сетки на каркасе фильтра применяются пайка, дратва и шины. При тонком плетении выгодно для прочности под такую сетку натянуть вторую сетку с большими ячейками или же натянуть вторую сетку поверх первой для предохранения ее от повреждений.

Того же результата можно достигнуть с проволочными спиралями.

#### γ) Засыпка из песка и гравия

Засыпка из гравия часто делается при мелкопесчаной водоносной породе вместо сетки или же для образования сильно водопроницаемой оболочки большого диаметра.

С гидрологической точки зрения ничего нельзя возразить против подобных мероприятий, когда речь идет о мелкозернистых песках, так как ими в известной степени увеличивается диаметр колодца и уменьшается входная скорость воды. Применение этих мероприятий очень выгодно при плавучих мелких песках ввиду грозящей в этих случаях опасности заноса колодца песком.

Однако часто злоупотребляют обсыпкой трубчатых колодцев гравием, когда ее применяют и там, где подпочва состоит из крупнозернистого материала. В последние годы почти вошло в обычай считать засышку гравием всеисцеляющим средством против частичного или полного засорения колодца. При этом совершенно не принимается во внимание, что причину истощения многих колодцев надо в большинстве случаев искать в режиме самого водоносного пласта и что предотвратит это явление засышкой из гравия невозможно. Переоценка гравийной засышки является тем досаднее, что стоимость сооружения колодца с засышкой обыкновенно обходится в 10—20 раз дороже простого трубчатого колодца, который при умелом сооружении и при правильном приспособлении к составу водоносного горизонта почти не уступает в работе первому.

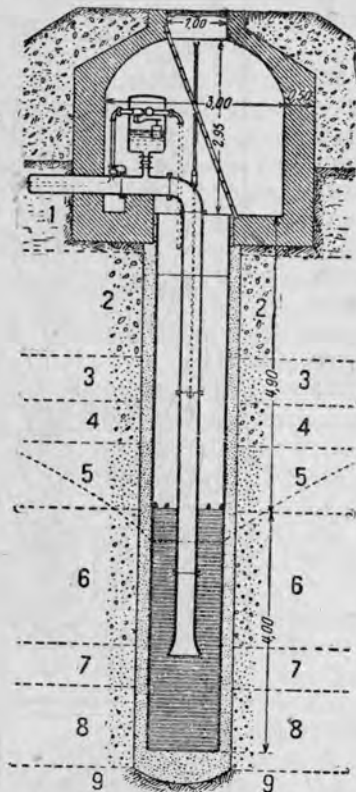


Рис. 228. Колодец с засышкой из гравия в городе Люцерне (по Штирнеману).

1 — илестый песок; 2 — камни, гравий и крупный песок; 3 — крупный песок; 4 — гравий и песок; 5 — крупный песок; 6 — гравий и песок; 7 — крупный песок; 8 — гравий и песок; 9 — водонепроницаемый пласт.

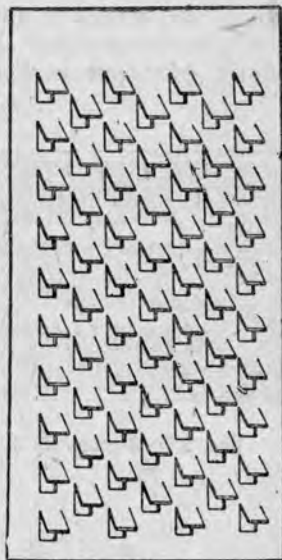


Рис. 229. Фильтр с перекрытыми щелями (по Гарде).

По описанию Штирнемана колодцы с засышкой из гравия имеет водопровод в городе Люцерне. Колодцы состоят из трубы в 1 000 мм в свету, окружены засышкой из гравия слоем в 1 200 мм, оболочка же состоит из гравия с зернами величиною в 12—15 мм. Такая величина зерен была избрана ввиду наличия крупнозернистого пласта в этом месте.

Фильтр с навесами над боковыми отверстиями, наиболее пригодный для таких колодцев, есть так называемый фильтр Гарде (рисунок 229) (Д. Р. Р.).

Рис. 230 изображает запатентованный Ф. Гофом (V. Hof) фильтр, снабженный над щелями особыми предохранительными навесами.

Рис. 231 представляет собой запатентованный Рутзатцем, состоящий из отдельных колец фильтр для колодцев с засышкой из гравия.

Такие колодцы могут быть железными, чугунными и гончарными. Они обладают тем преимуществом, что из них можно сделать и совсем короткие фильтры.

Благодаря своим особенностям заслуживает особого внимания фильтр с засышкой из гравия, сконструированный Крачевским (рисунок 232). Фильтр этот состоит из асфальтированных чугунных колец, которые на поверхности земли могут быть собраны в фильтр любой длины и также на поверхности земли могут быть наполнены гравием соответствующей зернистости (до трех слоев разной крупности зерен). Преимущество подобных фильтров состоит в том, что

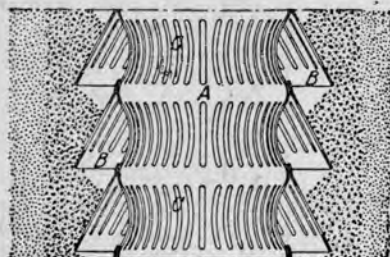


Рис. 230. Фильтр по Ф. Гофу.

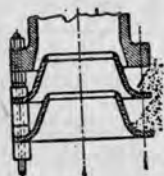


Рис. 231. Фильтр Рутзатца.

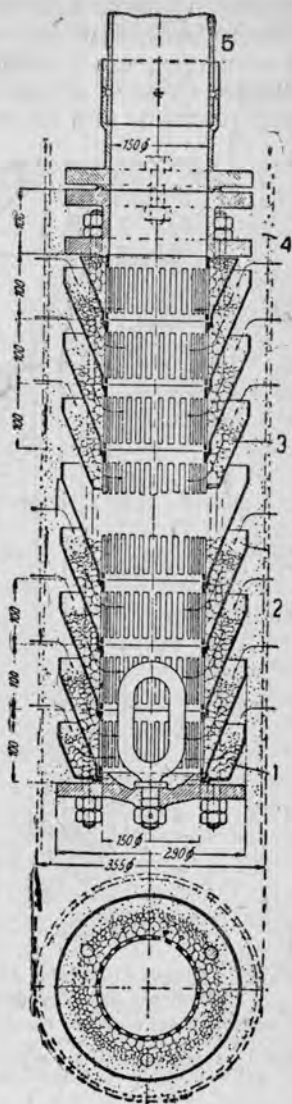


Рис. 232. Карманный фильтр

1 — засышка из грубого гравия; 2 — засышка из мелкого гравия; 3 — засышка из сре него гравия; 4 — засышка гравием; 5 — патрубок.

наполнение гравием производится на поверхности земли и что вытягивание обсадных труб после сооружения колодца не отражается на состоянии засышки из гравия. Кроме того при таком фильтре можно обойтись небольшим диаметром бура, потому что вместо горизон-

тального, радиального входа, как при обыкновенных колодцах с за-  
сыпкой из гравия, тут имеется более длинный наклонный радиаль-  
ный входной путь.

### 1) Обсадные трубы

Неводопосные пласты и пласты, содержащие воду, которая по  
каким-либо причинам не должна попасть в каптаж, изолируются  
цельными обсадными трубами.

Для изготовления обсадных труб применяются главным образом  
железо и чугун. Медь и бронза применяются редко потому, что об-  
садные трубы часто очень длинны и потому применение дорогих ме-  
таллов значительно увеличило бы затраты на сооружение колодца.

При сооружении колодцев часто собственно буровые трубы при-  
меняются как обсадные. В подобных случаях буровые трубы не из-  
влекаются из земли во всю длину скважины, а ограничиваются подь-



Рис. 233.  
Фильтр с  
надставной  
трубой.  
1—фильтр.

емом только настолько, насколько это  
необходимо, чтобы фильтр стоял свобод-  
но. Следствием этого способа является  
то, что фильтр *F* (рис. 233) не соединен  
плотно с обсадной трубой *R* и только  
свободно в него входит. Для того чтобы  
помешать засорению фильтра через за-  
зор *b*, на фильтр надевается надставная  
труба длиной от 1 до 5 м. Целесообразно  
заделать зазор резиновым кольцом, ко-  
торое при помощи винтообразной кор-  
зинчатой накладке настолько сильно  
сдавливается, что зазор *b* герметически  
закрывается и не пропускает песка  
(рис. 234).

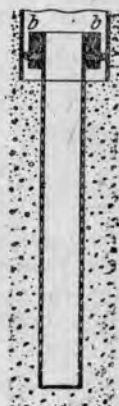


Рис. 234. Изоля-  
ция фильтра от  
обсадной трубы  
при помощи ре-  
зинового кольца.

Если ослабить прокладку *b*, то фильтр  
может быть вытянут из колодца. Однако  
ввиду того что иногда буровые трубы  
очень плотно сидят в грунте, удастся ли  
потом довести буровую скважину до

прежней глубины — зависит от свойств горных пород.

Отрицательная сторона этого способа заключается в том, что  
железные и стальные буровые трубы очень дороги. Гораздо дешевле  
оборудовать всю буровую скважину чугунными обсадными трубами  
и прочно соединить с ними фильтр, чтобы весь колодец представлял  
собой одно монолитное целое.

При этом способе извлечь на поверхность земли фильтр можно,  
только вытянув весь колодец.

### 2) Всасывающие трубы

Трубчатые колодцы можно строить так, чтобы обсадная труба  
заменила собой всасывающую трубу. Благодаря этому можно обой-  
тись без особой всасывающей трубы. Такое устройство имеет однако  
тот недостаток, что во время эксплуатации колодца внутренность его  
недоступна и не может быть использована для производства наблю-  
дений. Поэтому рекомендуется употреблять всегда особые всасываю-  
щие трубы.

Всасывающие трубы даже при небольшой высоте отсасывания должны быть всегда опущены на 1 м глубже самой большой депрессии зеркала воды, так как только в таком случае устраняется опасность образования воздушной пробки.

Для всасывающих труб лучшим материалом оказалась медь, почему она может быть рекомендована особенно для городских водопроводов.

#### п) Устье колодца

Верхний конец каждого трубчатого колодца составляет устье колодца.

Устье колодца должно быть по возможности просто и легко доступно. Оно соединяет колодец с сетью водопровода и снабжено запором и прочей арматурой, необходимой для эксплуатации колодца.

Простейшее оборудование устья колодца состоит из колена в 90° (рис. 235). Нецелесообразно делать устье колодца в виде воздушного мешка (рис. 236), так как в нем могут скопиться газообразные выделения воды (воздух, углекислота, сероводород). При большой серии колодцев, после продолжительного перерыва в работе может скопиться так много газа, что может произойти разрыв сифонного столба воды. Следовало бы всегда снабжать устье колодца осо-

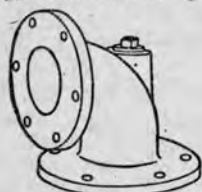


Рис. 235. Устье колодца с подпоркой для наблюдательной трубы.

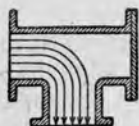


Рис. 236. Устье колодца с воздушным мешком.

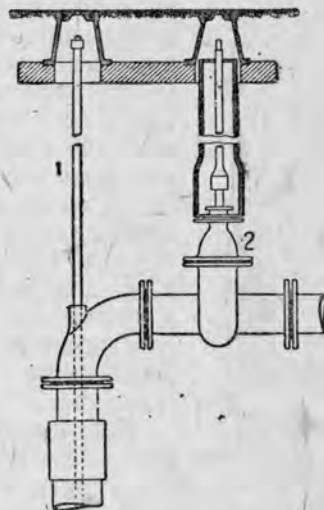


Рис. 237. Устье колодца с шибром.  
1 — наблюдательная труба; 2 — заслонка (шибер).

бой стойкой для прикрепления наблюдательной трубы. Наблюдательная труба нужна для производства измерений уровня воды внутри колодца и может служить также для отбора проб воды (рис. 235).

Нижний конец наблюдательной трубы ввиду неизбежных колебаний зеркала следует также опустить по меньшей мере на 1 м ниже самого низкого уровня воды. В противном случае возможно, что при открывании отверстия наблюдательной трубы во всасывающую трубу попадет воздух.

Надземное оборудование колодца можно уложить без особого ограждения или прямо в землю или же, если хотят иметь к нему свободный доступ, ее можно поместить в особой легко доступной шахте.

При трубчатом колодце системы Тима (рис. 241) устье заложено в земле. Такой колодец применяется в очень многих водопроводах.

На поверхности земли колодец завершается обыкновенной уличной крышкой, откуда можно пользоваться вентиляем, а также производить измерения уровня воды в колодце.

Устье колодца можно сконструировать и так, что для запора воды можно было бы пользоваться и простой задвижкой (рис. 237).

Если, руководствуясь особыми соображениями (например частая чистка колодца, удаление песка и т. п.), придают большое значение легкому доступу в колодец, то важно соорудить устье так, чтобы можно было проникать внутрь колодца. Для этой цели лучше всего довести трубу колодца до основания, не меняя ее диаметра, и на поверхности земли покрыть ее сверху колоколом.

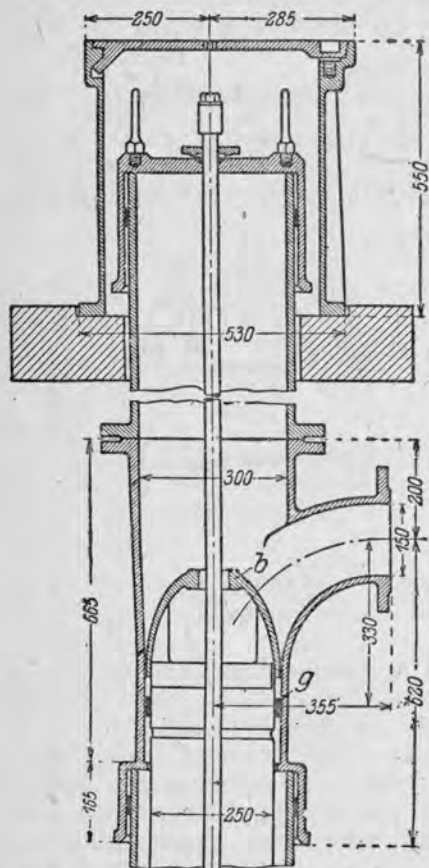


Рис. 238. Устье колодца с легким доступом внутрь колодца (по Г. Тиму).

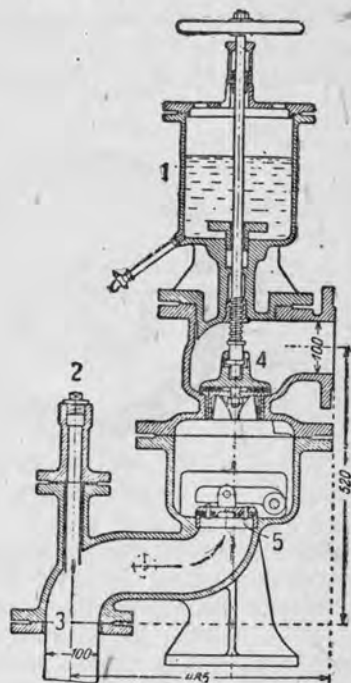


Рис. 239. Устье колодца пражского водопровода.

1 — водный колокол; 2 — наблюдательная труба; 3 — всасывающая труба; 4 — вентиль; 5 — обратный клапан.

Подобные легко доступные конструкции устьев колодцев были даны между прочим Г. Тимом и Фелитшем. Рисунок 238 изображает конструкцию Тима. По удалении запорного колокола и наблюдательной трубы внутренность колодца становится вполне доступной и не требует для этого дальнейших мероприятий. Другой особенностью этой конструкции является то, что всасывающая труба тоже легко может быть извлечена. Труба эта при помощи скобы *b* может быть опущена и извлечена канатом или особой цепью. Плотное соединение

насосной трубы со стенкой колодца производится при помощи резинового кольца *g*.

Рисунок 239 представляет собой устье колодца, помещенное в особой шахте. Такое устройство неоднократно сооружалось автором.

Входные шахты при буровых колодцах, в особенности когда они находятся в местах, подверженных наводнениям, нужно делать обязательно водонепроницаемыми; они должны быть выведены выше самого высокого ожидаемого уровня воды при половодье. Для того чтобы при извлечении трубчатого колодца, выходящего в шахту, не повредить шахты, нужно в дно шахты вставить особые колоколообразные патрубki (рис. 242), через которые тело колодца проходит в грунт.

### о) Прочая арматура устьевых частей колодца

При всех запорах, снабженных сальником, в особенности когда имеется ряд колодцев и сифонов, для того чтобы в сальник не пошло наружного воздуха, рекомендуется оборудовать сальник особым

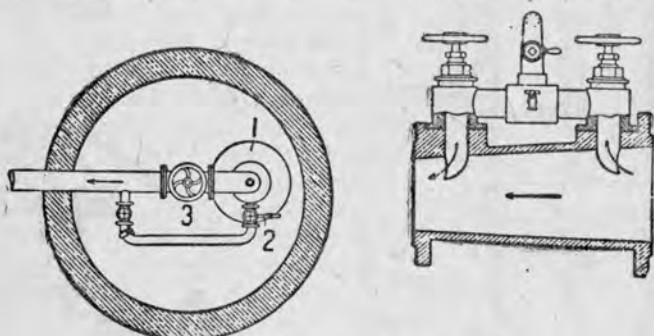


Рис. 240. Прибор для отбора проб воды.

1 — устье колодца; 2 — воздушный кран; 3 — сточный кран.

колоколом, чтобы он всегда был под гидравлическим запором. Такое устройство видно на рисунке 239, изображающем устье колодца пражского водопровода, сооруженное по проекту автора.

Очень важно, чтобы каждый колодец был снабжен особым приспособлением для отбора воды. Удобное приспособление для отбора проб воды состоит в следующем. Всасывающий трубопровод просверливается в двух местах. Отверстия соединяются циркуляционным трубопроводом диаметром около 20—25 мм. Трубопровод этот должен изолироваться при помощи двух кранов и должен быть снабжен воздушным краном и стоком. Подобное приспособление для отбора воды было изобретено Рейхле (рис. 240). Оно имеет то преимущество, что при системе колодцев, имеющих один общий всасывающий трубопровод, во время работы трубопровода можно брать пробы воды из каждого колодца в отдельности. Для того чтобы взять пробу, сток и воздушный кран обтирают 80-градусным спиртом, зажигают его и после запора крана циркуляционного трубопровода открывают воздушный кран и набирают воду в стерильный сосуд.

Примеры хорошо оборудованных колодцев даны на рисунках 241 и 242.

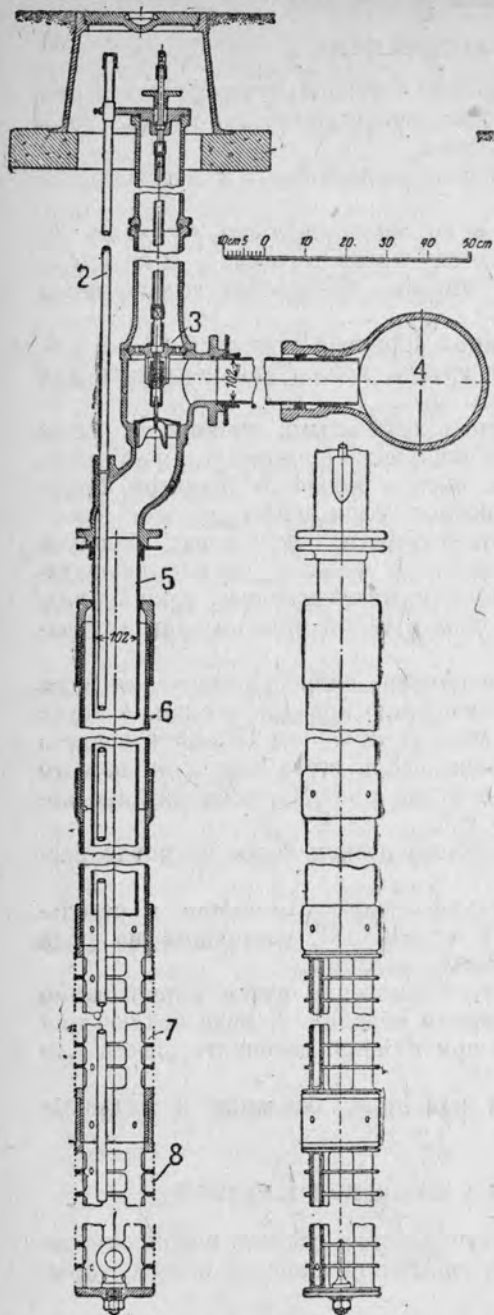


Рис. 241. Трубчатый колодец Тима.

1 — бетон; 2 — измерительная труба (медная); 3 — вентиль; 4 — подъемный кабель; 5 — железная всасывающая труба; 6 — обсадная труба; 7 — фильтр; 8 — медная проволочная сетка.

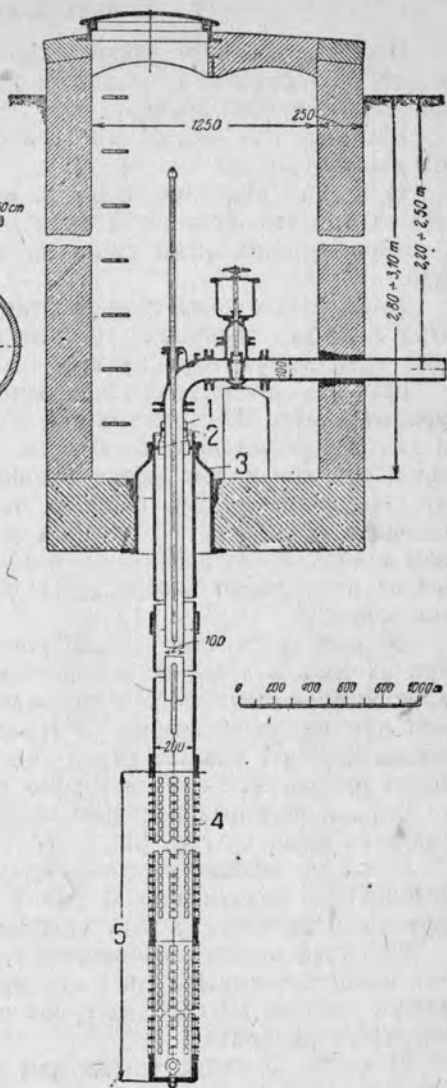


Рис. 242. Трубчатый колодец Принца.

1 — манжета; 2 — резиновое кольцо; 3 — колок; 4 — оцинкованная железная труба; 5 — фильтр 5,0 м длины.

## VI. ШАХТНЫЕ КОЛОДЦЫ

### 1. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Шахтные колодцы имеют настолько большой диаметр, что в них можно проникнуть. Глубина их довольно ограничена: глубже 30 м шахтные колодцы сравнительно редки.

Шахтные колодцы бывают с водопроницаемыми и с водонепроницаемыми стенками.

Если дно шахтного колодца с водопроницаемыми стенками открыто, то питание колодца происходит также через дно. В колодцах с водонепроницаемыми стенками питание происходит только через дно.

Нормальным диаметром для таких колодцев считается 1,5—3,0 м. При тяжелых условиях строения грунта можно рекомендовать для них наибольшую глубину в 15—20 м.

Шахтные колодцы сравнительно с трубчатыми имеют следующие преимущества. Во-первых, в них можно легко проникнуть, во-вторых, в них можно установить глубокие насосы большого диаметра, в-третьих, они при малом дебите водоносного слоя действуют как резервуары-регуляторы, и наконец, в-четвертых, вследствие большой площади инфильтрации входная скорость фильтрации воды в шахтном колодце имеет небольшую величину, благодаря чему такие колодцы не подвержены засорению песком в такой степени, как трубчатые колодцы.

Во многих случаях однако уменьшение скорости движения воды при входе в колодец не мешает засорению колодца песком, и тогда приходится и шахтные колодцы защищать от заноса. Это производится или при помощи засыпки из гравия вдоль всего водопроницаемого остова колодца или же укреплением дна колодца, если питание колодца производится только через дно.

Охрана шахтных колодцев от заноса песком более подробно рассмотрена нами на стр. 311.

Большей частью шахтные колодцы эксплуатируются в отдельности. При сооружении больших водосборов, состоящих из ряда колодцев, выгоднее делать трубчатые колодцы.

Шахтный колодец сооружается обыкновенно путем выкапывания или вычерпывания грунта и опускания обделки. В виде исключения можно удалять из колодца грунт при помощи песочного насоса или струйного аппарата.

Шахтные колодцы устраивают каменные, бетонные и железные и с деревянным срубом.

### 2. ШАХТНЫЕ КОЛОДЦЫ С КАМЕРНОЙ КЛАДКОЙ

Для того чтобы стенки каменного колодца сделать водопроницаемыми, проще всего оставить вдоль смоченной площади стенок открытые сквозные пазы.

Каменную кладку следует всегда класть на хорошем цементном растворе. Так называемая сухая кладка абсолютно недопустима. Также недопустимо законопачивание швов мохом и паклей, как то часто практикуется в сельских местностях. Подобный способ производства работ неблагоприятен в санитарном отношении, так как

ведет к быстрому произрастанию водорослей, трудно поддающихся уничтожению, и к другим затруднениям.

Водопроницаемость каменного колодца может быть достигнута также тем, что в стенках вставляются железные дренажные трубы или особые пористые камни и сетки. При правильной конструкции колодца площадь всех отверстий в нем может равняться от  $\frac{1}{8}$  до  $\frac{1}{10}$  общей площади стенок колодца.

Особые решетки для прохода воды применил например автор в шахтных колодцах водопровода города Ваза (рис. 243).

Для удобного и равномерного опускания колодца лучше всего применять круглую форму колодца, так как при круглом поперечном разрезе при наибольшей вместимости колодца требуется наименьшее количество строительного материала и получаются наименьшие площади трения. Круглые колодцы однако имеют тот недостаток, что они легко получают при опускании вращательное движение.

Для того чтобы облегчить опускание стенок колодца они снабжаются внизу ножом, который делается из железа или дерева. Применять для этой

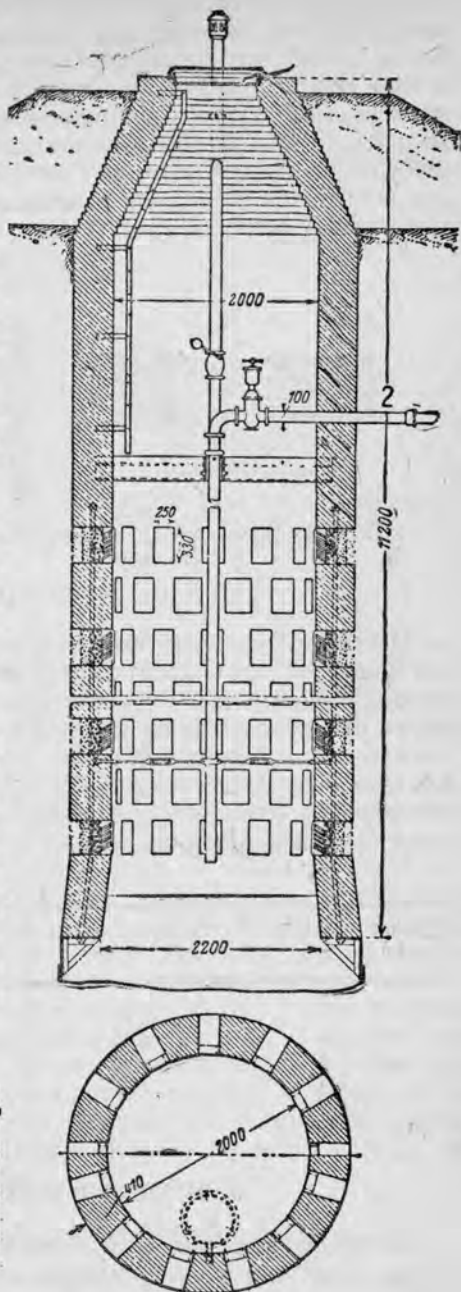


Рис. 243. Шахтный колодец с входными решетками.

1 — величина зерен; 2 — подъемный трубопровод.

цели чугун не рекомендуется ввиду его хрупкости. Деревянные ножи дешевы, и их легко сделать. Для большой остроты их окувы-

вают железом или снабжают тавровой балкой. Железный нож лучше всего заполнять бетоном. На рисунке 244 изображено несколько типов ножей опускных колодцев. Каменная кладка соединяется с ножом колодца железными якорями, которые в разных местах прикреплены еще к проложенным в каменной кладке особым подъемным кольцам. Нижней части колодца следует всегда придавать слегка коническую форму, так как благодаря этому между кладкой и грунтом образуется паз  $b$ , чем значительно уменьшается трение при опускании тела колодца (рис. 245).

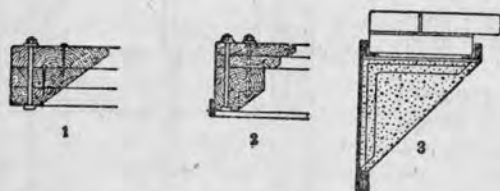


Рис. 244. Деревянные (1, 2) и железные (3) венцы колодцев.

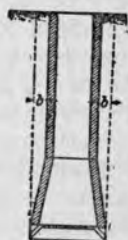


Рис. 245. Коническая форма нижней части колодца.

Потребная толщина стенок каменных шахтных колодцев помимо глубины колодца зависит также от того, являются ли стенки водонепроницаемыми или нет. Для стенок с отверстиями имеет место ослабление поперечного сечения стенок. При этом сопротивление стенок зависит от характера отверстий. По общему правилу толщина стенок колодцев с отверстиями должна быть минимум в 0,38—0,50 м. Для колодцев со сплошными стенками при глубине колодца в 15—20 м можно рекомендовать следующие проверенные на практике величины.

Диаметр колодца (в метрах)	Толщина стенок (в метрах)	Диаметр колодца (в метрах)	Толщина стенок (в метрах)
1,0	0,25	3,0	0,50
1,5	0,25	3,5	0,51
2,0	0,38	4,0	0,64
2,5	0,38	5,0	0,64

### 3. БЕТОННЫЕ ШАХТНЫЕ КОЛОДЦЫ

Бетонные колодцы обычно собираются из отдельных бетонных колец. Хотя они и очень дешевы, но зато обыкновенно недостаточно прочны и их только при очень большой осторожности и легком грунте удается опустить в землю без трещин и поломок. Если применяются бетонные кольца с отверстиями, то на значительную глубину опустить их невозможно.

При небольших сооружениях, когда ради экономии хотят применить простой бетон, рекомендуется выложить камнем водонепроница-

емую нижнюю часть колодца и затем уже выводить стенки, состоящие из отдельных бетонных колец, как то показано на рисунке 246.

Значительно лучшим материалом для сооружения колодцев является железобетон. Опускными колодцами из железобетона со сравнительно тонкими стенками можно достигнуть больших глубин. Крепкое строение их оболочки при возможном кантовании во время работы оказывает вполне достаточное сопротивление растягивающему напряжению, разрывающему каменную кладку. В качестве арматуры через тело бетона пропускают железные прутья (лучше всего в форме *U*), которые скрепляются на расстоянии 1,5—2,0 м друг от друга железными обручами 40—60 мм ширины и приблизительно 5 мм толщины.

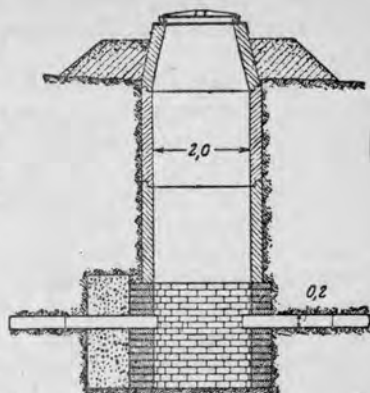


Рис. 246. Бетонные шахтные колодцы с водопроницаемой оболочкой из каменной кладки.

#### 4. ЖЕЛЕЗНЫЕ ШАХТНЫЕ КОЛОДЦЫ

В сыпучем грунте, где можно опасаться осадки и обвала колодцев вследствие подвижности грунта, с успехом применяются железные и чугунные колодцы, которые лучше сопротивляются растяжению, чем каменные и бетонные колодцы.

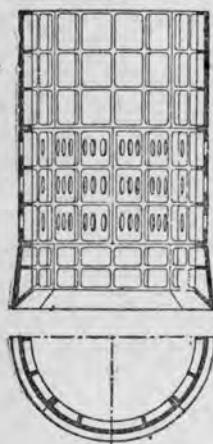


Рис. 247. Чугунный опускаемый колодец.

Рис. 247 изображает подобный чугунный опускаемый колодец, составленный из отдельных колец. При больших диаметрах каждое такое кольцо составляется из отдельных частей; при этом для избежания излишнего трения при опускании колодца все соединительные планки должны быть помещены внутри колодца. Чугунные опускаемые колодцы значительно дороже каменных, но зато в них, если не хотят ограничиться питанием колодца только со дна, можно без особого труда сделать отверстие в стенках. Бокковые отверстия можно снабдить рамками, в которые в случае нужды можно вставить сетки, для того чтобы в них не попадали мелкие частицы грунта.

#### 5. ОХРАНА ШАХТЫ КОЛОДЦЕВ ОТ ЗАНОСА ПЕСКОМ

Если водоносная порода мелкозерниста, то и при шахтных колодцах приходится принимать меры к ограждению колодцев от засорения песком. Для этой цели устраивают оболочку из гравия, состоящую из отдельных слоев равной крупности зерен, причем крупность должна возрастать по направлению к центру. Оболочку из гравия делают или простой засышкой вокруг колодца, подобно тому как это делается при трубчатых колодцах, или же делают колодец с двой-

ными стенками с просверленными отверстиями, заполняя промежуток между стенками гравием.

Рис. 248 изображает подобный колодец с двойными стенками, сооруженный Гиллем при постройке тегельского водопровода в Берлине. Буквы *a*, *b*, *c* показывают положение мелкого, среднего и крупного гравия.

Гравий укладывается или при помощи особых лопаток, которые потом поднимаются опять наверх, или при помощи железных цилиндров с отверстиями, которые остаются навсегда между пластами гравия. Необходимо обращать особое внимание на концентрическое расположение таких цилиндров. В нужном положении их лучше всего поддерживать при помощи ступенчатой фундаментной плиты, как это показано на рис. 270. Колодцы с двойными стенками значительно дороже, и их можно рекомендовать только при незначительной глубине колодца.

При выборе величин зерен гравия для засыпки дна колодца и оболочки должно быть выполнено следующее условие: про-

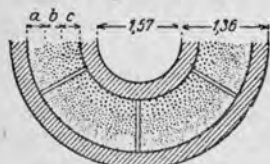


Рис. 248. Каменный колодец с двойными стенками с засыжкой из гравия тегельского водопровода близ Берлина (по Гиллю).

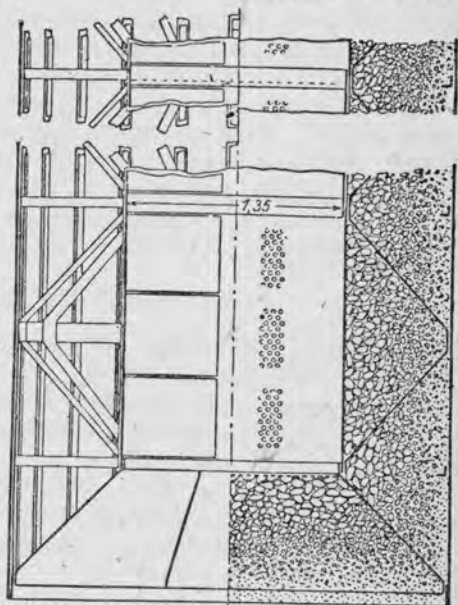


Рис. 249. Железный опускной колодец с наполненными гравием отсеками (по Мори).

межутки между зернами в каждом более мелкозернистом слое должны быть меньше, чем диаметр зерен соседнего более крупного слоя. Это условие будет выполнено, когда:

$$\frac{\pi d_1^2}{4} = 0,04 d^2,$$

где *d* — диаметр зерен более мелкого гравия и *d*<sub>1</sub> — диаметр более крупного гравия.

Из этого вытекает, что  $d = 4,42d_1$ .

Положив в основание эту формулу мы получим следующие величины зерен:

При зерн. в 0,2 мм	следующий пласт	должен	иметь	зерна	в кр. цифр.	0,9	мм	диам.
»	»	»	0,5	»	»	»	»	»
»	»	»	1,0	»	»	»	»	»
»	»	»	1,5	»	»	»	»	»
»	»	»	2,0	»	»	»	»	»
»	»	»	3,0	»	»	»	»	»
								2,2
								4,4
								6,7
								8,9
								13,8

Если питание шахтного колодца с водонепроницаемыми стенками происходит только через дно, то при такой системе колодцев должно быть обращено особое внимание на то, чтобы при отборе воды скорость втекания воды в колодец не была больше той, которая должна быть при данной величине зерен песка и гравия.

В противном случае получились бы занос колодца песком, вымывание грунта и осадка колодца.

Ввиду этого следовало бы всегда укреплять дно колодца песчаным фильтром, величина зерен которого увеличивается к верху слоя, и заботиться о том, чтобы отбор воды, или вернее связанная с этим скорость движения воды, не превышал допустимого предела.

## VII. КОМБИНИРОВАННЫЕ ШАХТНЫЕ И ТРУБЧАТЫЕ КОЛОДЦЫ

Если имеются два лежащих друг над другом горизонта воды, из которых верхний горизонт не обладает большой мощностью, ввиду чего в нем выгоднее соорудить шахтный колодец, то принято сооружать комбинированные шахтные и трубчатые колодцы, как то показано на рисунке 250. Это делается таким образом, что на дне шахтного колодца делается трубчатый колодец, достигающий нижнего горизонта воды.

Подобное соединение колодцев целесообразно делать в том случае, когда уровни воды обоих горизонтов хотя бы приблизительно лежат на одинаковой высоте, так как в противном случае часть воды из одного горизонта попадает в другой. Подобные устройства можно еще рекомендовать, когда состоящий из шахтных колодцев каптаж недостаточно обильен и когда есть возможность увеличить его дебит дальнейшим углублением колодца.

Те же соображения относятся и к тем случаям, когда несколько глубоко лежащих горизонтов должны быть осушены трубчатыми колодцами.

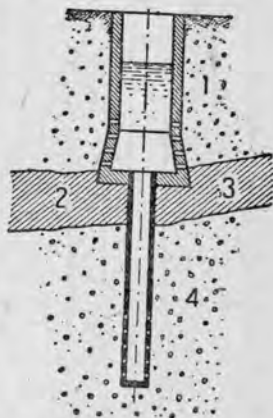


Рис. 250. Соединенный шахтный и трубчатый колодец.

1—верхний горизонт; 2—водонепроницаемый пласт; 4—нижний горизонт

## VIII. АРТЕЗИАНСКИЕ КОЛОДЦЫ

Каптировать артезианскую воду лучше всего трубчатыми колодцами. Если артезианский напор, заставляющий воду подниматься выше земли, велик, то каптировать артезианскую воду шахтными колодцами или штольнями невозможно.

Для того чтобы вскрыть артезианскую воду, лучше всего применять буровые трубы из оцинкованного железа, которые обыкновенно оставляются в земле. После достижения достаточной глубины их приподымают настолько, насколько это необходимо для того, чтобы обнажить фильтр.

При очень глубоком бурении и высоком напоре воды часто бывает совершенно невозможно ввести в буровую скважину фильтр. В таком

случае ограничиваются тем, что в местах, наиболее благоприятных для подземного притока воды, определенных во время бурения наблюдениями, делают прорезы в буровой трубе или же довольствуются притоком воды только через открытый нижний конец буровой скважины.

Особенно глубокие артезианские колодцы по общему правилу должны буриться с уменьшающимся в глубину диаметром.

Подобную серию колодезных труб называют ступенчатой или телескопической.

Если хотят соединить несколько артезианских колодцев и отвести под землей каптированную воду в сторону, то выгодно соорудить отводные шахты до приступа к буровым работам и в дне этих шахт укрепить особые подпорки, через которые проходят трубы.

Если этого не сделать, то позднее сооружение подобных шахт часто сопряжено с большими трудностями.

При прохождении разных горизонтов воды, в особенности пластов с водоносными трещинами, необходимо всегда зорко наблюдать за зеркалом воды и измерять дебит, меняющийся в зависимости от уровня воды. Только этим путем можно открыть наиболее обильные водой горизонты, в которых позже надо устроить фильтры или сделать отверстия в трубах.

Если встречается водоносный горизонт с непригодной или нежелательной водой, то обыкновенно бывает совершенно достаточно вновь закрыть водонепроницаемую кровлю соответствующим изоляционным материалом. При прохождении водоносного пласта лучше всего его изолировать жирной глиной, которую употребляют в виде шаров в 8—10 см в диаметре. Для изоляции водоносного пласта поднимают трубы примерно на 1 м выше кровли водоносного слоя; затем буровая скважина по всей длине, подлежащей тампонажу, заполняется глиняными шарами, и размягченная водоупорная глина плотно утрамбовывается. Таким образом получается крепкая пробка. Затем эту пробку вновь пробуривают. В

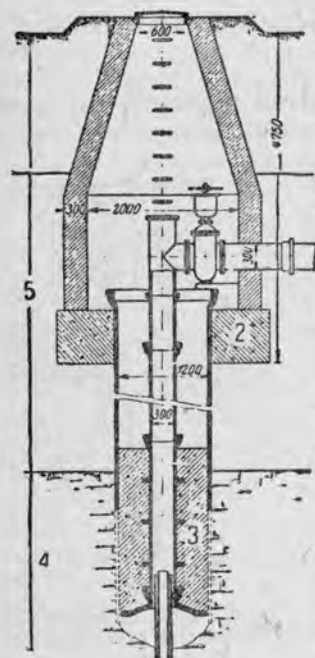


Рис. 251. Предохранение артезианского колодца Карани от потерь воды.

1—уровень воды верхнего горизонта; 2—бетон; 3—бетонная изоляция; 4—уровень воды в скважине или песчаннике; 6—водоносный пласт в известковых отложениях.

противоположность водонепроницаемому слою из водоносных слоев очень редко удается вытянуть трубы без того, чтобы не произошло обрушения породы. В таком случае тампонирующий материал небольшими дозами вводят в буровую трубу и постепенно ее приподнимают.

Для бетонного тампонажа применяется бетон, состоящий из 1 части медленно схватывающего цемента и 2 до 3 частей чистого песка. Для того чтобы избежать вымывания цемента, бетон нужно вводить в буровую скважину при помощи особых трубок, которые достигали бы места, подлежащего тампонажу.

Если уровень воды подлежащего изоляции горизонта подымается выше поверхности земли и вода потому имеет естественный сток, то для того чтобы предотвратить вымывание цемента или глиняной массы, надо прекратить сток воды, нарастив обсадную трубу.

Для того чтобы без особых затруднений пройти через бетон, нужно проходить его до его затвердения.

Если изоляция водопроницаемых пластов должна быть особенно прочна, то рекомендуется все подлежащие тампонажу слои пробурить большим diam. тром. Этим путем толщина изоляционного слоя может быть увеличена по желанию.

Необходимо также принимать особые предохранительные меры тогда, когда артезианская вода находится под большим давлением и когда при неплотном прилегании труб к породам можно опасаться утечки воды в верхний, ненапорный горизонт. Подобные гидравлические условия например имеют место в артезианском пражском бассейне, где выше артезианского туронского и сеноманского водоносных горизонтов лежит ненапорная, грунтовая вода.

Принятые автором меры для избежания утечки артезианской воды видны на рисунке 251.

В воде пропущенного водоносного пласта можно также открыть доступ в колодец, не сменяя труб. Добиться этого можно, сделав в трубе отверстия при помощи особого аппарата для протачивания прорезов в трубе или особого сверлильного аппарата. Для успеха этой работы нужно точно знать высоту расположения водоносного горизонта или трещины в горной породе, откуда хотят получить воду.

Такой американский аппарат для прорезов труб по Слихтеру изображает рисунок 252.

Рисунок 253 воспроизводит сверлильный аппарат Герцога.

Аппарат для прорезания труб снабжен подвижным резцом, который вдавливается в стенку трубы при помощи системы рычагов. Таким образом получают прорезы длиной в 20—25 мм и шириной в 5—7 мм.

Сверлильный аппарат состоит из футлярообразного тела, в середине которого помещается сверло, которое приводится в движение с поверхности земли при помощи системы рычагов.

При артезианских колодцах часто приходится производить работу из устьевой части колодца. Для того чтобы это было легко выполнимо, нужно запереть воду ниже места производства работ, чтобы вода не мешала работать.

Простым, надежным приспособлением для запора воды, которое может быть установлено в буровой скважине на любой глубине,

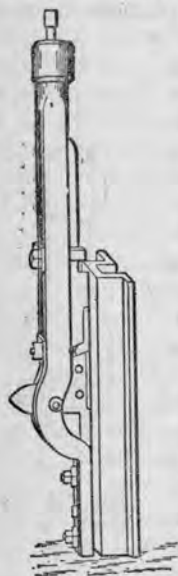


Рис. 252. Аппарат для прорезания щелей в буровой трубе (по Слихтеру).



Рис. 253. Бур для просверливания труб с целью обнажения водяных жил (по Герцогу).

является изображенный на рис. 254 запор, состоящий из резиновой подушки, обложенной вокруг полого железного тела. Эта подушка сжатым воздухом надувается настолько, что плотно прилегает к стенкам колодца. Другим таким же хорошим запором является резиновая пробка (рис. 255), которая при помощи конуса плотно прижимается к стенкам колодца. Конец трубы, на который насаживается конус, должен быть снабжен особым для этого приспособлением.

## IX. ОДИЧАВШИЕ АРТЕЗИАНСКИЕ КОЛОДЦЫ

Сток артезианской воды, не сопряженной с затратой труда и расходами, влечет за собой в громадном большинстве случаев непроизводительный расход воды. Только в редких случаях владелец артезианского колодца склонен увеличить затраты по сооружению колодца расходами по устройству соответствующего приспособления для охраны колодца.



Рис. 254. Запор артезианских колодцев при помощи резиновых пластинок.

1 — сжатый воздух; 2 — резиновая пластинка.

Выбивающаяся из земли вода бесполезно течет полным дебитом, и естественно следствием такой хищнической траты столь ценного сокровища—артезианской воды—передко является частичное или даже полное истощение водоносного горизонта. Такое истощение артезианской воды проявляется в депрессии зеркала воды или даже в полном иссякании колодца.

Беззаботная растрата артезианской воды — явление весьма печальное, и с ним надо энергично бороться <sup>1</sup>.

Чем меньше глубина, на которой встретилась артезианская вода, тем легче в каждом отдельном случае доступ к ней и легче хищническая растрата воды.

Судьба артезианских колодцев города Верзек (Versec) в Венгрии дает нам пример того, к чему приводит подобная хищ-

ническая растрата воды. Колодцы Верзека питаются водой из напорных отложений, песчаные слои которых богаты напорной водой. Водоносный пласт достигается на глубине в 28 м. В 1860 г. был сооружен первый артезианский колодец, вслед за которым скоро были сооружены по соседству и другие колодцы. Так как ввиду незначительной глубины и небольших затрат на сооружение таких колодцев скоро все захотели иметь артезианскую воду на своем дворе, в 1893 г. число артезианских колодцев в этой местности достигло уже 83. Все эти колодцы фонтанировали день и ночь, что привело к тому, что артезианский напор упал до уровня земли.

В настоящее время уровень воды стоит там ниже поверхности земли.

Удобство, связанное с самоизливающейся водой, пропало, и владельцы колодцев в Верзекке вынуждены откачивать воду по мере надобности.

<sup>1</sup> Растрата воды происходит часто там, где в ней ощущается острая нужда: Северный Кавказ, Харьков (сеть городского водопровода), Москва (вода серпуховского артез. горизонта).

Примечание редакторов.



Рис. 255. Конический запор.

Насколько с хозяйственной точки зрения нежелательно уменьшение артезианского напора, настолько опасен такой напор тогда, когда водоносные пласты состоят из водоносного песка и песчано-глинистых отложений, которые могут размываться течением воды.

Если водоносный горизонт состоит из рыхлых наносов и если трубы сидят в кровле настолько крепко, что напорная вода не может прорваться по затрубному пространству, то легко помешать размыву.

В таком случае достаточно нарастить трубы до такой высоты, чтобы самоизлияние стало невозможным. Благодаря этому муть в колодце осаждается на дно, и соответствующим изменением высоты стока можно отрегулировать скорость движения воды так, чтобы равновесие в водоносном слое не нарушалось и на поверхность земли изливалась только чистая вода.

Если же наоборот трубы сидят в кровле недостаточно плотно и водоносный пласт обладает большим напором, то при известных обстоятельствах пльвун может подняться и вне трубопровода, вдоль его стенок. Благодаря этому большие массы горных пород приходят в движение, и происходит образование пустот, которые обрушиваются и могут повести к провалу и разрушению строений. Такие неправильные буровые работы могут иногда привести к роковым последствиям, как доказывает например несчастье с артезианскими колодцами в Шнейдемюле.

Вытекающая под давлением вода размывает затрубное пространство все больше и больше, отверстие увеличивается, и в связи с этим увеличивается и количество вырывающейся воды, а также вымывание грунта. Благодаря этому увеличиваются трудности и тампонажа и борьбы с утечкой и размывом.

Заделать провал при помощи бетона, песка, глины и т. п. материалами обыкновенно не удается, так как вода, обладающая большой скоростью, размывает все эти материалы. Только тогда эти работы приводят к цели, когда они предприняты в первоначальной стадии прорыва воды.

Если прорыв еще невелик и если водонепроницаемая кровля не слишком толста, то иногда этой беде помогает немедленное вытягивание труб и забивка буровой скважины сваей большого диаметра. Пробурованная свая может потом служить колодцем.

В большинстве случаев однако приходится отказываться от подобных средств для устранения провала и приходится ограничиваться обезвреживанием подобной буровой скважины, оставляя ее одновременно на произвол судьбы. Если на практике встречается такое положение, то надо быстро принять меры, чтобы не дать воде увеличить размыв и тем самым трудности при тампонаже.

Так как заделка таких одичавших колодцев прежде всего разбивается об артезианское высокое давление, то уменьшение такого давления должно облегчить работы по уплотнению провалов.

Из этого вытекает, что для того чтобы помочь делу, надо уменьшить артезианское давление разгрузкой артезианского потока. Возможность такой разгрузки зависит от гидрогеологических условий. Чем проще эти условия и чем ближе к поверхности земли лежит водоносный пласт, тем легче и скорей можно этого добиться.

Разгрузка одичавшей буровой скважины может быть произведена при помощи соседних буровых скважин. Разгрузка будет тем действительнее, чем больше будет вспомогательных буровых скважин и чем

ближе они будут от подлежащей разгрузке буровой скважины. Действие такой разгрузки может быть признано с практической точки зрения удовлетворительным тогда, когда соседние буровые скважины отберут из потока грунтовой воды столько, что зеркало в одичавшей буровой скважине упадет по крайней мере до уровня поверхности земли. В таком случае самоизлияние прекратится, и размыв почвы дальше не пойдет.

Если например естественный уровень воды одичавшей буровой скважины  $B_1$  поднимется до высоты  $S_1$ , так что вода из буровой скважины под гидравлическим давлением  $S_1 O_1$  изливается на поверхность земли на высоте  $O_1$ , то в потоке подземной воды образуется кривая депрессии с ветвями  $O_1, C_1$  и  $O_1 C'_1$ . Если мы теперь в том же самом водоносном пласте с артезианской водой пробурием вспомогательную буровую скважину  $B_2$  в котловине  $T$  и дадим воде из этой вспомогательной скважины самоизливаться на высоте  $O_2$ , то образуется воронка депрессии с ветвями  $O_2, C_2$  и  $O_2 C'_2$ . Как видно на рис. 256, ветвь

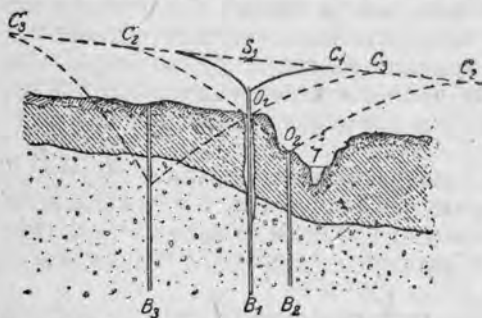


Рис. 256. Положение уровня воды в артезианской скважине, вода которой перехватывается соседними буровыми скважинами.

ветви  $O_2 C_2$  пересекает буровую скважину  $B_1$  под поверхностью земли. Таким образом отбором воды из буровой скважины  $B_2$  зеркало воды в скважине  $B_1$  настолько понижается, что прекращается естественное самоизлияние буровой скважины  $B_1$ , и опасность, вызываемая этим самоизлиянием, устраняется.

На практике редко встречаются такие благоприятные естественные условия, чтобы можно было соорудить вспомогательную буровую скважину  $B_2$  в котловине, имеющей сток. Той же цели, как видно на рис. 256, можно достигнуть буровой скважиной  $B_3$ , зеркало которой искусственно опускается под поверхность земли.

Разгружающее действие буровой скважины  $B_3$  отражается на каждом соседнем действующем колодце, и потому, как только какая-нибудь новая буровая скважина испортится, надо только откачивать воду из соседних действующих артезианских колодцев до тех пор, пока сток воды из потерпевшего аварию колодца не прекратится и не наступит возможность починить место прорыва воды.

Следующие практические выводы вытекают из вышеприведенных объяснений.

1. Как бы артезианские колодцы ни были обильны, в интересах водного хозяйства и по другим причинам никогда не следует давать им постоянно и самопроизвольно изливаться. Наоборот все артезианские колодцы должны быть снабжены автоматическими запорами, которые регулируют отбор воды. Запоры, действующие периодически, возбуждают гидравлические толчки, которые могут повести к заносу колодца песком. Можно рекомендовать открытые вентиляторы. Особенно целесообразно устройство открытых водомерных трубок с возможно большим диаметром.

2. В местностях с большим артезианским напором и с рыхлыми водоносными пластами никогда не следует производить буровых работ в непосредственной близости с ценными постройками.

3. Если последнее неизбежно, то при бурении надо соблюдать большую осторожность, и если трубы в скважине будут сидеть недостаточно плотно, нужно сейчас же прекратить бурение, как бы далеко оно уже ни зашло.

4. Если вопреки всяким ожиданиям произойдет авария буровой скважины, то необходимо с полным напряжением средств немедленно приступить к сооружению по соседству целого ряда вспомогательных скважин для разгрузки потока или же при помощи соседних действующих колодцев вызвать возможно большую депрессию зеркала.

## Х. ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ КАПТАЖИ

### 1. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Горизонтальные каптажи называются также сборными каптажами, каменными дренажами, штольнями и галлереями.

Каждое звено трубчатого колодца, а также каждую гончарную и бетонную трубу с просверленными отверстиями и каждый канал из каменной кладки можно применить в качестве горизонтальных каптажей.

Полезно горизонтальным каптажам придать некоторый уклон для того, чтобы во время строительных работ их легче было осушать.

Различают недоступные и доступные для внутреннего осмотра каптажи.

### 2. НЕДОСТУПНЫЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ КАПТАЖИ

Самый простой горизонтальный каптаж создается закладкой дренажных труб.

При закладке дренажных колодцев нужно предварительно определить шурфами или мелкими буровыми скважинами направление уклона водонепроницаемого слоя, подстилающего водоносный. Как видно на рис. 257, надо закладывать дренажные колодцы в самых низких местах водоупорного ложа, так как благодаря этому получается наибольшая депрессия, а потому и наибольший дебит.

Кроме того благодаря тому получается возможность создать более высокую защитную кровлю. Совершенно неправильно ради экономии сооружать, как

Рис. 257. Наиболее выгодное положение каменного дренажа в долине.

1 — водонепроницаемое ложе; 2 — бетон.

это иногда делается, такие каптажи на подземном водоразделе *W* хотя и более доступном.

Простое устройство дренажей изображено на рис. 258. Оно состоит из прессованного бетонного полукольца, сводообразно перекрытого сухой каменной кладкой.

Такое же простое устройство видно на рис. 259. Всаивающий трубопровод сделан из хорошо обожженного кирпича.

На рисунке 260 каптажный канал состоит из бетонной кладки, которой оставлены боковые отверстия.

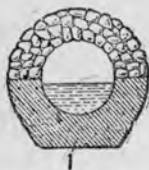


Рис. 258. Дренаж из бетона и сухой каменной кладки.

1 — бетон.

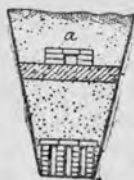


Рис. 259. Дренаж из кирпичей с высокими ребрами.

1 — бетон.

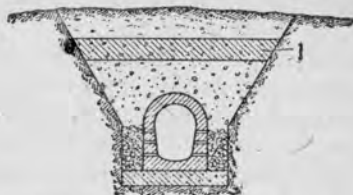


Рис. 260. Дренаж из бетона и каменной кладки с засыпкой из гравия.

1 — бетонный или глиняный слой.

Снаружи перед этими отверстиями устроены фильтры. Для предохранения каптажа от загрязнения с поверхности земли всегда следует над каптажем от одной стенки до другой сооружать бетонную кровлю. По Губеру (Huber) выгодней перекрыть каптаж утрамбованной глиной, так как бетон после затвердения под действием просачивающейся воды часто становится неплотным. При пластической глине, которая давлением земли плотно прижимается к стенке колодца, почти не приходится опасаться просачивания воды.

Над защитной кровлей для стока просачивающейся поверхностной воды можно рекомендовать устройство особого дренажа *a* (рис. 259). Благодаря этому улучшается гигиеническое значение каптажа.

Рисунок 261 дает понятие о каптаже, сборный трубопровод

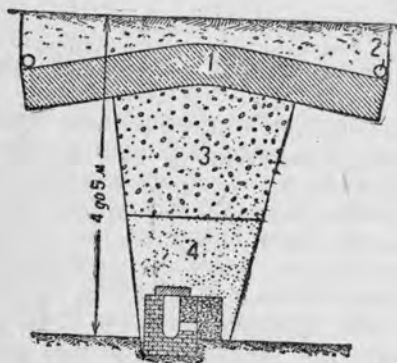


Рис. 261. Дренаж из каменной кладки с боковым ходом для воды и с засыпкой из гравия (по Эмбо).

1 — глиняный слой; 2 — дренаж; 3 — гравий; 4 — мелкий песок.

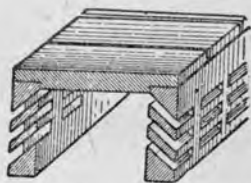


Рис. 262. Каптаж из гончарных плит (по Кью).

которого состоит из канала каменной кладки с боковыми отверстиями для протока воды. Изобретенный Кью (рис. 262) гончарный каптаж имеет особые косые входные отверстия.

Валь (Wahl) при сооружении водопровода для города Трира применил в аллювиальных отложениях у Мозеля чугунные галлерей

фильтров, сделанных по образцу трубчатого колодца Тима (рис. 263). Отдельные чугунные части галереи имеют по 2 м длины и по 500 мм в свету.

При недоступных горизонтальных каптажах минимальным для них диаметром нужно считать в 30—40 см. Во всех местах где, проис-

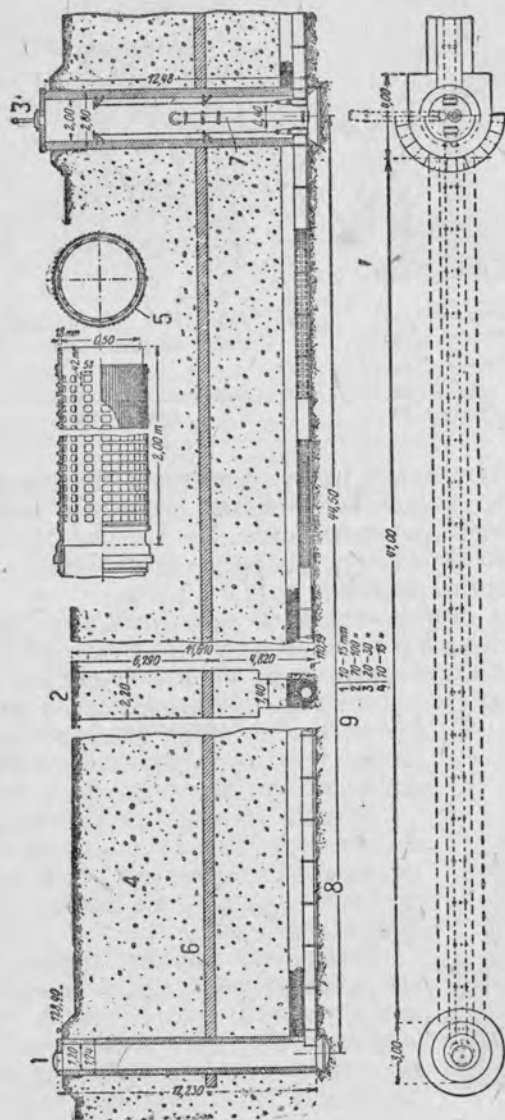


Рис. 263. Чугунный дренаж водопровода города Трира, близ Кенна (по Валу).

1 — контрольный колодец; 2 — разрез; 3 — сборный колодец; 4 — гравий и песок; 5 — оцинкованная мелкая сетка с диаметром ячеек в 5 мм; 6 — глиняный слой утрамбованный; 7 — подземный трубопровод; 8 — краевой лезень; 9 — величина верха.

ходит перемена направления, а также на расстоянии 50—100 м нужно устраивать особые шахты для прочистки. Против проникновения в каптаж песка из грунта лучшим, надежнейшим средством является устройство вдоль всей длины трубы фильтров мощностью в 50—60 см.

### 8. ДОСТУПНЫЕ СБОРНЫЕ ГАЛЛЕРЕЙ

Каптажи, поддающиеся прочистке, должны быть по крайней мере в 70—80 м вышины и в 60 см ширины.

Проникнуть в каптаж можно тогда, когда поперечный разрез приблизительно равняется  $1,6 \cdot 0,7$  м.

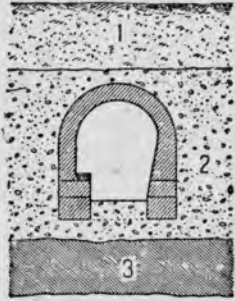


Рис. 264. Каптаж города Тулузы (внизу открытый) (по Спатаро).

1 — перегной; 2 — песок и гравий; 3 — водонепроницаемая подшва.



Рис. 265. Сток каптированной воды по всему дну.

1 — ледниковые отложения; 2 — третичные отложения.

Перерасход на материалы и работу при таком размере каптажа в сравнении с каптажем, поддающимся только прочистке, незначителен в виду тех преимуществ, которые связаны с доступностью. Доступность каптажа и работы внутри его будут значительно облегчены, если увеличить поперечный разрез до  $2,0 \cdot 1,2$  м.

Не рекомендуется строить открытые снизу каптажи. Такие каптажи, как пишет С п а т а р о, имеются в городе Тулузе (рис. 264).

В доступных каптажах отвод воды производится или со всего дна (рис. 265) или же устраивают на противоположной входу воды стенке или на обеих стенках особый сток. Кроме того корытообразно углубляют дно каптажа, как это видно на рисунке 266.

Лучшим устройством с гигиенической и технической точек зрения будет такое, при котором каптированная вода внутри доступного колодца течет в закрытом со всех сторон водопроводе.

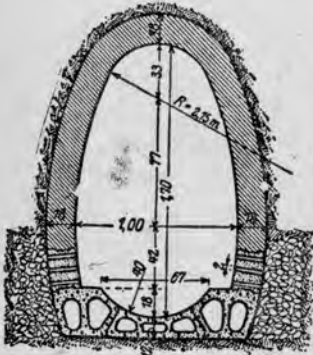


Рис. 266. Сток воды в канале с боковыми площадками.

Рейзахский каптаж города Мюнхена представляет собой крайне интересный каптаж грунтовой воды штольной. Он каптирует стекающую в подземную котловину грунтовую воду таким образом, что запруживающий грунтовую воду вал перерезывается глубокими каналами совершенно так, как происходит отвод воды из котловины посредством лежащего на дне стока.

При этом возникла мысль использовать котловину с грунтовой водой как уравнильный бассейн. Было установлено, что водоносный пласт может воспринять по крайней мере 15% воды. Считаая, что

зеркало грунтовой воды поднято на 5 м, емкость подземного бассейна была вычислена в 400 тыс. куб. м.

Каптирование воды производится посредством четырех каналов, которые соединяются в сборной шахте (рис. 267).

Каналы, принимая во внимание необходимую депрессию и ожидаемое затопление, расположены в среднем на глубине в 9,5 м под

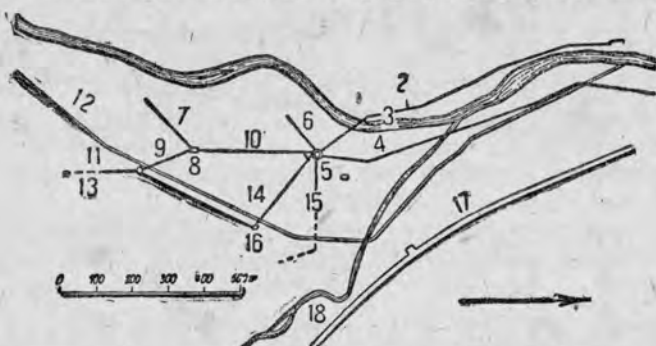


Рис. 267. Рейзакский каптаж грунтовой воды города Мюнхена (ситуационный план каптажных каналов).

1 — сток с уже существующим подводящим трубопроводом; 2 — западный отводный трубопровод; 3 — Мангалл; 4 — восточный отводный трубопровод; 5 — главная распределительная шахта; 6 — питательный канал IV; 7 — питательный канал III; 8 — промежуточная шахта; 9 — соединительный канал III — III; 10 — питательный канал III; 11 — питательный канал II; 12 — дорога из Неймюле; 13 — промежуточная шахта; 14 — питательный канал II; 15 — питательный канал I; 16 — промежуточная шахта; 17 — железная дорога Шларзее Мюнхен.

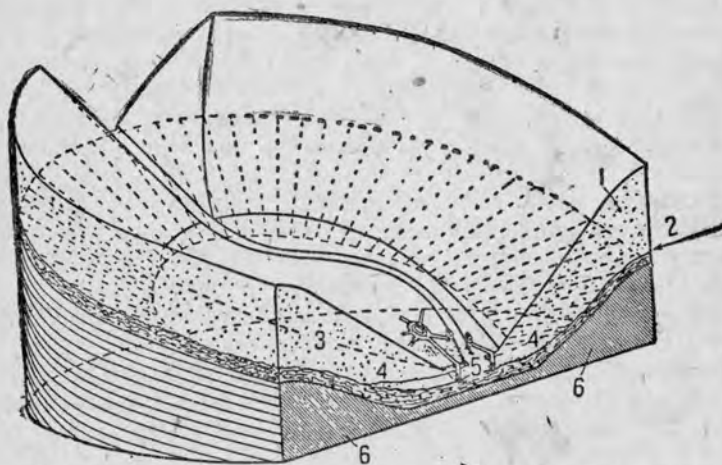


Рис. 268. Схематическое изображение бассейна грунтовой воды близ Рейзаха.

1 — водопроницаемый гравий; 2 — поток грунтовых вод; 3 — водопроницаемый гравий; 4 — уровень воды до начала депрессии; 5 — уровень воды после понижения; 6 — водопроницаемый слой.

поверхностью земли. Поперечный разрез четырех каналов равен  $2,0 \cdot 1,35$  м или  $1,8 \cdot 1,15$  м, а общая длина их равна 1 726 м.

На рисунках 268 и 269 схематически изображен рейзахский каптаж (по юбилейному сборнику города Мюнхена).

Доступные каптажные штольни строятся в зависимости от местных условий или открытыми выработками или же при помощи горных

работ. Расходы по возведению подобных сооружений в пльвунах по большей части бывают очень велики.

Это вызывается трудностями, связанными с такой постройкой, и необходимостью остановить приток воды.

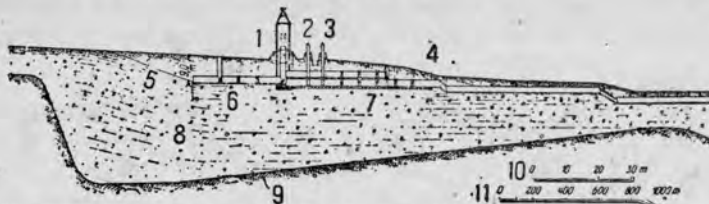


Рис. 269. Схематическое изображение бассейна грунтовой воды близ Рейзаха (поперечный разрез).

1 — главная распределительная шахта; 2 — Мангфалл; 3 — канал; 4 — присоединение к водопроводу Геттинг Мольталь; 5 — пониженный уровень грунтовой воды; 6 — питающий канал 2,001,35 м; 7 — западный отвод трубопровода 1,80/1,15; 8 — гравий; 9 — водонепроницаемый пласт; 10 — масштаб высоты; 11 — масштаб длины.

## XI. КАПТАЖИ В МЕЛКОЗЕРНИСТОМ ПЕСКЕ

Одним из самых неприятных и отчасти даже опасных явлений и не только для техника, но и для практически работающего гидрогеолога являются мелкие пески, а именно так называемые пльвуны.

Под пльвуном понимаются песчаные пласты, пришедшие в движение вследствие нарушения их гидравлического равновесия. В то время как поверхностный пльвун образуется по С е к н и к у (Söknick) вследствие того, что в нем больше воды, чем он может воспринять в силу своей капиллярности, подземный пльвун возникает под влиянием гидравлического напора. По Спрингу при величине песчаных зерен в 0,01—0,05 мм и при высоте песчаного столба в 75 мм требуется разница в напоре от 75—100 мм. Объем находящегося под напором воды песчаного столба увеличивается при этом приблизительно на 4,66%.

Подвижность песка зависит главным образом от величины его зерен и скорости движения воды. А. Тим нашел, что при скорости воды в вертикальном направлении кверху в 0,028 м в секунду могут держаться в равновесии самые мелкие песчинки. Если эту скорость увеличить, то вместе с тем соответственно увеличится и величина песчинок, которые могут остаться в равновесии.

Нижепомещенная таблица показывает соотношение между величиной зерен и скоростью воды, при которой зерно может оставаться в равновесии, не поднимаясь наверх и не опускаясь.

Величина зерен (в миллиметрах)	Скорость (в м/сек.)
0—0,25	0—0,029
0,25—0,5	0,035—0,069
0,5—1	0,075—0,096
1—2	0,110—0,170
2—3	0,179—0,182

Из этого можно вычислить, какую величину зерен следует выбрать для того, чтобы воспрепятствовать движению песка внутри каптажа.

Ошибочно считать, что в горной породе явления пływучести ограничиваются только мелкими зернами диаметром от 0,01 до 0,1. В зависимости от гидравлической силы могут выноситься и значительно более крупные песчаные зерна и вызывать столь нежелательное замутнение воды.

Плывун встречается в отложениях всех возрастов. В Германии в особенности богаты пływунами пласты, содержащие бурые угли. Часто пływуны прослоены более крупным песком и гравием. Нередко также в пływуне встречаются валуны.

### 1. ТРУБЧАТЫЕ КОЛОДЦЫ В ПЛЫВУНЕ

Трудности, возникшие благодаря появлению пływуна, проявляются уже во время предварительных изысканий; так как пływун не только затрудняет бурение, но и заносит опытные буровые скважины и наблюдательные колодцы.

И в колодцах пływун не только засоряет фильтры, но вызывает и просадку, когда при очистке от песка или при продолжительном отборе воды будет извлечено на поверхность большое количество песка. Благодаря просадкам легко могут быть повреждены соседние постройки, трубопроводы и т. п.

Занос колодца песком и просадки легче всего могут быть предотвращены оберткой фильтров сетками с возможно меньшими ячейками, которые не пропускали бы самых мелких песчинок. Но так как такие сетки (например голунные) не только задерживают песок, но затрудняют доступ воды в колодец, то рекомендуется так строить каптажи, чтобы при полной изоляции колодца от доступа песка водопроницаемость колодца была достаточной.

Это может быть достигнуто изоляцией колодца слоем гравия, как было нами указано на стр. 311.

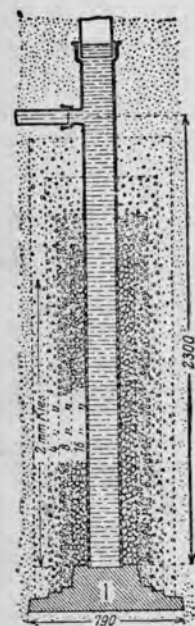


Рис. 270. Трубчатый колодец с засышкой из гравия в мелких песках первоначального каптажа города Нюренберга (по Тиму).

1 — бетон.

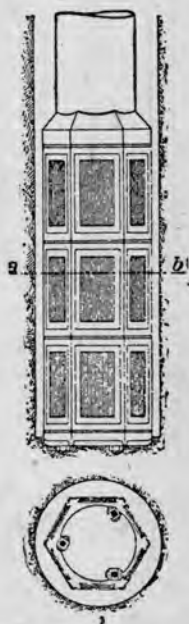


Рис. 271. Фильтр со стеклянными пластинами (по Путьейсу).

1 — разрез а — б.

Подобное вспомогательное средство было применено при устройстве первоначального водопровода для города Нюренберга. Каптаж состоит из 83 трубчатых колодцев, которые в среднем дают приблизительно 1,5 л в секунду. Чугунные трубы колодцев длиной в 2,5 м и 150 мм диаметром в свету. Нижняя часть колодца на длину 1,5 м имеет просверленные отверстия и упирается на ступенчатую бетонную подошву (рис. 270). Вокруг нижней части колодца с просверлен-

ными отверстиями насыщено 4 цилиндрических слоя гравия мощностью в 100 мм при величине зерен в 2 мм, 60 мм при величине зерен в 4 мм и 8 мм и 90 мм при величине зерен в 16 мм. Водоносный слой состоял по данным А. Тима из зерен следующих величин (в процентном отношении к весу).

Величина зерен:

0—0,25	0,25—0,5	0,5—1	1—2	2—3	3	больше мм
18,8	52,5	20,3	7,5	0,2	0,7%	

Изобретенный Путзейсом и запатентованный им способ сооружения колодцев, наиболее подходящий к устройству каптажей в мелких песках, был между прочим применен при сооружении водопроводов для городов Турнгут и Останде (рис. 271).



Рис. 272. Стекло-вые пластинки для каптажа воды в мелких песках (по Путзейсу).

Фильтр состоит из корзинчатого каркаса, в который вставлены особые фильтровальные пластинки, которые состоят из 25 сложенных рядом стеклянных полосок. Вода просачивается в колодец через швы между стеклянными полосками. Расстояние между стеклянными полосками может быть выбрано с таким расчетом, чтобы самые мелкие частицы водоносного слоя не могли пройти через эти швы.

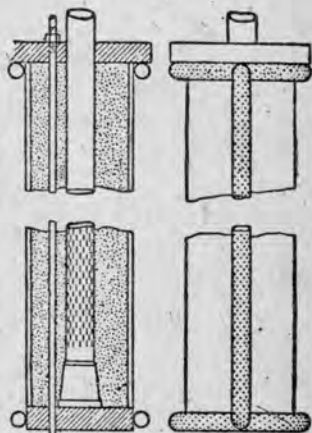


Рис. 273. Трубчатые колодцы для донных песков (по Гассельту)

В Голландии для каптажа воды в мелких песках дон по указаниям Динерта был сооружен ван Гассельтом изображенный на рис. 273 трубчатый колодец. Колодец этот состоит из железной оболочки в 30 см в свету и наполнен мелкими обломками раковин. Внутри он снабжен всасывающей насосной трубой.

Фильтр сверху и снизу запирается деревянными дисками, соединяющимися между собой особыми якорями. Окружающие деревянные диски трубы с отверстиями, соединенные между собой еще и продольно, представляют собой промывное приспособление, при помощи которого колодцы опускаются в мелкий песок дон. После того как якоря будут опущены, все промывные приспособления вместе с железной оболочкой могут быть вытащены из земли, и в грунте останется только самое ядро, состоящее из раковин со всасывающим трубопроводом.

## 2. ШАХТНЫЕ КОЛОДЦЫ В ПЛЫВУНЕ

При сооружении шахтных колодцев надо всегда при помощи пробного бурения предварительно выяснить, не имеется ли в месте сооружения колодца плывун. Из технических соображений.

если такой пльвун имеется, следует всегда избегать такого места, так как пльвун затрудняет работы по углублению шахты и делает это даже опасным. Если во время работ натолкнуться на пльвун, то нередко бывают случаи, что он выбрасывается вверх, благодаря чему все сооружение или опрокидывается, или проваливается. Преодолеть пльвун чрезвычайно трудно. Он часто задерживает и удорожает настолько постройку колодца, что выгоднее бросить начатые работы и соорудить новый колодец в другом, более удобном месте.

Если сооружение шахтного колодца в пльвуне неизбежно, то лучше всего сделать это при помощи дополнительного, не стоящего с шахтным колодцем в связи особого сооружения для вызова депрессии зеркала грунтовой воды, которое отчасти уменьшило бы гидравлический напор. Это можно сделать еще при помощи особого отводного цилиндра, сводчатого книзу и снабженного поршнем, позволяющим удалять пльвун.

### 3. СБОРНЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ В ПЛЫВУНЕ

Горизонтальные каптажи хороши не только там, где водоносные, состоящие из мелкого песка пласты обладают малой вертикальной мощностью, но и там, где надо избежать значительного нарушения гидравлического равновесия, как например при сооружении каптажа в дюнах, где легко может наступить осолонение пресной воды. Ввиду этого следует по возможности избегать устройства в дюнах глубокого заложения каптажей, связанных с большой депрессией водного зеркала.

Считаясь с естественными гидрологическими условиями, рекомендуется, пользуясь народным выражением, только «отчерпывать» пресную воду, лежащую над соленой.

Эмбо (Imbeaux) описывает два предостерегающих примера, как водопроводы в дюнах, питающиеся из глубоких колодцев, осоло-

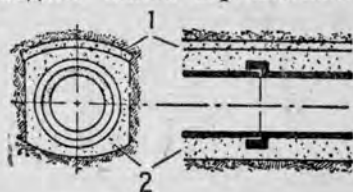


Рис. 274. Горизонтальные каптажи для дон (по Штангу).

1 — речной гравий; 2 — раковины.

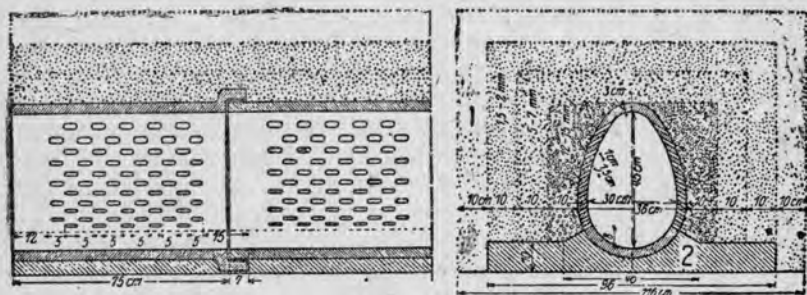


Рис. 275. Каптаж с засышкой из гравия в городе Ваза.

1 — величина зерен 0,4—0,6 мм; 2 — бетон.

вились благодаря чрезмерному нарушению равновесия между пресной и соленой водой <sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Подобные примеры часты в полупустынных районах СССР.

Примечание редакторов.

Это два водопровода в дюнах Ямайки для водоснабжения городов Бруклина и Безелау, в которых содержание соли мало-помалу возросло с 8 до 670 и 2 950 мг в литре.

По наблюдениям Штанга обернутые сетками каптажи непригодны для каптирования воды в дюнах, так как мелкие пески дном легко закупоривают ячейки сеток. Поэтому Штанг, как и Гассельт, рекомендует обсыпать каптажи пластами из речного гравия и из раковин, прибываемых морем к берегу. При этом для каптажа он применяет горизонтальный трубопровод из гончарных труб (рис. 274).

Для города Вазы автор спроектировал следующий сборный трубопровод для каптажа воды в мелких песках (рис. 275). Он состоит

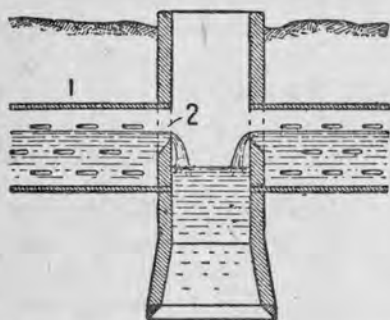


Рис. 276. Устройство перепада в каптаже, заложеном в мелких песках.

1 — каптаж; 2 — порог перепада.

определенной высоте, а также равномерным отбором воды, недопуская его колебаний. Достичь этого очень просто сооружением особой сборной шахты, в которой устроен перепад (рис. 276).

из яйцеобразных гончарных труб в  $450 \cdot 300$  мм в свету, снабженных щелями в  $50 \cdot 10$  мм. Щели расположены под углом приблизительно в  $30^\circ$ , поднимаясь по направлению к центру трубы. Нижняя часть труб не имеет отверстия и служит стоком для сборной воды. Зарядка фильтра состоит из 4 разной величины зерен слоев песка и гравия. Слои мощностью в 10 см тщательно уложены.

В сборных трубопроводах, сооруженных в мелких песках, помешать выносу водой песка и связанным с этим явлениям можно, установив зеркало в каптаже на

## ХII. ВЗАИМНОЕ УДАЛЕНИЕ И ГЛУБИНА КОЛОДЦЕВ

Определять взаимное расстояние, на котором должны быть сооружены отдельные колодцы одного общего соединенного каптажа, нужно в зависимости от постройки общего колодца по дебиту водоносного пласта, его мощности, депрессии, количеству, отбору воды и диаметру колодца. Так как дебит потока, количество отбора и депрессия колеблется, то практически невозможно выбрать расстояние между колодцами таким образом, чтобы отдельные границы их района питания постоянно соприкасались. Если дебит потока велик, то расстояние между колодцами может быть больше, чем ожидаемая наибольшая ширина районов питания колодцев. Если предполагаемая ширина района питания колодца не может быть точно установлена предварительными изысканиями, то рекомендуется в сборном трубопроводе сделать два отвода, к которым по мере надобности могут быть присоединены и промежуточные колодцы.

Нижеприводимая таблица показывает расстояния между колодцами различных каптажей (см. стр. 329).

Если водоносный горизонт состоит из отдельных обильных водной слоев и если дебит более глубоких слоев больше, чем дебит горизон-

Каптаж	Расстояние между колодцами (в метрах)	Диаметр колодца (в миллиметрах)
--------	---------------------------------------	---------------------------------

#### Трубчатые колодцы

Киль (Швентинеталь) . . . . .	20	250
Лейпциг . . . . .	21	180
Зальцведель, Шгендаль, Ратибор . . . . .	21	180
Берлин (Мюггельзе) . . . . .	25 (в средн.)	150
Ганновер (Эльце) . . . . .	29	150
Прага . . . . .	21—44	180
Копенгаген (Лиле-Велья) . . . . .	50	130
Франкфурт на Майне . . . . .	66	600
Баку . . . . .	106	1000

#### Шахтные колодцы

Франкфурт на Майне (Виртгейм) . . . . .	100	2650
---	-----	------

тов, расположенных выше, то необходимо достигать более глубоких слоев. В этом случае колодцы достигают часто больших глубин. Большинство колодцев со значительной глубиной обладает артезианской водой.

В следующей таблице перечислены наиболее глубокие колодцы.

Местность	Глубина колодцев (в метрах)
Альтон (Англия) . . . . .	144
Вильгельмбург на Эльбе . . . . .	270—290
Локштедт . . . . .	250—316
Остенде . . . . .	306
Финкенвердер . . . . .	365
Париж (Гренель) . . . . .	547
Париж (Пасси) . . . . .	586
Шабадка (Венгрия) . . . . .	600
Будапешт Штадтвальд . . . . .	970

### ХIII. СОПРОТИВЛЕНИЕ В КАПТАЖЕ

К потере напора, обуславливающего движение грунтовой воды в водоносном пласте до наружной стенки каптажа, прибавляется потеря от сопротивления при входе внутрь каптажа из водоносного пласта:

В то время как сопротивления движению в водоносном пласте с грунтовой водой должны приниматься в размерах, обусловленных природными условиями, сопротивления в теле каптажа мы можем уменьшать надлежащей конструкцией.

Таким образом сопротивления каптажа изменяются и зависят от устройства каптажа и водопроницаемости его стенок. Измерения сопротивления при входе производятся целесообразнее всего помощью особых труб для наблюдения, которые устанавливаются непосредственно у наружной стенки каптажа. Рисунки 145 и 214 изображают колодцы, снабженные для измерения сопротивления особыми трубами для наблюдения.

При свободном зеркале грунтовых вод можно внезапной остановкой работы эксплуатируемого колодца приблизительно установить величину сопротивления при входе и без особых труб для наблюдения, так как при внезапном прекращении эксплуатации колодца зеркало его быстро поднимается до высоты наружного зеркала грун-

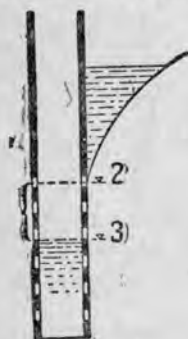


Рис. 277. Сопротивление при входе в колодец.

1 — сопротивление при входе; 2 — зеркало воды в колодце; 3 — зеркало воды в каптаже.

товых вод. Далее однако подъем происходит медленно, так как поднимающаяся вода должна одновременно наполнять обезвоженные пустоты в пределах воронки депрессии (рис. 277).

Если измерить уровень воды в колодце непосредственно перед прекращением откачки, то высота, на которую уровень воды в колодце внезапно поднимется, дает приблизительно величину сопротивления при входе. Чем меньше диаметр колодца, тем точнее будет измерение.

Если начертить линию дебита колодца, питающегося напорной водой (рис. 278), и сопротивление  $WW^1$  колодца, соответствующее определенной депрессии  $AW$  и дебиту  $WE$ , то при упрощающем предположении, что сопротивление при входе пропорционально количеству на другой депрессии  $AW_1$ , при дебите  $W_1E_1$ , получим соответствующие сопротивлению колодца в размере  $W_1W_1$ , если  $E_1W_1^1$ , провести параллельно  $EW^1$ .

Тот же самый способ может быть применен и при свободном зеркале. Однако в этом случае вместо прямой  $AE_1E$  получится парабола.

При предварительных изысканиях для водоснабжения города Нюрнберга А. Тим установил, насколько сильно увеличивается сопротивление колодцев с количеством воды и вместе с тем вследствие уменьшения площади фильтра, через которую вода входит в колодец, вследствие возрастающей депрессии, если первоначально уровень воды был там, где начинается фильтр. Рисунок 279 изображает диаграмму, построенную на основании данных Тима. Они составляли:

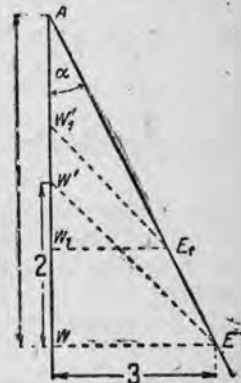


Рис. 278. Диаграмма сопротивления в колодце.

1 — понижение; 2 — сопротивление в колодце; 3 — дебит.

Положение уровня воды в колодце	Добываемое колич. воды (в л/сек.)	Сопротивле- ние колодца (в м.м.)
a <sub>1</sub>	1,76	130
b <sub>1</sub>	2,83	360
c <sub>1</sub>	3,50	
d <sub>1</sub>	4,21	900

При разрешении вопроса, какой вид каптажа (трубчатый или шахтный колодец или сборная галерея) наиболее соответствует данным условиям, иногда очень важно принимать во внимание сопротивления в каптаже.

Подобное исследование было произведено автором в связи с эксплуатацией опытного колодца для города Ваза. Во время работы этого пробного колодца выяснилось, что применяемые трубчатые колодцы, вследствие незначительной мощности водоносных пластов могли быть лишь мелкими и давали по истечении короткого времени все меньше и меньше воды при одновременном повышении уровня грунтовой воды вне каптажа.

Было установлено постоянное увеличение сопротивления колодцев

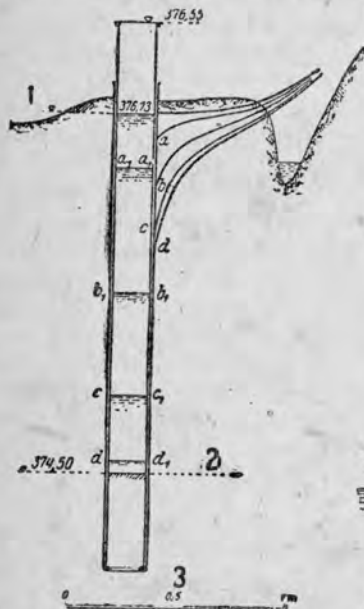


Рис. 279. Сопротивление в колодце в зависимости от депрессии и количества воды (по А. Тиму).

1 — естественный уровень грунтовых вод;  
2 — подошва; 3 — масштаб высоты.

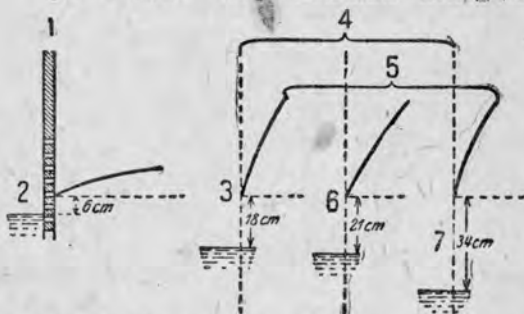


Рис. 280. Сопротивление в шахтном колодце и в трех трубчатых колодцах (опытные колодцы в городе Ваза).

1 — шахтный колодец; 2 — зеркало воды в колодце; 3 — зеркало воды в колодце; 4 — трубчатый колодец; 5 — пониженное зеркало; 6 — уровень воды в колодце; 7 — уровень воды в колодце.

вследствие закупорки стенок последнего. Колодцы были вычищены, однако вскоре произошло новое закупоривание. Так как в связи с этим полная производительность трубчатого колодца может считаться лишь кратковременной, то вместо трубчатых колодцев был сооружен шахтный с каменной кладкой, целью которого было установить режим колодца с каменной кладкой в отношении сопротивления. Результаты измерения зеркала изображены на рис. 280.

Причину непригодности трубчатых колодцев сл дует искать в том, что водоносный слой состоит главным образом из мелкого, остроугольного песка, который попадает в ячейки сетки фильтра своими

остриями и закупоривает их. Поэтому нужно стремиться помощью больших поверхностей поступления воды и уменьшением скорости воды у стенок колодца препятствовать движению песка и закупорке. Работа колодца с каменной кладкой показала, что в этом случае шахтный колодец далеко превосходит трубчатый колодец.

Опыт показывает, что с течением времени сопротивления колодцев ограничиваются не только коренными стенками колодца, но что вследствие постоянной осадки и медленного проникания мелких частиц почвы в область колодцев сопротивление колодцев постоянно увеличивается. По мере эксплуатации вокруг тела каптажа образуется оболочка особых сопротивлений, которые являются естественным следствием искусственно вызванных изменений условий в водоносном слое. Подобные постоянно нарастающие сопротивления неблагоприятно отзываются на водопроницаемости стенок колодца и ведут к постоянно уменьшающейся водопроницаемости каптажа, которая может возрасти до полного закупоривания колодца (см. о долговечности колодца на стр. 350).

#### XIV. СОЕДИНЕНИЕ В ОДИН ОБЩИЙ ВОДОПРОВОД КАПТИРОВАННОЙ ВОДЫ

При более значительных каптажных сооружениях, состоящих из ряда колодцев или сборных трубопроводов, целесообразно по техническим причинам эксплуатации сооружать каптажи в виде двойных отводов, а именно таким образом, чтобы один из отводов каптажа в случае надобности мог самостоятельно продолжать эксплуатацию. Оба отвода соединяются в особой сборной шахте, из которой далее каптированная вода отводится или самотеком или посредством подъема насосами.

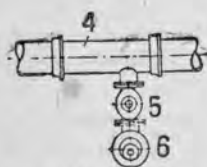
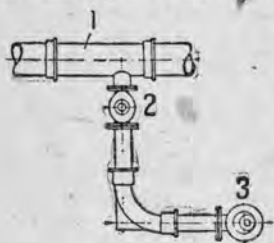


Рис. 281 и 282. Соединение колодца с всасывающим трубопроводом.

1 — подземный трубопровод; 2 — шибер; 3 — трубчатый колодец; 4 — подземный трубопровод; 5 — шибер; 6 — трубчатый колодец.

##### 1. СОЕДИНИТЕЛЬНЫЙ ТРУБОПРОВОД

Соединение всасывающих трубопроводов, выходящих из отдаленных колодцев, с подъемным трубопроводом достигается лучше всего способом, приведенным на рис. 281. Соединять колодцы непосредственно с соединительным трубопроводом, как показано на рис. 282, нецелесообразно, так как редко удается заложить колодец точно на предполагаемом месте, как того требует неподвижное соединение помощью фланцев.

Лучше делать соединения посредством трубопровода с прямоугольным загибом и применять при этом муфты, так как при таком способе соединения достигается большая подвижность в соединениях трубопровода.

Принимая во внимание осадку грунта, происходящую вследствие выноса песка, вследствие чего трубопровод подвергается опасности, целесообразно выбирать не слишком маленькое расстояние между

трубчатыми колодцами и трубопроводом. Практически испытанным для этого расстоянием является 3—4 м.

Если имеется длинный ряд колодцев, то целесообразно соединять их в отдельные группы и присоединять их, как изображено на рис. 283, к общему подъемному трубопроводу. Подобного рода устройство в значительной мере облегчает работы по ремонту отдельных участков каптажа, исключая необходимость остановки работы всего сооружения.



Рис. 283. Присоединение групп трубчатых колодцев к одному общему всасывающему трубопроводу.

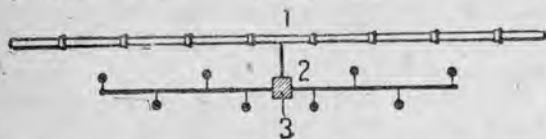
1 — подъемный трубопровод; 2 — первая группа; 3 — вторая группа; 4 — третья группа

Рис. 284 изображает группу каптажей воды водопровода завода Гольштейн и Форетгауз в Франкфурте на Майне. Здесь каждые 70 трубчатых колодцев соединены в одну подгруппу.

Эти колодцы соединены с боковой всасывающей трубой и присоединяются к главной всасывающей трубе при помощи групповой шахты. Всего валице имеется 14 подобных групп. Кроме этих групп для повышения безопасности эксплуатации между каждыми двумя группами были заложены особые трубчатые колодцы с диаметром в 600 мм, которые служат в качестве резерва при выключении отдельных групп из работы.

При искусственном подъеме нужно всасывающие трубопроводы или вернее подъемные трубопроводы проектировать с таким расчетом, чтобы скорость воды в последних не превышала хозяйственной скорости от 0,7 до 0,9 м в секунду. При использовании естественных условий падения нельзя вывести общего правила для определения наиболее целесообразного диаметра. Все всасывающие трубопроводы должны всегда иметь подъем по направлению движения воды. Достаточно, если подъем равняется 1 : 1 000 до 1 : 2 000.

При наклонных каптажах трубопроводы должны иметь такой же уклон; в таком случае необходимо всасывающий трубопровод каждого колодца снабдить еще обратным клапаном, чтобы вода не могла вытечь



из всасывающего трубопровода и затопить дренаруемый слой.

Если длина каптажа очень велика, то, принимая во внимание депрессию и побочные обстоятельства, приходится иногда разбивать весь каптаж на отдельные

Рис. 284. Группа каптажей города Франкфурта на Майне.

1 — главная всасывающая труба; 2 — вспомогательная всасывающая труба; 3 — групповая шахта.

отрезки, из которых для каждого сооружается особый трубопровод. Обыкновенно эти вспомогательные сооружения соединяются сборным каналом, который отводит воду из боковых сооружений в главный сборный канал.

Если каптаж и сборный канал лежат наклонно и если хотят не допустить в канале слишком высокого давления воды или помешать опорожнению вспомогательных сооружений во время остановки

работ, вследствие чего часть уже добытой воды могла бы быть потеряна, то было бы целесообразно соорудить так называемые ступенчатые шахты, которые помешали бы этому нежелательному явлению.

Такие ступенчатые шахты по данным Тима были сооружены в каптаже грунтовой воды города Праги

На рис. 285 линия *ab* представляет собой линию давления правильной эксплуатации и ломаная *cdef* — линию состояния покоя; при этом опораживается только заштрихованная часть ступенчатых шахт.

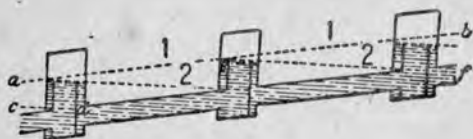


Рис. 285. Устройство ступенчатых шахт в сборном наклонном трубопроводе (по А. Тиму).

1 — линия давления во время эксплуатации; 2 — линия давления во время перерыва работы.

Указанным приспособлением точно определяется линия давления в канале для количества воды, не превышающего емкости канала.

Трубопроводы должны быть всегда легко доступны, так как часто незначительные неплотности могут повести к

обрывам столба воды и к чувствительным задержкам в эксплуатации. Поэтому нужно всегда иметь возможность предпринять возможно скорей работы по ремонту трубопровода. На этом основании рекомендуется глубоко лежащие трубопроводы с всасывающим напряжением или заложенные в трудно доступной почве (пльвун и т. п.) закладывать в особые каналы с легким к ним доступом. Подобные каналы могут быть вделаны из железных или бетонных труб при каменной кладке. Они должны быть рассчитаны таким образом, чтобы смена или починка (уплотнение) испорченных труб могла бы быть легко произведена.

Рис. 286 изображает укладку всасывающего трубопровода Кельнского каптажа воды близ Хохкирхена, в канале из бетона согласно проекту Валя (Wahl). Подобные сооружения были сделаны в каптаже Хинкельштейн города Франкфурта на Майне. Там всасывающая труба была заложена сбоку, и колодец сооружен в середине канала. В Штраусберге это же было сделано по проектам автора.

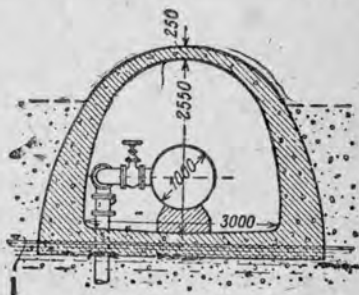


Рис. 286. Закладка всасывающего трубопровода в канале (по Валу).

1 — средний уровень стояния грунтовой воды.

## 2. ВЕНТИЛЯЦИЯ ВСАСЫВАЮЩИХ ТРУБОПРОВОДОВ

Всякая грунтовая вода содержит газы, состоящие из смеси воздуха, углекислоты, сероводорода и т. п. Эта смесь обозначается для сокращения просто воздухом.

Воздух должен быть удален из всасывающего трубопровода не только для приведения его в действие, но должен постоянно откачиваться, так как он постоянно пополняется.

Для постоянного откачивания воздуха, собирающегося во всасывающем трубопроводе, должны устраиваться особые приспособления, называемые вентиляторами.

При расчете подобных вентиляторов нужно принимать во внимание не только количество воздуха, содержащегося в воде, но также и тот воздух, который проникает во всасывающий трубопровод вследствие неплотности муфт, сальников и т. п.

Количество воздуха, содержащегося в воде, может быть в отдельных случаях определено и рассматриваться как количество довольно постоянное; количество же, проникающее через поврежденные места, расценивается лишь приблизительно, так как оно зависит от состояния трубопровода. Однако посредством прочной заделки можно количество воздуха, проникающего через поврежденные места, уменьшить.

При откачке происходит разрежение воздуха, которое различно в зависимости от высоты всасывания, причем газы, содержащиеся в воде, по закону Мариотта расширяются. Согласно этому закону объем газов при постоянной температуре обратно пропорционален давлению. Если например высота всасывания достигает 6 м, то на-

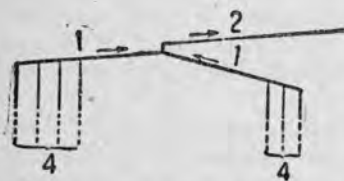


Рис. 287. Присоединение воздушного трубопровода к двум подъемным трубопроводам.

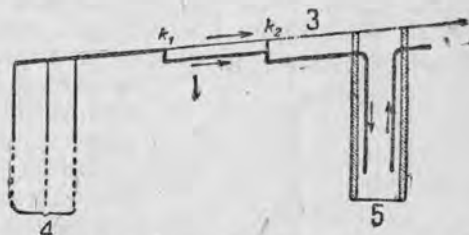


Рис. 288. Пилообразный подъемный трубопровод с вентиляторами  $k_1$   $k_2$  (по А. Тиму).

1 — подъемный трубопровод; 2 — воздушный трубопровод; 3 — вентиляция; 4 — каптаж; 5 — сборный колодец.

пряжение в воздушном насосе может быть самое большее в 4 м (принимая наружное атмосферное давление = 10), причем объем  $V$  содержащегося в воде газообразного тела должен увеличиться в размере

$$\text{на } \frac{V}{0,4}.$$

Если в 1 тыс. л воды содержится 0,5 л газа, то объем последних увеличится на  $0,5 \frac{0,5}{0,4} = 1,25$  л. В качестве примера можно привести водопровод города Лейпцига в Наунгофе, где содержится округло 0,85 л газа в 1 м<sup>3</sup> воды при давлении воздуха в 760 мм ртутного столба. При отборе воды при напряжении в 4,98 м было обнаружено 2,65 л воздуха в 1 м<sup>3</sup> воды, добытом в 2,68 секунды.

Согласно этому 1,80 л воздуха проникли во всасывающий трубопровод вследствие его неплотности. Наунгофский каптаж имеет 1 050 м длины, так что при вышеупомянутом напряжении в 4,98 м на каждый 1 м каптажа приходилось в секунду  $\frac{1 \cdot 80}{1\,050 \cdot 2,68} = 0,00064$  л воздуха,

проникающего через поврежденные места при давлении в 860 мм. Из осторожности рекомендуется всегда принимать надлежащие меры, исходя из количества воздуха, превышающего вычисленный размер. Никогда не вредит, если вентиляторы рассчитаны с запасом.

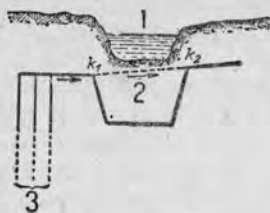


Рис. 289. Устройство подъемного трубопровода в виде дюккера.

1 — река; 2 — воздушный трубопровод; 3 — каптаж.

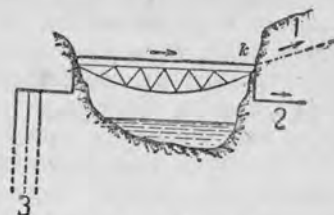


Рис. 290. Акведук.

1 — вентиляция; 2 — всасывающий трубопровод; 3 — каптаж.

Можно считать доказанным, что при 6—7 м напряжения всасывания приблизительно на 1 тыс. м<sup>3</sup> добываемой на поверхность воды приходится округло 0,8—1,0 л воздуха в секунду.

Если невозможно присоединить при постоянном подъеме всасывающий трубопровод к насосу, то необходимо соорудить особый вентилятор, отвечающий в наивысшей точке всасывающего трубопровода (рис. 287).

Этот случай имеет место именно при длинных трубопроводах, где технически невозможно обойтись постоянным подъемом. Согласно составленному Тимом проекту водопровода города Бреславля такой трубопровод устраивается пилообразно (рис. 288) и соединяет наивысшие точки  $k_1k_2$  с одним общим вентилятором. Если же наоборот приходится пересекать всасывающим трубопроводом длинные понижения, русла рек и т. п., то можно выбирать между дюккером (рис. 289) и акведуком.

В первом случае в целях вентиляции необходимо соединить воздушным трубопроводом оба водораздела  $k_1k_2$ , во втором же случае вентиляция происходит в точке  $k_1$ .

Как лучший вентилятор можно рекомендовать поршневой насос. При длинных всасывающих трубопроводах впереди насоса включается особый вантус.

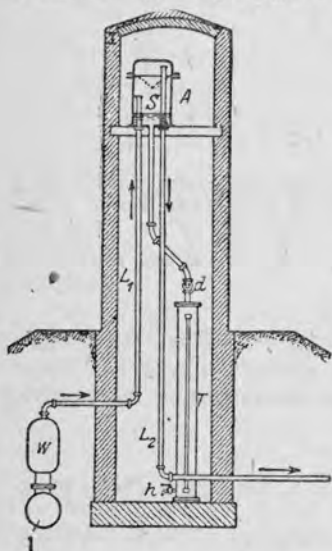


Рис. 291. Вентиляционная башня каптажа грунтовой воды в городе Праге.

1 — всасывающий трубопровод.

При длинных всасывающих трубопроводах выгодно устроить особую вентиляцию струйным аппаратом.

Для того чтобы при вентиляции вода не попадала из всасывающего трубопровода в вантус, целесообразно устраивать воздушный трубо-

провод в форме буквы V. Рис. 291 изображает подобное устройство, которое автор соорудил в вентиляционном трубопроводе пражского водопровода с грунтовой водой.

### 3. СБОРНЫЙ КОЛОДЕЦ

#### а) Местоположение сборного колодца

Сборный колодец является соединительным звеном между каптажем и водопроводом.

Если линия каптажа и место водопровода определены посредством внешних признаков — границ землевладения, дорог и т. п., то при выборе места для сборного колодца надо сообразоваться с направлением будущего водопровода. Если водопровод можно отодвинуть и если нагнетательная труба или наклонный трубопровод почти перпендикулярны к каптажу, то обыкновенно из гидравлических,



Рис. 292. Графическое определение положения сборного колодца.

хозяйственных и технических соображений сборный колодец и основание водопровода закладываются по середине каптажа. Если же наоборот нагнетательная труба и наклонный трубопровод расположены почти параллельно к каптажу по направлению к одной из его конечных точек, то выгоднее заложить водопровод и сборный колодец в этой конечной точке.

Если каптаж составляется из нескольких крыльев, то можно и графически определить самое выгодное местоположение сборного колодца. Таким путем автор определил самое выгодное местоположение для сборного колодца водопровода города Праги (рис. 292).

## в) Сооружение и режим сборного колодца

Сборный колодец обыкновенно сооружается в форме выложенного из камня шахтного колодца с водонепроницаемым дном.

Каждый сборный колодец главным образом служит для задержки песка. Сборный колодец должен быть достаточно велик и глубок. Как бы водопровод ни был хорошо очищен от песка, он все же первое время несет с собой песок, который при отсутствии сборного колодца попадает в насосы и портит их.

Кроме того сборный колодец имеет целью выравнять давление пришедших в движение при пуске насосов масс воды и предохранять тело каптажа от гидравлических толчков, воспринимая таковые. Поэтому сборные колодцы действуют не только как отстойники, но и как вантусы, воздушным покровом которых является вся атмосфера.

Дальнейшим преимуществом сборного колодца является то, что при работах по расширению водопровода он облегчает соединения

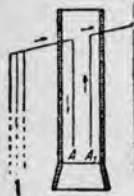


Рис. 293. Правильное соединение подъемного и всасывающего трубопровода.

1 — каптаж.

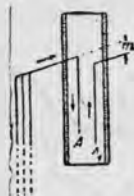
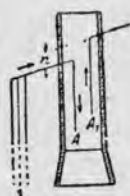


Рис. 294 и 295. Неправильное присоединение подъемного и всасывающего трубопровода.

1 — каптаж.



для эксплуатации водопровода. Для этого нужно только предварительно замуровать в стенке колодца необходимые для этой цели соединительные приспособления.

Всасывающий трубопровод, упирающийся при искусственном отборе воды в сборный колодец, называется также подъемным трубопроводом. Подъемный трубопровод является не чем иным, как всасы-

вающим трубопроводом, который прерывается сборным колодцем действующим наподобие вантуса (рис. 293). Из этого следует, что оба конечных колена упирающегося в сборный колодец подъемного трубопровода должны быть заложены неособенно высоко друг над другом и с таким расчетом, чтобы воздух из колена  $A$  мог выходить через соединительную проводку в колено  $A_1$ .

Обыкновенно для этого бывает достаточно делать разницу в высоте между обоими коленами в 2—5 см.

Делать разницу в высоте между этими коленами больше указанной величины  $m$  или  $n$  нецелесообразно, так как в первом случае затрудняется вентиляция, а во втором случае всасывающий трубопровод  $A$  бесполезно будет слишком глубоко заложен на величину  $n$  (рис. 294 и 295).

Иногда в целях экономии сборный колодец устраивается не только в качестве уравнивательного резервуара, но и в качестве тела каптажа. В таких случаях сборный колодец не бетонируется плотно, но внизу к нему приделывается фильтр. Подобные сооружения с двойным назначением нецелесообразны, так как при большой нагрузке колодца находящийся под дном песок может притти в движение и колодец может осесть.

## ХУ. КАПТАЖ ВЪЛИЗИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

### 1. ЕСТЕСТВЕННЫЕ ВЗАИМОТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ГРУНТОВЫМИ И ПОВЕРХНОСТНЫМИ ВОДАМИ

Естественным взаимоотношением между грунтовыми и речными водами является сток грунтовой воды в русла рек. Таким путем грунтовая вода превращается в поверхностную. Эта гидравлическая связь между грунтовой и речной водой выражается в направлении потока грунтовой воды к реке. Если ни уровень грунтовой воды, ни уровень реки не изменяются, то образуется состояние равновесия, и поток грунтовой воды отдает реке почти неизменяющиеся количества грунтовой воды.

Если зеркало реки понижается, причем уровень грунтовой воды остается без изменения, то до известного расстояния (от реки), меняющегося в зависимости от разных обстоятельств, величина падения грунтовой воды и количество впадающей в реку грунтовой воды увеличатся. При этом естественный дебит потока грунтовой воды не меняется. Река в данном случае действует на грунтовой поток как каптаж с усиленной депрессией.

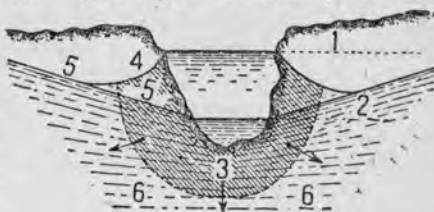


Рис. 296. Взаимоотношение между грунтовой и речной водой при половодье и при низком стоянии уровня речной воды.

1—высокий уровень воды в реке; 2—низкий уровень воды в реке; 3—инфильтрационная речная вода; 4—кривая подпора; 5—зеркало грунтовой воды; 6—грунтовая вода.

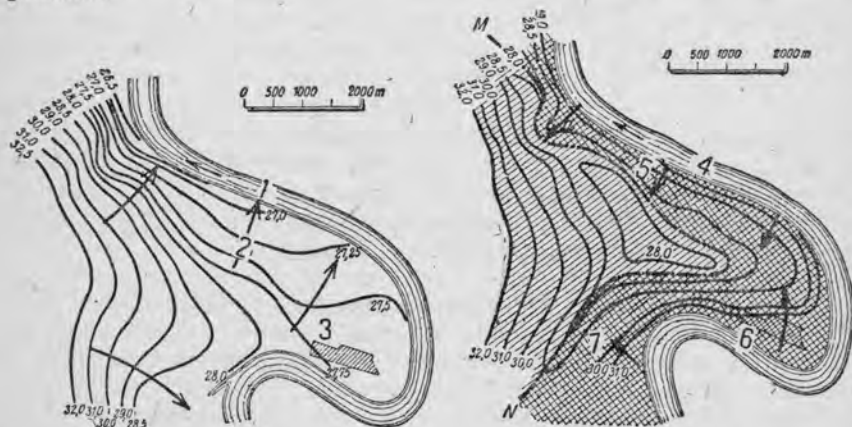


Рис. 297 и 298. Взаимоотношения между грунтовой и речной водой при половодье и при низком стоянии уровня воды в Рейне (по Лангу).

1 — Рейн; 2 — сток к Рейну; 3 — Оберкасель; 4 — Рейн; 5 — зона инфильтрации; 6 — Оберкасель; 7 — зона инфильтрации.

Если же наоборот зеркало реки поднимается выше известной меры, то на протяжении известного участка берега наступает изменение в направлении падения грунтовой воды, речная вода попадает тогда в грунт, и грунтовая вода в водоносном пласте подпирается (рис. 296).

Особенно ярко проявляется только что указанное взаимодействие между грунтовой и речной водой на плане с нанесенными гидроизо-гипсами, как это видно из сравнения рисунков 297 и 298.

На рисунке 297 изображен по Лангу план с гидрозогипсами в долине Рейна около Дюссельдорфа при низком уровне воды в Рейне 18 декабря 1911 г. По направлению кривых видно, что грунтовая вода впадает в реку почти перпендикулярно к направлению течения реки. Каждая частица воды оканчивает свой путь в Рейне. На рис. 298 видны гидравлические процессы в тех же отложениях во время половодья в Рейне 29 декабря 1911 г. На плане видно, что во время половодья вдоль всего нанесенного на план берега произошел полный поворот направления потока грунтовой воды. Грунтовая вода повсеместно питается водой Рейна. Прорыв рейнской воды в грунт не равномерен, ибо например в точке (а) он образует значительный залив, который указывает на высокую водопроницаемость пород в этом месте.

Линия MN является границей подземного наводнения, вызванного водами Рейна. Похожие на указанные явления естественные наводнения описали Рутзатц и Валь. По наблюдениям Рутзатца подпор Рейна ниже Кельна при показании футштока 6,12 м простирается внутрь материка до 1 700 м.

Водопроницаемая горная порода, лежащая в районе подземных наводнений, вызванных соседними поверхностными водами, несет в себе поэтому во время половодья не чистую грунтовую воду, движущуюся по направлению к реке, но и не фильтрованную поверхностную воду, которая только в грунте теряет свое первоначальное свойство и постепенно становится грунтовой водой.

Обыкновенная инфильтрованная поверхностная вода имеет вид мульды, как это видно на рисунке 296. При достаточной мощности водоносного пласта эта мульда со всех сторон окружена чистой грунтовой водой.

Естественное обогащение водопроницаемых слоев соседними поверхностными водами происходит не только во время половодья, но возможно и тогда, когда водоносные слои расположены языкообразно между двумя стекающимися реками, имеющими разное падение. В таком случае под землей происходит между реками выравнивание падения, и грунтовая вода состоит тогда преимущественно из просачивающейся речной воды, пройденный подземный путь которой при известных обстоятельствах может быть очень коротким.

Рис. 299 дает пример подобного выравнивания падения рек с образованием грунтовой воды.

## 2. РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ КАПТАЖАМИ И ПОВЕРХНостНОЙ ВОДОЙ

Если вблизи поверхностного водотока, зеркало которого подвержено естественным колебаниям, будет сооружен колодец, то естественное взаимоотношение между грунтовой и поверхностной водой



Рис. 299. Подземное выравнивание уровня реки при одновременном образовании грунтовой воды.

1 — Зьльба; 2 — Барби; 3 — Заала.

будет искусственно изменено. Отбором воды часть поперечного разреза протока осушается, и таким образом между уровнями реки и грунтовой воды создается искусственное падение, действие которого проявляется в том, что при низкой воде речная вода переходит в грунт (стр. 368). Самым совершенным был бы такой каптаж, при котором депрессия зеркала грунтовой воды была бы не более величины естественного годового колебания зеркала реки, в которую впадает грунтовая вода. Таким путем можно было бы вперед достигнуть состояния равновесия, при котором была бы исключена всякая возможность втекания в грунт соседней поверхностной воды.

Действие подобного каптажа не отличалось бы от дренирующего действия реки, питаемой грунтовой водой. Какой длины должен быть каптаж при достаточно полном учете естественных гидрологических условий, показывают вычисления Пифке, сделанные в его работе по водоснабжению города Берлина. Если считать, что река Шпрее на протяжении берега в 1 км округло получает 100 л в секунду грунтовой воды, то для получения количества воды в водопроводе в среднем в 1 600 л в секунду при отношении среднего потребления воды к наибольшему, как 1 : 1,5, потребовалась бы длина каптажа в  $16 \cdot 1,5 = 24$  км.

Так как питание реки Шпрее присходит с обоих берегов и так как невозможен абсолютный каптаж всей грунтовой воды, текущей по направлению к реке Шпрее, то в целях предосторожности длину каптажа, который должен эксплуатироваться без нарушений естественного гидравлического равновесия, следовало бы увеличить вдвое против вычисленной нами выше длины.

Однако подобные каптажи, приспособленные к естественным условиям, на практике удается сооружать очень редко. Ввиду этого при сооружении каптажей вблизи рек приходится часто на практике допускать инфильтрацию речной воды.

Как велико должно быть расстояние между каптажем и поверхностной водой для того, чтобы поверхностная вода вообще не попадала в колодец или попадала только по истечении определенного промежутка времени, будет нами объяснено более подробно на стр. 373.

### **3. ДОКАЗАТЕЛЬСТВО ВЗАИМООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ КАПТАЖЕМ И ПОВЕРХНОСТНОЙ ВОДОЙ**

Для того чтобы при существующем уже каптаже, находящемся вблизи поверхностной воды, узнать, проникает ли поверхностная вода в искусственно дренированную толщу и в каком количестве, применяют:

1) измерение количества протекающей около колодца поверхностной воды,

2) съемку зеркала грунтовой воды.

Так как обыкновенно физические и химические свойства поверхностной и грунтовой воды отличаются друг от друга, то требуются:

3) химические анализы,

4) измерения температуры.

Если поверхностный водоток совершенно не отдает воды в грунт, то во время отбора воды из колодца количество воды в таком водотоке не должно изменяться.

Равным образом по неизменяющемуся положению зеркала воды при колебаниях зеркала поверхностной воды можно обыкновенно судить о том, что между этими водами нет взаимной связи. Грунтовая вода, находящаяся под влиянием соседней поверхностной воды, дает

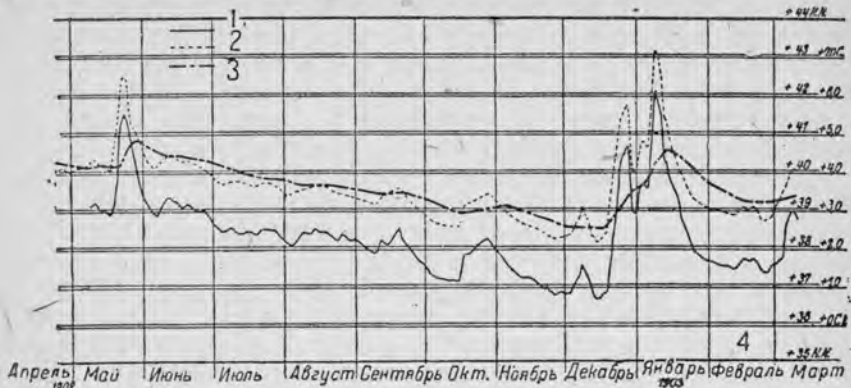


Рис. 300. Кривые уровня Рейна и грунтовых вод близ Вестгофена.

1 — ход уровня воды в Рейне близ Корабельного моста; 2 — ход уровня воды в Рейне у Вестгофенского футштока (труба III); 3 — ход уровня грунтовой воды в буровой скважине «а» около Вестгофенского водопровода.

по общему правилу одинаковые с ней колебания зеркала. Рисунок 300 показывает движения зеркала реки Рейна и грунтовой воды около Вестгофена по съемкам Рутзатца. Запоздание в колебаниях зависит от удаленности реки от места наблюдения за грунтовой водой.

Гидроизогипсы депрессированного зеркала, грунтовой воды или вернее положение нижнего водораздела, дают вполне надежные данные о том, получает ли колодец воду из соседней реки или нет.

Если каптаж состоит из нескольких колодцев, то для каждого колодца сначала образуются водоразделы  $s_1, s_2, s_3$  (рис. 301), при условии, что между отдельными колодцами проходит некаптированная вода.

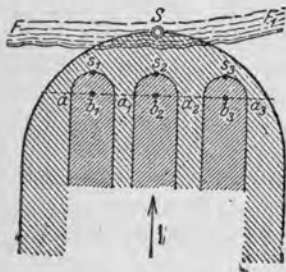


Рис. 301. Питание подпочвы речной водой, когда водоразделы  $s_1, s_2, s_3$ , соединяются в один общий водораздел.

1 — направление течения.

До тех пор пока эти водоразделы лежат вне соседней реки  $FF_1$ , речная вода не попадает в каптаж. Если эксплуатация каптажа будет настолько интенсивна, что между отдельными колодцами не будет протекать некаптированная вода, то отдельные водоразделы сольются, и тогда возникнет одна общая воронка депрессии с одним общим водоразделом  $S$ . Этот водораздел тем вероятнее попадет в реку, чем ближе к реке лежат уже отдельные водоразделы  $s_1, s_2, s_3$ .

В таком случае речная вода попадет в каптаж.

Это наблюдение важно в том случае, когда закладкой маломощных, соединенных между собой колодцев хотят избежать врезания в реку  $FF_1$  границ отбора воды  $a_1s_1; a_2s_2; a_3s_3$ , чтобы этим устранить приток воды. В этом случае надо тщательно наблюдать за тем, чтобы

при эксплуатации колодцев к ним не предъявляли требования, превышающего первоначальное задание. Так как обыкновенно химические и термические свойства поверхностных и грунтовых вод различны, то для определения величины частей грунтовой и поверхностной вод в смешанном виде имеются еще два способа — химический и термический.

Если химическая составная часть составляет  
 в грунтовой воде величину  $g$ ,  
 в поверхностной воде величину  $o$ ,  
 в смешанной воде величину  $m$ ,  
 то в смешанной воде часть грунтовой воды составит:

$$x = \frac{m - o}{g - o} \cdot 100.$$

Если  $g=300$  мг/л,  $o=50$  мг/л и  $m=150$  мг/л хлоридов, то:

$$x = \frac{150 - 50}{300 - 50} \cdot 100 = 40\%.$$

Следовательно смесь состоит из 40% грунтовой воды и 60% речной воды.

Термическим путем составные части воды вычисляются подобным же образом, когда  $Q$  и  $T$  представляют собой количество и температуру со знаком  $g$  для грунтовой воды, со знаком  $o$  для поверхностной воды и со знаком  $m$  для смешанной воды по формуле:

$$\frac{Q_o}{Q_g} = \frac{T_m - T_g}{T_o - T_m}.$$

При измерениях температуры необходимо обращать внимание на то, чтобы во время наблюдения разница в температуре обоих видов воды была возможно большей. Под температурой поверхностной воды нужно понимать не температуру воды в надземном канале, но ту температуру, которую имеет поверхностная вода в месте ее входа в каптаж, так как поверхностная вода изменяет свою температуру по пути к каптажу.

Весьма целесообразно устроить особые места для наблюдения за температурой вдоль течения реки и вдоль протяжения каптажа по направлению к его центру.

Химические и температурные колебания воды проявляются ясно только тогда, когда количество проникающей в грунт воды так велико, что благодаря этому происходят в действительности изменения, превышающие меру естественных колебаний.

## XVI. ДЕПРЕССИЯ ЗЕРКАЛА ГРУНТОВОЙ ВОДЫ И ЕЕ ДЕЙСТВИЕ

### 1. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Как выше было сказано, можно считать лучшим тот вид каптажа, при котором возможно меньше нарушается естественное гидравлическое равновесие и при котором таким образом депрессия не

будет значительно превышать естественного колебания зеркала грунтовой воды, в среднем равняющегося 1—1,5 м.

Так как при таких маленьких депрессиях можно получать только небольшие дебиты, то следовало бы, в особенности при большом количестве воды, закладывать большие каптажи. Однако такая мера нежелательна не только потому, что часто не удается приобрести достаточный участок земли, но и потому, что большие каптажи затрудняют эксплуатацию. Ввиду этого всегда предпочитают делать каптажи возможно короче и насколько возможно увеличивать депрессию. Исходя из этих соображений, сооружено много городских водопроводов, при которых депрессия нередко превышает 6—7 м и больше.

Следствием больших депрессий является значительное осушение водоносного пласта.

Такое осушение может при известных обстоятельствах оказывать вредное действие, во-первых, на свойства воды, и, во-вторых, на произрастание растений, на поверхностные водоемы, на существующие колодцы и т. п.

## 2. ДЕЙСТВИЕ ПОНИЖЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД НА СВОЙСТВА ВОДЫ

Если толща, заключающая грунтовые воды, осушается на большую глубину, то кислород атмосферного воздуха проникает в осунувшие пласты земли. Если при этом почва содержит составные части (например железо, марганец), которые окислением превращаются в растворимые соединения, то при наводнениях, таянии снега, при подъеме зеркала грунтовой воды подобные растворимые вещества могут выщелачиваться и попадать в каптаж.

Подобными процессами объясняется нередко наблюдаемое во время наводнений в районе каптажа повышение содержания железа в водопроводе.

Большие депрессии могут быть особенно опасны там, где осушенные водоносные пласты или покрывающая их кровля содержат много болотных и илистых масс.

Л ю р и х (Luehrig) указал на значение органических веществ, которые часто наполняют старые русла рек, и на происходящие от них опасности для водопроводов.

Причины опасности болотистых почв заключаются в том, что в них встречаются сернистые соединения, которые могут превратиться в сернистое железо, в сероводород и даже в свободную серу. Сами по себе нерастворимые соединения сернистого железа обладают свойством окисляться, воспринимая из воздуха кислород, и превращаться затем в растворимые в воде соединения. Эти соединения при дальнейшем поглощении кислорода и при выделении серной кислоты могут действовать на почву и грунтовую воду разлагающе и вредным образом.

Кислые свойства болотной грунтовой воды хорошо известны строителям глубоких колодцев, так как такая вода в короткое время может разрушить подземные бетонные каналы и т. п.

Только благодаря разрушению в 1906 г. Бреславльского каптажа грунтовой воды широкие круги техников обратили внимание на опасность для каптажа со стороны болотистых грунтовых вод, которая прежде ими почти не замечалась.

Содержащиеся в илистых образованиях района Бреславльского каптажа соединения серпистого железа вследствие осушения почвы на большую глубину превратились в растворимые соли. Когда после засушливого 1905 г. внезапно наступило наводнение в районе каптажа, то минеральное содержание воды утроилось, и содержание железа возросло с 9 до 100 мг в литре и выше, причем реакция воды сделалась сильно кислой. Исследования показали, что в окисленном иле содержалась также и свободная серная кислота в количестве приблизительно в 31,89 г на 1 кг почвы.

В другом случае изменение состава воды произошло на 12-м году действия водопровода.

Такие же наблюдения были произведены и над содержащимся в почве марганцем.

При больших депрессиях там, где под каптажем находятся горизонты с соленой водой, может благодаря просачиванию из глубины соленой воды наступить постепенное осолонение воды в каптаже.

Автор наблюдал подобные явления на каптаже города Зальцфельда. (Отд. Е, Гл. IX.)

Ввиду этого везде, где над каптажем и под ним залегают минеральные растворимые вещества, следует всегда соблюдать особую осторожность при определении величины депрессии, так как при чрезмерном нарушении гидрологического равновесия можно ожидать изменения химического состава воды совершенно так же, как это бывает с минеральными водами.

Подобные изменения химического состава воды часто наступают впервые только по истечении ряда лет эксплуатации колодца.

### **3. ВЛИЯНИЕ ДЕПРЕССИЙ НА ПРОИЗРАСТАНИЕ РАСТЕНИЙ**

В какой степени осушение почвы действует на произрастание растений зависит от глубины уровня грунтовой воды под поверхностью земли, возраста растений и т. п.

Если зеркало грунтовой воды расположено высоко, то по общему правилу с этим связана чрезмерная сырость грунта до самой поверхности земли и даже затопление последней. Следствием подобного высокого стояния грунтовой воды является образование выходов грунтовой воды на поверхность земли, ключей, сырых полей, кислых и заболоченных лугов, болот, топей и т. д. В таких районах с высоким стоянием грунтовых вод флора ограничивается водяными и болотными растениями. Луга и поля в сырой местности имеют низкую с.-х. ценность, которая в лучшем случае только в совершенно сухие годы несколько повышается.

Каптирование воды в таких пластах земли действует так же, как специальные дренажи, устроенные для удаления почвенной влаги и для превращения болот и топей в культурные площади, создавая более благоприятные условия для произрастания растений. Вместо кислых луговых растений начинают расти сладкие травы, и сырая пашня начинает давать большие урожаи.

Осушение тяжелых почв увеличивает урожайность земли от 40 до 300% вместе с чем поднимается и стоимость земли. Таким образом каптаж воды в данных случаях заменяет собою мелиоративные работы.

Существует целый ряд сооружений по водоснабжению, которые подняли качество почвы.

По Крюгеру более или менее допустимым расстоянием между грунтовой водой и поверхностью земли является: для пашни — 1 м, для пастбища — 0,8 м и для луга — 0,5 м.

Для того чтобы судить о том, какая величина депрессии является допустимой без вреда для растений, очень важно знать, на какую глубину проникают корни растений.

Шульце дает по Вахтеру следующие средние глубины проникновения корней растений в почву (в сантиметрах):

199,2 . . . . .	для озимой ржи
277,2 . . . . .	для озимой пшеницы
247,3 . . . . .	для овса
231,0 . . . . .	для красного клевера
300,0 . . . . .	для озимого рапса

Корни деревьев достигают часто значительно большей глубины. Так для тополя была определена глубина корней до 12 м, а для бука даже до 25 м. По описанию Вальтера при прорытии Суэцкого канала были найдены корни тамаринда длиной до 30 м, которые проросли через сухую почву пустыни и достигли зеркала грунтовых вод.

Для суждения о влиянии понижения уровня грунтовых вод на произрастание растений надо принять во внимание следующие положения. Растения берут из почвы необходимую для их роста пищу в жидком виде. Растворенные питательные вещества почвы попадают в клетки растений под действие эндосмоса. При этом движение всегда происходит из более слабого раствора в более крепкий, вследствие чего движение раствора идет из почвы в клетки корней, так как в последних обычно концентрация питательных веществ больше. Если во время засухи почва будет пересушена, то движение раствора из почвы в клетки растений прекратится. К недостатку воды прибавляется также еще недостаток питательного вещества, в результате чего растения вянут и засыхают.

С другой стороны, повышением уровня грунтовой воды вытесняется почвенный воздух из места, где сосредоточена корневая система; вследствие этого дыхание корней прекращается, и растение страдает от излишка влаги.

Следовательно для создания оптимальных условий питания растений должны быть налицо и почвенная влага и воздух. Этому условию никоим образом не отвечает бедная кислородом грунтовая вода, и оно может иметь место лишь во влажной зоне лежащей выше уровня грунтовых вод. Постоянное равновесие между потребностью растений в воде и питательной влажностью почвы может происходить за счет грунтовой воды только таким образом, что потребный приток воды подается из глубины вверх благодаря капиллярному свойству почвы. Грунтовая вода поэтому может считаться источником влажности до тех пор, пока расстояние от уровня грунтовой воды до корней растений меньше высоты капиллярного поднятия. Так как эта высота увеличивается по мере уменьшения величины частиц грунта, то из этого следует, что в мелкозернистом грунте зеркало грунтовой воды может быть понижено глубже, чем в крупнозернистом, без опасности пересушить подпочву.

Предыдущие рассуждения о влиянии понижения зеркала грунтовых вод на растения надо однако дополнить еще указанием на то, что необходимо делать различие между однолетними и многолетними растениями и в последнем случае между уже растущими растениями и новыми посадками.

Корни как органы питания должны всегда приспособляться к условиям почвы. Лучше всего приспособляются однолетние растения, которые хотя и условно, но легче других удовлетворяются существующим положением зеркала грунтовой воды.

На этом основании различные травы, хлеба и овощи сравнительно мало чувствительны к колебаниям грунтовых вод. Они становятся чувствительными к этим колебаниям только тогда, когда растут на открытом плоском месте, где ветер и солнце вызывают интенсивное испарение из верхних слоев земли. В таких случаях может оказаться, что из почвы испарением расходуется больше влаги, чем притекает в нее в силу капиллярности из глубины или выпадает из атмосферы. Следствием этого будет тогда чрезмерное высыхание верхних слоев земли, что например происходит в незащищенных дюнных районах в Голландии. В таких районах всегда рекомендуется допускать только небольшие понижения зеркала грунтовых вод и над местами наибольшего понижения насаждать защитные растения, чтобы сделать почву менее чувствительной к действию солнечных лучей и переменам температуры.

К этому надо еще прибавить, что из гигиенических соображений совершенно недопустимо применять на граничащих с каптажем участках удобрения животного происхождения; в результате этого на отмеченных участках неизбежно должно идти истощение почвы и уменьшение ее плодородия.

Совершенно другие условия имеют место, когда дело идет о многолетних растениях, т. е. о кустарниках и деревьях всех видов.

Так как приспособляемость корней многолетних растений к изменению уровня грунтовых вод понижается с увеличением возраста этих растений, то при повторяющихся засухах молодые растения находятся безусловно в более выгодном положении. Их корни тянутся за водой в глубину, и это облегчается приспособляемостью молодых корней к изменяющимся условиям. Вместо поверхностных корней развиваются глубоко лежащие основные корни с целой системой тончайших корневых волосков, служащих для питания. Поэтому в местностях с волнистым рельефом при горизонтальном положении уровня грунтовых вод на пониженных местах деревья образуют поверхностные корни, а на возвышенностях глубоко сидящие. Из этого становится ясным, что расстояние между основаниями корней и зеркалом грунтовых вод не играет большой роли в росте растений.

Многочисленные леса волнистой местности, под которой расположено одно сплошное зеркало грунтовой воды, доказывают большую приспособляемость деревьев к изменениям в расстоянии между корнями и зеркалом грунтовых вод. Если например сравнить деревья, растущие на холмах Грюневальда или в Мюгельберге около Берлина, с деревьями соседних низменностей, то можно прийти к убеждению, что не может быть и речи об ухудшении роста деревьев в зависимости от увеличения расстояния между основанием корней и зеркалом грунтовых вод. Рис. 302 представляет собою схематический

поперечный разрез Грюневальда. Расстояние между основанием корней разных деревьев и зеркалом грунтовых вод возрастает до величины  $h_1, h_1$ . Величина этих расстояний не оказывает влияния на питание деревьев. Если к естественному поперечному разрезу изготовить чертеж, на котором поверхность земли будет горизонтальна, а зеркало грунтовой воды волнообразно, то в первоначальных расстояниях между поверхностью земли и зеркалом грунтовых вод ничего не изменится, и мы получим картину искусственной депрессии зеркала воды в горизонтальной местности. Соотношение между земной поверхностью и зеркалом воды, а также условия для произрастания растений на обоих чертежах одинаковы.

Из этого следует, что там, где деревья могут приспособиться к положению грунтовых вод, понижение уровня не оказывает никакого влияния на их произрастание.

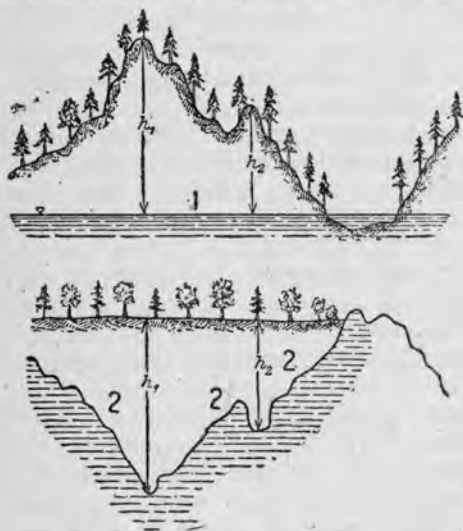


Рис. 302. Схематическое изображение местности, в которой корни деревьев находятся на разном расстоянии от зеркала грунтовых вод. 1 — естественный уровень грунтовой воды; 2 — депрессированный уровень грунтовой воды.

Если же, наоборот, мы слишком понизим зеркало грунтовых вод, расположенное под старым лесом, имеющим поверхностные корни, то поверхностные толстые основные корни не будут уже в состоянии приспособиться к новым условиям, так как в данном случае исключена возможность образования новых глубокосящих главных корней. В этом случае будет неизбежно иметь место недостаточный приток воды к главным корням, вследствие чего такая депрессия вредно отразится на старых деревьях.

Такие условия господствуют в старых лесах, расположенных в районе депрессии, вызванной вновь сооруженными водопроводами. Тут

идет речь о деревьях столетнего и еще более старого возраста, и опыт показывает, что вред от понижения уровня грунтовых вод обыкновенно бывает тем больше, чем старше растения.

По наблюдениям С и н ц а (Sinz) в Наунгофском государственном лесу, в районе которого заложены водопроводы гор. Лейпцига, большинство корней более старых деревьев расположены совсем близко к поверхности земли. Произошло это ввиду того, что раньше здесь зеркало грунтовой воды стояло очень высоко, корням не было никакой надобности развиваться для приема воды в глубину. По мере понижения зеркала грунтовой воды высоко лежащие корни обсыхали, и питание водой из глубины ограничивалось только немногими корнями, которые проросли глубже. Таким путем первоначальное равновесие было в значительной степени нарушено. Если дереву удастся возможно скоро отрастить в глубину новые корни—то оно хотя некоторое время

и чахнет, но не умирает. Деревья же которые не могут приспособиться к новым условиям, умирают.

Уменьшенный приток воды ведет часто к замедлению роста деревьев. В таком случае для того, чтобы получить бревна или дрова той же толщины, что и прежде, приходится продлить срок рубки леса и рубить его позже. От этого страдает не только доходность леса но и его качество. Соотношение между строевым и дровяным лесом ухудшается в отношении первого.

С замедлением роста деревьев понижается и их способность сопротивляться болезням. Они гораздо легче поражаются насекомыми и грибами. Наоборот, в этих случаях лучше произрастают лесные кустарники, сорные травы, черника, папоротники, которые отнимают питание от леса и затрудняют произрастание молодняка.

Синц для Наунгофского государственного леса определил убыток на 1 га в сумме 100 марок, что для столетнего оборота при капитализации из 3,5% составляет в округлении 2 800 марок.

Как на дальнейшие вредные влияния понижения грунтовых вод следует еще указать: большое увеличение числа насекомых, личинки которых в сухой почве лучше зимуют, вред, наносимый дикими кроликами, мышами и прочими, которые при пониженном уровне грунтовых вод могут рыть более глубокие норы. В гигиеническом отношении это имеет значение постольку, поскольку глубокими лазейками и норами образуются соединительные пути между поверхностью земли и водоносным горизонтом, через которые гораздо легче проникают в глубину вредные вещества.

В общем очень трудно правильно оценить все осушающее влияние каптажа на флору, так как до настоящего времени не было в этой области основательных исследований, по которым можно было бы сделать совершенно правильные выводы.

По наблюдениям Вахтера при одинаковой глубине расположения корней в одной и той же почве при одинаковом понижении зеркала грунтовых вод некоторые растения погибают раньше других, а другие переносят такое же понижение без всякого вреда для себя. Тут повидимому большую роль играет приспособляемость некоторых видов растений.

Предупредить обесценение садов и лугов, вызываемое понижением зеркала грунтовых вод, можно только уменьшением величины понижения и подъемом, где это возможно, зеркала грунтовых вод искусственным образованием грунтовой воды, т. е. устройством сооружений для инфильтрации прудов, запруд и т. п.

Погибшие старые деревья должны заменяться новыми насаждениями, которые легче приспособятся к изменившимся условиям и будут такими же доходными, как и прежний лес.

#### **4. ВЛИЯНИЕ Понижения Грунтовых вод на ведение хозяйства**

При более сильном понижении грунтовых вод возникает опасность высыхания болот и торфяников, которые наподобие губки выравнивают питание водой источников, ручьев и рек. В этом отношении при регулировании реки были получены только неясные данные, как например в долине Дуная около Донаушингена (Donauschingen) и Виллингене и в Хелентале (Willingen, Hollental) выше Фрей-

бурга около Цартена (Zarten). Так как болота и торфяники охлаждают воздух, благодаря чему сохраняется влага в воздухе, понижение зеркала грунтовых вод действует непосредственно также на количество выпадающих осадков<sup>1</sup>.

## ХVII. ДОЛГОВЕЧНОСТЬ КАПТАЖНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Долговечность многих каптажей ограничена. Она зависит от:

- 1) особых свойств грунтовой воды,
- 2) материала, из которого построен каптаж,
- 3) перемен, происходящих в подпочве.

Как мы уже видели выше, грунтовые воды обладают свойством разъедать цемент и металл, а также разрушать и тело каптажей.

Наилучшее сопротивление разъедающему действию воды оказывают каптажи из гончарных изделий и каптажи из каменной кладки, так как при этих материалах разрушающее действие воды в большинстве случаев ограничивается разрушением прокладки муфт и швов кладки.

Воды содержащие углекислоту и другие почвенные кислоты, разрушают почти все металлы. Торф, перегной и близость пластов каменного угля требуют при выборе материала для сооружений каптажа особой осторожности.

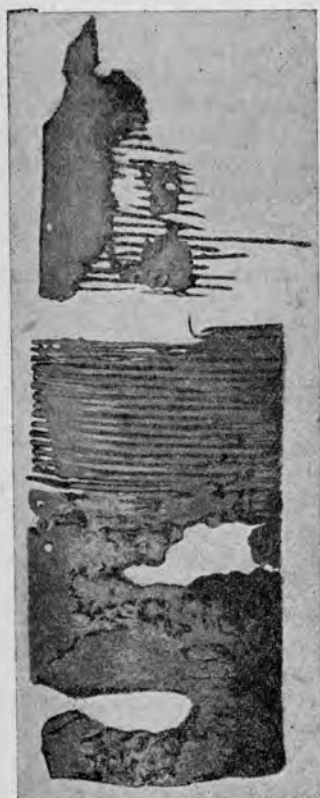


Рис. 303. Железная буровая труба, разрушенная грунтовой водой (через 3 года).

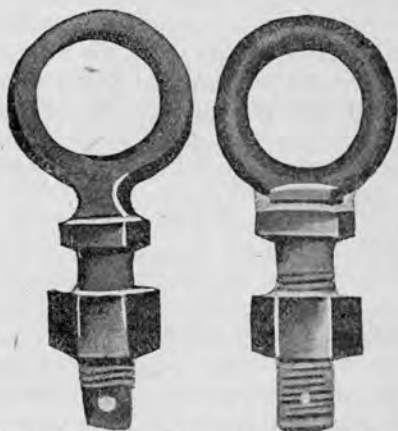


Рис. 304. Разрушение железных частей чугунного трубчатого колодца с грунтовой водой.

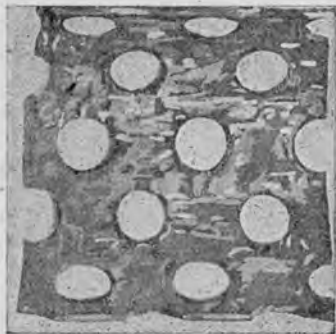
Легче всего поддаются разрушению железо и цинк. В погруженных в воду железных трубах сначала разрушается цинковая оболочка,

<sup>1</sup> Высказываемые здесь взгляды автора в части регулирующего действия болот на питание рек и на выпадение осадков являются спорными.

Примечание редакторов.

а потом и железо. Большое сопротивление разрушающему действию такой воды оказывает чугун и медь, в то время как латунь благодаря содержащемуся в ней цинку легче подвергается разрушению. По наблюдениям автора до настоящего времени лучшими трубчатыми колодцами оказались чугунные и медные.

Рис. 303 показывает, до какой степени и в короткое время могут быть разрушены железные трубы. Эти трубы лежали в земле всего лишь три года.



1. Первоначальный вид.

На рисунке 304 видно, насколько разрушила вода железные части чугунного артезианского колодца Тима, бывшего в работе 15 лет. Чугунные же части этого колодца за то же время совершенно не были повреждены.

Ваде (Wade) описывает особенно агрессивные воды в Новом Южном Уэльсе. Там водопроводные трубы из мягкой стали должны были быть сменены уже через 9 месяцев. Опыты с другим материалом не увенчались тоже успехом. Пред-



2. Наружная оболочка.



3. Внутренняя оболочка.

Закупоренное состояние.

Рис. 305. Фильтр, ставший водонепроницаемым вследствие осаждения железной охры.

полагают, что причина такого разрушающего действия воды лежит тут в большом содержании газа в грунтовой воде.

Разрушающее действие воды иногда усиливается вследствие того, что под влиянием действия почвенных кислот возникают гальванические токи, которые обыкновенно возникают там, где водопроводные трубы сделаны из разных материалов. Ввиду этого следовало бы в трубчатых колодцах, сделанных из различного материала, по возможности не соединять металлов, способствующих образованию гальванической цепи, или же изолировать их друг от друга. Часто спайка является причиной образования подобных гальванических токов. Ввиду этого выгоднее состоящие из различных металлов филь-

ры строить по указанному на рис. 223 способу при помощи заклепок и винтов.

Долговечность каптажей зависит не только от материала, из которого они сделаны, и не только от агрессивных свойств воды. На долговечность их влияют также и возникающие во время эксплуатации каптажа изменения в состоянии грунта.

Окружающие тело водопровода естественный и искусственный защитные покровы могут засориться или механически или вследствие химического превращения.

В первом случае засорение вызывается тем, что вызванное отбором воды увеличение скорости движения грунтовых вод выводит из равновесия мелкие песчинки.

Они хотя и медленно, но приходят в движение и продвигаются по направлению к стенке каптажа.

Этим путем мало-помалу происходит обогащение водоносной породы вокруг каптажа мелким песком.

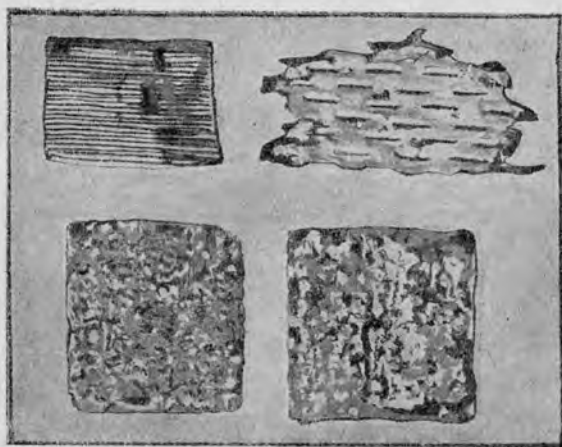


Рис. 306. Засорение фильтра выделениями железа и извести.

Водопроницаемость породы здесь понижается, и вместе с тем падает и дебит.

Во втором случае происходит выделение железа в виде углекислых и других солей, которые могут совсем или частично закупорить отверстия ячеек. Часто имеет место совместное действие обоих этих процессов засорение механическое и химическое. Происходит это потому, что нагроможденные перед каптажем песчинки в местах их соприкосновения между собой цементируются углекислой известью, железом и образуют твердую бетонообразную массу. Опыт также показывает, что и органические примеси, присущие многим грунтовым водам, могут вызвать закупорку фильтров, покрывая илюобразным покровом стенки колодез, вследствие чего водопроницаемость их значительно падает или теряется совершенно.

Рис. 305 и 306 изображают нам примеры фильтров засоренных, потерявших с течением времени водопроницаемость. На рис. 305 изображена часть снабженного отверстиями железного фильтра,

который приблизительно через 5 лет под влиянием выделившейся железной охры стал абсолютно водонепроницаемым. Рис. 306 изображает чугунную оболочку фильтра, которая вследствие выделения железа и извести, образующих твердую кору, была совершенно засорена. На рис. 307 изображен фильтр, состоящий из железного с отверстиями кожуха, оплетенный грубой квадратной сеткой. Через два года вокруг фильтра образовался бетонообразный наружный покров из железа, извести и мелкого песка толщиной приблизительно в 20—25 см. Благодаря этому колодец стал абсолютно водонепроницаемым.

Из этого следует, что состояние каптажа изменяется подобно тому, как изменяются и искусственные фильтры, которые при бес-

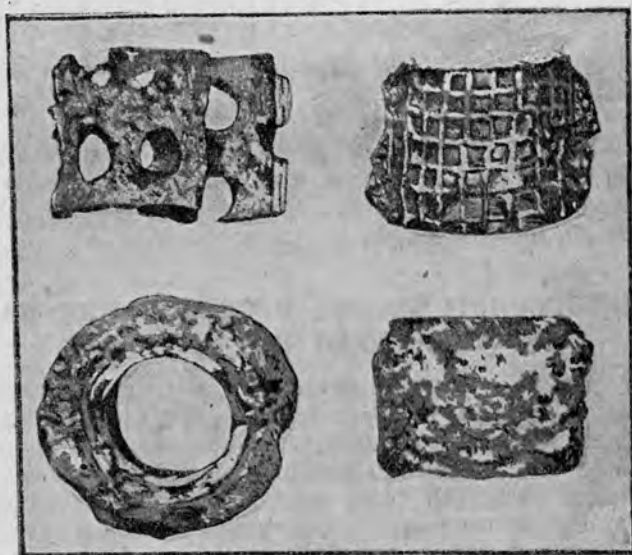


Рис. 307. Засорение фильтра вследствие образования бетонообразной оболочки, состоящей из железа, извести и песка (через два года).

прерывной эксплуатации заносятся илом и закупориваются, или, как говорят на техническом языке, «умирают».

Как показано на рис. 308, подобные изменения в состоянии колодцев могут быть точно установлены наблюдениями за колебаниями зеркала воды. Обозначенное цифрой I зеркало воды в колодце соответствует положению зеркала в момент начала эксплуатации каптажа. Положение зеркала, обозначенное цифрой II, показывает состояние зеркала по истечении нескольких лет работы колодца. Депрессия во втором положении увеличивается на величину III. Замеченное при этом падение дебита колодца нельзя приписать уменьшению количества грунтовой воды, но следует приписать тому, что вокруг колодца вследствие последовавших изменений в водоносном пласте водоносная порода стала менее водонепроницаемой и вместе с тем увеличилось сопротивление фильтра.

Как может упасть дебит за время эксплуатации каптажа, можно проследить на рис. 309, показывающем падение с течением времени дебита каптажа города *W*.

На диаграмме видно, что на 2-м году действия водопровода дебит упал на 78% против первоначального, на 8-м году — на 38% и на

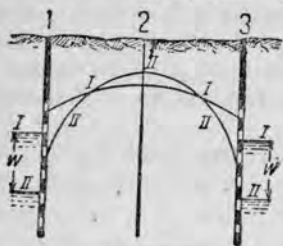


Рис. 308. Сопротивление в каптаже.

1 — трубчатый колодец; 2 — наблюдательная труба; 3 — трубчатый колодец.

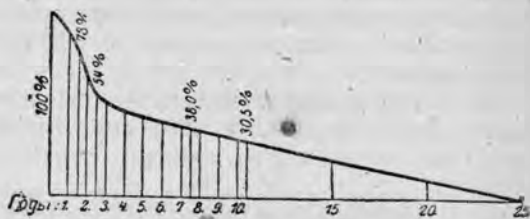


Рис. 309. Диаграмма падения дебита в каптаже.

11-м году — на 30,5%. Падение дебита, начиная с пятого года, происходит уже почти равномерно, и, как показывает кривая величина дебита каптажа, предоставленного самому себе, по прошествии приблизительно 25 лет свелась бы к нулю.

## XVIII. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ КАПТАЖА, ПРЕКРАТИВШЕГО ПОДАЧУ ВОДЫ

Падение дебита каптажной грунтовых вод, вызываемое образованием осадка на стенках и засорением, увеличивающими сопротивление фильтрующих поверхностей и окружающего грунта, является естественным, постепенно развивающимся процессом, который с годами может оказаться очень вредным. Гидрогеолог-практик поэтому иногда бывает вынужден изыскивать средства и способы, которыми прекративший подачу воды каптаж можно было бы вновь привести в годное состояние.

— Гидрогеологические мероприятия, которые должны предшествовать подобным работам, далеко недостаточно оцениваются на практике. Ввиду этого и литература по данному крайне важному вопросу далеко недостаточна. Насколько известно автору, только Губер и Тим занимались относящимися к этому вопросу изысканиями.

Для правильного разрешения этого вопроса необходимо исследование каптажа в его изменившемся состоянии и желательно знакомство с его первоначальным состоянием. Обычно точных гидрогеологических исследований пород, в которых заключен каптаж, и самого каптажа не производится, а если и производится, то в недостаточной мере. Производство этих весьма желательных наблюдений и исследований затрудняется еще тем, что при этом нужно по возможности избегать перерыва в действии водопровода и всяких нарушений в каптаже.

Относящийся к этим работам способ может быть предложен только при каптаже, состоящем из нескольких буровых колодцев, заложенных в потоке напорной воды. Закон дебита этих колодцев несмотря

на существующие при входе в них сопротивления можно рассматривать как почти прямолинейный. Для того чтобы определить теперь дебиты каждого отдельного колодца, уровни воды в них должны быть доступны для измерений. При этом каждый колодец должен иметь особое приспособление для запора. Это нужно для того, чтобы каждый отдельный колодец мог быть выключен в то время, как остальные колодцы продолжают работать. Если будут приняты меры к равномерной работе колодца, то по истечении известного времени в исследуемом изолированном колодце установится спокойное положение зеркала. Такое положение зеркала мы называем «установившимся пьезометрическим уровнем». После того как в колодце установится постоянный уровень, из него насосом 2 или 3 раза откачивается в разных количествах вода.

По полученным таким путем величинам дебита и по соответствующим величинам депрессии может быть нанесена линия дебита колодца, как то видно на рисунке 310.

После того как эта манипуляция будет проделана по очереди со всеми колодцами, получатся линии  $o_1a_1$ ,  $o_2a_2$ , соответствующие состояниям дебита в колодцах в данное время. Углы  $\alpha$  для каждого колодца остаются постоянными, пока в подпочве ничего не изменится. Если отбор воды усилится, то изменится только высота нулевой точки  $o$ , но не угол  $\alpha$ . Для разных колодцев получаются различные углы  $\alpha$ , и тогда мы уже будем в состоянии вывести из величины  $\alpha$ , как относятся величины дебитов отдельных колодцев друг к другу. Если имеются изыскания, относящиеся ко времени пуска каптажа

в эксплуатацию, то мы можем располагать также линиями дебита  $o'_1a'_1$ ,  $o'_2a'_2$  и углами  $o'_2a'_2$ , и из сравнения углов  $\alpha_1a'_2$  с углами  $\alpha'_1a'_1$ ,  $\alpha'_2a'_2$  можем вывести величину падения дебита для каждого отдельного колодца. По величине падения дебита можно также определить последовательность работ по очистке, извлечению и обновлению колодцев.

Тригонометрические тангенсы  $o_1a_1, o_2a_2$  дают только относительные величины участия в работе каждого отдельного колодца во время эксплуатации каптажа. Линии  $o_1a_1$  и  $o_2a_2$  действительны только для данного состояния равновесия всего каптажа. Если это состояние будет нарушено, то изменится и положение установившихся уровней  $o_1$  и  $o_2$ , а вместе изменится и количество воды, которое дает колодец при известном положении зеркала. Если например колодец при самостоятельной эксплуатации при понижении уровня на 1 м давал воды 1 л/сек. и если общая работа всех колодцев будет настолько усилена, что установившееся зеркало понизится на 1 м, то его дебит будет равняться нулю, в то время как при более слабой работе он достигал 1 л в секунду.

При этом однако надо различать, вызывается ли депрессия зеркала изолированной работой колодца или же оказываемым на колодец влиянием со стороны соседних колодцев.

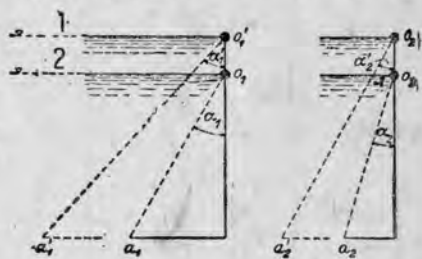


Рис. 310. Линии дебита колодца.

1 — первоначальный уровень грунтовых вод;  
2 — установившийся уровень грунтовых вод.

На основании данных относительных величин участия в работе каптажа отдельных колодцев и при знании общего дебита можно определить и абсолютные величины частей дебитов, приходящихся на долю каждого колодца при разных условиях эксплуатации. Для этой цели делают более длительный перерыв в работе колодцев до установления спокойного состояния уровня воды в колодцах.

Затем на основании произведенных измерений устанавливают линию  $MN$  спокойных уровней воды (рис. 311). Если потом все колодцы изображенного на рис. 311 каптажа, состоящего из 5 соединенных колодцев, привести в действие кроме одного и откачивать из них не изменяющееся количество воды, то линия уровней перейдет в положение  $mn$ . Все колодцы покажут некоторое понижение уровня. Если провести через установленное зеркало колодца № 4 линию  $ab$ , параллельную линии  $MN$  или уровню грунтовой воды, то мы получим пониженное положение динамического уровня грунтовой воды в районе каптажа.

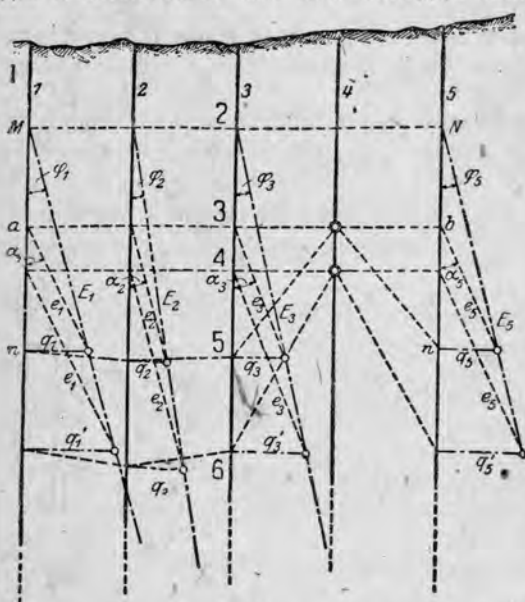


Рис. 311. Графическое изображение дебита соединенных колодцев.

1 — колодец; 2 — установившийся уровень напорной воды после приставки эксплуатации; 3 — пониженный уровень воды в районе каптажа (I положение); 4 — пониженный уровень (II положение); 5 — пониженный уровень воды в колодцах (I положение); 6 — пониженный уровень воды в колодцах (II положение).

Каждая точка пересечения линий  $ab$  с осью колодца покажет таким образом нулевое положение установившегося уровня, соответствующего полученной депрессии. От этой точки пересечения идет линия дебита, направленная под соответствующим углом  $\alpha$  к вертикали. Так как далее положение пониженного зеркала известно, то, проводя перпендикуляры к осям колодцев, мы получим абсолютные величины дебитов  $q_1, q_2$ , которые соответствуют этим положениям зеркала.

Сумма всех  $q$  должна равняться дебиту каптажа во время производства опыта, т. е. общему дебиту каптажа, за исключением дебита колодца № 4.

Если мы произведем этот опыт при большой депрессии, то получим второе положение и из него дебиты  $q_1, q_2$ ...

Если опыт проведен точно, то длина ординат, относящихся к дебитам  $q$  и  $q_1$ , и положение установившегося уровня на линии  $MN$  должны дать одну приблизительно прямую линию, как то показано на рис. 311.

Линии  $E_1, E_2$ ... представляют собой ход дебита каждого отдельного колодца во время их совместного действия (кроме колодца № 4), в то время как линии  $e_1, e_2$ ... являются линиями дебитов колодцев

в том случае, когда каждый колодец откачивается отдельно для каждого из получаемых при опытах динамических состояний зеркала грунтовых вод.

Вариациями этого опыта можно также определить и дебит колодца № 4, если не захотят удовлетвориться определением его путем вычислений по увеличению дебита каптажа, который получается при пуске вновь колодца № 4, в то время как депрессия прочих колодцев поддерживается в I или II состоянии.

Если закон дебита выразится не прямой линией, а параболой, чего всегда можно ожидать при грунтовых водах со свободным зеркалом, то и это не вызовет больших изменений в ходе вышеописанного опыта, но только сделает его более сложным.

Вышеописанный способ пригоден также для вычисления дебитов отдельных колодцев новых каптажей, когда колодцы эти последовательно соединены в один общий каптаж и когда началась их эксплуатация.

## ХІХ. СРЕДСТВА ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ВОДОПРОВОДОВ

Лучшими способами для увеличения долговечности водопроводов останутся навсегда правильное, простое прочное сооружение и правильное обращение с возникающими впоследствии изменениями в состоянии водопровода.

Если приходится иметь дело с железистыми и известковыми выделениями, то иногда удается восстановить прежний дебит промывкой колодца слабым раствором соляной кислоты. Однако это средство следует применять только с большой осторожностью. Так например в имении Либенгоф при промывании колодца соляной кислотой в колодце образовалось такое большое количество углекислоты, что работавший в нем рабочий задохнулся.

Скопившийся в колодцах песок легко удаляется при помощи желонки и ручными центробежными насосами. Однако этими простыми средствами мало можно сделать для очищения каптажа от ила, осадки и засорения песком с внешней стороны колодца.

Чтобы устранить сопротивления, возникающие от засорения песком, требуются мероприятия, приводящие в движение водоносную породу и разрыхляющие ее. Для этой цели лучше всего производить толчки изнутри колодца. Действие толчков можно вызвать, введя в колодец пар. Конечно пар надо вводить в колодец так, чтобы он мог действовать взрывами. Действующее толчками приспособление изображено на рис. 312. Оно состоит из ящика *K*, насаженного на всасывающую трубу колодца *S* и снабженного запорным клапаном *V*, стеклянной водомерной трубкой *W* и отводной трубкой *A*. Ящик соединяется при помощи рукава с всасывающим

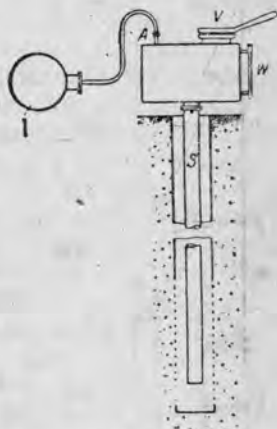


Рис. 312. Прибор, дающий толчки для очищения колодца от песка.

1 — всасывающий трубопровод.

трубопроводом. Открывается кран трубки А, и тогда ящик К наполняется водой. Как только ящик наполнится водой, кран у трубки А закрывается, и запорный клапан сразу открывается. Тогда вся содержащаяся в ящике вода прорывается внутрь колодца, производя желаемый толчок на водоносную породу.

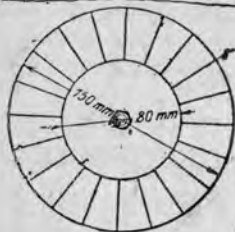
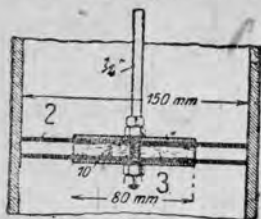


Рис. 313. Поршень для прочистки колодца.

1 — кожа; 2 — железо; 3 — дерево.

Рис. 313 изображает другое простое средство для образования толчков. Этот способ состоит в том, что в колодец вводят поршень (безразлично с прокладками или без них), двигают его вверх и вниз и вызывают этим повышение или понижение уровня воды в колодеце. Этим путем в колодеце и в прилегающем к нему грунте вызываются толчки значительной силы.

Для удаления осадка, образующегося на стенках колодца, пригодна также шланга с особым наконечником,

снабженным отверстиями, через которые под большим давлением вода промывает стенки колодца. Действие такой шланги значительно усиливается специальными стальными щетками, которые прикрепляются к шланге около отверстий (рис. 314). Отверстия эти должны быть узкими.

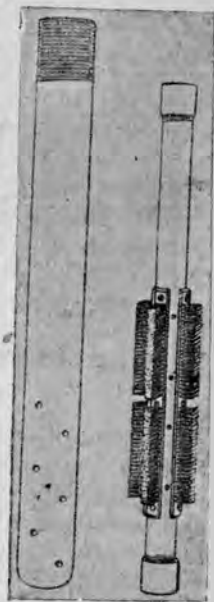


Рис. 314. Шланга для очистки колодца.

Закрывая винтами отдельные отверстия шланги, можно усилить в желаемых местах действие прибора.

Очистку каптажей, легко поддающихся заносу песком или закупорке, следует производить регулярно. Промежутки времени, через которые должна производиться такая очистка, определяются на опыте во время эксплуатации колодца. Так например старый водопровод города Нюренберга прочищается раз в год. Для производства очистки требуется один день. В 1912 г. из 119 колодцев водопровода города Бреслава 98 колодцев было очищено по одному разу и 5 колодцев было очищено дважды.

Если все средства для очистки колодца оказываются недействительными и не удастся восстановить надлежащий дебит трубчатого колодца, то остается только извлечь все трубы из колодца и прочистить их на поверхности земли или же соорудить новый колодец.

Для вытягивания трубчатого колодца можно применить пружинящую гильзу с прорезами, которая при помощи внутреннего клина вклинивается в трубу настолько глубоко, что она крепко зажимается в стенках колодца (рис. 315).

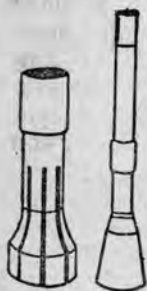


Рис. 315. Пружинящая гильза для вытягивания колодца.

Более простым и целесообразным приспособлением для вытягивания трубчатых колодцев является особый деревянный прибор в виде груши (рис. 316). Прибор этот состоит из деревянного конуса, больший диаметр которого приблизительно на 10 мм меньше диаметра трубчатого колодца. Конус этот прикрепляется к сплошным штангам. Пространство между этой грушей и стенками колодца полностью заполняется гравием или хрящом.

При вытягивании груша настолько крепко заклинивается в стенках колодца, что при помощи ее можно поднять весь трубчатый колодец. Это приспособление обладает тем преимуществом, что при его применении почти не бывает случаев порчи фильтра и в особенности его сетки, что почти неизбежно при применении крючкообразных приспособлений.



Рис. 316. Деревянная втулка для подъема трубчатого колодца.

## XX. ИСКУССТВЕННОЕ ОБРАЗОВАНИЕ ГРУНТОВОЙ ВОДЫ

Большинство грунтовых вод является результатом естественных процессов инфильтрации, при которых поверхностные воды представляют собой сырой неочищенный материал, естественный грунт — фильтр и грунтовая вода, — произведенный продукт.

В природе для этого процесса имеются фильтрующие поверхности огромной мощности и почти неограниченные периоды времени.

Если проследить естественные процессы инфильтрации, которые происходят только спорадически, в неправильные промежутки времени, то зарождается мысль — устранить зависимость от дождя и создать искусственным путем регулярное обогащение грунта поверхностной водой.

Искусственное образование грунтовой воды, хотя и не вызываемое намеренно, происходит на городских полях орошения. По Келлеру например количество воды, инфильтрующейся и пополняющей благодаря этому запасы грунтовой воды в районе полей орошения города Берлина, составляет приблизительно 24 млн. м<sup>3</sup> в год. Каким образом повышается уровень грунтовой воды, или, вернее, увеличивается количество грунтовой воды полями орошения, видно на рисунке 317 (по Фрюллингу). Этот рисунок изображает уровни грунтовой воды в районе Шарлоттенбургских полей орошения около Шпандау.

Первые попытки устройства искусственных сооружений для грунтовых вод надо искать в тех каптажах, которые нарочно были сооружены вблизи рек с целью обогатить грунт речной водой, просачивающейся через берега. Как показывает однако опыт, боковая инфильтрация русла рек и озер часто скоро прекращается, так как поверхностные воды несут с собой взвешенные наносы, которые заиливают берега и делают их водонепроницаемыми. Поучительным примером этого явления служит старый каптаж города Тулузы. Только там можно рассчитывать на сохранение берегами рек и озер водонепроницаемости, где во время половодья происходит размывание и очистка берегов.

К заслугам А. Тима относится то, что он указал пути, по которым надо следовать, чтобы при боковой инфильтрации получить продолжительный успех.

Тим указывает, что только тогда можно рассчитывать на продолжительный успех, когда разность между уровнями реки и каптажа или вернее скорость движения воды при входе не превышает известной границы, так как в противном случае происходит общее загрязнение грунта илом, отчего прекращается инфильтрация. Эта граница зависит в каждом отдельном случае от местных условий и на практике бывает очень трудно ее соблюсти.

Эти трудности при непосредственной боковой инфильтрации с берегов реки привели к тому, что начали применять особые инфильтрационные сооружения, при которых берега реки как источник питания совершенно исключались.

Подобные сооружения для инфильтрации устраиваются или на поверхности земли или под землей. Подземными инфильтрационными сооружениями являются горизонтальные трубы с отверстиями и вертикальные колодцы. Обогащение грунта с поверхности земли может происходить или путем орошения или при помощи особых зазруд и т. п.

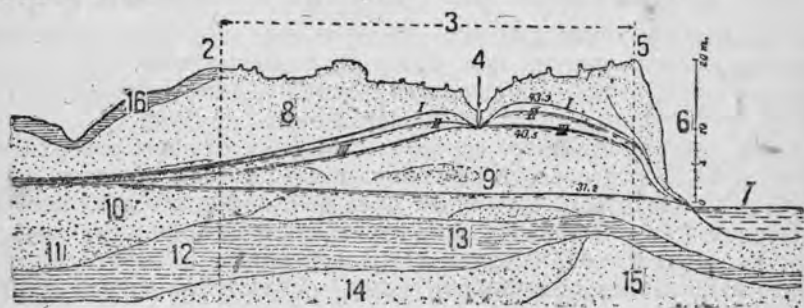


Рис. 317. Подъем зеркала грунтовой воды в районе полей орошения в Каролингенгозе близ Шпандау (по Фрюляйну).

I — грунтовая вода в апреле 1902 г.; II — грунтовая вода в апреле 1899 г.; III — грунтовая вода в апреле 1896 г.; 2 — граница полей фил.трации 3 — протяжение полей орошения — округло 2 км; 4 — дренажная канава; 5 — граница полей фил.трации; 6 — масштаб высоты; 7 — р. Гавель; 8 — песок; 9 — уровень грунтовых вод до устройства полей орошения; 10 — гравий; 11 — песок с глиной; 12 — глина; 13 — глина; 14 — гравий; 15 — песок; 16 — глина.

При орошении вода распределяется по поверхности только тонкими слоями. Орошение может происходить или беспрерывно или через правильные промежутки времени.

Спорадическое питание толщ горных пород поверхностной водой обладает тем преимуществом, что площади инфильтраций всегда при этом доступны и что при этом происходит постоянная вентиляция грунта. Способ этот очень прост, и основные расходы невелики. Недостаток его заключается в том, что во время морозов поверхность земли замерзает, благодаря чему она становится водонепроницаемой. Этот недостаток устраняют прокладкой в глубине в незамерзающем грунте особых инфильтрационных трубопроводов.

Самым естественным оросительным сооружением являются орошаемые луга. Не следует их слишком перегружать. Самыми старыми орошаемыми лугами для образования грунтовой воды в Германии обладает город Хемниц. Они расположены на берегу реки Цвинитц. Особые луга для орошения устроены также ниже Ремшейдерской плотины.

Если речная вода грязна, то она предварительно очищается в особых отстойных прудах.

Искусственные пруды, служащие для насыщения грунта, нужно делать настолько глубокими, чтобы зимой они не промерзли. Обычно для этого достаточно 1—2 м глубины. Подобно прудам действуют и оросительные каналы.

Рейхле считает выгодным, когда естественный грунт таких прудов состоит из среднего песка с зернами величиной около 1 мм, так как в таком случае грязь не проникает глубоко в землю. Где нет таких песчаных пластов, их можно насыпать искусственно.

Особенно благоприятны для этой цели естественные или искусственные многоводные пруды, так как в них благодаря отложениям и действию животного и растительного планктона происходит значительное очищение воды. При устройстве особых запруд для образования искусственной грунтовой воды следует отдать предпочтение бассейнам, состоящим по крайней мере из двух частей, так как на время очистки одна часть может быть осушена.

Фильтрующее действие естественной почвы тем сильнее, чем больше расстояние между площадью орошения и зеркалом грунтовых вод. Колебания температуры почвы прекращаются на сравнительно небольшой глубине. В Берлине годовое колебание температуры на глубине 6,8 м равняется всего 1° С и совершенно прекращается на 20-метровой глубине.

Целесообразное расстояние каптажа от места инфильтрации зависит от местных условий и должно в каждом отдельном случае путем опыта определяться сообразно свойствам воды и грунта.

При устройстве сооружений для инфильтрации нужно всегда заботиться о том, чтобы между инфильтрацией и каптажем была тесная связь. Это нужно для того, чтобы не пропало ни одной частицы инфильтрованной воды и не было убытков от расходов по подъему воды и т. п. При эксплуатации надо наблюдать за тем, чтобы между инфильтрацией и стоком всегда поддерживалось равновесие. Следует избегать больших разниц в положении зеркала, так как они могут вызвать большие скорости движения воды.

Особые заслуги в деле систематической постройки и эксплуатации сооружений для искусственного образования грунтовой воды принадлежат Рихерту, который между прочим на водопроводе города Готенбурга доказал, что искусственным обогащением толщу водопроницаемого грунта можно превратить в обильный водоносный пласт, годный для заложения каптажа.

Предварительные опыты над существующими уже каптажами показали, что инфильтрацией из соседнего песчаного карьера можно увеличить дебит артезианского колодца при подъеме зеркала на 0,7 м с 8,6 до 19,1 л воды в секунду. Из общего инфильтрующего количества воды в 1 360 м<sup>3</sup> в сутки пропало только 8%. Скорость инфильтрации равнялась 20 м в сутки.

Спроектированное и построенное на основании предварительных опытов Рихерта сооружение состоит из инфильтрационных бассейнов I и I<sub>1</sub> с общей фильтрующей поверхностью в 5 600 кв. м. Дно бассейнов состоит из песчаного пласта, толщиной в 0,5 м. Речная вода из Гета-Эльфа поднимается по трубопроводу L в резервуары I и I<sub>1</sub>. Каптажем служат 20 колодцев, соединенных между собою

в ряд  $B_1$ . Из каптажа вода самотеком течет в сборный колодец  $S_1$ .

Это первоначальное сооружение давало 70 л воды в секунду, и позже при помощи дополнительного сооружения дебит его был доведен до 100 л в секунду. Дополнительное сооружение состоит из фильтров  $F$  и  $F_1$ , из обогатительных колодцев  $B_2$  и каптажа  $B_3$ , из которого вода течет в сборный колодец. Рис. 318 и 319 изображают геологический разрез и схематический разрез сооружений.

Особенно интересны опыты по искусственному образованию грунтовой воды, которые произвел Ш е л ь г а з е (Scheelhaase) во Франкфурте.

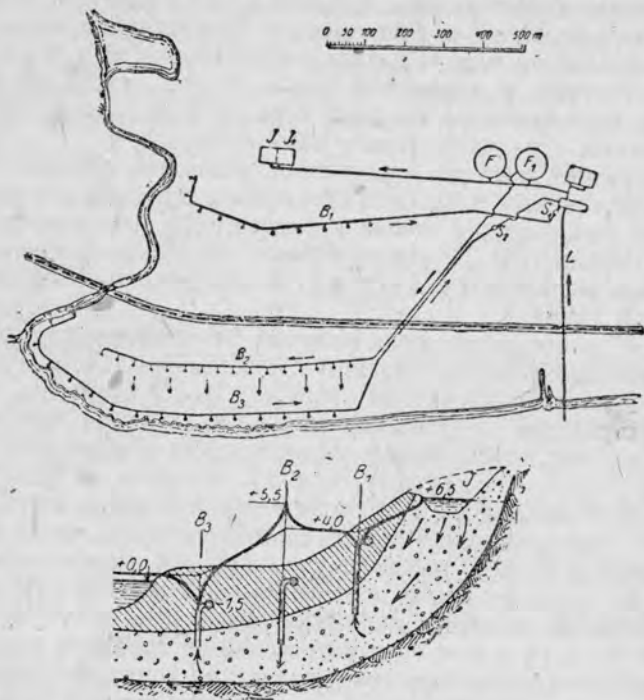


Рис. 318 и 319. Сооружение для образования грунтовой воды в городе Готенбурге (по Рихерту).  
1 — Гета Эльф.

Район франкфуртского каптажа, площадь питания которого равняется приблизительно 90 км, состоит из песчаных пластов и пластов гравия мощностью в 30—40 м. Снизу лежит водонепроницаемый пласт. В районе каптажа депрессия достигает 5 м по отношению к первоначальному уровню воды.

Опыты по инфильтрации происходили в восточной части городского леса и состояли в проводке очищенной воды реки Майна через колодцы на такой глубине, что загрязнение с поверхности земли очищенной ранее воды не могло иметь места. При этом процесс инфильтрации происходил таким образом, что лежащая над грунтовой водой почва могла быть использована для аэрации воды и для мине-

рализации органических веществ. Вода реки Майна сначала отводилась в предварительный фильтр, очищаемый обратной промывкой (рис. 320), потом она поступала в мелкопористый фильтр и здесь она фильтровалась со скоростью самое большое 3 м в сутки. Отсюда она стекала в состоящий из гравия особый фильтр, глубиной в 3 м, снабженный двумя рукавами. Оба эти рукава работали попеременно, так что орошение грунта происходило не постоянно, а периодически.

Инфильтрованная вода должна была просочиться через пласт мощностью в 13—14 м, состоящий из мелкого песка. После этого она соединялась с естественной грунтовой водой и попадала в каптаж.

Практические результаты этих опытов были следующие.

1. Существенного изменения в химическом свойстве воды реки Майна при прохождении первого фильтра не произошло. Для предварительной обработки воды было достаточно грубого фильтра.

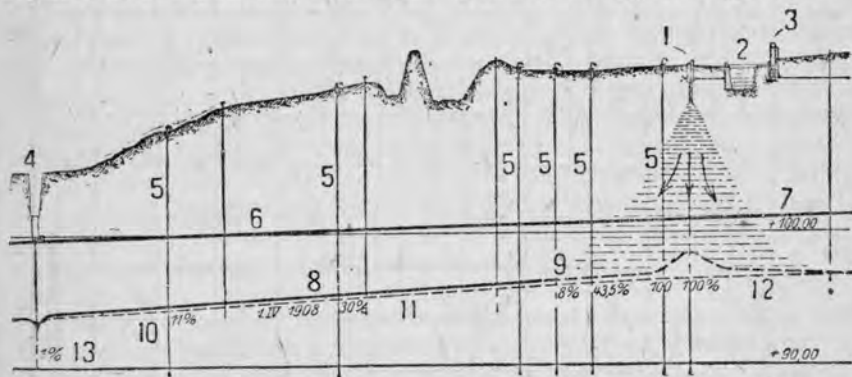


Рис. 320. Сооружение для образования грунтовой воды в городе Франкфурте-на-Майне (по Шельгазе).

1 — место инфильтрации; 2 — мелкопористый фильтр; 3 — предварительный фильтр; 4 — насосная станция; 5 — заборный колодец; 6 — стояние уровня грунтовых вод в 1885 г.; 7 — падение 1:400; 8 — стояние уровня грунтовой воды после трехлетней инфильтрации; 9 — падение 1:200; 10 — состояние уровня грунтовой воды до начала инфильтрации; 11 — падение 1:240; 12 — 1% инфильтр.; 13 — 100% инфильтр.

2. Благодаря инфильтрации вода, проделав путь в 20 м (в 45 дней), сравнялась с грунтовой водой (рис. 321).

3. Температура инфильтрованной воды по преодолении расстояния в 75 м (через 140 дней) оказалась равной температуре естественной грунтовой воды (рис. 322).

4. Запах и вкус воды, прошедшей путь в 100 м (190 дней), почти пропали.

5. Потери, которые произошли вследствие инфильтрации через 3 года эксплуатации, не могли быть точно установлены.

6. Вода просачивалась в почву со скоростью приблизительно 0,5 м в сутки.

Как общий вывод можно установить, что вода реки Майна, считающаяся самой грязной речной водой в Германии, пройдя расстояние от места инфильтрации 100 м в 190 дней, почти сравнялась по качеству с грунтовой водой.

Выгоды от образования искусственной грунтовой воды велики, и нужно считать, что в будущем водоснабжении городов этот способ будет играть значительную роль.

Коротко говоря, эти выгоды состоят в том, что при искусственном образовании грунтовой воды:

- 1) отпадает зависимость от атмосферных осадков,
- 2) во многих случаях можно будет обойтись без расширения каптажа.

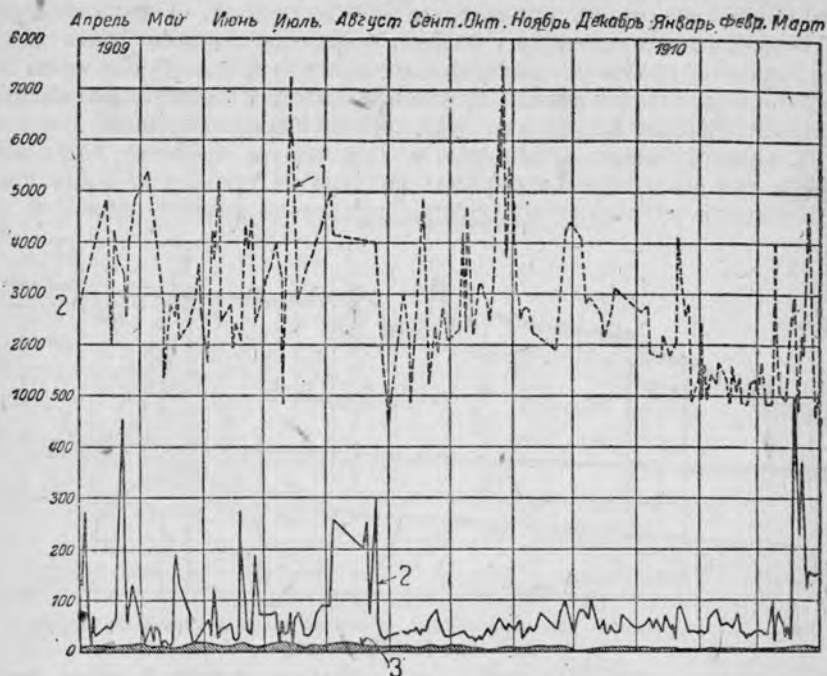


Рис. 321. Диаграмма числа зародышей, обнаруженных в каптаже грунтовой воды города Франкфурта-на-Майне (по Шельгазе).

1 — кипяченая вода Майна; 2 — фильтрованная вода Майна; 3 — колодец 20-й.

3) можно уменьшить или совершенно предотвратить убытки, вызываемые большими понижениями уровня грунтовой воды.

Нужно, только если позволяют местные условия, поднять инфильтрацией пониженное зеркало грунтовых вод, вследствие чего повысится дебит каптажа.

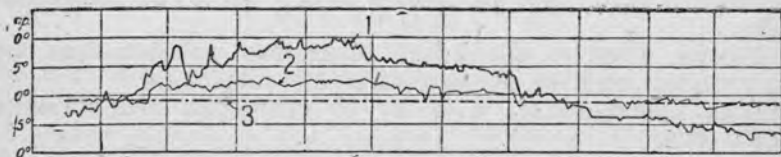


Рис. 322. Диаграмма температуры, которая измерялась в каптаже грунтовой воды города Франкфурта-на-Майне (по Шельгазе).

1 — фильтрованная вода Рейна; 2 — колодец 20 (45) дней; 3 — нормальная температура грунтовой воды.

Описанный способ имеет большое хозяйственное значение там, где трудно получить новые места добычи воды или где таковые нужно искать все дальше и дальше от места потребления.

## XXI. ОХРАНА КАПТАЖА

### 1. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Охрана каптажей только тогда может считаться совершенной, когда она распространяется как на дебит, так и на качество воды.

В общем можно сказать, что с возрастанием мощности водоносного пласта, увеличением расстояния между зеркалом воды и поверхностью земли и с увеличением предохранительной кровли возрастает естественная охрана воды. Лежащие близко от поверхности земли подземные воды более подвергаются вредным влияниям, чем глубокие воды.

### 2. ОХРАНА ЗАПАСОВ ВОДЫ

Количество притекающей в каптаж воды может уменьшаться как вследствие естественных, так и искусственных изменений, т. е. под влиянием нарушений, создаваемых в районе питания каптажа.

К естественным нарушениям относятся: перемена климатических условий и условий, влияющих на выпадение осадков; происходящие изменения на поверхности земли и в грунте, вызываемые естественным истощением, нарушениями в пластах и т. п. К искусственным нарушениям относятся: вызываемая отбором воды депрессия зеркала, перемещение подземных водоразделов, прорывные дренажирующих каналов и т. п.

При эксплуатации грунтовой воды чаще всего наступает уменьшение количества воды вследствие того, что районы питания соседних каптажей перекрывают один другого и поэтому действуют друг на друга наподобие дренажей. Это явление главным образом имеет место в промышленных районах с большим потреблением воды, где соседние фабрики нередко воюют между собой из-за воды.

Рутзатц (Rutsatz) описывает замечательный случай падения дебита одного каптажа.

Дюисбургский каптаж зимой 1899/1900 г. внезапно настолько понизил свой дебит, что несмотря на то что оборудование каптажа и эксплуатационные приспособления остались без изменения, прежнего количества воды больше нельзя было получить. Причиной такого бросающегося в глаза явления оказалась новая Дюисбургская гавань, которая приблизилась к каптажу на 1 км и которая, как показывает план в горизонталях на рис. 323, благодаря более низкому уровню своей воды действовала дренажирующе на каптаж.

Если зеркало грунтовой воды лежит ниже поверхности земли, так что вода должна быть искусственно поднимается, то ущерб, наносимый соседним водопроводам от падения уровня грунтовой воды, ограничивается стоимостью подъема действительно потребляемого ими количества воды.

Если же зеркало воды поднимается выше поверхности земли и вода таким образом является артезианской, то нередко всю лишнюю изливающуюся на поверхность земли под избыточным напором воду сбрасывают без использования. Благодаря этому не только совершенно бесполезно наносится большой вред соседним колодцам, но наступают и вредные последствия истощения водоносного пласта. Выше были подробно описаны сооружения, вызывающие продолжительные падения дебита водоносных пластов.

На основании вышеизложенного при каптировании источников грунтовой воды, лежащих высоко и особенно ценных вследствие их естественной способности самоизливаться, следовало бы устраивать особые приспособления, допускающие отбор воды только в пределах

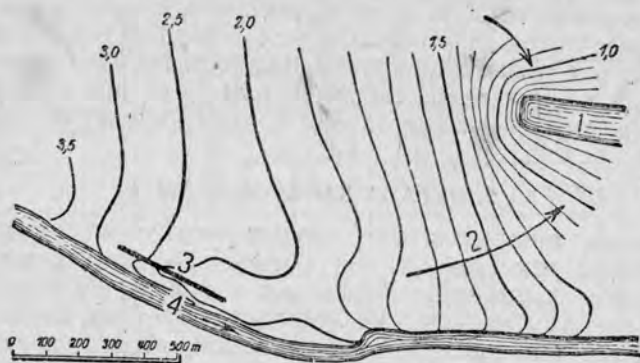


Рис. 323. Влияние соседней гавани на Дуйсбургский каптаж (по Рутзатцу).

1 — новая рейнская гавань; 2 — направление течения к рейнской гавани; 3 — каптаж; 4 — Рур.

действительной потребности. Самоизливание должно быть ограничено настолько возможно, и излишний расход должен по возможности задерживаться в водоносном пласте.

### 3. ОХРАНА КАЧЕСТВА ВОДЫ

Вредное влияние на качество воды может быть оказано как притоком с поверхности земли, так и со стороны и из глубины.

Подобные вредные влияния могут быть как химического, так и бактериологического характера.

### 4. ВЛИЯНИЕ НА ГРУНТОВУЮ ВОДУ С ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

Положение каптажа является сравнительно безукоризненным, когда почва вблизи от него не удобряется отбросами животного происхождения и не загрязняется сточной водой и т. п.

Кабрель (Kabrhel) определил, что с.-х. удобрение только в том случае не оказывает вредного в гигиеническом отношении влияния на грунтовую воду, когда зеркало грунтовой воды лежит на 2—3 м ниже поверхности земли и когда покрывающая зеркало кровля состоит из водопроницаемых песков.

Дополнительно нужно заметить, что при удобрении земли количество удобрения на 1 м<sup>2</sup> приблизительно равняется 3 кг. При этом нужно иметь в виду, что земля удобряется не ежегодно, а раз в 2—3 года. Главная масса удобрения переходит в тело растений, и только незначительное количество его проникает в виде азотной кислоты в глубину или вернее в грунтовую воду.

Каналы для стока воды, выгребные ямы и помойки следует устраивать всегда вдали от каптажа. При отводе отработанной воды из промышленных предприятий, находящихся в районе питания каптажа

или по соседству с ним, всегда рекомендуется предпринимать особые меры предосторожности.

Для скопления отработанной воды и для отвода ее следовало бы всегда применять железные резервуары и железные или гончарные трубы.

Следует обращать особое внимание на плотность трубопровода.

Резервуары из каменной кладки и такие же трубы лучше всего обшивать железом. Каменная кладка без обшивки по общему правилу считается опасной, так как она трещиновата и под влиянием агрессивных свойств сточных вод может утратить свою плотность.

Вредное влияние, оказываемое на каптажи с поверхности земли, может также иметь место в том случае, когда перекрывающие водоносный слой пласты состоят из болотистой или торфяной почвы, как мы видели выше. Из таких пластов может проникнуть в глубину кислая, содержащая железо и марганец вода и этим сделать каптаж непригодным для употребления. Поэтому, помня об этой опасности, всегда следует избегать болотистых местностей и торфяников, если же это невозможно, то во всяком случае следует удалить вредные пласты и заменить их чистым песком или гравием.

Особенно большой опасности подвергаются каптажи во время половодья, когда соседние поверхностные водотоки выходят из берегов и затопляют окрестности. В последнем случае кроме механического поврежде-ния каптажа может испортиться и качество воды благодаря инфильтрации поверхностной воды в грунт и непосредственному притоку речной воды в каптаж.

Такой непосредственный приток часто наблюдается в новых каптажах, когда при первом половодье почва в каналах, по которым проложены трубы, садится, вследствие чего образуются трещины, которые могут пропустить нефильТРованную воду прямо в фильтр каптажа. Ввиду этого рекомендуется закладывать фильтры на такой глубине, чтобы они по меньшей мере не лежали в районе возможной осадки земли.

Подобные явления проходящи и могут быть устранены естественной или искусственной закуоркой возникших трещин илом. При последующих половодьях они бывают уже меньших размеров или совершенно не образуются.

На рис. 324 диаграммой представлен рост бактерий, возникший вследствие первого половодья в новом каптаже грунтовой воды города П. На диаграмме виден первый рост бактерий, который при последующих половодьях более не повторяется.

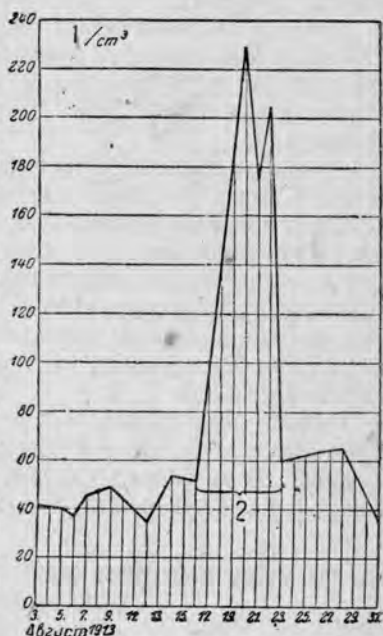


Рис. 324. Диаграмма увеличения числа зародышей во время половодья в новом каптаже города П.

1 — зародыши; 2 — период половодья; 3 — август.

Явления повышения уровня воды в большинстве случаев вызываются косвенными причинами и состоят в том, что грунтовая вода вытесняется полной водой и благодаря инфильтрации со стороны или с поверхности земли в ней могут произойти изменения физического, химического и бактериологического свойства.

Изменение воды в физическом отношении может заключаться в изменении температуры или замутнении мелким песком или глинистыми примесями. Это замутнение может быть вызвано повышенной скоростью движения грунтовой воды, благодаря чему мелкие частицы почвы приходят в движение по направлению к каптажу. Как сообщает Крузе, подобные замутнения воды наблюдаются например в водопроводе города Дрездена.

Химические изменения состава грунтовой воды, вызываемые половодьем, обыкновенно выражаются в изменении жесткости воды, органической ее субстанции и увеличении содержания железистых и марганцевых солей. Более подробные данные по этому вопросу изложены выше.

Обычным последствием половодья является увеличение числа бактерий в воде. По Крузе следует признать, что бактерии попадают в колодцы благодаря размыву грунта, причем главную роль играют размножение зародышей в осушенном районе инфильтрации и пониженное действие фильтрации наполненной только воздухом почвы. Здесь главным образом идет речь о почвенных бактериях, и этим объясняется тот сравнительно небольшой вред, который возникает от размножения во время половодья бактерий, как то было установлено в большинстве случаев.

Однако при крупнозернистых водоносных пластах (например в Руре) случается, что в грунт проникают и многочисленные бактерии из реки. В подобных случаях играют главную роль проницаемость пород и скорость фильтрации.

## 5. БОКОВОЕ ВЛИЯНИЕ НА КАПТАЖИ, ОКАЗЫВАЕМОЕ СОСЕДНИМИ ПОВЕРХНОСТНЫМИ ВОДАМИ

Вблизи рек и озер обычно имеют место влияние со стороны поверхностных вод на каптажи и обогащение грунта инфильтрационной поверхностной водой при условии конечно, что дно реки и дно озера водопроницаемы.

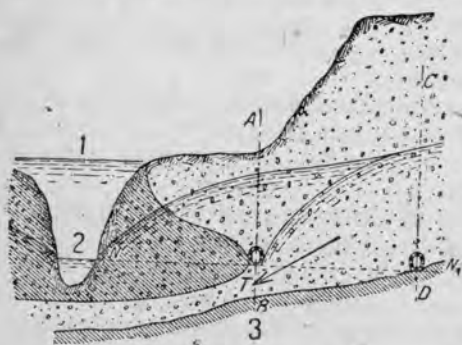


Рис. 325. Каптаж вблизи реки.

1 — самый высший уровень воды; 2 — маловодье; 3 — водопроницаемое ложе.

В обычном состоянии грунтовая вода питает поверхностные водотоки, однако как только наступает половодье или же возникает при среднем или низком уровне воды в каптаже такая большая депрессия, что район действия каптажа захватывает и поверхностный водоем, то наступает просачивание поверхностной воды в грунт. Величина подобной инфильтрации зависит от степени водопроницае-

мости дна реки или озера, а также от разницы между уровнем воды в реке и каптаже.

Чем больше будет эта разница, тем больше будет и количество инфильтрирующейся речной воды. Движущуюся между поверхностными водотоками и находящуюся вблизи каптажа инфильтрационную воду называют «береговой грунтовой водой». Так как поверхностная вода и зеркало каптажа колеблется, то величина инфильтрации изменчива. Она равняется нулю, когда зеркало реки и зеркало каптажа находятся в одинаковом положении, и достигает максимума, когда в реке наступает половодье, а в каптаже образуется наибольшая депрессия.

Если каптаж лежит в непосредственной близости от реки, то почти невозможно нанести зеркало реки и каптаж на одну горизонталь, так

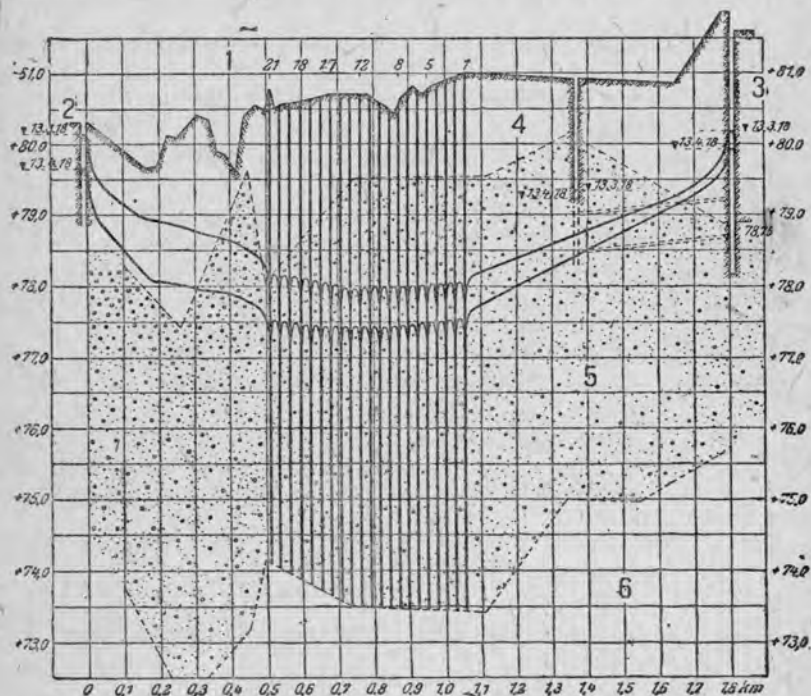


Рис. 326. Обогащение каптажа города Галле на Заале близ Базена инфильтрационной речной водой (по Рейхле).

1 — колодези; 2 — Эльстер; 3 — Заал; 4 — водопроницаемый глиняный слой; 5 — пласты гравия и песка; 6 — водопроницаемый глиняный слой.

как независимо от наиболее выявляющихся здесь колебаний зеркала реки, уже по чисто техническим причинам тело каптажа должно быть помещено ниже уровня реки при низком состоянии уровня. Отступая с каптажем от реки, можно достичь наконец положения *AB* (рис. 325), которое представляют собою границу, до которой еще ощущается влияние половодья реки. Хотя каптаж, заложенный в сечении *AB* на уровне низкого состояния воды в реке  $N_1$ , и не подчиняется больше колебаниям уровня воды в реке, но зато он получает только часть протекающей через поперечный разрез воды, так как часть потока *T*.

находящаяся под каптажем, остается некаптированной и протекает дальше<sup>1</sup>. Если перенести каптаж на черту  $CD$ , на которой горизонталь при мелководье  $N$  пересекает поднимающуюся по направлению к центру поверхность водонепроницаемого подстилающего слоя, то мы получаем уже возможность каптировать весь поток грунтовой воды. В данном случае также исключена возможность влияния на каптаж поймой воды.

Вышеизложенные соображения подтверждают старую аксиому, что для получения чистой грунтовой воды, которая не должна подвергаться влиянию инфильтрационной речной воды, следует устраивать каптаж как можно дальше от реки. На практике же это удается очень редко, так как по техническим и хозяйственным соображениям очень часто бывает совершенно невозможно отойти достаточно далеко от реки.

Поэтому мы видим на практике, что многие колодцы сооружаются вблизи поверхностных водоемов. Это бывает обыкновенно там, где долины недостаточно широки или же где район каптажа пересекают многочисленные водотоки.

Классический пример обогащения грунта инфильтрующейся речной водой и образования береговой грунтовой воды представляет собой каптаж в городе Галле на Заале. По данным Рейхле и Клюта этот каптаж с трех сторон окружен реками Эльстер и Заале. Как видно на рисунке 326, вследствие большой разницы между положением уровня каптажа и поверхностных вод в колодец попадает вода из рр. Эльстер и Заале. При ежедневном отборе воды в 25 тыс. м<sup>3</sup> согласно произведенным вычислениям 21 тыс. м<sup>3</sup> падает на береговую грунтовую воду, которая может получиться только из соседних рек.

По Рейхле и Клюту для образующейся путем береговой инфильтрации грунтовой воды особенно характерны следующие признаки по сравнению с настоящей грунтовой водой без всякой примеси поверхностной воды.

#### Береговая инфильтрационная вода

1. Зеркало грунтовой воды падает постоянно от реки к колодцу.

2. Зеркало грунтовой воды колеблется несколько раз в течение года вместе с колебанием зеркала речной воды.

3. Несмотря на одинаковый отбор воды депрессия в колодце меняется; депрессия бывает самой большой, когда дно реки после длительного мелководья

#### Настоящая грунтовая вода

1. Зеркало грунтовой воды падает к реке.

2. Зеркало грунтовой воды мало колеблется и дает в течение года один максимум и один минимум стояния уровня воды с постепенным переходом одного положения к другому.

3. Величина депрессии практически остается неизменной.

<sup>1</sup> Соображения автора в данном случае не совсем правильны, так как при положении уровня воды в реке на одном уровне с каптажем скорость движения грунтовой воды по направлению от каптажа к реке будет равна нулю и вода далее каптажа совсем не потечет. Последнее может иметь место лишь в случае, если уровень воды в реке понизится ниже

Примечание редакторов.

покрывается илом; самой малой она бывает при половодье, при котором ил уносится.

4. Наивысшая и наименьшая температуры инфильтрированной грунтовой воды в течение года зависит от времени задержки воды в почве. Во всяком случае эта разница выражается в нескольких градусах.

5. В зависимости от расстояния отдельных колодцев от поверхностной воды температура воды в колодцах в одно и то же время бывает различна.

6. Количество воды меняется вместе с изменением качества речной воды, но в меньшей степени — в зависимости от времени пребывания воды в почве и пропорции смеси двух вод.

4. Температура почти не колеблется, а если колеблется, то очень мало (1—2° C).

5. Температура во всяких колодцах одинакова.

6. Качество воды не изменяется или изменяется постепенно и очень медленно.

Замечательное доказательство того, каким образом ход дебита кантажа зависит от соседних поверхностных вод, дает нам гидрологическая зависимость между Рейном и водопроводом города Дюссельдорфа при р. Флее в исключительно сухом 1921 г. и смежных 1920 и 1922 гг. На рисунке 327 по данным Ланга ясно видно, как при понижении уровня воды в Рейне понижается и уровень грунтовой воды и как уменьшается вместе с тем площадь просачивания воды в колодцах. Уклоны линий депрессий увеличиваются по направлению к Рейну, и по разнице  $e_1, e_2, e_3$  в положении уровней можно заключить, что сопротивления движению грунтовых вод у берега больше, чем ближе к середине потока.

Уровень воды в Рейне около футштока	Дебит колодца в л/сек. группы колодцев		Примечание
	Насосн. стан. IV, 25 м	Насосн. стан. V, 50 м	
	Расстояние от берега		
+2,50	21,1 л/сек.	18,5 л/сек.	Среди. уровень воды в Рейне
+0,00	17,7 »	8,5 »	Низкий
-0,38	15,0 »	7,0 »	Самый низкий

Это означает, что к середине реки, т. е. к фарватеру, русло реки меньше заносится илом. Из таблицы (стр. 371) видно, в какой мере зависит дебит колодца от уровня воды в Рейне и от расстояния между колодцем и рекой.

Вышеприведенные цифры показывают, что например при среднем уровне воды в Рейне разница в дебите между группами колодцев IV и V составляет всего 12,5%, при низком же и самом низком уровне

эта разница составляет уже 50%. Эти цифры (при известных обстоятельствах) доказывают, что при желании повысить дебит при мелко-воды следует устраивать каптаж насколько возможно ближе к берегу реки. Конечно это допустимо только в известных границах, так как по мере приближения к реке величина расположенного между рекой и каптажем пласта уменьшается и конечно вместе с тем понижается и фильтрующее действие и выравнивание температуры.

Во многих случаях влияние половодья реки выходит за пределы дна долины. Каптаж всего количества грунтовой воды, как мы себе это представляли в поперечном разрезе  $CD$  (рис. 325), возможен только при помощи обозначенной там горизонтальной штольни. Так как обыкновенно поверхность земли с удалением от реки выпящается, то в поперечном разрезе  $CD$  возникает необходимость в более глубоких земляных выемках, сопряженных с большими затратами и трудностями при производстве работ, что делает такой каптаж уже невыгодным.

С гидрогеологической точки зрения самым целесообразным положением каптажа является всегда среднее положение, которое прибли-

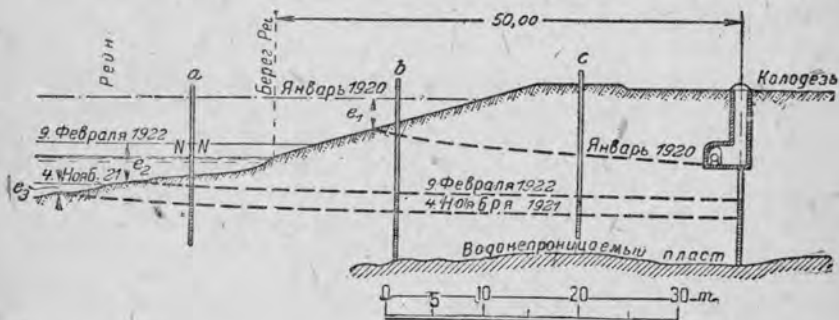


Рис. 327. Гидрологическая связь между Рейном и каптажем в городе Дюссельдорфе близ Флеес (по Лангу).

зительно соответствует поперечному разрезу  $AB$  (рис. 325). Если здесь захотели бы каптировать грунтовую воду при помощи горизонтальной штольни, как это изображено на рисунке 325 (не принимая во внимание влияние реки), то не каптированное количество воды будет потеряно.

Хозяйственная добыча количества воды  $T$  при данных условиях возможна лишь посредством устройства колодезя, что понижает уровень грунтовой воды ниже горизонтали  $N_1$ , стимулируя таким путем вход воды в каптаж.

Речная вода может только тогда проникать в колодезь, когда нижний водораздел района питания колодезя попадает в реку или же когда он переходит на другой берег, т. е. когда район питания пересекает реку.

Если зеркало воды в реке поднимается выше зеркала грунтовой воды, то грунтовая вода задерживается при входе в реку, чем вызывается образование кривой подпора грунтовых вод. Нижняя точка водораздела благодаря подпору двигается по направлению к колодезю, другими словами, река, вытесняя находящуюся между ней и каптажем воду в колодезь, увеличивает его дебит, и если отбор воды не

изменится, то одновременно поднимется и зеркало воды в каптаже. Попадет ли речная вода, проникшая при этом процессе в грунт, в каптаж, зависит главным образом от разности уровней воды в реке и в каптаже и от расстояния между ними. Чем меньше будет расстояние, тем скорее речная вода попадет в каптаж. Вода из реки попадет в каптаж только тогда, когда в ветви кривой депрессии, лежащей между каптажем и рекой, не может образоваться водораздел.

Если известно, сколько времени длится половодье и известны также гидрогеологические условия соседней местности, то можно вычислить, на каком расстоянии от реки должен находиться каптаж, чтобы при определенной депрессии речная вода совсем не попала в каптаж или чтобы она попадала туда через определенный промежуток времени

Если на рис. 328 при условии свободного зеркала обозначить в секундах и метрах:

- $q$  — количество протекающей воды на единицу ширины водоносного пласта,
- $l$  — длину пути воды между рекой и каптажем,
- $t$  — время, потребное для преодоления этого пути,
- $v$  — скорость движения воды в порах,
- $p$  — пористость водоносной породы,
- $h$  и  $h_1$  — уровни воды в реке и каптаже,
- $\varepsilon$  — коэффициент фильтрации пласта, т. е. количество воды, доставляемое единицей поверхности в единицу времени при единице напорного градиента,
- $x$  и  $y$  — координаты.

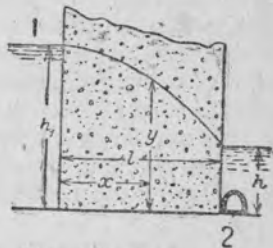


Рис. 328. Движение воды между рекой и каптажем.  
1 — река; 2 — каптаж.

С одной стороны:

$$q = pyv; v = \frac{dx}{dt}, \text{ т. е. } dt = \frac{p}{q} \cdot y dx,$$

с другой стороны по закону Дарси:

$$q = \varepsilon y \frac{dy}{dx}, dx = \frac{\varepsilon}{q} y \cdot dy \text{ или } dt = \frac{\varepsilon p}{q^2} \cdot y^2 dy,$$

и тогда получим

$$t = \frac{\varepsilon p}{q^2} \cdot \frac{h_1^3 - h^3}{3} \text{ при } l = \frac{\varepsilon}{q} \cdot \frac{h^2 - h_1^2}{2};$$

исключение неизвестной величины  $q$  дает:

$$l = h_1^2 - h^2 = \frac{\sqrt{3 \varepsilon t}}{p (h_1^3 - h^3)}. \quad (35)$$

Подобным же образом определяется и для напорного зеркала:

$$l = \sqrt{t \cdot \varepsilon \cdot \frac{(h_1 - h)}{p}}. \quad (36)$$

Этим способом А. Тим например на основании предварительных гидрологических изысканий определил для города Праги, как велико должно быть расстояние между рекой, озером и каптажем для того, чтобы речная вода проникла в каптаж только по истечении 4 месяцев.

Было найдено  $\epsilon = 0,0018$  (в среднем) и определено, что зеркало воды в каптаже в продолжение 4 месяцев непрерывно лежало на 1 м ниже зеркала соседней реки и что пористость равнялась 0,3.

Для того чтобы речная вода в течение 4 месяцев не проникала в каптаж, расстояние между ними должно быть:

$$l = \frac{4 \cdot 30 \cdot 86400 \cdot 0,0018 \cdot 1}{0,3} = 246 \text{ м,}$$

с округлением — 250 м.

Так как половодье и подъем зеркала воды в реке Изере длится всегда только несколько дней и так как величина 0,3 для пористости изерских галечников скорее слишком велика, чем мала, то вычисленное таким образом расстояние достаточно точно.

На основании многократно произведенных опытов 4 месяцев более чем достаточно для того, чтобы превратить воду Изера в безукоризненную грунтовую воду.

## 6. ВЛИЯНИЕ НА ГРУНТОВЫЕ ВОДЫ, ОКАЗЫВАЕМОЕ ИЗ ГЛУБИНЫ ЗЕМЛИ

В некоторых случаях возможно ухудшение качества подземной воды в химическом отношении, когда например под водоносным пластом лежат более глубокие горизонты с сильно минерализованной водой (например содержащая поваренную соль).

В таких случаях, при значительном нарушении первоначального гидрологического равновесия или при большой разнице в гидравлическом напоре может произойти просачивание воды из нижнего горизонта в верхний или даже прорыв минерализованной воды в пласты пресной водой. Следствием этого может быть постепенное или внезапное осолонение грунтовой воды, которая быть может много лет была безукоризненной. Явлений осолонения, происходящих из глубины, следует опасаться особенно при устройстве каптажей в дюнах, когда каптажи вызывают слишком большую депрессию.

Ван Гассельт описывает подобный случай в Амстердаме. Там многолетним наблюдением было установлено постоянное увеличение хлоридов в воде. Ввиду этого два каптажа в дюнах должны были быть перестроены.

## 7. МЕРОПРИЯТИЯ ДЛЯ ПРЕДОХРАНЕНИЯ КАПТАЖА ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Характер мероприятий для предохранения каптажей от загрязнения зависит от того, откуда ждут появления вредных влияний на воду.

Против загрязнения воды с поверхности земли самым действительным средством является не только изоляция каптажей от проникновения в них с поверхности земли удобрительных веществ животного происхождения и ограждения их от вредных сточных вод, но и устройство вокруг каптажа особых охранных зон. Определение

наиболее целесообразной площади таких охранных зон зависит как от характера поверхности, так и от геологического строения.

Если дело касается охраны каптажей таких районов, где естественные гидрогеологические условия нарушены шурфами, буровыми скважинами, смещениями, горными работами и т. п., то безусловно необходимо устанавливать охранную зону с таким расчетом, чтобы никакие искусственно вызванные нарушения не могли оказать вредного влияния ни на количество, ни на качество добываемой воды.

Особенно сильное влияние на грунтовую воду могут оказать горные работы, и поэтому там, где имеются налицо необходимые условия для производства и развития горных работ, особенно необходимо тщательно охранять каптажи от вредного влияния горных работ.

Если район каптажа покрыт лесом, то необходимо стремиться к тому, чтобы этот лес сохранился. Лучшая охрана будет тогда, когда поверхность земли у каптажа, включая достаточно большую охранную зону, достаточную и для будущего расширения водопровода, принадлежит предприятию, эксплуатирующему водопровод.

Лейпцигский институт гигиены на основании многочисленных исследований и произведенных измерений над вредным влиянием промышленных предприятий и жилищ на качество грунтовой воды определил как достаточно предельную величину расстояние от них до каптажа = 100 м.

Из следующей таблицы видны размеры разных охранных для каптажей зон.

	Каптаж	Общая площадь охранной зоны в гектарах	Средняя величина в метрах
Грунтовой каптаж . . . . .	Анулли	1 765	—
Дрезден . . . . .	Гостервиц	(округло) 85	—
Лейпциг . . . . .	Науингофе	250 и 870 смежный казенный лес	2 300—2 600
» . . . . .	Капитце	700	—
Мюнхен . . . . .	Район Мангфалла	1 300 и 400 для будущих каптажей	—
	Ранна	3 340	—
Нюрнберг . . . . .	Карани	—	15
Прага . . . . .	Первый водопровод	4 560	—
Вена . . . . .	Второй водопровод	6 058	—

Для того чтобы охранить каптаж от отвода воды и нарушений в горных породах, вызываемых эксплуатацией рудников, в районе источников не рекомендуется допускать каких-либо горных работ. Город Вена добился этой охраны только для водонепроницаемых пластов, так как он считал, что нельзя ожидать каких-либо нарушений в глубоких водонепроницаемых пластах района каптажа. В охранном районе Ранна горным ведомством были прекращены такие горные работы, которые по прежним законам могли бы продолжаться.

Опасность, сопряженную с половодьем соседних рек, лучше всего избежать устройством каптажей в районах, не подверженных наводнениям. Если это невозможно, то должны быть приняты соответствующие предохранительные меры. К таким самым необходимым мероприятиям относятся укрепление берегов, устройство дамб, сооружение ледорезов для предохранения колодцев при ледоходе, поднятие стенок колодцев выше уровня воды во время половодья, постоянное наблюдение за качеством грунтовой воды и т. п.

Если шахты колодца неплотны и если устранение возможности проникновения в шахты воды во время половодья по техническим условиям невозможно, то мы рекомендуем отказаться от свободного доступа к устью колодца и засыпать всю такую шахту чистым, хорошо фильтрующим речным песком.

Дальнейшими мероприятиями по охране от опасностей при половодье являются обкладка земли в районе каптажа дерном, поднятие уровня земли выше уровня воды во время половодья, устройство запруд, плотин и других сооружений, уменьшающих опасность, грозящую при половодье, изоляция затопленных частей каптажа, уменьшение депрессии во время половодья и т. п.

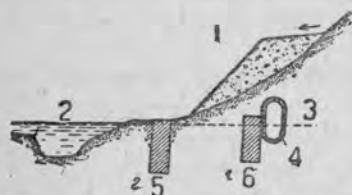


Рис. 329. Подземные защитные плотины каптажа города Бокк (по Валлену).

1 — насыпь; 2 река; 3 — высокая вода; 4 — каптаж; 5 — глиняная плотина; 6 — глиняная плотина.

Если опасность состоит в том, что из соседней реки или озера с водонепроницаемыми берегами во время половодья попадет в каптаж недостаточно очищенная поверхностная вода, то необходимо всегда заботиться о том, чтобы путь, который должна пройти вода от реки или озера до каптажа, был возможно длиннее.

Если горизонтальное развитие водоносного пласта не слишком велико и если нельзя заложить каптаж на достаточно большом расстоянии от поверхностной воды, то с гигиенической точки зрения следует предпочесть водосборные галлерей и шахтные колодцы с доступом воды только через дно и с водонепроницаемыми боковыми стенками. Это лучше потому, что при вертикальных каптажах и шахтных колодцах, питание которых ограничивается только дном таких сооружений, каждая частица воды бывает вынуждена, прежде чем попасть в каптаж, пройти всю длину фильтрующего пласта.

Расстояние между каптажами и реками сильно колеблется. Так например:

В Бохуме I . . . . .	30 м от реки Рур
» Бохуме II . . . . .	32 » » » »
» Хагене . . . . .	30 » » » »
» Бармене . . . . .	15 » » » »
» Мюльгейме на Руре . . . . .	20 » » » »
» Обергаузене . . . . .	100 » » » »
» Вердене . . . . .	20 » » » »
» Эссене . . . . .	77—250 » » » »
» Кельне . . . . .	100 » Рейна
» Мюльгейме на Рейне . . . . .	40 » » »

В Дюссельдорфе . . . . .	15,7—2,7 м	от реки Рейна
» Эльберфельде . . . . .	13—30 »	» » » »
» Кобленце . . . . .	45 »	» » » »
» Бошарде . . . . .	15 »	» » » »
» Касселе . . . . .	42—54 »	» » Фульды
» Дессау . . . . .	73 м	» » » »
» Эмсе . . . . .	25 »	» » Лана
» Гаунау . . . . .	80—100 »	» » Майна
» Праге . . . . .	250 »	» Эльбы и Изера

Замечательным защитным сооружением вдоль реки Бокк против бокового проникания речной воды обладает каптажная штольня, служащая для водоснабжения предместья города Брюсселя. По Валлену (Wallin) это сооружение состоит из особых подземных дамб (рис. 329). Там, где расстояние между рекой и каптажем равняется по крайней мере 8 м, устроена глиняная подземная плотина приблизительно в 50 см толщины, опущенная ниже дна реки на 50 см. В особо опасных местах и там, где каптаж подходит ближе к реке, устроены две подобные плотины. Для предохранения сверху сделана еще особая насыпь.

## XXII. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА КАПТАЖЕМ

Только тогда каптажи могут считаться вполне защищенными, когда не только их тело, но и эксплуатация всегда находится под надлежащим наблюдением. К службе наблюдения главным образом относится регулярное наблюдение за качеством воды. Это особенно важно для каптажей, находящихся под влиянием соседних поверхностных вод.

Частые исследования, в особенности во время половодья, лучше всего показывают, наступило ли и в какой степени ухудшение качества воды и в каком направлении должны быть приняты предохранительные меры.

Сравнительно простым и надежным способом определения химических изменений в составе воды является уже описанный нами в отд. Е, гл. V способ определения электропроводности воды.

При помощи этого способа, подробно описанного Шлейснером, Спитта, Вельдертом и Караффа-Корбутом, можно вычислить величину сухого остатка исследуемой воды с точностью до  $\pm 2\%$ . Применяя этот способ, можно без особых затруднений определить всякие изменения в составе воды, вызываемые дождем, притоком воды из других источников, наступившими изменениями на поверхности земли, искусственным вторжением в толщи горных пород и т. н. Этим способом легко определяется всякое значительное изменение состава воды, или вернее всякое загрязнение воды.

Как сообщает Динер, город Париж применяет этот способ для наблюдения за источниками, снабжающими город водой.

Праусниц произведенными на колодцах водопровода города Граца измерениями установил, что под влиянием проникшей в толщи горных пород воды реки Мур электропроводность колодезной воды колебалась от  $1,88 \cdot 10^{-4}$  до  $4,65 \cdot 10^{-4}$ .

Преимущества этого способа, который может быть еще усовершенствован, состоят прежде всего в простоте и скорости, с которой определяются все изменения в составе воды. Таким образом этот способ может быть признан самым удобным для наблюдения за водопроводами.

## Г. ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО

Значение подземных сооружений для добычи воды зависит кроме качества еще и от количества воды, которое при всех условиях несет в себе водоносная порода. Это значение только тогда будет постоянным, когда при неизменно хорошем качестве господствует и равновесие между притоком и стоком воды, при котором подземная вода, безразлично какого происхождения, всегда пополняется в одинаковом с отбором количестве. Так как далее образование подземной воды по роду и количеству зависит от местных условий данного района питания, то гидрологическое равновесие определенного водоносного пласта всегда предполагает наличие одинаковых условий в районе питания. Изменение в последнем должно повлечь за собою изменение в составе подземной воды, будь то в физическом, химическом и гигиеническом отношениях или же в отношении количества воды.

Результаты гидрогеологических изысканий, как бы добросовестно и полно они ни были произведены, могут обесцениться последующими естественными или искусственными изменениями в состоянии поверхности земли и водоносного горизонта; в таком случае они должны быть исправлены дополнительными работами.

Если гидрологическое равновесие, на котором в свое время основывалось предположение о постоянном дебите грунтовой воды, на основании чего был сооружен и самый каптаж, не нарушилось, то все благоприятные условия, которые содействуют образованию подземной воды, не только должны быть сохранены в дальнейшем, но, если возможно, даже усилены.

Нарушение гидрологического равновесия наступает во всех тех случаях, когда изменяется профиль водотоков, безразлично, происходит ли это вследствие поднятия суши или вследствие углубления русел потоков.

Подъем поверхности земли происходит например в северной Финляндии.

Реки, сильно углубляющие свое русло, понижают уровень своего зеркала и сообразно с этим понижают и естественный уровень грунтовых вод. Так по данным Вайрауха зеркало Рейна выше Брайзаха понижается ежегодно на 0—9 см. Средние уровни воды в Рейне около Мангейма лежали:

с 1852—1881	на +89,64	абсолютной	высоты
» 1882—1891	» +89,51	»	»
» 1891—1900	» +88,97	»	»
» 1900—1906	» +88,74	»	»

Охрана грунтовой воды и ее добыча может быть названа водным хозяйством.

Хорошее водное хозяйство, главной целью которого является систематическая охрана, или вернее увеличение подземного водного богатства и предотвращение недостатка воды во время засухи, должно стараться избегать бесполезной траты воды и брать воду только по мере действительной необходимости. Неиспользованный излишек воды зимнего стока необходимо сохранять для питания поверхностных водотоков и подземной воды. Это можно сделать как естественным, так и искусственным способом.

Естественными и вспомогательными средствами хорошего водного хозяйства могут считаться: сохранение минерального фильтрующего покрова почвы, сохранение и уход за растениями и неприменение удобрений животного происхождения.

Искусственными средствами считаются: засыпка трещин и раселин чистым фильтрующим материалом, разрыхление почвы, засеивание травой, насаждение кустарников и деревьев, искусственное сооружение дренажей и канав, устройство сооружений, препятствующих стоку, устройство запруд и плотин, устройство орошения полей и лугов, а также и искусственное образование подземной воды, устройство особых сооружений для инфильтрации.

Обстоятельный, отчасти основанный на математических вычислениях, труд по водному хозяйству принадлежит Нейю (Neu).

Однако часто значение подземного запаса воды недооценивается, и ему приписывают только роль в питании источников и каптажей, а также в питании растительного покрова. Но выше мы видим, что связь между поверхностными и подземными водами простирается также и на питание ручьев и рек. Значение этой отдачи воды лежит не только в количестве отдаваемой воды, а в постоянстве ее притока. Это постоянство притока воды возможно потому, что подземные пустоты обладают не только свойством принимать воду, но и способностью задерживать ее. Это касается главным образом водоносных пластов, состоящих из мелких зерен, которые оказывают большое сопротивление движению воды и которые поэтому, как губка, задерживают в толщах горных пород большой запас воды и позволяют этой воде только тихонько подниматься на поверхность земли.

Эта роль подземной воды конечно самая главная, так как в противном случае большая часть наших ручьев, рек и потоков в засушливое время года высохла бы.

Часто наблюдаемое одичание поверхностных потоков, которое проявляется в исключительных паводках и следующих за ними недостатках воды, не всегда бывает следствием уменьшения количества выпадающих осадков. Это объясняется тем, что сток поверхностных вод увеличился за счет уменьшения воды в подземных сборных бассейнах, благодаря чему нарушается и уравнивающее действие последних.

Виной этого прискорбного явления является не только вырубка лесов в горах, благодаря чему почва теряет свою способность сохранять влагу, но и уничтожение прудов и других поверхностных водоемов, осушение болот и прорытие излишнего числа дренажных канав.

которые облегчают осушение грунта, благодаря увеличению скорости стока воды <sup>1</sup>.

Усиление инфильтрации для увеличения подземного водного богатства имеет однако смысл только тогда, когда имеются достаточно большие подземные вместилища. Если таковые имеются, то следует по возможности увеличивать содержащиеся в них запасы воды.

И при каптажах искусственно осушенные пустоты водоносного пласта могут служить бассейнами для накопления воды. В таком случае во время наибольшей потребности в воде можно брать из грунта значительно больше воды, чем это соответствовало бы постоянному дебиту каптажа. Тогда грунт действует наподобие уравнительного резервуара для годовых и суточных колебаний и совершенно так же, как напорный резервуар, выравнивает колебания между наибольшим и наименьшим часовым суточным потреблением воды.

Уравнительное действие толщ горных пород однако возможно только постольку, поскольку средняя величина отбора воды не выше среднего естественного дебита. Поэтому не всегда нужно, чтобы нормальный дебит каптажа мог покрыть наибольшую потребность в воде. Как велик должен быть объем подземного резервуара, чтобы накапливать необходимое добавочное количество воды, должно быть решено в каждом отдельном случае.

Если искусственным путем обогатить водой осушенные толщи горных пород, то полезное количество воды значительно увеличится, тем самым и эксплуатация каптажа станет значительно надежней.

При водоносных пластах с напорным зеркалом такое уравнительное действие невозможно, пока водоносный пласт находится под напором, так как он совершенно наполнен водой.

Между тем в природе имеется много водопроницаемых пластов с глубоко лежащим зеркалом, пустоты которых в естественном состоянии остаются сухими.

Такие пласты обладают большими возможностями накапливать воду.

Для того чтобы поднять уровень грунтовой воды в таких пластах и скопить воду под землей, в странах с длинным засушливым периодом и сильно водопроницаемым пластом было предложено соорудить подземные плотины, что и было выполнено. Подобное сооружение имеется в долине Пайкома в Калифорнии, где это сооружение было построено в виде бетонной плотины длиной в 180 м, разделенной на отдельные участки по 15 м в каждой.

Плотина эта толщиной в 60 см опущена в скалу на глубину в 30 м. За плотиной заложены сборные трубы, которые проводят воду в два каменных колодца, расположенных по концам плотины.

Способность грунта накапливать воды не ограничивается только водоносными пластами. Этой способностью обладают также трещиноватые породы, пустоты которых представляют собою естественные резервуары, которые по настоящее время в большинстве случаев не используются и которые могли бы служить для увеличения запасов грунтовой воды.

<sup>1</sup> Роль вырубки лесов и осушения болот в деле питания подземных вод является еще не вполне выясненной.

Зимфер (Sympher) правильно отмечает, что не только водоносные пласты с грунтовой водой, но и те горные породы, которые порезаны ущельями, трещинами, пещерами и подземными каналами годятся для подземного накопления воды. К ним относятся главным образом разные известняковые и меловые слои, которые отличаются особенно большими пустотами.

Сооружение плотин в пластах, порезанных пустотами, требует точного знания расположения подземных пустот, для того чтобы избежать в ненадежных местах запруживания и потерь воды.

Зимфер приводит целый ряд случаев, когда в трещиноватых породах Германии подземными сооружениями подобного рода не только были увеличены запасы подземной воды, но и был улучшен режим поверхностных водотоков.

Подобное влияние, оказываемое задерживающими свойствами подземных пустот на сток воды, обладает, как то доказывает Баллив (Ballif) на примерах из практики в Боснии и Герцоговине, преимуществом в том отношении, что оно уменьшает опасности, возникающие при половодье, а также и вред, вызываемый последним. Появление первой, обыкновенно меньшей волны половодья очень часто указывает на скорое появление второй, обыкновенно значительно большей волны, и этим дает возможность принять во-время соответствующие предохранительные меры.

## II. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ТАБЛИЦА МЕР

1 географическая миля . . . . .	7 420,43 м
1 морская миля (узел) . . . . .	1 855,11 »
1 Баварский фут . . . . .	0,292 »
1 Прусский фут . . . . .	0,314 »
1 Саксонский фут . . . . .	0,283 »
1 Вюртембергский фут . . . . .	0,286 »
1 Австрийский фут . . . . .	0,316 »
1 Французский фут (Парижский) . . . . .	0,325 »
1 Шведский фут . . . . .	0,297 »
1 Швейцарский фут . . . . .	0,300 »
1 Прусская рута <sup>2</sup> . . . . .	0,142 а
1 Прусский морг = 180 рут <sup>2</sup> . . . . .	0,225 га
1 Саксонский морг (акер) = 300 рут <sup>2</sup> . . . . .	0,533 »
1 Вюртембергский морг = 384 рут <sup>2</sup> . . . . .	0,330 »
1 Баварский морг = 400 рут <sup>2</sup> . . . . .	0,341 »

### АНГЛИЯ, АМЕРИКА

1 английская миля (Londonmile) = 5 000 английским футам . . . . .	1 523,933 м
1 английская миля (Statuemile) = 1 760 ярдам = 5 280 футам . . . . .	1 609,315 »
1 километр . . . . .	0,6214 мили
1 ярд = 3 футам по 12 дюйм . . . . .	0,91438 м
1 фут . . . . .	0,30479
1 дюйм . . . . .	0,02540 »
1 ярд <sup>3</sup> . . . . .	0,76451 »
1 фут <sup>3</sup> . . . . .	28,31533 литра
1 дюйм <sup>3</sup> . . . . .	0,01639 »
1 имперский галон . . . . .	4,54358 »
1 галон САСШ . . . . .	3,78531 »
1 литр . . . . .	0,220093 имперских галона
1 литр . . . . .	0,264180 галона САСШ

Редактор Кривошлык  
Техн. редактор Н. Фивейский

Изд. 56-ГУ СКХГИЗ 3965/887. Формат 62×93<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Объем 24 п. л. В 1 п. л. 49 700 п. зн.  
Сдано в производство 3/VIII 1933 г. Подписано к печати 23/IX 1933 г.



**КНИГИ ПО АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИИ**

- Костяков, А. Н.**, проф. Основы мелиораций. Изд. 3-е, испр. и дополн. Учебное пособие для вузов водного хозяйства. С 599 чертежами. СХГ. 1933 г. (Всес. научно-исслед. и-т гидротехники и мелиорации), стр. 887, ц. 11 р. 25 к., пер. 1 р. 25 к.
- Пермяков Н. А.** Водно-земельные мелиорации с 221 рис. СКХГ. 1932 г., стр. 247, ц. 2 р. 25 к., пер. 75 к.
- Поляков Н. В.**, проф. Организация и эксплуатация мелиоративных систем. Вып. I. С 82 рис. СКХГ, 1931 г., стр. 176, ц. 2 р.
- Поляков Н. В.**, проф. Организация и эксплуатация мелиоративных систем. Вып. II. С 175 рис. СКХГ. 1932 г., стр. 238, ц. 2 р. 50 к.
- Поляков Н. В.** Организация и эксплуатация мелиоративных систем. Вып. III. С 113 рис. СКХГ. 1932 г., стр. 218, ц. 2 р. 30 к.
- Поляков Н. В.**, проф. Основы мелиоративного грунтоведения. С 73 рис. СКХГ. 1933 г., стр. 172, ц. 3 р.
- Потапов М. В.** Регулирование стока. С 114 черт. СХГ. 1933 г., стр. 132, ц. 2 р.
- 

С заказами обращаться в магазины и отделения  
**КНИГОТОРГОВОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ ОГИЗА и „КНИГА — ПОЧТОЙ“.**  
Москва, 64 и „Книга — почтой“,  
Ленинград, Проспект 25 Октября, 28, Дом книги.