

551.49

p-55

І. Г. Рихертъ,

Др. философіи, проф. Высшей Королевской Технической Школы
въ Стокгольмѣ, инженеръ-консультантъ.

ПОДЗЕМНЫЯ ВОДЫ

и, въ частности,

ПОДЗЕМНЫЯ ВОДЫ ШВЕЦІИ.

Съ 69 чертежами и 11 таблицами.

Переводъ съ нѣмецкаго подъ редакціей
проф. **Д. П. Рузскаго**
инженеръ-технолога **К. Вишоватаго.**

КІЕВЪ.

Типографія Р. К. Лубковскаго, Фундуклеевская, 19. Телефонъ 5.
1914.

551.49
P-55

И. Г. Рихертъ,

Др. философіи, проф. Высшей Королевской Технической Школы
въ Стокгольмѣ, инженеръ-консультантъ.

ПОДЗЕМНАЯ ВОДА

И, ВЪ ЧАСТНОСТИ,

ПОДЗЕМНАЯ ВОДА ШВЕЦІИ.

Съ 69 чертежами и 11 таблицами.

1696
Гидрогеологический
Институтъ Киевскіи

Переводъ съ нѣмецкаго подъ редакціей

проф. **Д. П. Рузскаго**

инженеръ-технолога **К. Вишоватаго.**

с/а

проверено
1906 г.

o w

КІЕВЪ.

Типографія Р. К. Лубковскаго, Фундуклеевская, 19. Телефонъ 5.
1914.

Предисловіе переводчика.

Въ настоящее время, благодаря взглядамъ, установившимся въ теоріи и практикѣ водопроднаго дѣла при выборѣ источниковъ водоснабженія, вниманіе специалистовъ останавливается прежде всего на подземныхъ водахъ, которыя обыкновенно являются наиболѣе желательными въ гигиеническомъ отношеніи.

Съ другой стороны, основывая водоснабженіе населеннаго мѣста на грунтовой водѣ, технику, собирающему матеріалъ для составленія проекта или осуществляющему проектъ, приходится наталкиваться на рядъ важныхъ вопросовъ и сложныхъ задачъ (напр., о дебетѣ грунтоваго потока, о его колебаніяхъ и т. п.), отъ правильнаго рѣшенія которыхъ зависитъ иногда благополучіе населенія цѣлаго города.

Къ сожалѣнію, пока существуетъ очень мало трудовъ по вопросу о количественныхъ изслѣдованіяхъ грунтовыхъ водъ, хотя въ нихъ чувствуется большая потребность. Послѣднее и послужило поводомъ къ переводу предлагаемой книги, составленной проф. И. Рихертомъ, авторитетомъ въ области гидрологіи, работавшимъ также весьма много практически. Ясность и простота изложенія теоріи вопроса наряду съ описаніемъ исполненныхъ на практикѣ работъ дѣлаетъ это сочиненіе полезнымъ подспорьемъ при изслѣдованіи грунтовыхъ потоковъ.



Вступленіе.

Грунтовой—называется вода, находящаяся под поверхностью земли. Шведская поговорка: „вода хорошій слуга, но плохой господинъ“, которая относилась прежде къ водѣ открытыхъ водоемовъ, въ полной мѣрѣ можетъ быть примѣнена и къ грунтовой водѣ. Изъ нѣдръ земли мы получаемъ превосходную питьевую воду, но грунтъ, богатый почвенной водой, служитъ иногда распространителемъ болѣзней и на болотистой почвѣ не растетъ ни лѣсъ, ни посѣвы. Задача инженера использовать полезныя и бороться съ вредными свойствами подземныхъ водъ. Обѣ задачи могутъ быть въ одно и то же время и интересны, и затруднительны. Законы возникновенія воды въ природѣ еще не вполне установлены и подземные водяные потоки стали изучать лишь только послѣднее десятилѣтіе.

Гидрографіей называется наука, занимающаяся вообще вопросами возникновенія воды въ природѣ; если-же изученіе касается подземной воды, то примѣняется терминъ гидрологія.

Подземная вода образуется изъ просачивающихся внутрь почвы атмосферныхъ осадковъ, а частью изъ сгущающихся паровъ влажнаго воздуха, заполняющаго трещины и поры верхнихъ слоевъ земной поверхности (подземная атмосфера).

Грунтовая вода, какъ и поверхностная, можетъ образовать явно движущіеся потоки или относительно неподвижные резервуары. Скорость теченія грунтовой воды, двигающейся черезъ мелкія поры почвы, не имѣющія сколько-нибудь правильной формы, конечно гораздо меньше скорости движенія воды въ рѣкѣ, когда преодолеваются только сопротивленія тренія. Какъ на земной поверхности, такъ и подъ ней вода никогда не находится въ состояніи совершеннаго покоя; хотя движеніе ея иногда и незамѣтно для простого глаза, но можетъ быть обнаружено путемъ непосредственныхъ измѣреній.

Проницаемая почва, пропускающая выпадающіе на ея поверхность атмосферные осадки, является первымъ условіемъ для возникновенія грунтовой воды. Для образованія сколь-нибудь значитель-

наго потока необходимы сравнительно большая площадь и толщина водоноснаго слоя, а также сообщеніе этого слоя съ открытыми водоемами, куда можетъ изливаться грунтовая вода. Характеръ почвы существенно вліяетъ на свойство воды черезъ нее протекающей. Въ пескахъ, содержащихъ желѣзо, вода содержитъ желѣзные соединенія, въ известковыхъ породахъ она отличается жесткостью, въ гранитахъ и песчанникахъ она преимущественно мягкая и т. д.

Для сужденія о расходѣ и происхожденіи подземнаго потока необходимо знать распространеніе, строеніе и происхожденіе водоносныхъ пластовъ. Нельзя быть гидрологомъ, не зная по крайней мѣрѣ основъ геологій.

Условія образованія и теченія подземныхъ водъ въ Швеціи очень сложны, что ясно каждому, изучавшему своеобразное геологическое строеніе этой страны. Гидрологическія явленія объясняются тѣми измѣненіями въ климатѣ и рельефѣ мѣстности, каковыя имѣли мѣсто на Скандинавскомъ полуостровѣ въ ранніе геологическіе періоды. Прежде всего необходимо будетъ выяснитъ, какимъ образомъ происходило геологическое образованіе почвы Швеціи подъ дѣйствіемъ силъ, вызывающихъ эти измѣненія, особенно въ отношеніи тѣхъ напластованій, въ которыхъ находится грунтовая вода.

Въ первой части этого труда разсматриваются основныя положенія гидрологіи и методы ея изслѣдованій. Слѣдующая часть посвящена геологическому строенію Швеціи. Въ заключеніе приведено описаніе нѣкоторыхъ гидрологическихъ изысканій, произведенныхъ подъ руководствомъ автора, въ связи съ изслѣдованіемъ геологическаго происхожденія и строенія почвы.



Часть I.

Гидрологія.

Въ этой части будетъ разсмотрено историческое развитіе гидрологіи, методы гидрологическихъ изысканій, общее расположеніе колодцевъ и другихъ сборныхъ сооружений, а также приготовленіе искусственной грунтовой воды. Конструктивное выполненіе водосборныхъ устройствъ не входитъ въ задачу этой книги.

Историческій обзоръ.

Съ незапамятныхъ временъ прохладной и прозрачной ключевой водѣ отдавали предпочтеніе передъ водой, взятой изъ рѣки или озера. Еще въ недалекомъ прошломъ (нѣсколько десятковъ лѣтъ тому назадъ) не было извѣстно, что изъ себя представляетъ въ сущности всякій ключъ. Полагали, что таковой представляетъ собой какую то таинственную подземную водяную „жилу“, которая совершенно случайно выходитъ иногда на земную поверхность; если же кому нибудь удавалось, выкопавши колодезь, добыть достаточное количество воды, то говорили, что онъ „напалъ на жилу“.

Когда дѣло касалось полученія небольшихъ количествъ воды, необходимыхъ для удовлетворенія скромныхъ требованій гигиены прошлаго столѣтія, вопросъ нахожденія подземныхъ „жилъ“, имѣющихъ достаточный дебетъ, не представлялъ затрудненій. Каждый домовладѣлецъ даже въ большомъ городѣ имѣлъ во дворѣ колодезь, находящійся обыкновенно вблизи выгребной ямы, другого тоже довольно полезнаго и нужнаго сооруженія.

Между колодцемъ и выгребной ямой происходила оживленная циркуляція жидкостей, что весьма мѣтко охарактеризовано Либихомъ фразой: „урина городскихъ колодцевъ иногда содержитъ значительную примѣсь грунтовой воды“. Въ виду недопустимости такого положенія вещей общественное мнѣніе все настойчивѣе и настойчи-

вѣе стало требовать снабженія городовъ удовлетворительной на вкусъ и безвредной водой. Въ первую очередь постарались использовать тѣ ключи, вода коихъ могла быть проведена въ города и далѣе распредѣлена между городскими водоемами собственнымъ напоромъ. Въ Готенбургѣ въ теченіи свыше 100 лѣтъ существуетъ (частично перестроенный) ключевой водопроводъ, питающийся изъ Каллебекскаго ключа превосходной водой, распредѣляемой при помощи сѣти трубъ и общественныхъ водоразборовъ. Въ случаяхъ отсутствія ключей, выходящихъ на земную поверхность, приходилось изыскивать подземные потоки.

Весьма часто вода этихъ старинныхъ водопроводовъ въ качественномъ отношеніи была совершенно удовлетворительной. Но когда съ теченіемъ времени начали проводить воду непосредственно въ усадьбы и промышленныя заведенія, количество естественно даваемой ключами воды оказывалось недостаточнымъ; устраиваемые на скорую руку колодцы не оправдывали возлагаемыхъ на нихъ надеждъ.

Отсюда возникло убѣжденіе, что примѣненіе грунтовой воды для снабженія большихъ городовъ совершенно недопустимо, и произошла поворотъ въ пользу раньше отвергаемой рѣчной и озерной воды, которая, хотя и обладаетъ качественными недостатками, но болѣе надежна въ количественномъ отношеніи. Для подачи и очистки воды открытыхъ водоемовъ создавались большія и дорогія сооруженія. На первыхъ порахъ довольствовались для очистки процессомъ отстаиванія; но затѣмъ пришли къ убѣжденію, что процессъ этотъ слѣдуетъ дополнить послѣдующимъ процессомъ фильтраціи черезъ песокъ. Но такъ какъ искусственные фильтры представляютъ дорого стоящія сооруженія, эксплуатація коихъ требуетъ тоже значительныхъ расходовъ, то при наличности благоприятныхъ мѣстныхъ условій пользовались такъ называемой естественной фильтраціей, основанной на слѣдующемъ принципѣ. Вдоль берега рѣки, имѣющей песчаное дно, устраивается сборная галлерей съ открытой подошвой (чер. 1).

При выкачиваніи воды изъ галлерей уровень воды въ ней понижается и устанавливается ниже уровня воды въ рѣкѣ.

Вслѣдствіе этого вода изъ послѣдней начинаетъ перетекать въ галлерей, просачиваясь черезъ песчаный грунтъ, играющій въ данномъ случаѣ роль фильтра; при этомъ предполагалось, что отложившаяся на поверхности фильтра (на днѣ рѣки) грязь должна смываться теченіемъ воды въ рѣкѣ.

Въ первыхъ этихъ устройствахъ не было принято въ расчетъ притокъ въ галлерей со стороны противоположной рѣкѣ.

Большинство водосборныхъ сооружений, выполненныхъ по изложенной схемѣ, не оправдало возлагаемыхъ на нихъ надеждъ. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ происходило быстрое загрязненіе поръ рѣчного дна и берега, въ другихъ случаяхъ фильтрація оказалась неполной.

Однако существуютъ нѣкоторыя подобныя сооружения, которыя, хотя въ количественномъ отношеніи и не были вполне безукоризненны, но зато дали въ смыслѣ качествъ воды результаты, имѣющіе огромное значеніе для дальнѣйшаго развитія водопроводной техники. Обыкновенно производительность сборныхъ устройствъ постепенно уменьшается, между тѣмъ одновременно качество воды улучшается; температура ея колеблется въ весьма узкихъ предѣлахъ, а химическія свойства столь сильно измѣняются, что, несомнѣнно, эти измѣненія не могутъ произойти на короткомъ разстояніи отъ рѣки до сборнаго сооруженія. Хотя вначалѣ не обращали вниманія на при-



Чер. 1.

токъ воды со стороны, противоположной рѣкѣ, однако при устройствѣ каждаго новаго подобнаго сооруженія оказывалось, что вода главнымъ образомъ и притекаетъ отсюда*), особенно когда естественная фильтрація прекращалась или сильно уменьшалась, благодаря засоренію дна рѣки. Въ виду наличности описанныхъ явленій цѣлый рядъ выдающихся инженеровъ (Дюпюи, Бельгранъ, Зальбахъ, Тимъ и др.) начали изслѣдовать детально природу подземныхъ теченій и въ результатѣ ихъ изслѣдованій появилась новая наука гидрологія или ученіе о возникновеніи, движеніи и особенныхъ свойствахъ подземныхъ водъ. Въ настоящее время уже достаточно хорошо извѣстно, какъ возможно прослѣдить движеніе воды,

*) Рѣдкое исключеніе въ этомъ отношеніи представляетъ водоснабженіе г. Пэртсъ (Шотландія), получающаго воду изъ галлерей, устроенной на островѣ, лежащемъ въ серединѣ рѣки; очевидно здѣсь вся вода—фильтрованная рѣчная. Прим. переводч.

протекающей подъ земной поверхностью, опредѣлить направленіе этого движенія, а равно и производительность потока.

Въ теченіе послѣднихъ десятилѣтій при помощи выводовъ гидрологіи удалось выполнить водоснабженія городовъ, имѣющихъ сотни тысячъ жителей, основывая таковыя на грунтовой водѣ. Параллельно съ научнымъ развитіемъ гидрологіи обстоятельное изученіе многихъ эпидемій доказало, что причиной заразы являются нѣкоторыя бактеріи, находящіяся въ загрязненной водѣ. Въ то время какъ вода надземныхъ источниковъ въ бактериологическомъ отношеніи подозрительна, грунтовые воды въ большинствѣ случаевъ гарантированы отъ зараженія микроорганизмами. Хотя при современномъ высокомъ уровнѣ техники фильтраціи удается свести до минимума опасность попаданія бактерій въ питьевую воду, однако извѣстно, что холерныя и тифозныя бациллы могутъ проникать черезъ песчаный слой фильтра и поэтому даже образцово устроенный рѣчной водопроводъ не представляетъ столь абсолютной защиты отъ эпидеміи, какъ рациональное грунтовое водоснабженіе. Озонированіе *) представляетъ дѣйствительное средство уничтоженія патогенныхъ микроорганизмовъ, находящихся въ водѣ, но его примѣненіе обходится дорого и находится еще въ стадіи опытовъ **); кромѣ того даже при достиженіи полной стерильности рѣчная вода въ лѣтнее время, вслѣдствіе высокой температуры, уступаетъ прохладной, освѣжающей грунтовой водѣ. Только при примѣненіи послѣдовательно фильтраціи, озонированія и охлажденія, рѣчная вода можетъ быть равноцѣнна съ подземной; однако въ ближайшемъ будущемъ такая совершенная обработка рѣчной воды затруднительна по соображеніямъ чисто экономическимъ.

Въ настоящее время настолько признаны гигиеническія, экономическія и эстетическія преимущества грунтовой воды, что передъ устройствомъ водоснабженія города, должно прежде всего постараться использовать видимые или невидимые источники грунтовой воды и только, если детальныя гидрологическія изысканія покажутъ невозможность полученія грунтовой воды при нормальныхъ затратахъ, слѣдуетъ обратиться къ водѣ открытаго водоема.

Образованіе грунтовой воды.

Образованіе грунтовой воды объясняется весьма различно. По теоріи и н ф и л т р а ц і и часть атмосферныхъ осадковъ проникаетъ

*) Или примѣненіе ультрафіолетовыхъ лучей. Прим. переводч.

**) Это утвержденіе не совсѣмъ правильно, ибо въ настоящее время уже существуютъ и работаютъ большія станціи озонированія. Прим. переводч.

вглубь через поры почвы; по Новаку вода проникает главным образом через морское дно. Фольгеръ считает грунтовую воду результатом сгущения паровъ подземнаго воздуха, и Метцгеръ видоизмѣняетъ эту теорію въ томъ смыслѣ, что грунтовая вода образуется вслѣдствіе конденсаціи поднимающихся изъ глубины земли водяныхъ паровъ.

Какая изъ этихъ теорій наиболѣе отвѣчаетъ дѣйствительности? По всей вѣроятности ни одна изъ нихъ не даетъ объясненія всѣхъ явленій, но каждая можетъ быть примѣнена къ соответственному частному случаю. Процессъ инфильтраціи дѣйствительно имѣетъ мѣсто, но не подлежитъ сомнѣнію и неоспоримо, что „подземный туманъ“ въ расщелинахъ горныхъ породъ тоже питаетъ подземные потоки; въ образованіи горячихъ источниковъ также важную роль играютъ пары, поднимающіеся изъ нѣдръ земли.

Для насъ, инженеровъ, вопросъ образованія грунтовой воды имѣетъ въ сущности второстепенное значеніе. Ни въ коемъ случаѣ мы не должны основывать опредѣленіе производительности подземнаго потока на величинѣ площади питанія либо на какой-нибудь научной гипотезѣ; инженеру нужно имѣть убѣдительныя данныя, что въ его распоряженіи имѣется вполне опредѣленное количество воды. Мнѣ вспоминаются слова моего умершаго друга и учителя А. Тима: „мнѣ безразлично, откуда появляется или куда направляется вода, важно что она находится здѣсь“.

Разные виды подземныхъ потоковъ.

Движеніе воды подземнаго потока подчиняется въ общихъ чертахъ тѣмъ-же законамъ, что и движеніе въ обыкновенной рѣкѣ. Дно, по которому онъ движется, состоитъ изъ непроницаемаго пласта слонстыхъ или массивныхъ породъ; его движеніе обусловлено силой тяжести. Каждая частица воды стремится въ сторону наименьшаго сопротивленія. Вода течетъ то въ формѣ узкаго длиннаго канала съ ярко выраженнымъ направлениемъ, то распространяется на широкой площади. Въ однородномъ песчаномъ пластѣ она заполняетъ всѣ свободные промежутки и образуетъ почти сплошной потокъ, а въ горныхъ породахъ или обломкахъ моренъ движется въ видѣ отдѣльныхъ струекъ. Подземный потокъ, слѣдуя изгибамъ нижележащаго водонепроницаемаго слоя, можетъ поэтому появиться на земной поверхности въ формѣ ключа. Обыкновенно грунтовой потокъ движется къ открытому водоему и сообщается съ нимъ, хотя бываетъ иногда и обратное, когда грунтовой потокъ питается изъ выше-

расположенной рѣки или озера; иногда потокъ проходитъ подъ рѣкой, не имѣя съ ней соединенія.

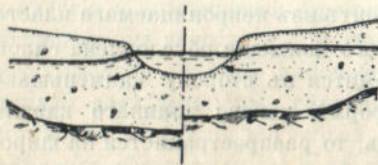
Грунтовая вода движется медленнѣе, чѣмъ поверхностная, что обусловливается значительнымъ сопротивленіемъ тренія въ узенькихъ неправильныхъ каналахъ, образованныхъ промежутками между отдѣльными частицами даннаго водоноснаго пласта. Для преодоленія сопротивленія необходимъ соотвѣтственный уклонъ, величина котораго зависитъ частью отъ скорости, частью отъ свойствъ породы.

На чер. 2 показанъ схематически въ разрѣзѣ грунтовый потокъ. Въ верхней части, между а и в, движеніе потока совершается

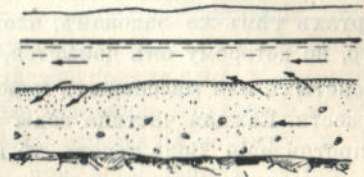


Чер. 2.

въ соотвѣтствіи съ уклономъ непроницаемаго подстилающаго пласта, между пунктами в и d на видъ поверхности потока влияетъ уровень воды въ рѣкѣ, вызывающій подпоръ; поэтому между с и d уровень грунтовыхъ водъ подверженъ постояннымъ колебаніямъ. Въ половодье, когда уровень воды въ рѣкѣ поднимается выше нормальнаго,



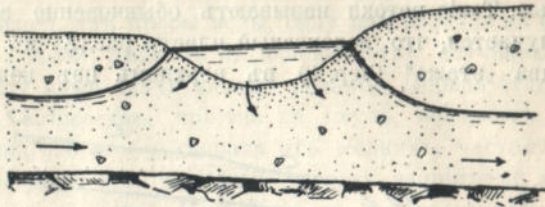
Чер. 3.



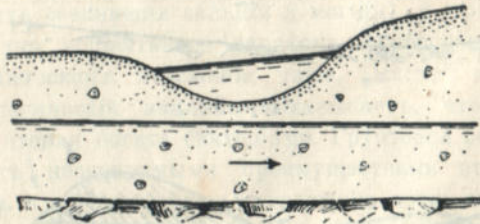
Чер. 4.

уклонъ и скорость грунтового потока постепенно уменьшаются, его свободная поверхность поднимается и наконецъ вода изъ рѣки устремляется въ грунтъ; но прежде чѣмъ указанное движеніе успѣетъ распространиться до с, обыкновенно уровень воды въ рѣкѣ начинаетъ понижаться. Обратное явленіе имѣетъ мѣсто при уровнѣ низкихъ водъ.

На чер. 3 и 4 изображенъ грунтовый потокъ, движущійся подъ русломъ рѣки въ одинаковомъ съ ней направленіи. Оба потока находятся въ постоянномъ взаимодействіи: то грунтовая вода, поднимаясь вверхъ, попадаетъ въ рѣку, то рѣчная вода, опускаясь внизъ черезъ дно, соединяется съ грунтовой.

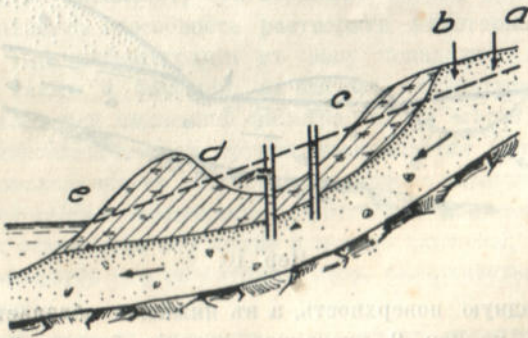


Чер. 5.



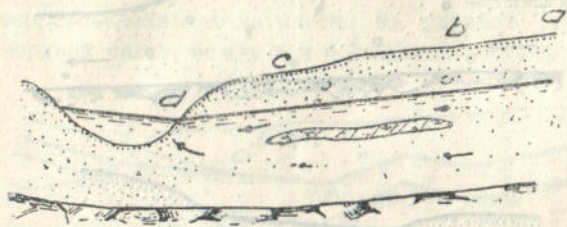
Чер. 6.

На чер. 5 имѣемъ примѣръ грунтоваго потока, постоянно питаемаго изъ протекающей надъ нимъ рѣки; въ сущности это весьма рѣдкій случай, ибо поры дна заносятся иломъ и инфильтрація прекращается (чер. 6).

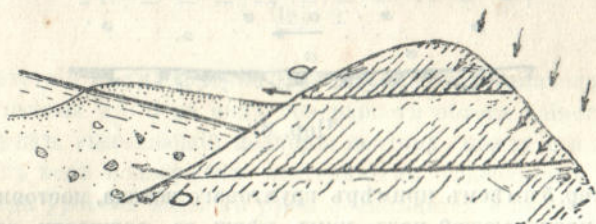


Чер. 7.

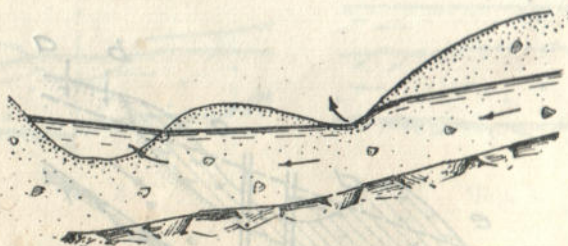
Потокъ, изображенный на чер. 7, имѣетъ въ верхней своей части (между a и b) свободную поверхность, а между b и c, вслѣдствіе перекрытія водоноснаго слоя непроницаемымъ пластомъ, обладаетъ естественнымъ напоромъ; если гдѣ нибудь между c и d мы пробурили бы колодезь, то вода въ немъ поднялась бы выше поверхности земли. Въ такомъ случаѣ говорятъ, что потокъ обладаетъ восходимостью. Такіе потоки называютъ обыкновенно артезианскими. Случается, что водоносный пластъ раздѣленъ прослойкой глины на два „этажа“ (чер. 8), въ верхнемъ изъ коихъ потокъ



Чер. 8.



Чер. 9.



Чер. 10.

имѣетъ свободную поверхность, а въ нижнемъ обладаетъ восходимостью; такъ, на чер. 8 указанное явленіе будетъ имѣть мѣсто между b и c. На чер. 9 изображенъ свободно выходящій изъ трещины

въ разрушенной породѣ ключъ (при а), ниже протекающія струйки (при б) сообщаются съ сосѣднимъ грунтовымъ потокомъ. Грунтовый потокъ можетъ иногда образовывать ключъ, уносящій только часть общаго расхода (чер. 10).

Свойства грунтовой воды.

Если взять двѣ пробы воды, одну изъ колодца на берегу рѣки, другую изъ самой рѣки, то въ большинствѣ случаевъ легко замѣтитъ между ними значительную разницу. Первая отличается прозрачностью, свѣжестью, пріятна на вкусъ, обладаетъ постоянной температурой; вторая—мутновата отъ мелкихъ частицъ ила, часто имѣетъ сѣроватую или буроватую окраску неприятный вкусъ, тепла лѣтомъ и холодна зимой. Первая часто содержитъ много химическихъ соединеній, обладаетъ желѣзистымъ вкусомъ, „жесткостью“ (т. е. содержитъ соединенія кальція и магнія), а при значительной глубинѣ колодца неприятнымъ запахомъ сѣроводорода; рѣчная-же вода въ химическомъ отношеніи чище, „мягче“ и свободна отъ желѣза. Біологическій анализъ показываетъ, что первая вода стерильна, а вторая богата бактеріями. Грунтовая вода какъ питьевая обладаетъ неоспоримыми преимуществами въ физическомъ, эстетическомъ и гигиеническомъ отношеніи, хотя для промышленныхъ цѣлей, варки и стирки, вода открытыхъ водоемовъ является болѣе подходящей.

Вышеперечисленные различія обусловлены тѣми процессами, которымъ подвергается вода послѣ того какъ попадаетъ на земную поверхность въ формѣ атмосферныхъ осадковъ. Пока атмосферная вода остается на поверхности земли, она находится въ постоянномъ соприкосновеніи съ воздухомъ. Во время инфильтраціи грунтовая вода воспринимаетъ углекислоту отъ верхнихъ слоевъ почвы и въ силу этого пріобрѣтаетъ способность растворять нѣкоторыя химическія соединенія. При инфильтраціи въ воду попадаютъ въ большомъ количествѣ также и бактеріи, но затѣмъ отдѣляются отъ нея во время послѣдующей медленной фильтраціи. По мѣрѣ просачиванія воды въ нижележащіе слои грунта уменьшается притокъ къ ней воздуха; происходящіе въ отсутствіи кислорода химическіе процессы имѣютъ слѣдствіемъ образованіе газовъ. Колебанія температуры въ то же время становятся все менѣе и менѣе замѣтны. Вообще свойства воды зависятъ отъ ея глубины подъ поверхностью земли и отъ свойствъ почвы.

Въ силу этого къ сужденію о качествахъ грунтовой и поверхностной воды не должно прилагать одну и ту-же мѣрку. Примѣси

хлорныхъ или азотныхъ соединеній въ чистой грунтовой водѣ и въ грунтовой водѣ, содержащей бактеріи, имѣютъ различное гигиеническое значеніе.

Вопросъ этотъ будетъ разобранъ болѣе детально при разсмотрѣніи нѣкоторыхъ частныхъ случаевъ. Хлоръ, образующій въ соединеніи съ натріемъ поваренную соль, находится часто въ тѣхъ песчаныхъ слояхъ, которые ранѣе были покрыты морской водой. Грунтовая вода въ долину Гэтаэльфъ, протекающая по самому руслу, въ которомъ отложенія соли были съ теченіемъ времени смыты, отличается сладкимъ вкусомъ; между тѣмъ вода, взятая въ уширенной части того-же русла, заполненной мелкимъ плотно слежавшимся пескомъ, имѣетъ соленый вкусъ и для питья непригодна.

Аналогичное явленіе можно наблюдать въ артезианскомъ потоцѣ у Алингсаъ, лежащаго на 60 мет. выше уровня моря, но ниже нынѣ исчезнувшаго моря ледниковой эпохи. Поваренная соль, какъ извѣстно, не только не вредна, но даже полезна для организма чело-вѣка и ея присутствіе не ухудшаетъ качества воды, пока не портитъ ея вкуса.

Главной задачей химическаго изслѣдованія грунтовой воды является опредѣленіе жесткости и содержанія желѣза. Известь легко растворяется въ водѣ, богатой углекислотой, но легко и выдѣляется, если удалить углекислоту. Грунтовая вода, циркулирующая въ известнякахъ или песчаныхъ слояхъ, богатыхъ известью, напримѣръ, вода грунтовыхъ потоковъ Зошоненъ, почти вездѣ обладаетъ жесткостью около 20⁰⁰). Когда очень жесткая грунтовая вода образуетъ ключъ, то углекислота изъ нея улетучивается, а углекислая известь осаждается въ формѣ туфа. Магnezія также растворяется въ водѣ, содержащей углекислоту, но выдѣляется труднѣе.

Жесткость воды вызываетъ нѣкоторыя неудобства. Мыло растворяется въ ней труднѣе, нежели въ мягкой водѣ, варка овощей и приготовленіе чая требуютъ больше времени. Въ кранахъ образуются известковыя отложенія, на внутренней поверхности котловъ образуется твердый осадокъ и т. д. Для уменьшенія жесткости существуетъ рядъ болѣе или менѣе дорогихъ методовъ. Между ними заслуживаетъ вниманія способъ шведскаго инженера К. Зондена. Для нейтрализованія углекислоты къ водѣ примѣшивается гидратъ окиси кальція, при чемъ углекислый кальцій и магnezія выдѣляются и могутъ быть легко устранены. Для сохраненія свѣжести воды Зонденъ подвергаетъ обработкѣ только часть ея, напр., половину; угле-

*) 1 нѣмецкій градусъ жесткости соотвѣтствуетъ 1 части по вѣсу окиси кальція (CaO) на 100.000 частей воды.

кислота остальной части, распределяясь по всей массе воды, сохраняет ее свежий вкус.

Песчаные водоносные слои северной Европы состоятъ преимущественно изъ обломковъ первобытныхъ горъ Швеціи, богатыхъ желѣзомъ, и содержатъ потому въ значительномъ количествѣ желѣзныя соединенія, которыя находятся по большей части въ растворенномъ состояніи благодаря присутствію углекислоты. Поэтому грунтовая вода, содержащая желѣзо, при выходѣ на земную поверхность прозрачна и безцвѣтна, далѣе, вслѣдствіе окисленія желѣзныхъ соединеній, она мутнѣетъ и часть желѣза осаждается въ видѣ ржавчины.

Вмѣстѣ съ желѣзомъ появляются часто его спутники, различнаго рода водоросли, альги, кренотриксъ, полиспора и др., которыя, отлагаясь въ большихъ количествахъ, иногда совершенно закупориваютъ трубопроводы малыхъ диаметровъ. Конечно, такая вода въ естественномъ состояніи непригодна для водопроводныхъ цѣлей и должна быть подвергаема очисткѣ, состоящей изъ: 1) аэраціи, т. е. изъ насыщенія воздухомъ, благодаря чему окисленное желѣзо выдѣляется въ видѣ ржавчины и 2) послѣдующаго процесса фильтраціи, при которой выдѣленная окись желѣза задерживается фильтрующими матеріалами.

Проектированіе очистныхъ сооружений часто затрудняется невозможностью предвидѣть измѣненія количества примѣсей желѣза; случается, что въ районѣ изслѣдованія попадаются области какъ богатая желѣзомъ, такъ и несодержащія его вовсе. Желѣзо въ углекислыхъ соединеніяхъ выдѣляется легче, чѣмъ въ сѣрныхъ. Бывали случаи, когда съ теченіемъ времени количество желѣза въ водѣ уменьшалось настолько, что устроенныя ранѣе очистныя сооружения оказывались излишними.

Иногда вмѣстѣ съ желѣзомъ въ водѣ встрѣчается марганецъ; онъ вызываетъ подобныя же неудобства, а выдѣляется съ еще большими затрудненіями. Содержащійся часто въ грунтовой водѣ сѣрководородъ легко удаляется при помощи аэраціи.

Въ гигиеническомъ отношеніи весьма важенъ біологическій анализъ воды. Какъ уже было упомянуто ранѣе, вода фильтруется черезъ мелкозернистые слои почвы весьма медленно и освобождается отъ мельчайшихъ частицъ постороннихъ примѣсей. Многочисленныя изслѣдованія показали, что грунтовая вода уже на глубинѣ нѣсколькихъ метровъ вполне стерильна. Но если уровень грунтовой воды поднимается столь высоко, что соприкасается съ загрязненнымъ верхнимъ слоемъ почвы или если грунтовый потокъ

питается источниками, протекающими въ крупнозернистомъ пластѣ или трещиноватыхъ горныхъ породахъ, то грунтовая вода можетъ содержать бактеріи. Между этими послѣдними наиболѣе опасными являются возбудители холеры и тифа, которые, находясь въ человѣческихъ экскрементахъ, могутъ проникать съ земной поверхности въ грунтовую воду. Колодцы въ трещиноватыхъ известнякахъ бывали не разъ разсадниками эпидемій; это особенно часто наблюдалось во Франціи, гдѣ колодцы по большей части питаются плохо отфильтрованной рѣчной водой. Грунтовая вода, содержащая микроорганизмы, а особенно еще при наличности соединений хлора и азота, должна подвергаться такимъ-же процессамъ очистки (филтраціи, озонированію) какъ и вода открытыхъ водоемовъ.

Гидрологическія изысканія.

При рѣшеніи отвѣтственной задачи о снабженіи города грунтовой водой должно во 1) произвести настолько полныя изысканія чтобы на ихъ основаніи возможно было сдѣлать опредѣленные выводы о количествахъ и качествахъ воды, и во 2) выполнить эти изысканія съ наименьшей затратой средствъ. Для того чтобы имѣть точное представленіе о распространеніи, мощности и свойствахъ водоноснаго пласта, слѣдуетъ выполнить рядъ пробныхъ буреній и систематическими откачиваніями воды изъ скважинъ или какими-нибудь другими приѣмами опредѣлить дебетъ. Конечно къ этимъ кропотливымъ и дорогимъ способамъ можно приступить только въ томъ случаѣ, если имѣется обоснованное убѣжденіе въ возможности успѣшнаго исхода опытовъ. Прежде всего нужно произвести предварительныя изысканія на большой площади, послѣ чего районъ, найденный наиболѣе подходящимъ, долженъ быть подвергнутъ подробнымъ изслѣдованіямъ.

Предварительныя изысканія.

Первоначально слѣдуетъ произвести обзоръ окрестностей снабжаемаго водой мѣста, изучить ихъ топографическій и геологическій характеръ, при чемъ долинамъ и водораздѣламъ надлежитъ удѣлить особенное вниманіе. На основаніи геологической карты можно судить о свойствахъ массивныхъ и осадочныхъ породъ. Нѣтъ надобности изучать подробно первобытныя горы, морены и глины, но присутствіе осадочныхъ горныхъ породъ, валуновъ и песчаныхъ крупно-зернистыхъ слоевъ является хорошимъ признакомъ. Водосборная площадь долины можетъ быть опредѣлена при помощи топо-

графической карты. Если же кромѣ того извѣстны метеорологическія условія мѣстности, то можно приблизительно судить о средней и минимальной величинѣ выпадающихъ атмосферныхъ осадковъ, откуда, имѣя въ виду строеніе поверхности земли, можно приблизительно выяснитъ величину инфильтрацій и то количество грунтовой воды, которое при извѣстныхъ предположеніяхъ имѣется въ наличности. Подобная приблизительная оцѣнка имѣетъ большое значеніе особенно для отрицанія возможности полученія воды. Такъ, напр., если долина окружена горами первобытнаго образованія и не можетъ находиться въ подземномъ сообщеніи съ другими водосборными областями, если, сверхъ того, опредѣлена возможная площадь инфильтраціи и если наконецъ количество воды, равное примѣрно половинѣ инфильтраціи, менѣе необходимаго для потребленія, то подобныя гидрологическія изысканія очевидно дадутъ плохіе результаты. Если водораздѣлы состоятъ изъ известковыхъ породъ, то не исключается возможность питанія долины подземными струйками изъ сосѣднихъ областей, какъ это показано на черт. 9.

Нельзя дѣлать опредѣленныхъ заключеній о количествѣ грунтовой воды, основываясь лишь на величинѣ водосборной площади.

Здѣсь слѣдуетъ замѣтить, что количество воды, протекающее по „озамъ“*), въ большинствѣ случаевъ гораздо больше того расчетнаго количества, которое должно было бы получиться благодаря инфильтраціи черезъ обыкновенно мало проницаемую и твердую почву ихъ крутыхъ склоновъ; очевидно, по поверхности такихъ склоновъ, имѣющихъ въ вершинѣ узкій гребень, атмосферные осадки стекаютъ весьма быстро и только развѣ малая часть ихъ просачивается внутрь. Однако въ одномъ подобномъ случаѣ автору удалось обнаружить, что все ядро „оза“ было наполнено водою, причемъ вода въ буровомъ колодцѣ поднималась выше гребня.

Такъ какъ потокъ обладалъ восходимостью, то онъ не могъ питаться черезъ непроницаемые верхніе пласты, а очевидно имѣлъ сообщеніе съ нижележащей поддонной мореной. Подобные пласты въ сущности являются дренирующими для окружающей мѣстности и питаніе ихъ путемъ инфильтраціи незначительно. При изысканіяхъ на большихъ пространствахъ нѣтъ возможности опредѣлить водосборную площадь путемъ расчета или измѣренія.

Весьма важно также изученіе поверхностныхъ водъ разсматриваемой области, ибо чѣмъ меньше расходъ открытыхъ водоемовъ

*) Озы—валунные хребты ледниковаго образованія, покрытые слоистыми осадками. Въ Новгородской губерніи ихъ называютъ свинными хребтами, въ Прионезьѣ—сельгами. Прим. перев.

тѣмъ больше обыкновенно бываетъ мощность подземныхъ потоковъ. Чѣмъ меньше колеблется по временамъ года расходъ воды въ рѣкѣ, тѣмъ больше участвуютъ въ ея питаніи подземные источники; температура воды въ такой рѣкѣ также почти постоянна. Производи изслѣдованія зимой, нужно обратить особое вниманіе на условія образованія льда. Такъ, напр., авторъ наблюдалъ маленькій ручей пересѣкающій „озь“ у Сая. До пересѣченія ручей былъ покрытъ льдомъ, а непосредственно у мѣста пересѣченія имѣлъ незамерзшую поверхность; въ этомъ мѣстѣ расходъ ключа былъ равенъ 100 лит./сек., а температура его воды равнялась $+3^{\circ}$. Если температура воды пересѣкаемаго грунтоваго потока была $+6^{\circ}$ и ручья -0° , то очевидно, что 50 лит./сек. ручей получалъ изъ водоноснаго слоя. Того-же рода пластъ простирается сѣвернѣ Худиксвалля вплоть до моря и вода у берега не замерзаетъ, что доказываетъ присутствіе богатаго потока грунтовой воды. Не менѣе вѣрнымъ показателемъ служить лѣтомъ внезапное охлажденіе воды въ открытомъ водоемѣ.

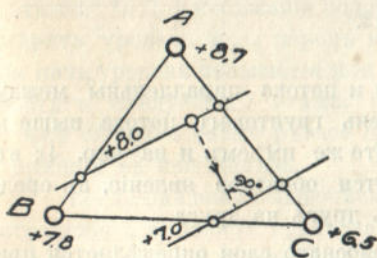
Цѣнныя услуги при изысканіяхъ можетъ оказать ботаника, ибо извѣстныя растенія, требуя постоянной температуры, произрастаютъ и развиваются у мѣстъ выхода грунтовыхъ потоковъ. Появляющійся во многихъ рѣкахъ пльвунъ является результатомъ разрыхленія дна проникающей снизу грунтовой водой и служитъ поэтому однимъ изъ признаковъ существованія подземнаго потока.

Но важнѣ всего при изысканіяхъ самое внимательное обследованіе существующихъ колодцевъ и ключей, состоящее въ ихъ детальномъ осмотрѣ, нивелировкѣ уровней, и опредѣленіи количества, температуры и свойствъ получаемой изъ нихъ воды. Необходимо также собрать отъ владѣльцевъ колодцевъ данныя о глубинѣ залеганія пластовъ, колебаніяхъ уровня и т. п. Согласно старому правилу практики, каждый крестьянинъ, роющій колодезь, доводитъ его до глубины, при которой можно водою наполнить ведро т. е. до глубины $\frac{1}{2}$ метра ниже уровня воды. Если поэтому вода въ колодезѣ стоитъ напримѣръ на $1\frac{1}{2}$ метра выше уровня дна, то изъ этого можно заключить, что со времени начала пользованія колодеземъ наинизшій уровень бывалъ иногда ниже наблюдаемаго на 1 метръ. Важно также знать, принадлежатъ ли отдѣльные колодцы одному и тому-же водоносному „этажу“ или разнымъ, раздѣленнымъ непроницаемыми слоями.

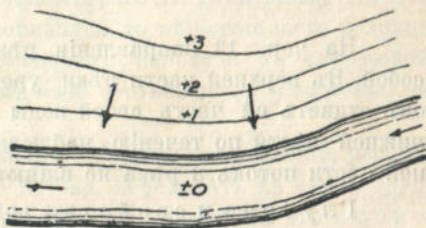
Когда при помощи описанныхъ предварительныхъ метеорологическихъ, геологическихъ и гидрологическихъ изслѣдованій создается убѣжденіе о возможности полученія въ предѣлахъ опредѣленнаго раіона требуемаго количества воды, приступаютъ къ окончательнымъ изысканіямъ.

Окончательныя изысканія.

Основная цѣль ихъ состоитъ въ опредѣленіи количества и свойствъ грунтовой воды. Для достиженія этой цѣли необходимо выяснитъ направленіе движенія потока, и далѣе, путемъ пробныхъ буреній,—найти его ширину, глубину, т. е. размѣры его поперечнаго сѣченія и, наконецъ, его расходъ. Въ теченіи всего времени изслѣдованій нужно дѣлать наблюденія надъ стояніемъ уровня въ отдѣльныхъ пробныхъ колодцахъ, а также и въ сосѣднихъ съ ними открытыхъ водоемахъ; нужно брать пробы для химическихъ, бактеріологическихъ анализовъ и производить, въ случаѣ надобности, опыты съ очистными сооружениями. Если водоносный пластъ представляетъ узкую и длинную полосу, то направленіе грунтового потока можетъ быть выяснено изъ направленія уклона поверхности. Вообще-же опредѣленіе направленія потока сводится къ наблюденію и сравненію между собой уровней воды въ пробныхъ колодцахъ; необходима наличность по крайней мѣрѣ трехъ колодцевъ, образующихъ по возможности вершины равносрсоннаго треугольника (чер. 11).



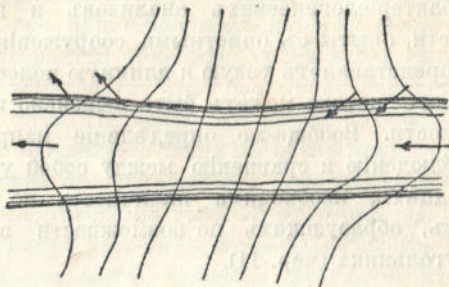
Чер. 11.



Чер. 12.

Если напримѣръ отмѣтка уровня воды въ колодцѣ А равна +8,7 метра, въ колодцахъ В и С соответственно +7,8 метра и +6,5 метра, то при помощи интерполяціи можно найти на линіи АВ точку съ отмѣткой +8 метра. Подобнымъ образомъ найдемъ на АС точки съ отмѣтками +8 и +7 и на ВС одинъ пунктъ съ отмѣткой +7 метра. Соединимъ оба пункта съ отмѣткой уровня +8 метр. и другой линіей два пункта съ отмѣткой уровня +7 метр. Частица воды, находящаяся на линіи 8 метр. будетъ стремиться двигаться къ линіи 7 метр. по кратчайшему пути, т. е. по перпендикулярному къ этимъ линіямъ направленію.

Когда, такимъ образомъ, найдено приблизительное направлѣніе потока, параллельно и перпендикулярно къ нему устраиваются новыя пробныя скважины, между коими путемъ интерполяціи находятся пункты съ высотой уровня, выраженной въ цѣлыхъ числахъ; соединяя эти пункты плавными кривыми, получимъ горизонталы, наглядно представляющія направлѣнія теченія въ разныхъ частяхъ изучаемаго района. Такую гидрологическую карту имѣемъ на чер. 12, гдѣ грунтовый потокъ направляется къ рѣкѣ. Продольный разрѣзъ потока представленъ на чер. 2.



Чер. 13.

На чер. 13 направлѣнія рѣки и потока параллельны между собой. Въ верхней части рѣки уровень грунтоваго потока выше и онъ отдаетъ ей часть своей воды (то же имѣемъ и на чер. 4); въ нижней части по теченію наблюдается обратное явленіе, въ средней части потокъ и рѣка не вліяютъ другъ на друга.

Глубина и свойства водоноснаго слоя опредѣляется при помощи буренія. Каждый пробный колодезь нужно по возможности доводить до непроницаемаго слоя, образующаго основаніе водоноснаго пласта.

Необходимо внимательно слѣдить за всѣми измѣненіями въ свойствахъ грунта и сохранять образцы проходимыхъ породъ въ отдѣльныхъ склянкахъ, снабженныхъ номеромъ колодца и указаніемъ глубины, на которой взятъ образецъ. Наиболее распространенный въ Швеціи способъ буренія состоитъ въ слѣдующемъ: обсадная труба загоняется въ почву ударами бабы, между тѣмъ другая внутренняя труба, снабженная на концѣ отверстиями и долотомъ, при погруженіи поворачивается взадъ и впередъ. Въ эту послѣднюю накачивается вода, которая, проходя по кольцевому пространству между трубами, уходитъ черезъ верхнее отвлѣченіе наружной трубы и уноситъ ча-

стицы породъ, разбитыхъ долотомъ и размытыхъ напоромъ водяной струи. Этотъ простой и дешевый способъ никогда не даетъ вполнѣ точныхъ данныхъ относительно толщины и расположенія различныхъ слоевъ. При опусканіи трубы въ песчаный слой съ различной величиной зеренъ ранѣе всего будутъ вынесены мелкія частицы, а крупныя соберутся на днѣ, пока при помощи усиленнаго вращенія и промывки тоже не будутъ подняты наверхъ. Вслѣдствіе этого легко создается представленіе, что именно въ данномъ мѣстѣ расположенъ однородный слой крупнаго гравія. При буреніи въ песокъ съ прослойками глины и ила получается обратное: образецъ представляетъ смѣшанную массу вмѣсто слоистой. Буреніе съ промывкой даетъ вообще приблизительную картину характера почвы и послѣдующія въ нѣкоторыхъ случаяхъ выемки обнаруживаютъ разницу между дѣйствительной и составленной во время буренія картиной расположенія слоевъ.

Крайне важно наблюдать во время буренія могущія произойти колебанія уровня въ колодцахъ. Очень тонкій пластъ глины, согласно вышесказанному, можетъ быть не замѣченъ при буреніи и тогда легко можетъ создаться представленіе о наличности одного водоноснаго слоя, хотя въ дѣйствительности потокъ будетъ раздѣленъ на нѣсколько „этажей“*). Для избѣжанія подобныхъ ошибокъ нужно ежедневно измѣрять уровень воды передъ началомъ работы. Если окажется, что за ночь уровень повысился или понизился, то вѣроятно низъ колодца достигъ слѣдующаго этажа. Признаками перехода въ слѣдующій этажъ служить также рѣзкое измѣненіе состава воды и особенно содержанія въ ней желѣза.

Когда найдены вышеописанными приѣмами направленіе, распространеніе и мощность грунтоваго потока, переходятъ къ самой трудной и интересной части задачи, именно къ опредѣленію его производительности. Необходимо съ самаго начала подчеркнуть, что расходъ всякаго грунтоваго потока подверженъ періодическимъ колебаніямъ и по годамъ и по временамъ года. Хотя вслѣдствіе медленной инфильтраціи и крайне малой скорости теченія колебанія дебета грунтоваго потока гораздо меньше такового въ открытомъ водоемѣ, но всетаки во избѣжаніе неприятой неожиданности колебанія эти должны быть приняты во вниманіе. Обыкновенно уровень грунтовыхъ водъ достигаетъ минимума осенью и часто стоитъ ниже въ одномъ году чѣмъ въ другомъ. Колебанія уровня грунтовой воды

*) Подобное этажное строеніе приходится наблюдать въ районѣ Кіева въ подюрскомъ водоносномъ слое. Примѣч. переводч.

находятся въ обратной зависимости отъ величины площади инфильтраціи. Слѣдовательно, если нѣтъ наблюдений надъ существующими колодцами за продолжительный періодъ времени, то безопаснѣе допустить, что найденное количество воды можетъ впослѣдствіи уменьшиться.

Существуютъ слѣдующіе методы опредѣленія производительности:

- 1) измѣреніе скорости потока,
- 2) опредѣленіе скорости путемъ вычисленія по пониженію уровня при откачкѣ,
- 3) непосредственное измѣреніе количества воды по наблюдаемому пониженію при откачкѣ и
- 4) вычисленіе производительности по наблюдаемому повышенію уровня при искусственной инфильтраціи.

Измѣреніе скорости.

Если площадь поперечнаго сѣченія потока равна A кв. мт., то не вся эта площадь заполнена водой. Вода протекаетъ только черезъ поры и дѣйствительная площадь живого сѣченія $= k_1 A$, гдѣ k_1 коэффициентъ, представляющій площадь свободныхъ промежутковъ на 1 кв. мт. общей площади. Если, далѣе, вода протекаетъ черезъ поры со средней скоростью V_1 мт./сек., то секундный расходъ $Q = k_1 A V_1$ куб. мт... (1).

Для опредѣленія k_1 наливаютъ воду въ сосудъ, наполненный пескомъ и принимаютъ за значеніе k_1 тотъ объемъ воды, который поглощается 1 куб. мт. песка. Способъ этотъ нельзя признать точнымъ, ибо песокъ никогда нельзя уложить такъ плотно, какъ въ естественной почвѣ.

Въ общемъ k_1 колеблется между 0,15 и 0,25, хотя бываютъ также значительныя отклоненія отъ этихъ величинъ. Въ виду такой неопредѣленности лучше освободиться отъ коэффициента k_1 , вводя обозначеніе $k_1 V_1 = V$, гдѣ V объемъ воды, протекающій черезъ квадратный метръ общей площади сѣченія водяного слоя, въ единицу времени. Тогда получаемъ, что $Q = A \cdot V$... (2), при чемъ $V = k_1 V_1$ или $V_1 = \frac{V}{k_1}$. Если напр., $V = 0,1$ мм./сек., то квадратный метръ поперечнаго сѣченія пропускаетъ 0.0001 куб. мт./сек., и если $k_1 = 0,2$, то дѣйствительная скорость грунтоваго потока $V_1 = 0,5$ мм./сек. или 43,2 м. въ сутки.

Примѣняя въ дальнѣйшемъ уравненіе (2), которое проще (1), будемъ помнить, что V есть кажущаяся скорость потока. Для

опредѣленія времени перемѣщенія даннаго объема воды на опредѣленное разстояніе, должно принимать въ основаніе дѣствительную скорость V_1 .

Очевидно нельзя непосредственно измѣрить V , поэтому обыкновенно пробуютъ измѣрять V_1 . Такъ, А. Тимъ пользовался для этой цѣли растворомъ поваренной соли, который вводилъ въ колодезь, причѣмъ наблюдалъ содержаніе хлора въ водѣ другого сосѣдняго колодца, расположеннаго ниже по направленію потока; оказывалось, что вода этого послѣдняго начинала пріобрѣтать послѣ нѣкотораго времени соленый вкусъ, затѣмъ содержаніе соли постепенно достигало максимума, далѣе постепенно уменьшалось и затѣмъ соль совершенно исчезла. Распространеніе введеннаго раствора происходило частью вслѣдствіе диффузіи, частью благодаря движенію воды. Для исключенія вліянія диффузіи при расчетѣ скорости принимается время между введеніемъ раствора и моментомъ максимальнаго содержанія раствора въ нижнемъ колодцѣ; если это время T секундъ и разстояніе между колодцами L метровъ, то

$$V_1 = \frac{L}{T} \dots \dots \dots (3)$$

Опредѣливши такимъ путемъ V_1 для большого числа колодцевъ, берутъ среднее значеніе, которое вмѣстѣ съ принятымъ k_1 вставляется въ уравненіе (1).

Результаты, между прочимъ, получаютъ не вполне надежные ибо составъ грунта столь различенъ, что нельзя получить дѣствительныхъ значеній ни для V_1 , ни для k_1 . Вода просачивается черезъ многочисленныя маленькіе каналы и ходы, которые имѣютъ различное направленіе и площадь. Частица воды можетъ двигаться или впередъ, или внизъ, или въ сторону, или даже назадъ. Въ однихъ канальцахъ скорость во много разъ больше чѣмъ въ другихъ. Слѣдовательно, имѣя въ виду, что растворъ будетъ стремиться по кратчайшему и болѣе свободному пути, можно заключить, что для V_1 такимъ образомъ получается величина, большая дѣствительной средней. Благодаря этому, методомъ Тима и другими методами непосредственнаго измѣренія скорости потока пользуются чрезвычайно рѣдко*).

*) Для обнаруженія сообщенія между колодцемъ и рѣкой или между разными водоносными слоями можно съ успѣхомъ примѣнять растворимыя вещества. Этимъ путемъ можно доказать, напр., что разные ключи въ известнякѣ происходятъ отъ одного источника, что вода протекаетъ иногда съ такой скоростью, которая является признакомъ довольно большихъ подземныхъ каналовъ.

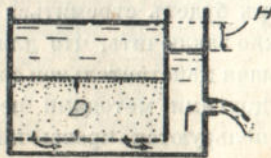
Опредѣленіе скорости.

Какъ видно изъ предыдущей главы, точное измѣреніе скорости грунтоваго потока представляется малоосуществимымъ и поэтому ниже приводится опредѣленіе ея теоретическимъ путемъ. Средняя скорость теченія воды въ обыкновенной рѣкѣ рассчитывается по формулѣ $V = C \sqrt{RJ}$, гдѣ $R = \frac{A}{O}$ — отношенію между площадью живого сѣченія A и смоченнымъ периметромъ O и называется гидравлическимъ радіусомъ, J — уклону поверхности воды или его паденію на единицу длины и C — коэффициентъ, зависящій отъ характера стѣнокъ канала и среднего радіуса R .

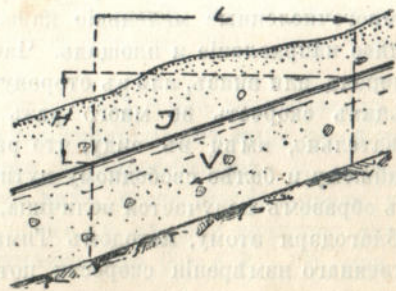
Для данного сѣченія $C \sqrt{R} = C_1$ или $V = C_1 \sqrt{J}$, т. е. скорость пропорціональна квадратному корню изъ уклона.

Если представить себѣ эту рѣку заполненной пескомъ, то создадутся тѣ-же условія теченія, что и въ грунтовомъ потокѣ. Скорость воды значительно уменьшится. Треніе о стѣнки русла и дно ничтожно въ сравненіи съ сопротивленіями, которыя преодолеваются при протеканіи воды по неправильнымъ малымъ каналамъ между зернами слоя. Для преодоленія сопротивленія необходима извѣстная высота напора; хотя скорость уменьшается, уклонъ поверхности воды долженъ увеличиться.

Дарси нашелъ опытнымъ путемъ, что, если вода фильтруется вертикально черезъ песокъ, наполняющій сосудъ (чер. 14), то ско-



Чер. 14.



Чер. 15.

рость протеканія прямо пропорціональна избытку напора H и обратно пропорціональна толщинѣ песчаного слоя D т. е. $V = k \cdot \frac{H}{D}$, гдѣ k коэффициентъ, зависящій отъ характера песка.

Движеніе воды въ горизонтальномъ направленіи должно подчиняться тому-же закону. Если подставимъ вмѣсто D длину L , то для канала сплошь заполненнаго пескомъ, (чер. 15) имѣемъ

$$V = k \frac{H}{L} \text{ или } V = kJ. \dots \dots \dots (4)$$

Скорость грунтовой воды пропорціональна J , а не \sqrt{J} , какъ у надземнаго потока. Она зависитъ отъ строенія водоноснаго слоя, а не отъ его глубины или другихъ размѣровъ.

Подставя значеніе V въ уравненіе (2), получимъ

$$Q = k A J. \dots \dots \dots (5)$$

Для полученія значенія k производятъ пробную откачку изъ колодца или сборной галлерей. Колодезь при этомъ представляетъ собой какъ-бы пунктъ, который притягиваетъ къ себѣ воду изъ нѣкоторой части района подземнаго потока.

Внутри этой части образуется новое состояніе равновѣсія. Уровень воды понизится, направленіе, скорость и глубина потока измѣнятся.

Если мы найдемъ площадь поперечнаго сѣченія и уклонъ, соотвѣтствующіе выкачиваемому количеству воды, то опредѣлимъ и коэффициентъ k . Если значеніе k одинаково для всего потока, то общую производительность получимъ изъ уравненія (5).

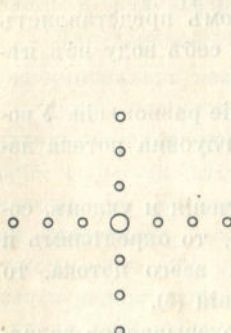
Постараемся теперь изслѣдовать вліяніе, оказываемое колодцемъ на уровень, направленіе и скорость окружающей его грунтовой воды, при чемъ будемъ исходить изъ слѣдующихъ положеній:

- 1) Поверхность грунтоваго потока свободна.
- 2) Естественная скорость грунтовой воды равна 0.
- 3) Передъ началомъ откачки уровень въ районѣ, изъ котораго вода притекаетъ къ колодцу, горизонталенъ.
- 4) Откачка не вліяетъ на уровень воды внѣ упомянутаго района.
- 5) Подошва потока, т. е. поверхность находящагося подъ нимъ непроницаемаго слоя, горизонтальна.
- 6) Колодезь опущенъ до подошвы потока и пропускаетъ воду черезъ всю свою цилиндрическую поверхность.
- 7) Строеніе водоноснаго пласта однородно.

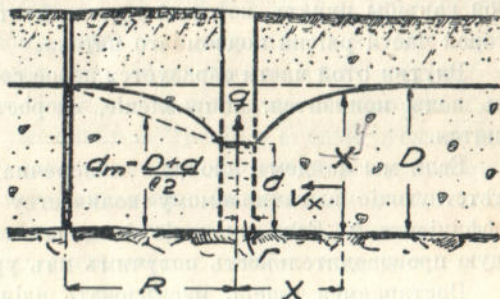
Измѣненія уровня въ районѣ колодца наблюдаютъ при помощи пробныхъ колодцевъ, заложенныхъ параллельно направленію потока и перпендикулярно къ нему (чер. 16).

При началѣ откачки понижается уровень въ центральномъ колодцѣ, затѣмъ онъ постепенно понижается также въ малыхъ пробныхъ колодцахъ. По мѣрѣ продолженія откачки понижается уровень наконецъ и въ болѣе удаленныхъ пробныхъ колодцахъ и умень-

шается выкачиваемое количество воды. После некоторого промежутка наступает состояние равновесия; количество выкачиваемой воды и уровни в колодцах становятся постоянными. Понижение в большом колодце распространяется равномерно во все стороны, по мере удаления от него уменьшается и на известном расстоянии становится незаметным; уровень потока образует „воронку“ с вершиной в колодце; верхний край этой воронки совпадает с границей понижения и образует окружность, имеющую в центре главный колодец. Обозначим этот радиус границы понижения, называемый также радиусом депрессии, через R , радиус колодца — r , глубину потока на границе понижения — D и в колодце — d (чер. 17)



Чер. 16.

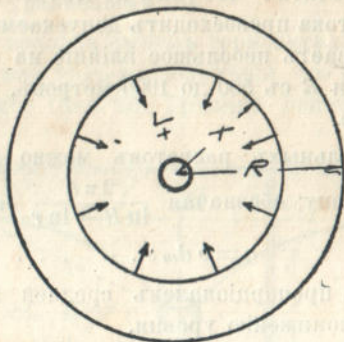


Чер. 17.

На границе понижения скорость воды равна нулю, непосредственно же внутри ее иметь место уже понижение уровня и каждая частица воды стремится к колодцу по кратчайшему, т. е. радиальному, направлению. Все частицы, лежащие на одной и той же вертикали, имеют одно и то же направление, а лежащие на одинаковом расстоянии от центра колодца — одинаковую скорость.

Представим себе, что колодезь окружен вертикальным цилиндром с радиусом основания x (чер. 17 и 18); очевидно, все частицы, лежащие на его поверхности, обладают одинаковой скоростью v_x . Чем ближе поверхность воображаемого цилиндра к центру колодца, тем меньше окружность его основания и высота, а следовательно и поверхность, пропускающая воду; таким образом, скорость воды по мере приближения к колодцу увеличивается. Сопротивление растет со скоростью, а его увеличение вызывает в свою очередь увеличение уклона поверхности потока; поэтому уклон кривой понижения (линии депрессии) должен быть тем больше, чем меньше расстояние от колодца.

Разсмотримъ теперь движеніе воды черезъ поверхность во-
ображаемаго цилиндра на разстояніи x отъ осевой линіи колодца.
Окружность цилиндра = $2\pi x$, высота его y , поверхность $2\pi xy$. Ско-



Чер. 18.

рость воды черезъ эту поверхность v_x и уклонъ депрессіонной кри-
вой = $\frac{dy}{dx}$. Расходъ воды черезъ эту поверхность $q = 2\pi xy v_x$, откуда

$v_x = \frac{q}{2\pi xy}$. По уравненію (4)

$$v_x = k \frac{dy}{dx} \text{ или } \frac{q}{2\pi xy} = k \frac{dy}{dx} \text{ и } \frac{dy}{dx} = \frac{q}{2\pi xy k} \dots (6)$$

При $x = r$, $y = d$ и при $x = R$, $y = D$

Послѣ интегрированія получимъ:

$$q = \frac{\pi k (D^2 - d^2)}{\ln \frac{R}{r}} \dots (7)$$

что можетъ быть преобразовано такъ:

$$q = \frac{2\pi k \frac{(D+d)}{2} (D-d)}{\ln R - \ln r}, \text{ гдѣ } \frac{D+d}{2}$$

есть средняя ариѳметическая изъ D и d или средняя глубина по-
тока, если принять линію депрессіи за прямую (чер. 17), и $D - d =$
общее пониженіе уровня. Положимъ

$$\frac{D+d}{2} = d_m \text{ и } D-d = s;$$

тогда получимъ:

$$q = \frac{2\pi k d_m s}{\ln R - \ln r} \dots (8)$$

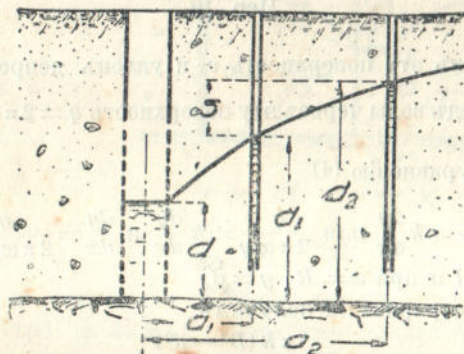
Вычисляя отсюда k , найдемъ по уравненію (5) Q .

Какъ бы ни былъ великъ радиусъ колодца r , всетаки онъ является всегда весьма малой величиною по сравненію съ R . Такимъ образомъ діаметръ колодца весьма мало вліяетъ на его производительность, конечно, считая что онъ не менѣ той величины, при которой скорость притока превосходитъ допускаемые предѣлы. Измѣненіе R также оказываетъ небольшое вліяніе на расходъ. Такъ напримѣръ, увеличивши R съ 500 до 1000 метровъ, увеличимъ $\ln R$ съ 6,2 до 6,9 т. е. на 11%.

Для приблизительныхъ расчетовъ можно принять $\ln R - \ln r$ за постоянную величину; обозначая $\frac{2\pi k}{\ln R - \ln r}$ черезъ b , получимъ

$$q = b d_m s \dots \dots \dots (9).$$

Дебетъ колодца пропорціоналенъ средней глубинѣ въ районѣ депрессіи и общему пониженію уровня.



Чер. 19.

Въ дѣйствительности линия депрессіи очень часто имѣетъ неправильную форму, почему точное опредѣленіе радиуса депрессіи затруднительно. Замѣтимъ, что величину k можно найти при помощи наблюденія уровней въ двухъ пробныхъ колодцахъ, лежащихъ на опредѣленныхъ разстояніяхъ отъ главнаго.

Если напр. $x = a_1$, $y = d_1$ и $x = a_2$, $y = d_2$ (чер. 19), то интегрируя уравненіе (6), имѣемъ:

$$q = \pi k \frac{(d_2^2 - d_1^2)}{\ln a_2 - \ln a_1}, \text{ или}$$

$$q = \frac{2\pi k \frac{(d_2 + d_1)}{2} (d_2 - d_1)}{\ln a_2 - \ln a_1} \text{ или } q = \frac{2\pi k}{\ln a_2 - \ln a_1} d_m s.$$

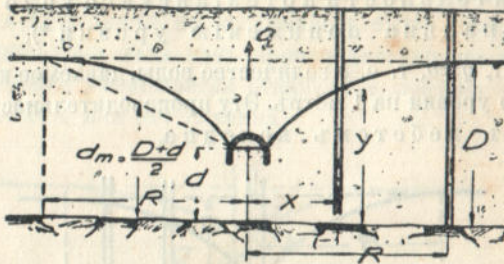
$q = b' d_m s'$
 $q = b d_m s = b' d_m s'$
 $\frac{b}{b'} = \frac{d_m s'}{d_m s} = \lambda$
 $b = b' \lambda$

Полагая

$$\frac{2\pi k}{\ln a_2 - \ln a_1} = b, \text{ найдемъ } q = b d_m s \dots \dots \dots (10),$$

что совпадаетъ съ уравненіемъ (9).

Если вмѣсто колодца имѣемъ горизонтальную штольню длиной 1 метръ, то исходя изъ тѣхъ-же положеній, что и для случая колодца, получимъ слѣдующее (чер. 20). Граница пониженія лежитъ на раз-



Черт. 20.

стояніи R отъ оси водосбора. На разстояніи x , глубина потока $= y$, его сѣченіе $= ly$, его скорость $= v_x$. Съ каждой стороны притекаетъ $q = lyv_x$, откуда

$$v_x = k \frac{dy}{dx} = \frac{q}{lyx} \text{ или } \frac{dy}{dx} = \frac{q}{klyx}$$

При $x = 0, y = d$, а при $x = R, y = D$.

Интегрируя находимъ:

$$q = kl \frac{D^2 - d^2}{2R} = \frac{kl}{R} \frac{(D + d)}{2} (D - d) = \frac{kl}{R} d_m s;$$

замѣнивъ $\frac{kl}{R}$ черезъ b , получимъ $q = b d_m s \dots \dots \dots (11)$

Въ дальнѣйшемъ рассмотримъ вліяніе, оказываемое измѣненіями принятыхъ положеній на полученные результаты.

1. Если грунтовый потокъ не имѣетъ свободной поверхности, а протекаетъ по слою, перекрытому непроницаемымъ пластомъ, то онъ обладаетъ свойствомъ восходимости и, какъ было упомянуто раньше, называется артезіанскимъ. Уровень въ колодцѣ, заложенномъ для полученія изъ него воды, установится какъ показано на чер. 21. Въ данномъ случаѣ порядокъ разсужденій остается тотъ-же, что и въ случаѣ потока со свободной поверхностью, только выводы упрощаются, благодаря приблизительно постоянной

толщинѣ водоноснаго слоя d_m . Въмѣсто уравненія (7) получаемъ

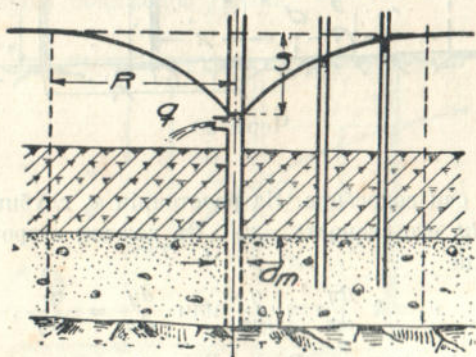
$$q = \frac{2\pi k d_m s}{\ln R - \ln r} \dots \dots \dots (12)$$

Также и здѣсь при приближительныхъ подсчетахъ можно принять постоянной разность $\ln R - \ln r$, т. е. положить

$$\frac{2\pi k d_m}{\ln R - \ln r} = b \text{ и } q = bs \dots \dots \dots (13)$$

Производительность артезианскаго колодца также пропорціональна понижению уровня *).

При $s=1$, $q=b$, т. е. b количество воды, даваемое колодцемъ при понижении его уровня на 1 метръ. Эту производительность называютъ удѣльнымъ дебетомъ колодца.



Чер. 21.

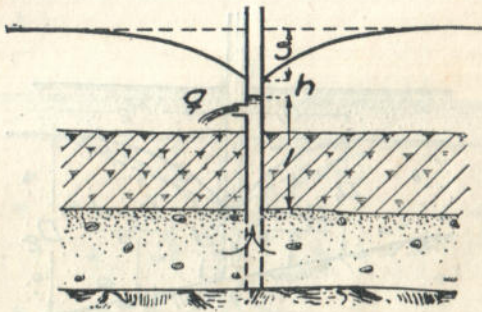
Въ этомъ выводѣ мы принимали, что естественный напоръ въ водоносномъ слоѣ непосредственно возлѣ колодца соответствуетъ уровню стоянїя въ колодцѣ. При движенїи воды въ самомъ колодцѣ возникаетъ сопротивленїе тренїя, для преодоленїя коего требуется нѣкоторая высота напора, равная какъ извѣстно $h = \frac{aq^2 l}{d^5}$ и принимаемая во вниманїе при глубокихъ колодцахъ (чер. 22) (l разстоянїе отъ верхняго края фильтра до уровня **).

*) Производительность также почти независитъ отъ діаметра колодца (точнѣе фильтра). Къ сожалѣнїю многіе не считаютъ съ этимъ положенїемъ, что часто ведетъ къ созданїю проектовъ замѣны ряда колодцевъ одной шахтой большаго діаметра. Между прочимъ, подобная схема предлагалась для Кіева, но не получила осуществленїя. Прим. переводч.

**) Динамическаго. Примѣчанїе переводч.

Дѣйствительное пониженіе уровня не равно разности H между высотой уровня воды въ колодезѣ въ спокойномъ *) состояніи и высотой пониженнаго уровня, $s = H - h$, т. е. уровень воды въ грунтѣ у стѣнокъ колодца лежитъ на h метровъ выше уровня въ колодезѣ.

2. Если естественная скорость воды не равна 0, то притокъ къ колодецу сверху по теченію ускорится, снизу замедлится и перпендикулярно къ направленію потока останется безъ измѣненій. Принимаютъ обыкновенно, что эти измѣненія взаимно уничтожаются и не вліяютъ на полученный выше результатъ. Это допущеніе неправильно, такъ какъ производительность потока ниже колодца (по теченію) уменьшается откачкой и поэтому уменьшится или скорость потока, или его глубина.



Чер. 22.

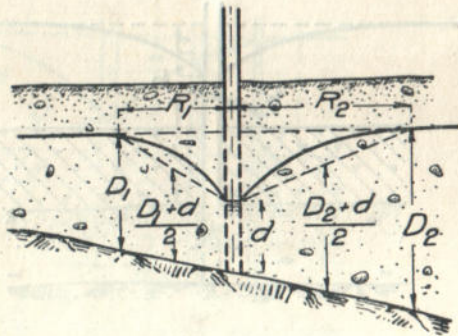
3. Это допущеніе правильно лишь тогда, если скорость $= 0$, т. е. если колодезь расположенъ въ подземномъ резервуарѣ столь большихъ размѣровъ, что поверхность воды за нѣкоторыми предѣлами во время откачки останется горизонтальной. Замѣтной скорости соответствуетъ определенный уклонъ и естественный уровень воды въ колодезѣ долженъ быть поэтому выше, чѣмъ въ сѣченіи потока, лежащемъ ниже по теченію.

4. Такъ какъ дебетъ потока уменьшается до величины $Q - q$ вѣдствие выкачивания изъ колодца количества воды q , то должны измѣниться соответственно или уклонъ, или глубина потока; откачка вызываетъ общее пониженіе уровня воды около колодца, главнымъ образомъ ниже его, а въ нѣкоторыхъ случаяхъ и выше его по теченію.

*) Пьезометрической уровень. Примѣч. переводч.

Въ силу этого, сдѣланные ранѣе выводы не совсѣмъ правильны, такъ какъ основаны на предположеніи неизмѣнности уровня за предѣлами кривой депрессіи. Ошибка не можетъ быть признана существенной, если общее пониженіе незначительно по сравненію съ глубиной потока; въ противномъ случаѣ не исключена возможность значительныхъ недоразумѣній. Этотъ случай будетъ разсмотрѣнъ ниже.

5. Если дно потока имѣетъ уклонъ, напримѣръ, перпендикулярно къ направленію потока (чер. 23), то форма и длина депрессіонной кривой измѣняется, такъ что средняя глубина d_m и радіусъ депрессіи R будутъ различны по обѣ стороны колодца. Въ дѣйствительности это не очень существенно, если только въ ранѣе выведенныя уравненія подставлены вѣрныя среднія значенія.



Чер. 23.

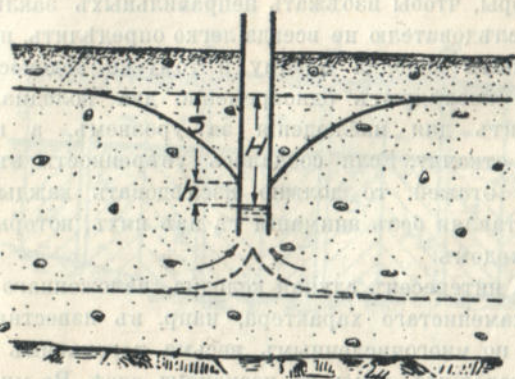
Колодезь, проходящій черезъ всю толщѣ водоноснаго слоя и пропускающій воду всей своей боковой поверхностью называется А. Тимомъ колодеземъ „совершеннымъ“. „Несовершеннымъ“ называется колодезь, кончающійся въ водоносномъ слое, такъ что притокъ происходитъ лишь черезъ его дно (чер. 24).

По мнѣнію А. Тима нѣтъ надобности доводить буреніе до непроницаемаго подстилающаго пласта, такъ какъ и несовершенный колодезь принимаетъ воду изъ нижней части водоноснаго слоя, конечно если этотъ слой не очень глубокъ и не обладаетъ мелкозернистымъ строеніемъ. Согласно выводамъ Форхаймера часть потока, лежащая ниже пунктирной линіи, не находится подъ влияніемъ колодца. Трудно рѣшить, который изъ этихъ взглядовъ правиленъ; лучше при расчетѣ задаваться болѣе невыгодными условіями. Для разсматриваемаго расчета правильнѣе руководиться тео-

рей А. Тима, ибо, если въ уравненіе (9) мы подставимъ слишкомъ большое значеніе средней глубины d_m , то получимъ слишкомъ малую величину коэффициента k .

Если вода притекаетъ только черезъ дно колодца, то возникающія при этомъ сопротивленія больше, чѣмъ въ случаѣ притока одновременно и черезъ боковую поверхность.

Для преодоленія всякаго гидравлическаго сопротивленія необходима нѣкоторая разниця уровней и поэтому уровень воды непосредственно у колодца всегда долженъ быть выше чѣмъ внутри его. Такимъ образомъ, кромѣ потери напора влѣдствіе тренія, имѣющей мѣсто въ глубокихъ колодцахъ, въ „несовершенномъ“ колодцѣ получается незначительное пониженіе уровня отъ указанной причины по сравненію съ уровнемъ возлѣ него. Наблюдаемое въ колодцѣ пониженіе въ сущности есть пониженіе кажущееся; дѣйствительное же будетъ $s = H - h$.



Чер. 24.

7. Грунта вполне однороднаго строенія въ дѣйствительности не бываетъ. Каждый, кому случилось видѣть разрѣзъ даже довольно однообразнаго водоноснаго слоя, могъ легко замѣтить значительныя видоизмѣненія въ формѣ и величинѣ зеренъ отдѣльныхъ пластовъ. Въ силу этого депрессионная кривая никогда не имѣетъ вполне правильной формы, указанной на чер. 17, и обладаетъ большими или меньшими уклоненіями отъ нея. Обыкновенно кривая болѣе правильна выше колодца (по теченію потока), гдѣ частицы воды движутся въ первоначальномъ направленіи, и отличается особенно сильными неправильностями ниже колодца, гдѣ частицы принуждены измѣнить направленіе первоначальнаго дви-

женія на обратное. Поэтому весьма трудно из собраннаго матеріала выбрать значенія наиболее подходящія для правильного опредѣленія коэффициента k .

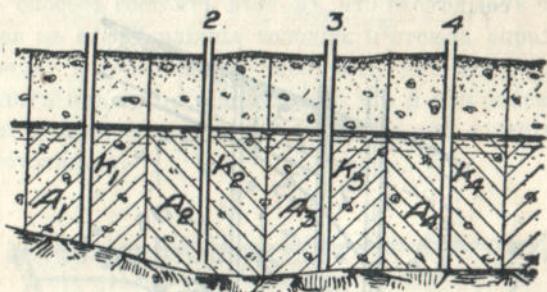
Кромѣ того слѣдуетъ обратить вниманіе на уклоненія гидравлическаго характера, возникающія въ грунтѣ, въ которомъ потокъ дѣлится на этажи непроницаемыми или слабо проницаемыми слоями. Выше было указано, что при буреніи эти прослойки иногда остаются незамѣченными. Можетъ случиться, что малые развѣдочные колодцы не будутъ доведены до того этажа, въ который погруженъ главный колодезь (изъ котораго производится откачка). Если поэтому при откачкѣ изъ главнаго колодца уровень въ развѣдочныхъ колодцахъ или совершенно не понизится, или понизится весьма незначительно, то это не будетъ значить, что здѣсь находится граница кривой депрессіи. Необходимо крайне осмотрительно относиться къ матеріалу, полученному путемъ наблюдений и исключать подозрительныя цифры, чтобы избѣжать неправильныхъ заключеній. Даже опытному изслѣдователю не всегда легко опредѣлить, принадлежатъ ли два разныхъ колодца одному и тому-же водоносному этажу. Обыкновенно изслѣдуютъ одновременно два колодца, изъ коихъ одинъ служитъ для наблюденія за уровнемъ, а изъ другого производятъ откачку. Если создалась увѣренность въ наличии нѣсколькихъ этажей, то должно изслѣдовать каждый изъ нихъ отдѣльно, оставляя безъ вниманія тѣ изъ нихъ, которые обладаютъ малымъ расходомъ.

Весьма интересенъ случай колодца, заложеннаго въ водоносномъ слоѣ каменистаго характера, напр. въ известнякахъ. Здѣсь вода течетъ по многочисленнымъ весьма тоненькимъ ходамъ, т. е. при иныхъ условіяхъ, чѣмъ въ песчаномъ слоѣ. Во многихъ такихъ случаяхъ движеніе воды болѣе сходно съ теченіемъ по трубопроводу, гдѣ скорость V пропорціональна \sqrt{J} , а не J . Вслѣдствіе этого производительность колодца пропорціональна \sqrt{s} , а не s . Въ дальнѣйшемъ мы вернемся еще къ этому вопросу, а пока замѣтимъ, что разсмотрѣнный ранѣе методъ изслѣдованій—опредѣленіе средней скорости грунтовой воды при помощи найденнаго путемъ откачки коэффициента k , не можетъ быть очевидно примѣняемъ къ теченію въ известнякахъ, обладающихъ еще менѣе однороднымъ строеніемъ, чѣмъ песчаные слои.

Возвращаясь къ методу изслѣдованія теченія въ песчаныхъ слояхъ, замѣтимъ, что каждая откачка должна продолжаться до тѣхъ поръ, пока не наступаетъ новое состояніе равновѣсія. Если коэффициентъ k опредѣляется расчетомъ, то предыдущее условіе

не столь необходимо, какъ при примѣненіи третьяго изъ приведенныхъ способовъ, гдѣ въ основу расчета дебета потока положены измѣненія положенія уровня около колодца. Прекративши въ этомъ случаѣ откачку слишкомъ рано мы получимъ слишкомъ высокое значеніе для q и слишкомъ малое значеніе для R ; обѣ эти ошибки ведутъ къ тому, что по расчету Q получится больше дѣйствительнаго. При подстановкѣ въ ур—іе (8) для q большаго значенія, k измѣнится, не очень замѣтно если только соответственно увеличено и d_m .

Г. Тимъ приводитъ въ своемъ трудѣ „гидрологическіе методы“ примѣняемый на основаніи этихъ соображеній имъ и его отцомъ способъ опредѣленія коэффициента k путемъ непродолжительныхъ откачекъ изъ ряда колодцевъ, лежащихъ въ изслѣдуемой области. При этомъ онъ предполагаетъ, что полученное для даннаго колодца k сохраняетъ свою величину на протяженіи, равномъ половинѣ разстоянія до сосѣднихъ колодцевъ (чер. 25). Такимъ обра-



Чер. 25.

зомъ поперечное сѣченіе потока дѣлится на отдѣльныя части согласно ур—ію (5).

Такъ напр. третья часть сѣченія слѣва ограничена срединной линіей между 2 и 3 колодцемъ, а справа срединной линіей между 3 и 4 колодцемъ. Если площадь этой части A_3 , уклонъ поверхности J_3 , то $Q_3 = k_3 A_3 J_3$ и т. д.

Значеніе k опредѣляется путемъ откачки въ продолженіи нѣсколькихъ часовъ, причемъ пониженіе уровня измѣняется въ двухъ развѣдочныхъ колодцахъ, лежащихъ по теченію выше главнаго колодца (чер. 26).

Если разстоянія развѣдочныхъ колодцевъ отъ главнаго равны соответственно a_1 и a_2 , глубины воды въ нихъ d_1 и d_2 , пониженіе s_1 и s_2 и откачиваемое количество воды q , и если дно потока парал-

тельно его поверхности, то по Тиму k можетъ быть найдено изъ ур—ія:

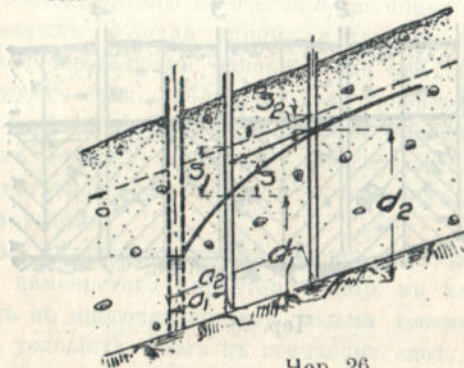
$$k = \frac{q (\ln a_2 - \ln a_1)}{\pi (d_2 + d_1) (s_1 - s_2)} \dots \dots \dots (14)$$

откуда подставляя вмѣсто $\frac{d_2 + d_1}{2} = d_m$ и полагая $s_1 - s_2 = s$, найдемъ

$$q = \frac{2 \pi k (d_2 + d_1) s}{\ln a_2 - \ln a_1} = \frac{2 \pi k}{\ln a_2 - \ln a_1} \cdot d_m \cdot s \dots \dots (15)$$

Ур—іе это аналогично ур—ію (10).

Для примѣра Тимъ приводитъ выполненныя имъ гидрологическія изысканія для города Праги, при которыхъ общая производительность грунтового потока была вычислена въ 263 $\frac{\text{лит.}}{\text{сек.}}$ на основаніи десятичасовой откачки изъ десяти отдѣльныхъ колодцевъ съ подачей 5 $\frac{\text{лит.}}{\text{сек.}}$



Чер. 26.

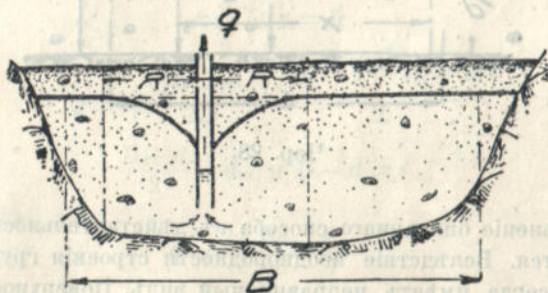
Этотъ способъ не оставляетъ желать ничего лучшаго въ смыслѣ простоты и дешевизны и представляетъ весьма цѣнный вспомогательный гидрологическій приемъ, дающій возможность приблизительнаго ознакомленія съ производительностью потока при условіи малой затраты средствъ и времени. Онъ является прекраснымъ окончаніемъ и дополненіемъ предварительныхъ изысканій. Но намъ кажется немного рискованнымъ основывать на немъ весь расчетъ. Было-бы крайне интересно, если-бы Тимъ произвелъ откачку хотя-бы изъ одного колодца, но въ теченіи нѣсколькихъ недѣль. Такимъ образомъ въ постоянствѣ коэффициента k можно было-бы убѣдиться не только путемъ теоретическихъ соображеній, но и путемъ убѣдительныхъ опытныхъ данныхъ. Въ цѣляхъ получения

надежныхъ данныхъ въ отношеніи качества воды, слѣдовало-бы произвести продолжительную пробную откачку съ болѣе значительнымъ расходомъ, напр. 50 $\frac{\text{лит.}}{\text{сек.}}$, дабы опредѣлить измѣненія состава воды, могущія произойти вслѣдствіе пониженія уровня.

Вообще расчетъ скорости грунтового потока весьма не точенъ вслѣдствіе неоднородности строенія всякаго водоноснаго слоя, что мы подчеркивали уже нѣсколько разъ выше. Если даже значеніе коэффициента k , полученное при помощи пробной откачки, вѣрно для части потока, подверженной дѣйствию колодца, то неизвѣстно, можно-ли его разсматривать, какъ среднее значеніе коэффициента для всего потока.

Опредѣленіе количества воды изъ наблюденій пониженія уровня при пробной откачкѣ.

Этотъ способъ состоитъ въ томъ, что изслѣдуютъ часть потока, находящуюся въ сферѣ вліянія колодца, и отсюда опредѣляютъ количество воды, которое можно получить изъ всего потока. При этомъ исходятъ изъ того-же допущенія, что и при описанномъ выше методѣ, т. е. принимаютъ, что уровень воды внѣ области пониженія остается постояннымъ.

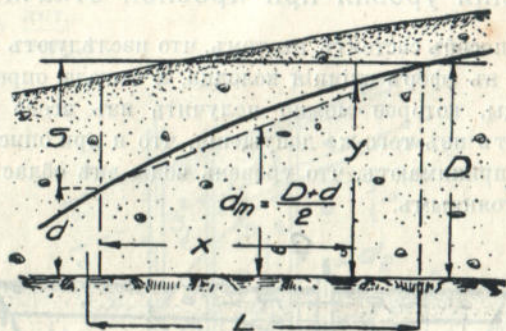


Чер. 27.

Если колодезь при установившемся состояніи даетъ постоянное количество воды q и пониженіе распространяется въ сѣченіи, перпендикулярномъ къ направленію теченія по обѣ стороны колодца на разстояніе R мет., то принимаютъ, что колодезь дѣйствуетъ на потокъ ширины $2R$ мет. и каждый метръ ширины потока даетъ $\frac{q}{2R}$ куб. мет. При общей ширинѣ потока B (чер. 27) общій дебетъ будетъ:

$$Q = B \cdot \frac{q}{2R} \dots \dots \dots (16).$$

На результатъ, очевидно, должно вліять измѣненіе глубины и свойствъ потока внѣ области пониженія. Если, напримѣръ, глубина потока уменьшится съ 10 на 8 метровъ, то можно ввести соотвѣтственную поправку въ отношеніи количества воды, но весьма трудно учесть вліяніе измѣненія величины зеренъ, расположенія и скважности слоевъ песка, такъ что дѣйствительный средній расходъ на 1 метръ ширины можетъ оказаться меньше расчетнаго. Для приближительнаго опредѣленія свойствъ грунта существуютъ разные приемы, напр. можно найти по методу Тима для ряда колодцевъ коэффициентъ k , или можно сравнить между собою количества воды, которыя получатся непродолжительной откачкой изъ ряда колодцевъ при одномъ и томъ-же пониженіи уровня, напр. на 1 метръ. При значительной ширинѣ потока рекомендуется произвести откачку въ двухъ мѣстахъ сѣченія.



Чер. 28.

Примѣненіе описаннаго способа въ дѣйствительности труднѣе, чѣмъ кажется. Вслѣдствіе неоднородности строенія грунта кривая депрессіи всегда имѣетъ неправильный видъ. Поверхность грунтоваго потока въ сѣченіи перпендикулярномъ къ его направленію по той-же причинѣ не бываетъ горизонтальна. Поэтому часто оказывается затруднительнымъ найти при помощи измѣреній уровня границу пониженія, т. е. радіусъ R , подставляемый въ уравненіе (16). Кроме того методъ этотъ основанъ на допущеніи неизмѣнности уровня внѣ сферы пониженія, чего въ сущности никогда быть не можетъ. Если расходъ грунтоваго потока уменьшится съ Q на $Q - q$, то происходитъ общее пониженіе его уровня. Для каждаго слѣдующаго колодца уровень понижается все больше и больше, глубина потока и количество воды на 1 метръ ширины уменьшаются.

Ниже мы попытаемся разобрать факторы, влияющие на положение уровня грунтового потока. Если свободный поток движется по достаточно наклонному непроницаемому слою, то его поверхность может быть параллельна поверхности этого слоя. Тогда принимается, что профиль свободной поверхности потока образует прямую или ломаную линию (*a* до *b* на чер. 2).

Если подстилающий слой горизонтален или обладает недостаточным уклоном, поверхность потока должна образовать кривую, так как по мѣрѣ уменьшенія глубины, уклон соотвѣтственно увеличивается.

Допустимъ, что водонепроницаемый слой имѣетъ горизонтальную поверхность (чер. 28).

На участкѣ длиной *L* мет. уровень понижается, такъ что глубина уменьшается съ *D* на *d*; пусть на разстоянн *x* отъ нижней границы глубина потока будетъ *y*. При ширинѣ потока *B* его площадь = *B**y*, причеь скорость $v_x = k \frac{dy}{dx}$. Количество воды, которое принимаемъ неизмѣняющимся, будетъ:

$$Q = kB y \cdot \frac{dy}{dx}$$

При $x = 0; y = d$, и

при $x = L; y = D$.

Отсюда
$$Q = kB \frac{D^2 - d^2}{2L} = \frac{kB \frac{D+d}{2} (D-d)}{L}$$

Полагая $\frac{D+d}{2} = d_m$ и $D-d = s$,

будемъ имѣть:

$$Q = \frac{k \cdot B d_m \cdot s}{L} \quad (17)$$

Тотъ-же результатъ получился-бы при прямолинейномъ очертаннн поверхности потока (пунктирная линия на чер. 28). Тогда средняя глубина потока:

$$\frac{D+d}{2} = d_m,$$

средня площадь сѣченн Bd_m ,

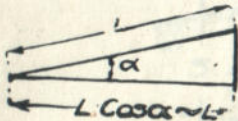
средняя скорость $kJ = \frac{k \cdot s}{L}$

и производительность $k \frac{B \cdot d_m \cdot s}{L}$.



У артезианскаго потока уклонъ линіи пьезометрическихъ высотъ измѣняется въ зависимости отъ толщины водоноснаго слоя. Принявши ее между двумя колодцами постоянной, найдемъ, что кривая пьезометрическихъ высотъ представится на этомъ протяженіи прямой линіей. Такъ какъ развѣдочные колодцы отстоятъ другъ отъ друга на небольшихъ разстояніяхъ, можно допустить безъ особой погрѣшности, что профиль поверхности потока между двумя колодцами въ направленіи теченія образуетъ прямую линію. Такое допущеніе ведетъ къ значительному упрощенію способовъ гидрологическихъ расчетовъ. Если $J = \frac{S}{L}$, то на извѣстномъ участкѣ скорость потока пропорціональна S , т. е. пониженію уровня, а при постоянствѣ поперечнаго сѣченія и количество воды тоже пропорціонально S .

L изображаетъ въ сущности длину потока и поэтому при наклонномъ днѣ будетъ больше горизонтальнаго разстоянія между колодцами, равнаго $L \cos \alpha$ (чер. 29). Разница эта столь незначительна, что ею можно пренебречь.



Чер. 29.

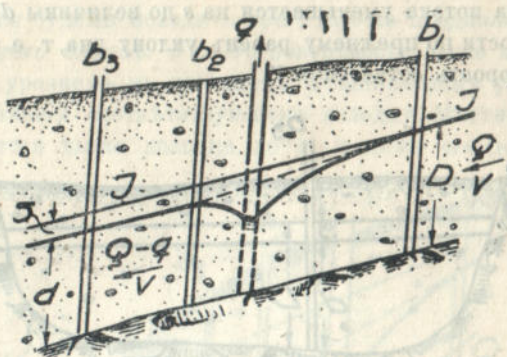
Примѣнимъ теперь установленныя выше общія положенія къ разнымъ видамъ потоковъ, именно: свободному потоку со свободной поверхностью (a до b на чер. 2), свободному потоку съ подпруженной поверхностью (b до d на чер. 2), и артезианскому потоку (чер. 7).

Свободный потокъ со свободной поверхностью.

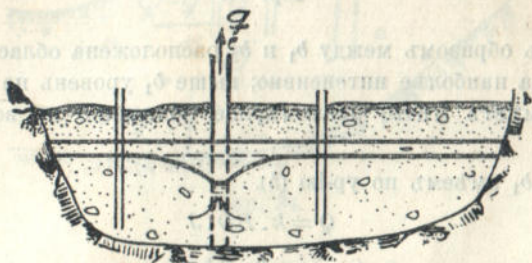
Примемъ, что ширина, уклонъ и характеръ водоноснаго слоя не мѣняются между двумя пробными колодцами b_1 и b_3 (чер. 30) и что на этомъ протяженіи потокъ не имѣетъ новыхъ источниковъ питанія. Количество воды выше колодца равняется Q , уклонъ свободной поверхности $= J$, скорость потока $= V$ и глубина потока $= D$.

Вокругъ колодца образуется пониженіе, простирающееся, предположимъ, до b_1 . Выше колодца b_1 первоначальный уровень остается безъ измѣненій. Ниже главнаго колодца, гдѣ уровень ниже первоначальнаго, мѣстное пониженіе оканчивается у b_2 . Примемъ, что внѣ воронки, ограниченной кривой пониженія, между b_1 и b_2 уровень располагается по пунктирной прямой. На чер. 31 изображенъ поперечный разрѣзъ черезъ колодезь, изъ котораго производится откачка.

Уровень потока понижается также в сферу депрессии на плоскости поперечного сечения, но в наибольшей мѣрѣ возлѣ колодца.

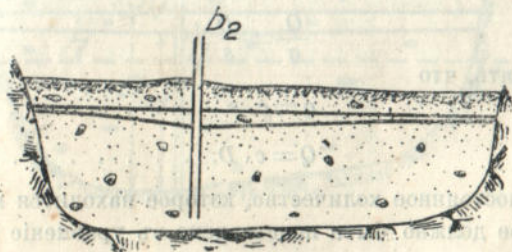


Чер. 30.



Чер. 31.

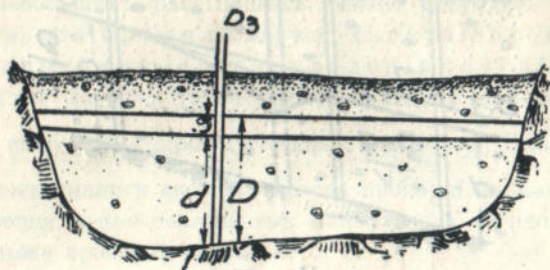
На чер. 32 имѣемъ разръзъ черезъ b_2 , вѣ крайней нижней точкѣ пониженія. Здѣсь также должно образоваться немного большее пониженіе вблизи колодца.



Чер. 32.

Разръзъ черезъ b_3 , лежащій еще ниже, представленъ на чер. 33. Здѣсь разницы высотъ вѣ плоскости разръза еле замѣтны; поверх-

ность уровня можно считать горизонтальной прямой, а общее понижение s постояннымъ. Расходъ потока уменьшается на q до величины $Q - q$, глубина потока уменьшается на s до величины $d = D - s$. Уклонъ поверхности по прежнему равенъ уклону дна, т. е. $= J$ (чер. 30), поэтому и скорость остается $= V$.



Чер. 33.

Такимъ образомъ между b_1 и b_3 расположена область, гдѣ дѣйствіе колодца наиболѣе интенсивно; выше b_1 уровень не измѣняется и ниже b_3 имѣетъ мѣсто равномерное пониженіе по всей ширинѣ потока.

Выше b_1 имѣемъ по ур-ію (5).

$$Q = k \cdot BD \cdot J$$

ниже b_3

$$Q - q = k \cdot Bd \cdot J,$$

откуда

$$\frac{Q - q}{Q} = \frac{d}{D}.$$

или

$$Q = q \cdot \frac{D}{D - d} = q \cdot \frac{D}{s} \text{ и}$$

$$\frac{Q}{q} = \frac{D}{s}.$$

Можно принять, что

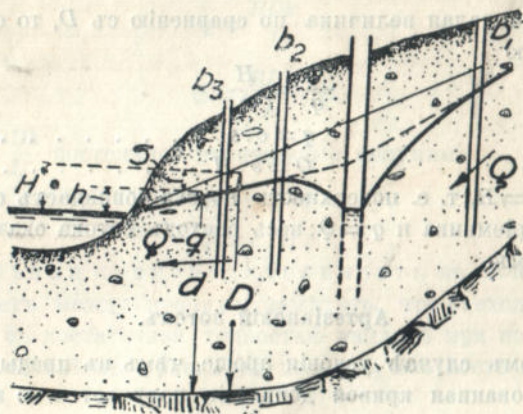
$$q = c \cdot s \dots \dots \dots (18) \text{ и}$$

$$Q = c \cdot D \dots \dots \dots (19),$$

гдѣ c есть постоянное количество, которое находится изъ уравненія (18) и которое должно быть подставлено въ уравненіе (19) для опредѣленія Q ; при $s = 1, q = c$, слѣдовательно c представляетъ постоянное количество, которое соотвѣтствуетъ понижению на 1 метръ уровня въ колодцѣ b_3 и можетъ быть названо удѣльною производительностью потока въ этомъ сѣченіи.

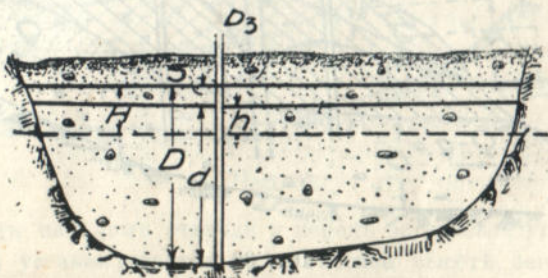
Свободный поток съ подпруженнымъ уровнемъ.

Здѣсь мы будемъ исходить изъ тѣхъ-же предположеній, что и въ предыдущемъ случаѣ. Уклонъ поверхности выше колодца опредѣляется не уровнемъ въ приемникѣ, а пониженіемъ уровня въ поперечномъ сѣченіи соответствующемъ колодцу. Мѣтное пониженіе распространяется выше колодца до b_1 и ниже его до b_2 (чер. 34).



Чер. 34.

Количество воды уменьшается ниже b_2 до $Q - q$ и поэтому уклонъ здѣсь становится меньше и поверхность воды понижается. Въ поперечномъ сѣченіи черезъ b_3 (чер. 35) поверхность потока установли-



Чер. 35.

вается почти горизонтально. Уровень понижается на s мет., паденіе поверхности относительно открытаго приемника уменьшается съ H на h и глубина съ D на d .

Расходъ пропорціоналенъ поперечному сѣченію потока, т. е. его глубинѣ, а также паденію поверхности до поверхности воды въ приѣмникъ. Такимъ образомъ можно принять, что

$$\frac{Q - q}{Q} = \frac{d}{D} \cdot \frac{h}{H}.$$

Подставляя d вмѣсто $D - s$ получимъ

$$Q = \frac{q}{s} \cdot \frac{HD}{D + h}. \quad (20)$$

Если h весьма малая величина по сравненію съ D , то съ достаточной точностью

$$\frac{Q}{q} = \frac{H}{s};$$

откуда

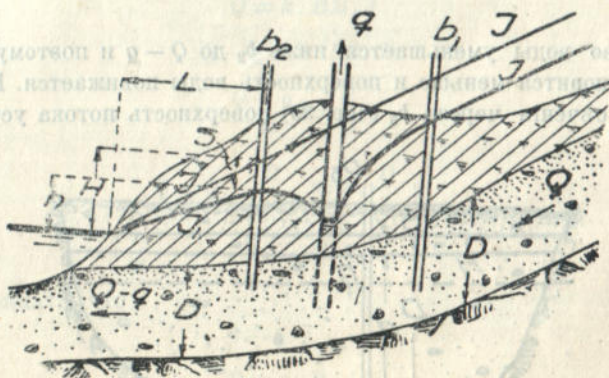
$$q = c \cdot s \quad (21) \text{ и}$$

$$Q = s \cdot H. \quad (22).$$

При $h = 0$, $s = H$, т. е. поверхность потока совпадаетъ съ уровнемъ открытаго приѣмника и $q = Q$; весь расходъ потока оказывается использованнымъ.

Артезианскій потокъ.

Въ этомъ случаѣ условія проще, чѣмъ въ предыдущемъ. Воронка, образованная кривой депрессіи получается не внутри водоноснаго слоя, а на кривой пьезометрическихъ высотъ. Въ каждомъ



Чер. 36

поперечномъ сѣченіи внѣ области депрессіи уровеньъ пьезометрическихъ высотъ устанавливается горизонтально. Выше b_1 уровеньъ пьезометрическихъ высотъ понижается параллельно прежнему положенію, сохраняя также и прежній уклонъ J ; ниже b_2 количество Q уменьшается до величины $Q - q$, а уклонъ J до J_1 (чер. 36). Количество

воды пропорционально уклону, т. е. разницѣ отмѣтокъ пьезометрическаго уровня и уровня открытаго пріемника. Если ширина потока = B , его глубина = D , то по ур-ію (5):

$$Q = k \cdot BD \cdot \frac{H}{L};$$

$$Q - q = k \cdot BD \cdot \frac{h}{L} = k \cdot BD \cdot \frac{H - s}{L};$$

$$q = \frac{BDk}{L} \cdot s;$$

$$Q = \frac{BDk}{L} \cdot H.$$

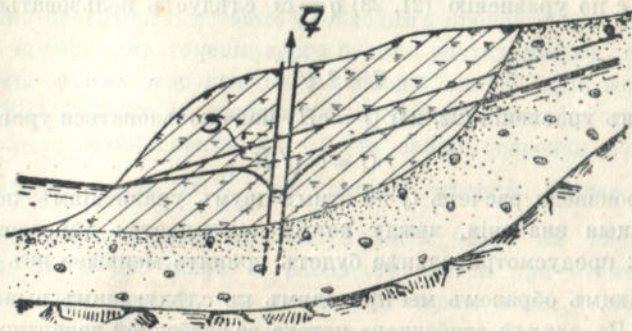
Замѣнивъ $\frac{BDk}{L}$ постоянной величиной c , получимъ

$$q = c \cdot s^*) \dots \dots \dots (23)$$

$$Q = c \cdot H \dots \dots \dots (24),$$

гдѣ c удѣльная производительность въ сѣченіи b_2 .

Слѣдуетъ между прочимъ замѣтить, что расходъ потока можетъ быть съ достаточной точностью найденъ при помощи наблюденія надъ стояніемъ уровня въ колодцѣ, изъ коего производится откачка.



Чер. 37.

Передъ началомъ откачки и передъ остановкой уровень воды въ колодцѣ устанавливается на извѣстной высотѣ, зависящей отъ положенія свободной поверхности въ верхней части потока (чер. 37).

*) Слѣдуетъ замѣтить, что въ дѣйствительности каждый метръ пониженія не даетъ одного и того же количества воды, что можно наблюдать обрѣзывая равными частями обсадную трубу на самообъемномъ колодцѣ. Если на оси абсциссъ откладывать пониженія, а на соответственныхъ ординатахъ получаемыя расходы, то получится не прямая, а нѣкоторая кривая. Примѣч. переводч.

Во время качанія эта свободная поверхность опускается до положенія, опредѣляемаго пьезометрической высотой въ сѣченіи, соотвѣтствующемъ колодцу. По прекращеніи откачки вода въ колодцѣ быстро поднимается до наивысшей точки уровня поперечнаго сѣченія, въ которомъ находится колодезь, такъ какъ въ сущности „воронка“, которая должна-бы быть заполнена въ данномъ случаѣ не существуетъ. Затѣмъ уровень поднимается весьма медленно и достигаетъ начальной пьезометрической высоты лишь послѣ заполнения того открытаго резервуара, изъ котораго питается артезианскій источникъ. Разность между этими двумя уровнями представляетъ собою приблизительно общее пониженіе s обусловленное откачкой изъ колодца объема q и потому удѣльная производительность потока въ сѣченіи колодца будетъ (ур. 23) $q = cs$.

Расчетъ этотъ не очень точенъ, но даетъ возможность приблизительно оцѣнить дебетъ потока.

Въ предыдущемъ упоминалось, что для случая колодца, заложенаго въ известнякахъ нельзя примѣнять выводы, сдѣланные для однороднаго песчанаго слоя; тоже относится и къ опредѣленію расхода. Неизвѣстно, растетъ-ли q пропорціонально s ; скорѣе, пожалуй можно считать, что q пропорціонально \sqrt{s} . Поэтому вмѣсто опредѣленія s по уравненію (21, 23) $q = cs$ слѣдуетъ пользоваться уравненіемъ

$$q = c \sqrt{s} \dots \dots \dots (25),$$

а взамѣнъ уравненія (22, 24) $Q = cH$, надо пользоваться уравненіемъ

$$Q = c \sqrt{H} \dots \dots \dots (26)$$

Произведя расчетъ Q по этимъ двумъ уравненіямъ, получимъ предѣльные значенія, между коими заключается дѣйствительный расходъ: предусмотрительнѣе будетъ принять меньшее изъ нихъ.

Такимъ образомъ мы приходимъ къ слѣдующимъ выводамъ:

- 1) Въ случаѣ свободнаго потока со свободной поверхностью откачка, производимая изъ колодца, вызываетъ не только мѣстное пониженіе уровня, но и общее пониженіе ниже колодца (но не выше его).
- 2) Какъ въ случаѣ потока со свободной подпруженной поверхностью, такъ и въ случаѣ артезианскаго потока общее пониженіе распространяется на всю область потока.
- 3) На нѣкоторомъ опредѣленномъ разстояніи ниже колодца (по теченію) общее пониженіе поверхности потока почти постоянно для всего поперечнаго сѣченія и находится въ извѣстномъ отношеніи

къ расходу потока, который и сможетъ быть опредѣленъ по этому пониженію.

Принявши во вниманіе эти факты, легко сообразить, что сооруженіе новаго колодца или усиленіе откачки изъ существующаго должно вызвать уменьшеніе производительности другихъ колодцевъ, расположенныхъ въ предѣлахъ того-же потока.*) Объявленіе подъ охраной только нѣкоторой части области потока, прилегающей къ колодцамъ законодательнымъ путемъ, не даетъ еще гарантіи сохраненія необходимаго количества грунтовой воды для частнаго или городского водопровода. При нѣкоторыхъ условіяхъ можно однимъ колодцемъ понизить уровень грунтоваго потока до уровня открытаго водоема, принимающаго потокъ, и перехватить такимъ образомъ весь расходъ потока.

Отсутствіе наблюденій надъ общимъ пониженіемъ уровня привело многія гидрологическія изысканія къ невѣрнымъ выводамъ. Кромѣ того часто лица производящія изысканія не стараются или не могутъ составить себѣ представленія о періодическихъ колебаніяхъ уровня.

Общее пониженіе остается большей частью незамѣченнымъ оттого, что происходитъ крайне медленно и потому ускользаетъ отъ наблюдателя. Для наступленія мѣстнаго пониженія у потока со свободной поверхностью также необходимъ продолжительный промежутокъ времени, въ теченіе коего будетъ расходоваться, главнымъ образомъ, объемъ „воронки“, образованной линіей депрессіи. Если, напримѣръ, радіусъ пониженія 500 метровъ, пониженіе въ колодцѣ 5 метровъ и коэффициентъ $k = 0,2$, то запасъ воронки обусловитъ постоянный расходъ $200 \frac{\text{лит.}}{\text{сек.}}$ въ теченіе мѣсяца. Общее пониже-

ніе поверхности потока распространяется часто на площади 10, 20, 30 и болѣе кв. килом. и распространяется при этомъ крайне медленно. Принимаютъ, что волна грунтовой воды, т. е. быстрое увеличеніе расхода, распространяется приблизительно со скоростью самаго потока; тоже можно допустить въ отношеніи внезапнаго уменьшенія расхода. Такимъ образомъ, для возстановленія состоянія равновѣсія потока на 1 километръ ниже колодца необходимо три мѣсяца при скорости 10 мет. въ сутки. Обыкновенно наблюдаютъ одновременно пониженіе уровня внутри „воронки“, и въ колодцѣ, лежащемъ внѣ ея. Случается, что послѣ откачки, продолжающейся нѣсколько недѣль, когда изслѣдователь готовъ уже сдѣлать заклю-

*) При весьма большой ширинѣ потока и значительномъ разстояніи между колодцами, упомянутое уменьшеніе будетъ почти незамѣтно.

ченіе, въ колодцахъ на границѣ пониженія и внѣ этой границы, можно наблюдать весьма медленное и совершенно одинаковое пониженіе уровня; послѣднее приписываютъ періодическимъ колебаніямъ уровня и выводятъ ложное заключеніе, что относительное пониженіе = 0. Въ артезианскомъ потокѣ состояніе равновѣсія наступаетъ скорѣе, ибо дѣйствительное пониженіе уровня происходитъ въ выше лежащей части потока, имѣющей свободную поверхность (чер. 37).

Описанные выше способы расчета могутъ быть примѣняемы различнымъ образомъ.

1. Можно опредѣлить расходъ потока, наблюдая мѣстное пониженіе кругомъ колодца, изъ коего ведется откачка, т. е. вліяніе колодца въ горизонтальномъ направленіи, причемъ оказывается, что вліяніе колодца распространяется на нѣкоторую часть ширины потока.

2. Можно опредѣлить производительность потока изъ наблюдений надъ общимъ пониженіемъ уровня ниже колодца, т. е. изъ наблюдений надъ вліяніемъ колодца въ вертикальномъ направленіи, причемъ оказывается, что его вліянію подвержена или извѣстная часть глубины потока или извѣстная часть высоты паденія его поверхности до поверхности принимающаго его открытаго водоема.

Ни одинъ изъ этихъ способовъ не можетъ дать правильнаго результата, если откачка прекращена преждевременно, т. е. до наступленія новаго состоянія равновѣсія не только внутри района мѣстнаго пониженія уровня, но и въ предѣлахъ той части потока, въ которой происходитъ общее пониженіе его уровня.

При нѣкоторыхъ условіяхъ общее пониженіе можетъ происходить столь медленно, что, имѣя въ виду расходы и потерю времени, приходится остановить откачку до наступленія состоянія равновѣсія. Между тѣмъ обязанность гидролога—составить себѣ ясное представленіе о неизбежности наступающаго въ дѣйствительности общаго пониженія уровня; при расчетахъ онъ долженъ имѣть въ виду не только это обстоятельство, но возможность дальнѣйшаго уменьшенія производительности, вслѣдствіе устройства новыхъ водосборныхъ сооружений.

Первый способъ примѣняется въ томъ случаѣ, если общее пониженіе незначительно по сравненію съ глубиной потока и трудно поддается опредѣленію, напр., когда колодезь находится вблизи устья грунтоваго потока и уровень воды потока въ этомъ мѣстѣ весьма мало возвышается надъ уровнемъ принимающаго его водоема. Въ этомъ случаѣ, какъ выше уже указывалось, затрудненіе состоитъ съ одной стороны въ опредѣленіи правильнаго значенія $2R$,

ширины той части потока, которая питает данный колодезь, а с другой стороны въ рѣшеніи вопроса, даетъ-ли потокъ выше области пониженія на 1 метръ ширины такое-же количество воды.

Второй способъ примѣняется въ томъ случаѣ, если представляется возможнымъ безъ затрудненій опредѣлить общее пониженіе т. е. если поверхность потока имѣетъ болѣе рѣзкій уклонъ или лежитъ гораздо выше поверхности питаемаго имъ водоема. Крайне важенъ также выборъ подходящихъ пунктовъ для наблюденія представляемыхъ въ уравненія (18, 21, и 23) значеній s . Пониженіе слѣдуетъ измѣрять возможно дальше отъ колодца внизъ по теченію, ибо чѣмъ дальше отъ колодца, тѣмъ равномернѣе распределено пониженіе по ширинѣ и тѣмъ менѣе вѣроятности сдѣлать ошибку. Съ другой стороны очевидно, что состояніе равновѣсія наступаетъ здѣсь позднеѣ, чѣмъ вблизи колодца. На границѣ мѣстнаго пониженія или непосредственно около нея s больше, чѣмъ въ остальныхъ колодцахъ въ томъ-же сѣченіи и поэтому правильнѣе принять это его максимальное значеніе какъ среднее пониженіе для сѣченія. При значительной ширинѣ потока рекомендуется производить одновременную откачку изъ двухъ колодцевъ, принадлежащихъ одному и тому-же сѣченію.

Этотъ способъ опредѣленія расхода даетъ хорошіе результаты при изслѣдованіи артезіанскихъ потоковъ, въ которыхъ равновѣсіе восстанавливается очень скоро, а равно и узкихъ, обладающихъ большимъ уклономъ потоковъ, встрѣчающихся часто въ Швеціи въ характерныхъ для нея ранѣе описанныхъ „озахъ“. Въ отношеніи правильности результатовъ, способъ этотъ имѣетъ преимущество передъ первымъ, ранѣе описаннымъ. Если разныя части потока обладаютъ разнымъ расходомъ, то эта неравномѣрность сглаживается ниже колодца. Если напр. часть потока, лежащая внѣ границы пониженія, даетъ меньше воды, то общее пониженіе будетъ больше, чѣмъ при полной однородности всего сѣченія. Расчеты основаны на измѣненіяхъ, происходящихъ во всемъ потокѣ, а не въ малой его части.

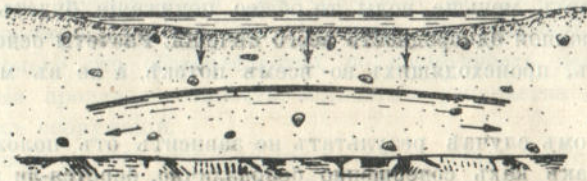
Въ этомъ случаѣ результатъ не зависитъ отъ положенія колодцевъ, такъ какъ совершенно безразлично, берется-ли вода изъ одного колодца или изъ нѣсколькихъ, лежащихъ въ перпендикулярномъ, продольномъ или косомъ направленіи по отношенію къ направленію потока. Существенно лишь, что изъ части, лежащей выше того мѣста, гдѣ наблюдается пониженіе, берется опредѣленное количество воды.

Во всякомъ случаѣ, весьма, желательно, послѣ окончанія грунтового водосборнаго сооруженія, оставить нѣсколько развѣдочныхъ колодцевъ для постояннаго наблюденія за пониженіемъ уровня во время эксплуатаціи. Обыкновенно при постоянномъ пользованіи водой грунтового потока уровень его постепенно понижается, и его расходъ уменьшается. При правильно организованномъ наблюденіи явленіе это будетъ своевременно замѣчено и тогда могутъ быть заблаговременно приняты мѣры къ предупрежденію его послѣдствій.

Опредѣленіе расхода путемъ наблюденія высоты уровня при искусственной инфильтраціи.

Искусственная инфильтрація примѣняется не только для увеличенія естественной производительности потока, но также и для ея опредѣленія. Подобно тому какъ откачка вызываетъ соответственное пониженіе уровня, инфильтрація имѣетъ слѣдствіемъ повышение уровня.

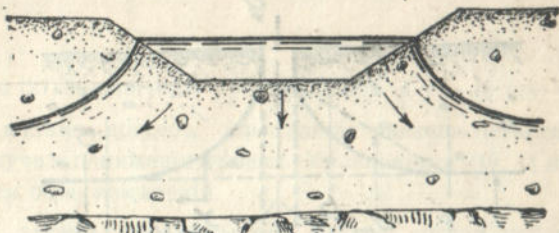
При нѣкоторыхъ условіяхъ, опыты съ откачкой оказываются совершенно невыполнимыми. Если водоносный слой состоитъ изъ мелко-зернистаго песка, то колодцы при откачкѣ легко засоряются и даютъ такъ мало воды, что откачка должна вестись одновременно изъ цѣлаго ряда ихъ, связанныхъ общимъ всасывающимъ трубопроводомъ. При низкомъ положеніи уровня воды, относительно поверхности земли, приходится глубоко устанавливать насосъ и опускать всасывающую трубу. Въ этомъ случаѣ, расходъ съ успѣхомъ опредѣляется инфильтраціей поверхностной воды. Очевидно, что для качественнаго изслѣдованія необходимо произвести откачку хотя-бы и въ маломъ объемѣ.



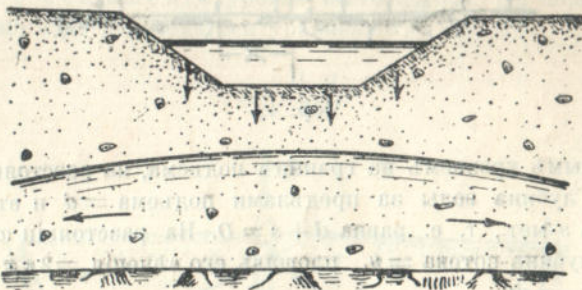
Чер. 38.

Инфильтрацію рѣчной воды можно произвести посредствомъ или свободнаго орошенія (чер. 38), или черезъ сборный резервуаръ (чер. 39, 40), который въ то-же время можетъ быть приспособленъ

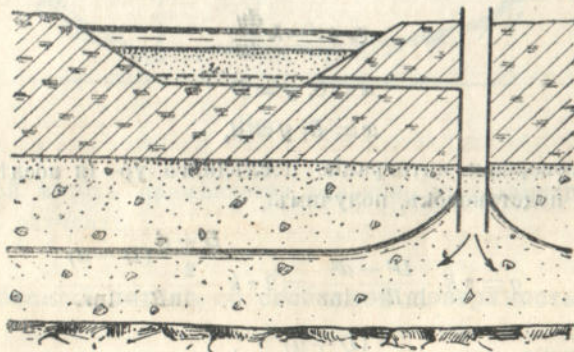
для очистки воды, или через колодезь (чер. 41). Вода очищается просто посредством инфильтрации или пропускается раньше через фильтр (чер. 41).



Чер. 39.



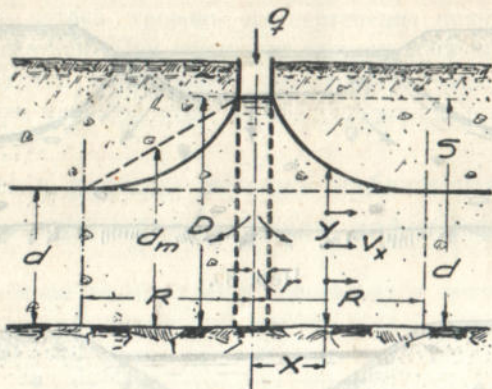
Чер. 40.



Чер. 41.

Исследуемъ теперь вліяніе инфильтраціоннаго колодезя на уровеньъ воды, исходя изъ допущеній, принятыхъ при опредѣленіи пониженія путемъ откачки.

Количество q притекаетъ черезъ колодезь радіуса r въ почву (чер. 42). Скорость теченія, уклонъ и глубина уменьшаются по мѣрѣ удаленія отъ оси колодца. Поверхность воды представляетъ кривую, обращенную выпуклостью внизъ. Кривая эта соприкасается съ



Чер. 42.

естественнымъ уровнемъ на границѣ подъема, на разстояніи R отъ колодца. Глубина воды за предѣлами подъема $= d$ и въ колодцѣ больше на s мет., т. е. равна $d + s = D$. На разстояніи x мет. отъ колодца глубина потока $= y$, площадь его сѣченія $= 2\pi xy$, уклонъ поверхности $= \frac{dy}{dx}$, скорость v_x . Такъ какъ y уменьшается съ возрастаніемъ x , то

$$v_x = -k \frac{dy}{dx}$$

при $x = 0, y = D$

при $x = R, y = d,$

такъ что, совершая интеграцію послѣдняго ур—ія послѣ соответствующихъ подстановокъ, получимъ:

$$q = \pi k \cdot \frac{D^2 - d^2}{\ln R - \ln r} = 2\pi k \frac{\frac{D+d}{2}(D-d)}{\ln R - \ln r}$$

Положимъ, что $\frac{(D+d)}{2} = d_m$

и $D - d = s;$

тогда $q = \frac{2\pi k}{\ln R - \ln r} d_m s$ (27)

Если принять, что $\ln R - \ln r$ изменяется очень мало, то можно вместо выражения

$$\frac{2\pi k}{\ln R - \ln r}$$

подставить постоянную величину b ;

тогда

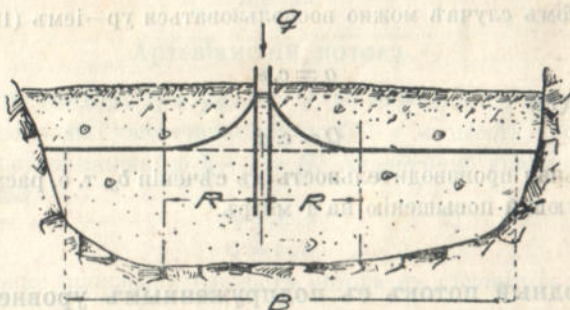
$$q = b \cdot d_m \cdot s \dots \dots \dots (28).$$

Ур—іе (27) аналогично уравнению (8), а ур—іе (28)—ур—ію (9).

Какъ видимъ, способъ опредѣленія расхода остается тотъ-же, что и въ случаѣ пониженія уровня. Уравненіями (10, 11 и 13) можно пользоваться безъ измѣненій.

Здѣсь также приложимы оба метода: можно наблюдать или мѣстное повышеніе уровня возлѣ инфильтраціоннаго колодца или общее повышеніе уровня всего потока. Въ первомъ случаѣ (чер. 43) надо пользоваться уравненіемъ (16).

$$Q = \frac{B \cdot q}{2R}$$



Чер. 43.

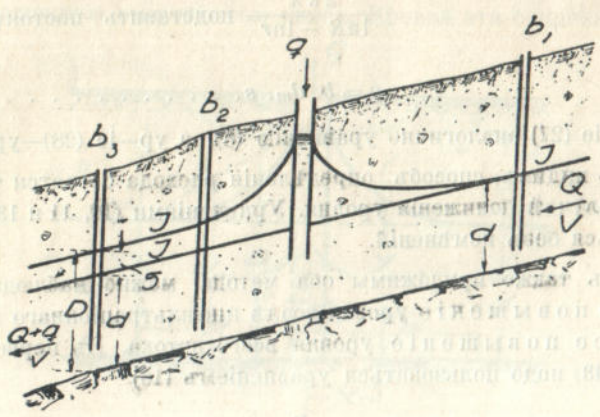
Второй методъ примѣняется различно въ разсматриваемыхъ ниже трехъ случаяхъ.

Свободный потокъ со свободной поверхностью.

Повышеніе распространяется выше колодца до пункта b_1 (чер. 44). Расходъ воды Q здѣсь не измѣняется. Пусть глубина потока = d , уклонъ = J и скорость = V .

Ниже колодца мѣстное повышеніе распространяется до пункта b_2 ; въ нѣкоторомъ пунктѣ b_3 , уровень въ поперечномъ сѣченіи можно

принять горизонтальнымъ. Расходъ потока здѣсь увеличится до $Q + q$ и глубина до $d + s = D$. Уклонъ J , скорость V остаются прежними.



Чер. 44.

Въ этомъ случаѣ можно воспользоваться ур—іемъ (18).

$$q = c \cdot s$$

и ур—іемъ (19)

$$Q = c \cdot d,$$

гдѣ c удѣльная производительность въ сѣченіи b_3 , т. е. расходъ воды соотвѣтствующій повышенію на 1 метръ.

Свободный потокъ съ подпруженнымъ уровнемъ.

Выше колодца поверхность потока поднимается, но уже не въ зависимости отъ уровня въ открытомъ пріемникѣ, а подъ влияніемъ повысившагося уровня въ колодцѣ (чер. 45). Мѣстное повышеніе оканчивается у b_1 , а общее распространяется на всю область.

Мѣстное повышеніе ниже колодца оканчивается у b_2 , а у b_3 почти исчезаетъ и общее повышеніе. Количество воды увеличиваетъ до $Q + q$, глубина до $d + s = D$ и высота уровня надъ уровнемъ открытаго пріемника до $h + s = H$.

По ур—ію (20) будемъ имѣть:

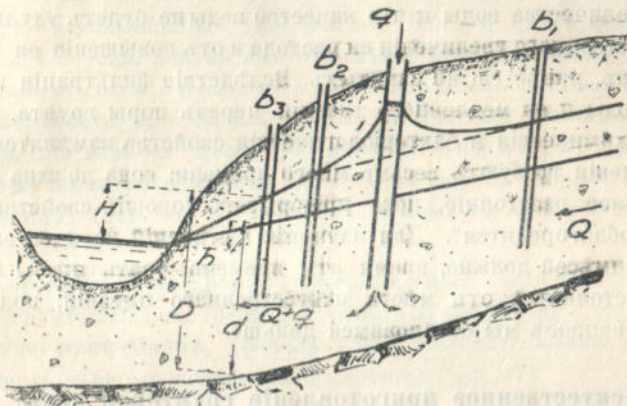
$$Q = \frac{q}{s} \cdot \frac{h d}{d + H}$$

Если h незначительно по сравнению d , получим уравнения подобныя (21, 22), т. е.

$$q = c \cdot s$$

$$Q = c \cdot h,$$

гдѣ c есть удѣльный расходъ въ сѣченіи b_3 .



Чер. 45.

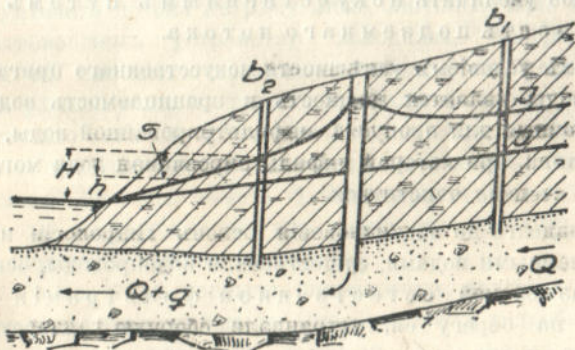
Артезианскій потокъ.

Выше b_1 расходъ Q и уклонъ J не измѣняются (чер. 46). При b_2 количество воды увеличивается до $Q + q$ и высота уровня надъ поверхностью приемника до $h + s = H$. Аналогично уравнениямъ (23, 24) получимъ:

$$q = c \cdot s$$

$$Q = c \cdot h,$$

гдѣ c удѣльная производительность потока въ сѣченіи b_2 .



Чер. 46.

Только что разсмотрѣнный способъ примѣнимъ въ тѣхъ случаяхъ, когда съ самаго начала ясна необходимость увеличенія производительности потока искусственнымъ путемъ въ ближайшемъ или отдаленномъ будущемъ. При этомъ крайне важно установить, что водоносный пластъ дѣйствительно въ состояніи пропускать большія количества воды и что качество воды не будетъ ухудшаться отъ искусственнаго увеличенія ея расхода и отъ повышенія ея уровня до пластовъ, ранѣе ею не занятыхъ. Вслѣдствіе фильтраціи поверхностной воды и ея медленнаго теченія черезъ поры грунта, ея физическія, химическія и бактериологическія свойства измѣнятся, хотя эти измѣненія требуютъ весьма много времени; вода должна пройти значительное разстояніе, пока пріобрѣтетъ хорошія свойства, такъ сказать „облагородится“. Для изученія измѣненій количества и качества примѣсей должно, время отъ времени, брать пробы на разныхъ разстояніяхъ отъ мѣста искусственнаго питанія; подробнѣе на этомъ вопросѣ мы остановимся дальше.

Искусственное приготовленіе грунтовой воды.

Гидрологическія изысканія часто приводятъ къ отрицательнымъ результатамъ; можетъ оказаться, что количество грунтовой воды значительно меньше необходимаго для водопровода или только, только равняется ему. Даже въ послѣднемъ случаѣ, имѣя въ виду неточность гидрологическихъ изысканій и возможность измѣненія условій, вліяющихъ на расходъ, рискованно приступать къ устройству капитальныхъ и дорого стоющихъ водосборныхъ сооружений. Такимъ образомъ, изъ этого положенія могутъ быть два выхода: либо использовать воду открытаго водоема, устроивъ для ея очистки фильтры, либо увеличить искусственнымъ путемъ производительность подземнаго потока.

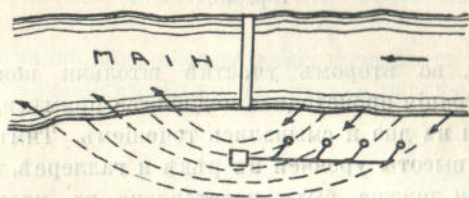
Первымъ условіемъ успѣшности искусственнаго приготовленія грунтовой воды является мощность и проницаемость водоноснаго слоя, достаточныя для пропуска инфильтрированной воды, а также такая его длина, при которой инфильтрированная вода могла-бы въ достаточной степени очиститься.

Еще задолго до возникновенія основъ гидрологіи и знакомства съ подземными водами, существовали водопроводы, основанные на такъ называемой естественной фильтраціи (чер. 1). Вдоль рѣки, на берегу ея, устраивали сборную галлерею и понижали въ ней уровень ниже уровня въ рѣкѣ; считали, что вода получаемая въ галлереѣ, цѣликомъ поступала изъ рѣки, очищаясь

въ слоѣ грунта, отдѣляющемъ рѣку отъ галлерей. Хотя многія подобныя сооруженія оказались неудачными, но при обдуманномъ проектѣ и рациональномъ уходѣ способъ этотъ вполне примѣнимъ.

Въ дальнѣйшемъ стали пользоваться другими приемами, это именно инфильтраціей въ вертикальномъ направленіи, о чемъ упоминалось уже ранѣе. Способъ этотъ заключается въ томъ, что вода, взятая изъ открытаго водоема, направляется на спеціальныя поля орошенія, гдѣ она фильтруется или черезъ всю поверхность или черезъ стѣнки открытыхъ плоскихъ канавъ (чер. 38); для этой-же цѣли иримѣняются инфильтраціонныя резервуары, погруженные отчасти въ потокъ (чер. 39) или лежащіе выше его (чер. 40), и, наконецъ, инфильтраціонныя колодцы (чер. 41).

Хорошимъ примѣромъ естественной фильтраціи является грунтовый водопроводъ города Швайнфурта. Городъ расположенъ на рѣкѣ Майнѣ, уровень коего поднять возлѣ города посредствомъ давно существующей плотины (чер. 47).

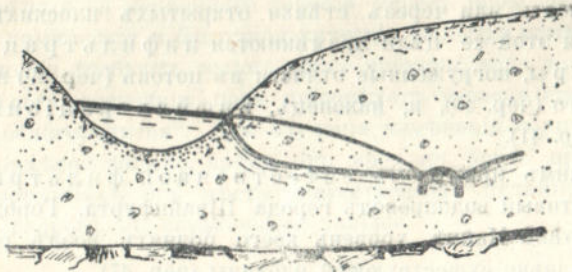


Чер. 47.

Вода изъ рѣки выше плотины перетекаетъ черезъ берегъ въ видѣ грунтоваго потока въ рѣку ниже плотины. При изслѣдованіи, предшествовавшемъ устройству колодцевъ, изображенныхъ на чертежѣ, въ пробныхъ колодцахъ наблюдалось постепенное превращеніе рѣчной воды въ грунтовую. Такъ какъ плотина существуетъ нѣсколько сотъ лѣтъ, то, очевидно, скорость теченія рѣки достаточна для предупрежденія заноса русла; такимъ образомъ этотъ естественный фильтръ можетъ функционировать и въ будущемъ при заборѣ воды, не выходящемъ изъ предѣловъ, связанныхъ съ черемъ скоростью теченія въ грунтѣ.

А. Тимъ былъ первымъ гидрологомъ, давшимъ естественной фильтраціи научное освѣщеніе. Онъ произвелъ подробныя наблюденія надъ сборной штольней, лежащей вдоль берега рѣки Рура и снабжающей водой городъ Эссенъ, когда производительность этой

штольни уменьшилась; ему удалось обнаружить, что одна часть штольни перестала давать воду, а другая продолжала работать по-прежнему. Въ первомъ участкѣ уровень воды столь сильно понизился, что получился сильный притокъ изъ рѣки; скорость инфильтраціи была слишкомъ велика, засореніе русла распространилось вглубь и имѣло слѣдствіемъ закупорку поръ грунта. Поверхность потока между рѣкой и штольнею такъ понизилась, что изъ выпуклой стала вогнутой (чер. 48).



Чер. 48.

Напротивъ, во второмъ участкѣ штольни пониженіе было меньше, инфильтрація происходила медленнѣе, примѣси, находящіяся въ водѣ, осѣдали на дно и смывались теченіемъ. Тимъ установилъ точную разницу высоты уровней въ рѣкѣ и галлерей, т. е. величину уклона J , которая должна быть подставлена въ уравненіе (4) для полученія истинной величины скорости V .

Этотъ способъ несомнѣнно ведетъ къ цѣли. Количество воды, конечно не можетъ быть рассчитано по теоретическимъ формуламъ, а должно быть найдено путемъ продолжительныхъ, въ большемъ масштабѣ поставленныхъ опытовъ.

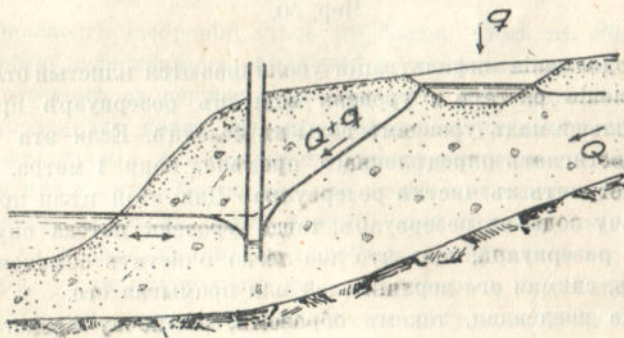
Какъ уже упоминалось, инфильтрація должна быть очень медленной, что-бы иль не проникалъ глубоко въ почву, такъ какъ тогда онъ не можетъ быть смытъ теченіемъ. Такое обмываніе дна не происходитъ непрерывно, а только во время высокой воды, такъ что въ это время возобновляется вся поверхность фильтра. Подобное же дѣйствіе производятъ у низкихъ береговъ ледоходъ и волны, поэтому изъ моря нѣкоторое количество воды очень часто инфильтрируется въ почву.

Поверхностное орошеніе примѣнялось лишь при нѣкоторыхъ устройствахъ пробнаго характера, такъ какъ не является надежнымъ, легко поддающимся контролю способомъ; для странъ съ

климатомъ Швеціи оно совершенно непригодно, а потому мы и не будемъ разсматривать его болѣе подробно.

Погруженные отчасти въ потокъ (чер. 39) или лежащіе выше его (чер. 40) инфильтраціонные резервуары примѣняются въ томъ случаѣ, если водоносный слой достигаетъ поверхности земли, или оканчивается немного ниже ея. Дно резервуара покрывается обыкновенно слоемъ мелкаго песка. Сравнительно небольшая площадь инфильтраціи бываетъ достаточна для полученія довольно большого, грунтоваго потока. При скорости инфильтраціи 1,5 метра въ сутки, резервуаръ можетъ пропустить въ теченіе года столбъ воды, высотой 500 мет., т. е. въ 1000 разъ больше того количества, которое получается отъ просачиваній выпадающихъ на поверхность земли атмосферныхъ осадковъ. При помощи резервуара съ площадью въ одинъ гектаръ можно удвоить количество воды, фильтруемое естественнымъ путемъ черезъ песчаную площадь въ 10 кв. километровъ. Обыкновенно вопросъ о возможности инфильтраціи рѣшается очень легко. Возможно-ли при этомъ получить воду, похожую по своимъ свойствамъ на грунтовую, зависитъ отъ длины пути, который будетъ проходить вода отъ мѣста инфильтраціи до мѣста каптажа.

На чер. 49 видно, какъ инфильтрація повышаетъ уровень между резервуаромъ и колодеземъ. Примемъ какъ и раньше, что уровень



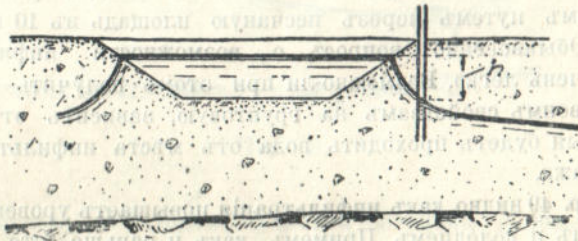
Чер. 49.

ниже колодца совпадаетъ съ уровнемъ пріемнаго водоема. Такимъ образомъ, колодезь собираетъ какъ естественную грунтовую воду въ объемъ Q , такъ и искусственную въ объемъ q .

Инфильтраціонный резервуаръ не долженъ быть очень удаленъ отъ колодца, ибо тогда уровень воды въ немъ придется держать слишкомъ высоко въ отношеніи земной поверхности. Если это раз-

стояніе достаточно для надлежащаго улучшения инфильтрованной воды, то все устройство можно считать удовлетворительнымъ въ качественномъ и количественномъ отношеніи. Въ противномъ случаѣ приходится выбирать между уменьшенной инфильтраціей и водой посредственнаго качества. Разсмотримъ подробнѣе процессъ инфильтраціи воды и дальнѣйшаго ея движенія въ грунтъ.

Инфильтраціонный резервуаръ дѣйствуетъ также, какъ обыкновенный фильтръ. Вода просачивается медленно черезъ дно резервуара, при чемъ на поверхности песчанаго пласта и въ верхнихъ его слояхъ осаждается иль и бактеріи. Въ началѣ процесса фильтраціи движеніе воды въ грунтъ встрѣчаетъ незначительное сопротивление и разница уровней h въ резервуарѣ и ближайшемъ пробномъ колодцѣ (чер. 50) обыкновенно равна нѣсколькимъ сантиметрамъ. По



Чер. 50.

мѣрѣ продолженія инфильтраціи увеличиваются илистые отложения, сопротивление растеть и уровень воды въ резервуарѣ приподнимается больше надъ уровнемъ воды въ колодцѣ. Если эта разница высотъ достигнетъ определеннаго предѣла, напр. 1 метра, необходимо приступить къ чисткѣ резервуара. Для этой цѣли прекращаютъ подачу воды въ резервуаръ; тогда уровень потока опускается ниже дна резервуара, такъ что дно легко очистить обыкновеннымъ способомъ, снимая его верхній слой или промывая его.

Вода введенная, такимъ образомъ, въ почву представляетъ собою поверхностную профильтрованную воду, которая уже непосредственно подъ резервуаромъ, по качеству соответствуетъ фильтрату изъ обыкновеннаго песчанаго фильтра и можетъ служить для водоснабженія. Количество бактерій значительно уменьшается и органическія вещества подвергаются извѣстнымъ измѣненіямъ. Однако температура и запахъ воды остаются безъ перемѣны.

На пути отъ мѣста инфильтраціи до колодца свойства воды измѣняются. Исчезаютъ послѣднія бактеріи, органическія вещества переходятъ въ безвредныя соединенія, воспринимаются новыя ве-

щества. Температура возрастает зимой и падает летомъ. Въ результатъ получается стерильная, прозрачная вода постоянной температуры и освѣжающаго вкуса. Поверхностная вода, такъ сказать, „облагораживается“, переходить въ грунтовую.

Такая искусственная грунтовая вода въ физическомъ и биологическомъ отношеніи вполне подобна естественной. Она отличается отъ послѣдней только меньшимъ содержаніемъ химическихъ соединений, т. е. постороннихъ примѣсей, количество которыхъ зависитъ отъ времени соприкосновенія воды съ грунтомъ и отъ содержанія имъ углекислоты. Возрастъ искусственной грунтовой воды считается недѣлями, а естественной—годами. При инфильтраціи черезъ резервуаръ вода поглощаетъ мало углекислоты, а при медленномъ просачиваніи дождевой воды черезъ почву содержаніе углекислоты въ ней бываетъ весьма значительно.

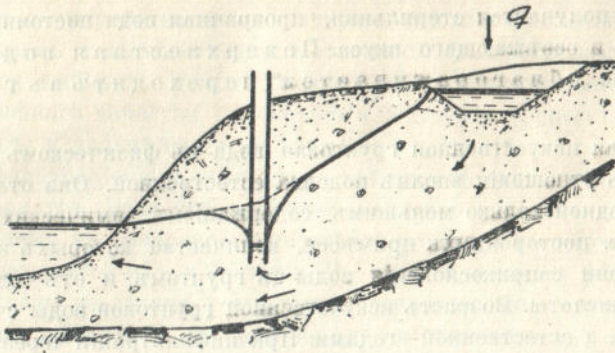
Противъ описаннаго способа его противниками выставляется два возраженія, по существу однако совершенно необоснованныя, именно:

1) слои почвы съ теченіемъ времени заносятся иломъ и 2) фильтруемая вода можетъ направляться въ грунтъ не туда, куда желательно.

1) Опасность засоренія здѣсь не болѣе, чѣмъ въ обыкновенномъ хорошо содержимомъ фильтрѣ, т. е. равна нулю. Верхній слой, въ которомъ въ сущности происходитъ фильтрація, состоитъ изъ обыкновеннаго песка. Въ предположеніи равномерной малой скорости фильтраціи иль осаждается на поверхности песка, откуда удаляется при чисткѣ. Возможно, что послѣ нѣсколькихъ лѣтъ работы окажется нужнымъ снять верхній слой песка и замѣнить его свѣжимъ, хотя до сихъ поръ у подобныхъ сооружений въ Швеціи (напримѣръ, у инфильтраціонныхъ резервуаровъ въ Готенбургѣ, работающих непрерывно уже двѣнадцать лѣтъ), въ этомъ надобности не встрѣчалось.

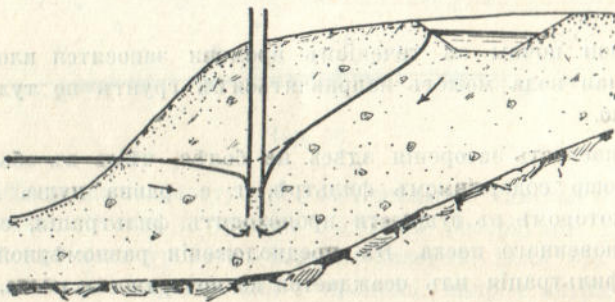
2) Если уровень воды ниже колодца устанавливается на одинаковой высотѣ съ уровнемъ пріемнаго водоема (чер. 49), то, очевидно, колодезь забираетъ весь расходъ потока.

Когда уровень воды ниже колодца поднимается (чер. 51), то часть воды направляется къ открытому водоему, если-же онъ падаетъ (чер. 52) ниже уровня въ водоемѣ, то часть воды изъ него направляется въ колодезь.



Чер. 51.

Слѣдовательно, наблюдая положенія уровня ниже колодца, можно заключить о качествѣ воды, получаемой колодцемъ.



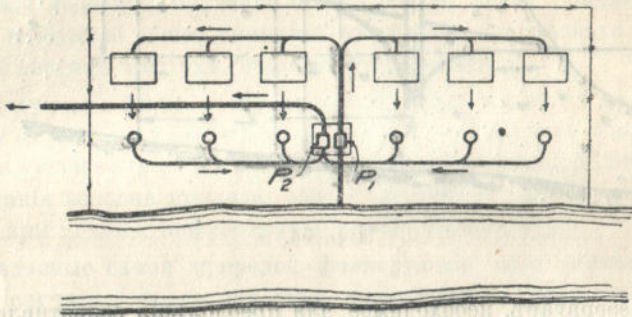
Чер. 52.

Такъ, напримѣръ, въ Готенбургѣ ниже насоснаго колодца расположенъ колодезь, служащій для постоянныхъ наблюдений наль уровнемъ; уровень воды въ колодезь устанавливается на 5 мет. выше уровня моря при удѣльной производительности 5 $\frac{\text{лит.}}{\text{сек.}}$. Если инфильтрація увеличивается или уменьшается на 1 лит., уровень въ колодезь повышается или падаетъ на 0,2 метра. Трудно достигнуть болѣе точнаго и чувствительнаго регулированія при обыкновенныхъ фильтрахъ.

При нѣкоторыхъ условіяхъ можно достигнуть совершеннаго регулированія какъ уровня такъ и количества воды. Можно комбиниру-

вать инфильтрацію съ искусственной фильтраціей (чер. 52) или воспрепятствовать проникновенію въ колодезь рѣчной воды (чер. 51).

Въ широкой рѣчной долинь, въ которой уровень грунтовой воды лежитъ немного выше уровня рѣки, является вполне осуществимымъ устройство въ предѣлахъ опредѣленнаго района „фабрики грунтовой воды“ для водоснабженія города, независимо отъ другихъ общественныхъ или частныхъ водосборныхъ сооружений (чер. 53).



Чер. 53.

P_1 = насосъ для подачи рѣчной воды въ резервуаръ,
 P_2 = насосъ для подачи грунтовой воды въ городъ.

Въ предыдущемъ мы убѣдились, что инфильтрація опредѣленнаго количества воды вызываетъ съ одной стороны мѣстное повышеніе свободной поверхности потока и съ другой общее повышеніе. Измѣреніемъ общаго повышенія въ предѣлахъ мѣстнаго можно опредѣлить естественную производительность потока. Тѣмъ-же способомъ можно по извѣстному Q найти общее повышеніе уровня, обусловленное инфильтраціей опредѣленнаго количества q .

Если напр. колодезь лежитъ на L метровъ ниже по теченію чѣмъ резервуаръ (чер. 54), то расходъ потока увеличивается съ Q на $Q + q$, уклонъ съ J на J_1 и средняя глубина потока съ D на D_1 . При ширинѣ потока $= B$, имѣемъ по ур-ю (5):

$$Q = B \cdot D \cdot k \cdot J;$$

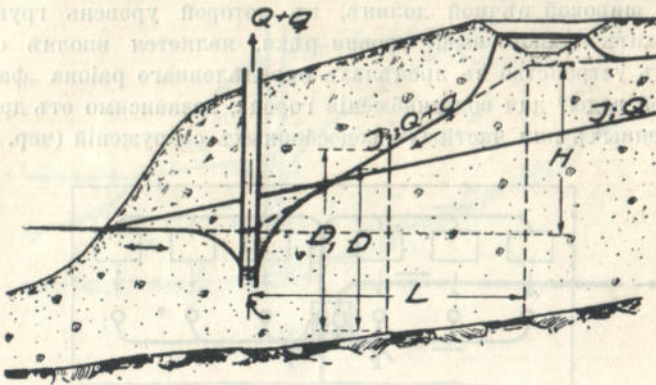
$$Q + q = B \cdot D_1 \cdot k \cdot J_1;$$

$$\frac{Q + q}{Q} = \frac{D_1 \cdot J_1}{D \cdot J};$$

$$J_1 = J \cdot \frac{Q + q}{Q} \cdot \frac{D}{D_1} \dots \dots \dots (29)$$

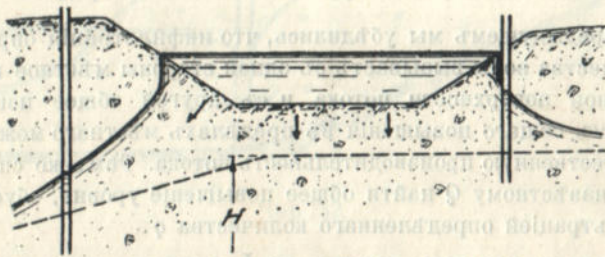
$$H = J_1 \cdot L.$$

Къ этому повышенію присоединяется съ одной стороны мѣстное повышеніе у резервуара и съ другой повышеніе уровня въ



Чер. 54.

самомъ резервуарѣ, необходимое для преодоленія сопротивленій въ фильтрѣ (чер. 55). Раньше чѣмъ окончательно выбрать мѣсто для резервуара, необходимо выполнить по возможности полное пробѣрочное изслѣдованіе.



Чер. 55.

Если верхній слой почвы водонепроницаемъ, или если потокъ обладаетъ свойствомъ восходимости (артезианскій потокъ), вмѣсто инфильтраціоннаго резервуара устраиваютъ инфильтраціонный колодезь (чер. 41). Въ этомъ случаѣ возникаетъ опасность засоренія водоноснаго пласта, каковое можетъ быть однако незначительно, если вода подвергнута предварительной фильтраціи. При появленіи признаковъ засоренія необходимо прибѣгнуть или къ очисткѣ, или къ повышенію или пониженію устья колодца.

Въ предыдущемъ изложеніи многократно отмѣчалось, что производительность грунтоваго водосборнаго сооруженія можетъ уменьшаться вслѣдствіе общаго пониженія уровня, вызваннаго форсированной откачкой изъ другихъ колодцевъ, устроенныхъ для эксплуатаціи того-же потока. Ненормальная откачка изъ одного колодца можетъ вызвать нѣсколько метровъ общаго пониженія на площади, занимающей много квадратныхъ километровъ. Почти невозможно предотвратить путемъ отчужденій участковъ земли, ограниченной или запрещеній подобное медленно происходящее общее пониженіе; это явленіе возбудило общее вниманіе въ теченіе послѣдняго десятилѣтія во многихъ мѣстахъ, напр. въ Нидерландахъ.

Искусственная инфильтрація представляетъ единственное средство поднять до прежней высоты понизившейся уровень грунтоваго потока. Вездѣ гдѣ эксплуатация колодца вызвала общее пониженіе уровня, его можно поднять при помощи инфильтраціи черезъ резервуаръ.

Созданные самой природой фильтрующие слои обладаютъ во многихъ случаяхъ неограниченной способностью доставлять воду, годную для водоснабженія населенныхъ мѣстъ.

Часть II.

Геологическое образование Швеці*).

Каждому, кто много путешествовал бросаются въ глаза своеобразныя особенности шведскаго пейзажа. Здѣсь нѣтъ ни широкихъ рѣчныхъ долинъ, ни безконечныхъ горныхъ равнинъ, ни пологихъ склоновъ горъ, покрытыхъ лѣсомъ. Почти вездѣ возвышаются изъ тонкаго и бѣднаго растительностью елоя земной коры гладкія мощныя скалы первобытныхъ горъ. Высоко надъ плоскостью, гдѣ море оставило свои слѣды, хребты скаль закруглены, заглажены, словно отполированы и покрыты многочисленными ложбинами, идущими въ опредѣленныхъ направлѣніяхъ. Почва большей частью состоитъ изъ весьма своеобразнаго неравнобѣрнаго по величинѣ и перемѣшаннаго съ глиной гравіа. Мелкая пыль растертыхъ камней чередуется съ остроконечными камнями и большими обломками скаль, которыя часто по своему петрографическому характеру не имѣютъ ничего общаго съ мѣстными горными породами. Въмѣсто мощныхъ гравелистыхъ слоевъ, встрѣчающихся въ рѣчныхъ долинахъ остальной Европы, мы имѣемъ здѣсь небольшой мощности песчаные слои и кромѣ того мощные по толщинѣ и площади пласты глины. Характерное явленіе представляютъ озы, которые со своими вышуклыми хребтами пересѣкаютъ страну на протяженіи сотенъ километровъ, то погружаясь въ земную поверхность, то взбираясь на значительныя возвышенности; внутри они состоятъ изъ правильно расположенныхъ промытыхъ песчаныхъ слоевъ несомнѣнно рѣчного происхожденія.

Невольно возникаетъ вопросъ какія геологическія силы, разсѣяли по вершинамъ высокихъ горъ огромныя глыбы скаль и вѣдрили ихъ въ слои глины? Какимъ образомъ озы, являющіеся очевидно результатомъ работы водяныхъ потоковъ, могли расположиться въ поперечномъ направлѣніи черезъ долины и возвышенности? Какое гигантское орудіе могло такъ обработать первобытныя горы, выметая прочь вывѣтрившіяся породы или округляя и шли-

*) Эта глава просмотрѣна проф. В. И. Лучицкимъ. Прим. переводч.

фуя твердыя скалы? Отвѣты на эти вопросы даетъ геологія; какъ въ настоящее время большая часть Гренландіи покрыта льдомъ, такъ въ прежнія эпохи черезъ Швецію продвинулись огромныя сплошныя массы материковаго льда, измѣняя ея географическія очертанія. Ледъ уносилъ, образовавшійся въ болѣе ранніе періоды разрушенный поверхностный слой и одновременно обрабатывалъ, выравнивая твердый скалистый грунтъ. Всѣ эти массы глины, песка и камней, оказывались вѣдренными въ ледяные массивы и двигались вмѣстѣ съ ними; во время таянія глетчеровъ онѣ, освобождаясь, осаждались или неправильными кучами или образовали довольно правильнаго строенія слои подѣ действиемъ ледниковыхъ ручьевъ. Въ силу этого профиль Скандинавскаго полуострова измѣнился, при чемъ отдѣльныя его части погрузились въ море, подвергаясь новымъ измѣненіямъ.

Въ дальнѣйшемъ разсмотримъ характерные періоды въ исторіи геологическаго развитія Швеціи.

Въ геологіи различаютъ слѣдующіе періоды:

Архейскій	Пермскій
Алгонскій	Триасовый
Кэмбрійскій	Юрскій
Силурійскій	Мѣловой
Девонскій	Третичный
Каменноугольный	Четвертичный (дилювиальный).

Во время архейскаго періода, еще ранѣе появленія органической жизни, образовались первобытныя горы. Въ теченіе слѣдующихъ періодовъ, когда, главнымъ образомъ, возникли осадочныя породы, появилась органическая жизнь, растенія и животныя, сначала въ немногихъ видахъ и простѣйшихъ формахъ, которые постепенно развивались и увеличивались въ числѣ. Окаменѣлые остатки животнаго и растительнаго царства встрѣчаются и теперь въ извлекаемыхъ осадочныхъ породахъ. Выводы палеонтологіи позволяютъ установить возрастъ различныхъ окаменѣлостей и соотвѣтствующій имъ геологическій періодъ.

Горы, образовавшіяся въ теченіе архейскаго періода состоятъ преимущественно изъ гранита и гнейса. Къ алгонскимъ же формациямъ относятся тѣ осадочныя слои, которые возникли ранѣе самыхъ древнихъ пластовъ кэмбрійской системы, содержащихъ окаменѣлости. Горныя породы кэмбрійскаго и силурійскаго періода принадлежатъ къ осадочнымъ.

Известнякъ, песчаникъ и шиферъ образовались подъ дѣйствіемъ моря, покрывавшаго въ то время весь нынѣшній Скандинавскій полуостровъ. Известняки образовались изъ раковинъ и другихъ известковыхъ остатковъ флоры и фауны; песчаники изъ песковъ, связанныхъ известковыми и желѣзистыми веществами; шиферъ представляетъ затвердѣвшую и окаменѣвшую глину.

Между силурійскимъ и юрскимъ періодомъ въ Швеціи совѣмъ не происходило отложеній осадковъ; это доказываетъ, что страна не была покрыта моремъ. Въ теченіи юрскаго и мѣловаго періода южная Швеція многократно оказывалась подъ водой, причѣмъ образовались мощные мѣловые пласты. Во время третичнаго періода море отступило и весь полуостровъ лежалъ выше чѣмъ нынѣ. Въ теченіе четвертичнаго періода, къ которому относятъ и новѣйшее время наступила ледниковая эпоха съ послѣдующими повышеніями и пониженіями земной поверхности, твердыя отложенія въ этотъ періодъ не образовывались.

Горныя породы не оставались въ первоначальномъ видѣ, такъ какъ съ момента ихъ образованія поверхность земли подвергалась постепеннымъ и разнообразнымъ воздѣйствіямъ. Мѣстныя смѣщенія, происшедшія вслѣдствіе охлажденія и сжатія земной коры, вызвали складки, въ видѣ длинныхъ горныхъ цѣпей; большія пространства поверхности земли опустились и образовали долины, ограниченныя разрушенными массивами. Извергнутыя при вулканическихъ изверженіяхъ массы, проникли черезъ ранѣ образованныя отложенія и покрыли ихъ. Въ настоящее время твердыя осадочныя породы рѣдко занимаютъ горизонтальное положеніе.

Титаническія силы, вызвавшія перемѣщеніе породъ изъ ихъ первоначальнаго положенія, не могли такъ существенно измѣнить характеръ земной поверхности, какъ кажущаяся на первый взглядъ слабой дѣятельность воздуха и воды. Процессъ вывѣтриванія идетъ медленно, но упорно, превращая твердыя горныя породы на поверхности въ рыхлыя массы, въ которыя растенія запускаютъ корни и въ которыхъ углекислота производитъ свою разрушительную работу; поэтому твердая каменная поверхность какъ-бы опускается все глубже подъ вывѣтрившейся покровъ. Вода-же не только вымываетъ разрушенные куски, но и въ твердыхъ камняхъ оставляетъ глубокіе слѣды. Все что смыто на возвышенностяхъ уносится далѣе ручьями и рѣками, обрабатывается и, такъ сказать, сортируется, осаждаясь окончательно въ видѣ песка въ неглубокихъ водахъ и въ видѣ глины въ глубокихъ водоемахъ. Удары волнъ разрушаютъ берега, унося рыхлыя слои и размывая твердыя прибрежныя скалы.

Остатки растеній образуютъ въ болотахъ и лѣсныхъ озерахъ разные виды торфа.

Подъ дѣйствиємъ этихъ незначительныхъ, непрерывно работающихъ силъ исчезли въ теченіе вѣковъ цѣлыя горныя цѣпи, образовались моря и передвинулись линіи берега, вслѣдствіе измѣненій уровня океановъ *). Между силами, создающими породы и вызывающими, такъ сказать, неровности земной поверхности, съ одной стороны и силами, стремящимися сгладить эти выпуклости, съ другой происходитъ непрерывная борьба.

Чтобы составить себѣ ясное представленіе, какимъ образомъ Швеція пріобрѣла въ теченіе четвертичнаго періода свой современный географическій характеръ, необходимо подвергнуть бѣглому обзору предшествующій третичный періодъ.

Какъ уже упоминалось, Скандинавскій полуостровъ въ сирийскій періодъ поднялся изъ моря за исключеніемъ самой южной своей части, которая въ теченіе сравнительно короткаго періода была погружена въ морѣ. Въ теченіе миллионовъ лѣтъ процессы вывѣтриванія и размыванія переработали осадочныя напластованія и начали разрушать ниже лежащія первобытныя горы. Въ началѣ третичнаго періода Швеція представляла картину современныхъ южно-европейскихъ странъ, обладала теплымъ климатомъ съ большимъ выпаденіемъ атмосферныхъ осадковъ. Большія горныя равнины были покрыты растительностью подобной той, какая нынѣ произрастаетъ на берегахъ Средиземнаго моря, по долинамъ протекали многоводныя рѣки, дно которыхъ состояло изъ получившихся путемъ вывѣтриванія камешковъ, распределенныхъ по величинѣ на отдѣльные пласты, лежащіе ровными рядами. Гигантскія четвероногія свободно бродили по дремучимъ первобытнымъ лѣсамъ, непрелѣдуемая еще самымъ опаснымъ хищникомъ - человѣкомъ „*Homo sapiens*“.

Современное Балтійское море представляло тогда долину между возвышенностями Швеція и Россіи. По всей вѣроятности, съ сѣвера на югъ протекала громадная рѣка, питаемая притоками съ востока и запада и впадающая въ заливъ Атлантическаго океана, покрывающій сѣверо-германскую равнину нашего времени; эта равнина образовалась въ четвертичный періодъ изъ отложеній шведскаго материковаго льда. Возможно, что въ теченіе нѣкотораго времени южный Шонень пересѣкался третичной рѣкой, направляющейся съ юго-востока на сѣверо-западъ; это подтверждается глубокими буре-

*) Трансгрессія. Прим. переводчика.

ніями, обнаружившими между Мальмэ и Лундомъ въ мѣловыхъ формаціяхъ широкую и глубокую впадину, частью заполненную осадками третичнаго происхожденія.

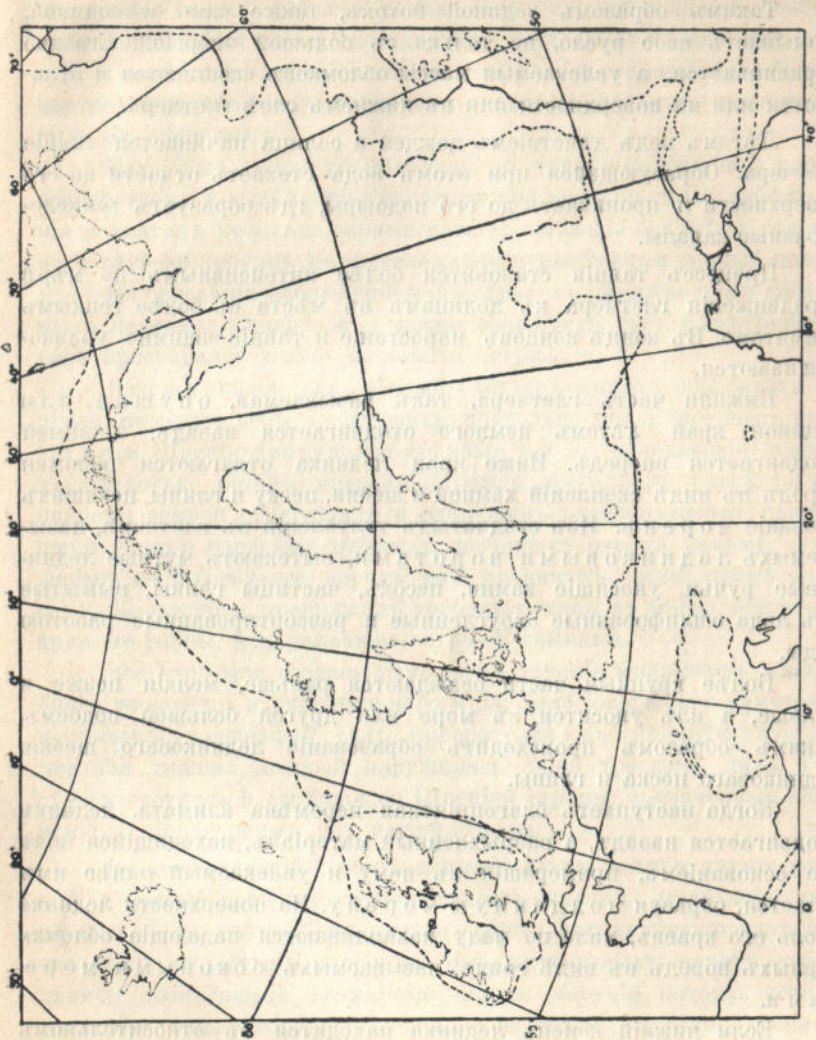
Климатъ становился съ теченіемъ времени болѣе суровымъ и въ началѣ четвертичнаго періода средняя температура была, вѣроятно ниже чѣмъ въ настоящее время. Болѣе нѣжныя растенія прекратили существованіе, а животныя перекочевали на югъ. Въ высокихъ горахъ накопились массы снѣга, которыя не могли таять въ лѣтнее время вслѣдствіе все уменьшающагося притока солнечной теплоты. „Вѣчный снѣгъ“ нагромождался въ большемъ количествѣ. Глетчеры надвигались все ниже въ долины, ихъ высоты также увеличивались и, наконецъ, отдѣльные ледяные потоки соединились въ материковый ледъ, который распространился отъ Кёленскаго хребта по всѣмъ направленіямъ.

Трудно теперь составить себѣ представленіе о площади, занимаемой материковымъ льдомъ и его высотѣ. Онъ занималъ въ восточномъ направленіи Европейскую Россію и кончался въ сибирскихъ тундрахъ,

Хотя тамъ климатъ былъ тоже суровымъ, но при незначительныхъ снѣговыхъ осадкахъ массы снѣга, выпадавшія зимой, таяли лѣтомъ, такъ что количество льда со временемъ не увеличивалось. Движеніе льда на югъ было остановлено лѣтней температурой южной Европы, а на юго-западѣ встрѣчными льдами, надвигавшимися съ горныхъ равнинъ Шотландіи. Площади, занятыя льдомъ показаны на чер. 56, гдѣ обозначены также и нѣкоторыя большихъ размѣровъ европейскія области материковаго льда того времени.

Для изученія геологическаго дѣйствія материковаго льда разсмотримъ ближе ледникъ современной намъ эпохи. Глетчеры встрѣчаются въ горахъ Швеціи, Норвегіи, Швейцаріи и преимущественно въ полярныхъ странахъ напр. Гренландіи, большая часть которой покрыта сплошнымъ материковымъ льдомъ.

Глетчеры образуются въ горныхъ областяхъ изъ постепенно смерзающагося снѣга перерождающагося въ ледъ благодаря замерзанію; по мѣрѣ увеличенія высоты ледяныхъ массъ, онѣ начинаютъ скользить по склонамъ горъ подъ дѣйствіемъ собственнаго вѣса. Ледъ движется по земной поверхности, слѣдуя измѣненіямъ ея рельефа, и поэтому часто мѣняетъ свое первоначальное направленіе, то уклоняясь въ сторону, то переваливая черезъ возвышенность, то опять спускаясь внизъ. Въ узкихъ расщелинахъ онъ сжимается, а въ расширенныхъ долинахъ распространяется въ ширину. Ледникъ, какъ одно цѣлое, представляетъ пластичную массу; трещины, появляю-



Чер. 56. Поверхность занятая материковым льдомъ.
..... Граница материкового льда.

ціяся въ немъ при крутыхъ поворотахъ, замыкаются сами собой съ теченіемъ времени.

При своемъ движеніи глетчеръ увлекаетъ землю и отдѣльные обломки породъ, которыя постепенно образуютъ одно цѣлое со льдомъ. Эти острые камни, образующіе подошву ледника царапаютъ, стругаютъ скалистый грунтъ и одновременно раздробляются и шлифуются сами.

Такимъ образомъ ледяной потокъ, также какъ и водяной, размываетъ свое русло, но только съ ббльшей энергіей. Его дно выравнивается, а увлекаемыя массы обломковъ скопляются и отлагаются или на поверхности или въ нижнемъ слоѣ глетчера.

Лѣтомъ подѣ дѣйствіемъ дождей и солнца начинается таяніе глетчера. Образующаяся при этомъ вода стекаетъ отчасти по его поверхности и проникаетъ до его подошвы, гдѣ образуетъ туннелеобразныя каналы.

Процессъ таянія становится болѣе интенсивнымъ по мѣрѣ передвиженія глетчера къ долинамъ въ мѣста съ болѣе теплымъ климатомъ. Въ концѣ концовъ наростаніе и таяніе взаимно уравновѣшиваются.

Нижняя часть глетчера, такъ называемая, опушка или ледяной край лѣтомъ немного отодвигается назадъ, а зимой продвигается впередъ. Ниже края ледника отлагаются обломки породъ въ видѣ скопленій камней и щебня, песку и глины, носящихъ названіе моренъ. Изъ сводчатыхъ углубленій въ глетчерѣ, называемыхъ ледниковыми воротами, вытекаютъ мутныя ледниковыя ручьи, уносящіе камни, песокъ, частицы глины, вымытые изъ льда шлифованные округленные и разсортированныя работою воды.

Болѣе крупныя части осаждаются раньше, мелкія позже и дальше, а иль уносится въ море или другой большой водоемъ. Такимъ образомъ происходитъ образованіе ледниковаго щебня, ледниковаго песка и глины.

Когда наступаетъ благопріятная перемѣна климата, ледникъ отодвигается назадъ, а разрыхленный матеріалъ, находящійся подѣ его основаніемъ, примерзшій къ нему и увлекаемый ранѣе имъ остается, образуя поддонную морену. На поверхности ледника вдоль его краевъ, мало по малу накапливаются падающіе обломки горныхъ породъ въ видѣ грядъ, называемыхъ боковыми моренами.

Если нижній конецъ ледника находится въ относительномъ покоѣ болѣе продолжительное время, то оставляемый вдоль его обломочный матеріалъ накапливается въ видѣ длиннаго поперечнаго вала, называемаго конечной мореной.

Если ледникъ оканчивается не на сушѣ, но спускается концомъ своимъ въ море, то онъ подмывается послѣднимъ, вода подымаетъ ледъ, и тогда ледъ надламывается сначала отъ сильнаго перегиба, а затѣмъ со страшнымъ трескомъ отламывается давленіемъ воды совершенно прочь, образуя плавающую ледяную гору. Гора эта

постепенно таетъ, при чемъ заключенные въ ней обломки освобождаясь опускаются на морское дно, гдѣ покрываются осадками.

Послѣ этого предварительнаго обзора постараемся изобразить картину воздѣйствія материковаго льда на области, находящіяся подъ его покровомъ.

Какъ уже выше упоминалось, въ теченіе третичнаго періода господствовалъ сырой климатъ, благодаря чему процессъ вывѣтриванія захватилъ не только горные пласты, имѣющіе осадочное строеніе, но и глубоко проникъ въ нижележащія первобытныя горныя породы.

На основаніи наблюденій надъ странами, не имѣвшими постоянныхъ ледяныхъ покрововъ, можно заключить, что вывѣтрившійся слой простирался вглубь на многіе метры.

Разсмотрѣвши, какъ малый глетчеръ можетъ обработать свое русло, нетрудно себѣ представить, насколько могли измѣнить внѣшній видъ Швеціи движущіяся ледяныя массы, обладающія высотой въ нѣсколько сотенъ метровъ. Прежде всего ледъ снесъ рыхлые покровы земной поверхности и разрушилъ расположенныя правильными рядами наслоенія рѣчныхъ песчаныхъ руселъ, затѣмъ черезъ щелевидныя вывѣтрившихся породъ онъ проникалъ ниже, прорѣзывалъ глубокія ложбины, превращалъ неровныя скалы въ мягко очерченные круглыя горбы, испаранные острыми камнями.

Все что было создано раньше въ теченіе милліоновъ лѣтъ на благо животнаго и растительнаго міра, было совершенно уничтожено и прежній волшебный садъ превратился въ ледяную пустыню, мертвая тишина которой нарушалась лишь трескомъ льда. Та же судьба постигла и сосѣднія со Швеціей страны, захваченныя оледѣненіемъ, пришедшимъ изъ нашей страны.

Въ послѣдующій періодъ климатъ сталъ теплѣе; таяніе усилилось и нижній край глетчера отступилъ назадъ. Замерзшія массы обломковъ породъ освобождались, и области, находящіяся подъ льдомъ, оказались покрытыми моренами. Изъ ледниковыхъ воротъ устремлялись возникающіе вслѣдствіе таянія могучіе потоки, которые, размывая нижележащія морены, образовали глубокія долины и обуславливали возникновеніе новыхъ рѣчныхъ осадочныхъ слоевъ. Къ послѣднимъ относятся ранѣе упомянутыя озы, которые, какъ думаютъ, возникли подъ льдомъ въ туннелеобразныхъ каналахъ. Изъ такихъ ледниковыхъ отложеній состоитъ большая часть сѣверной Германіи, которая была мало захвачена оледѣненіемъ, а представляла подошву бухты Атлантическаго океана.

Когда материковый ледъ отошелъ внутрь Скандинавскаго полуострова, онъ распался на отдѣльные глетчеры, которые постепен-

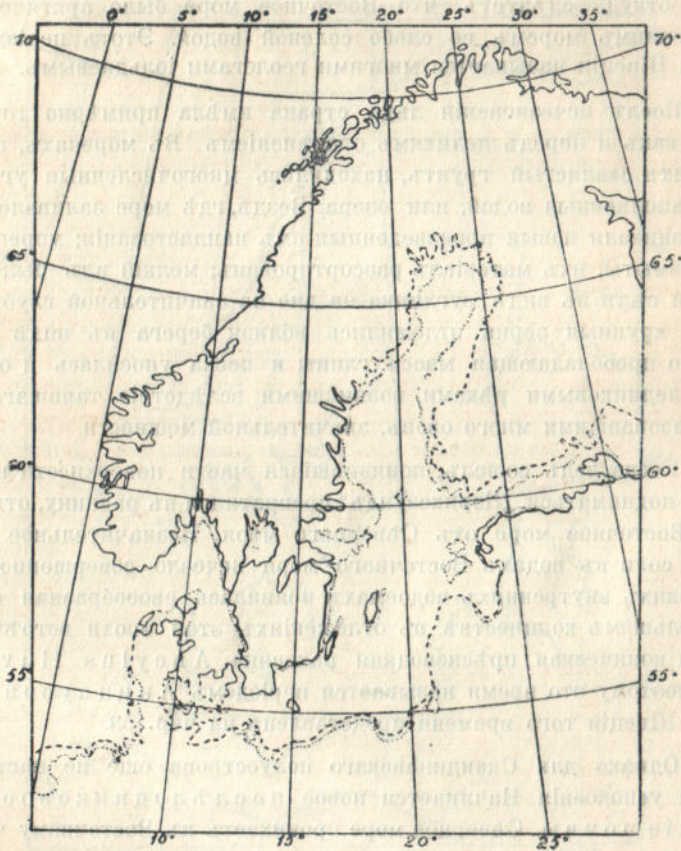
но уменьшались и исчезли окончательно. Владычеству льдовъ пришелъ конецъ; наступалъ междледниковый періодъ съ климатомъ болѣе теплымъ, чѣмъ въ настоящее время. Появились растенія съ юга и вернулись опять животныя; остатки мамонта показываютъ что онъ достигалъ въ своихъ странствованіяхъ норвежскихъ горъ. Высота расположенія страны точно неизвѣстна, но есть основаніе полагать, что она была выше, чѣмъ въ настоящее время.

Какой видъ имѣла страна послѣ исчезновенія льда? Вся ея поверхность должна была быть покрытой моренами съ отдѣльными озами и другими отложениями ледниковыхъ рѣкъ какъ теперь Смалендская горная равнина. Когда материковый ледъ сносилъ щебень, образовавшійся изъ вывѣтренныхъ породъ и лежащій слоемъ неравномѣрной толщины, открывалась крайне неровная поверхность; кромѣ этихъ неровностей встрѣчались исполинскіе уступы, возникшіе вслѣдствіе тектоническихъ сотрясеній вдоль линій сдвиговъ и изломовъ. Морень, образовавшихся въ послѣдствіи въ громадномъ количествѣ, было недостаточно для совершеннаго заполнения всѣхъ углубленій, почему и осталось множество большихъ и малыхъ озеръ, оживившихъ мрачный и монотонный пейзажъ. Въ теченіе междледниковаго періода рѣки обрабатывали морены и отлагали новые слои рѣчныхъ песковъ.

Между тѣмъ температура опять понизилась, глетчеры опять начали сползать внизъ къ долинамъ и образовывать новый материковый ледъ. Это вторичное оледѣненіе распространилось на меньшую площадь, чѣмъ первое большое оледѣненіе. Въ концѣ сего періода ледъ слѣдовалъ при своемъ движеніи уклону земной поверхности. Поэтому нижележація части южнаго Шонена были затоплены балтійскимъ ледянымъ потокомъ, который направлялся съ востока въ сѣверо-западномъ направленіи къ Эреунду.

Во время второго ледниковаго періода поверхность Скандинавскаго полуострова опустилась, что по мнѣнію многихъ геологовъ было вызвано тяжестью льда. Это опусканіе поверхности во время второго ледниковаго періода вызвало важныя измѣненія въ рыхлыхъ слояхъ покрытой льдами области и имѣетъ большое значеніе для гидрологическихъ изслѣдованій. Опустившаяся площадь обозначена на чер. 57, откуда видно что опусканіе не было одинаково на всемъ полуостровѣ, а главнымъ образомъ имѣло мѣсто въ сѣверной его части и областяхъ, занимающихъ самое высокое положеніе.

Плоскость, до которой поднималось море, называется морской границей, и может быть теперь обнаружена по нанесенной галькѣ и песчанымъ валамъ, подобнымъ тѣмъ, которые находятся на берегу современного намъ моря.



Чер. 57. Періодъ Іольдіа.

- Береговая линия моря Іольдіа.
- - - - - Водораздѣль.
- · - · - Граница льда.
- Современная линия берега.

Этотъ періодъ особенно характеризуется широкимъ проливомъ (Зундъ) соединяющимъ Восточное море съ Сѣвернымъ и проходящимъ черезъ среднюю Швецію (Нѣрикесундъ); Эресундъ и Бальтъ возвышались надъ поверхностью моря. Резервуары озеръ Вѣнернъ, Вѣттернъ, Хельморенъ и Мѣлярень представляли углубленія въ

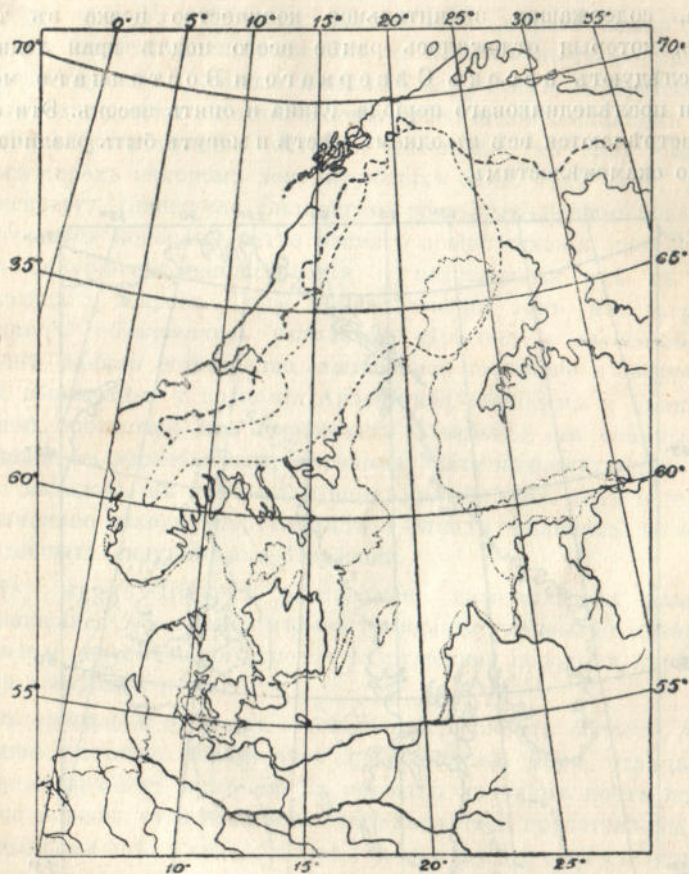
этомъ зундѣ, черезъ который протекала соленая вода въ Восточное море. Въ отложеніяхъ глины этого періода находится много раковинъ, встрѣчаемыхъ теперь у Шпицбергена и Гренландіи. Одинъ изъ видовъ этихъ раковинъ „*Ioldia arctica*“ попадется въ долину Мэ-ляръ, откуда слѣдуетъ, что Восточное море было арктическимъ внутреннимъ моремъ со слабо соленой водой. Этотъ періодъ геологіи Швеціи называется многими геологами юльдаевымъ.

Послѣ исчезновенія льда страна имѣла примѣрно тотъ же видъ, какъ и передъ великимъ оледѣненіемъ. Въ моренахъ, покрывающихъ скалистый грунтъ, находились многочисленныя углубленія, наполненныя водой, или озера. Вездѣ, гдѣ море заливало берега, возникали новыя произведенныя имъ напластованія; морены были размыты, ихъ матеріаль разсортированъ; мелкій илъ былъ унесенъ и сѣлъ въ видѣ суглинка на дно на значительной глубинѣ, а болѣе крупныя зерна отложились вблизи берега въ видѣ песка. Однако преобладающая масса глины и песка уносилась и отлагалась ледниковыми рѣками, возникшими вслѣдствіе таявшаго льда и образовавшими много озовъ, значительной мощности.

Когда ледъ сошелъ, понизившіяся части поверхности начали опять подниматься. „Нэрикезундъ“ превратился въ равнину, отдѣлившую Восточное море отъ Сѣвернаго моря. Незначительное содержаніе соли въ водахъ Восточнаго моря исчезло совершенно и въ шведскихъ внутреннихъ водоемахъ появилась своеобразная фауна. Въ большомъ количествѣ въ отложеніяхъ этой эпохи встрѣчается малая коническая прѣсноводная раковина *Ancylus fluviatilis*; поэтому это время называется періодомъ Анцилусовымъ. Вадъ Швеціи того времени представленъ на чер. 58.

Однако для Скандинавскаго полуострова еще не наступило время успокоенія. Начинается новое послѣледниковое опусканіе почвы. Сѣверное море проникаетъ къ Восточному черезъ Эрезундъ и Бэльтъ, гдѣ воды, выходящія изъ Анцилусоваго моря, прорѣзали въ известковыхъ горахъ глубокія рытвины. Поверхность земли лежала ниже, чѣмъ въ настоящее время и поэтому проливы были глубже и количество притекающей воды было больше. Восточное море превратилось опять въ морскую заливъ, прѣсноводная фауна вымерла и замѣнилась многими новыми видами изъ Каттегата. Время это называется періодомъ Литториновымъ по имени одной раковины, нынѣ живущей на всемъ протяженіи западнаго побережья нашей страны. Чер. 59 даетъ понятіе о тогдашнихъ очертаніяхъ Швеціи.

Наконец понижение почвы прекратилось и она начала опять постепенно подниматься. Это послѣдниковое поднятие почвы происходит и по сіе время, но въ теченіе послѣднихъ столѣтій крайне медленно.

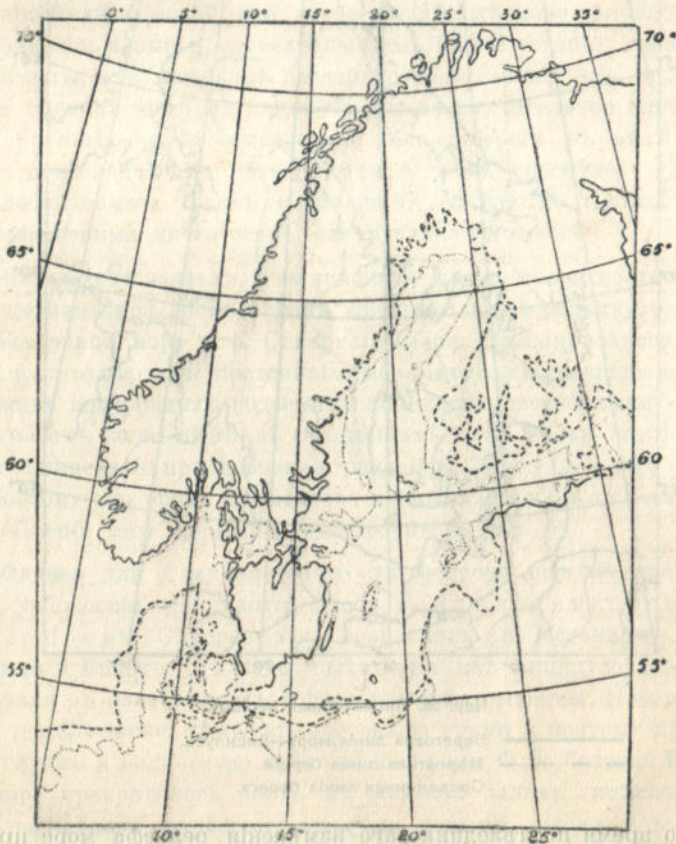


Чер. 58. Анцилусовый періодъ.

- Береговая линия моря—Анцилусъ.
- - - - - Вѣроятная линия берега.
- Современная линия берега.

Во время послѣдниковаго измѣненія рельефа море продолжало обрабатывать берега и возникли новыя осадочныя напластованія. Порядокъ наслоеній мѣнялся какъ въ позднѣйшемъ ледниковомъ періодѣ. При началѣ пониженія отлагался песокъ, послѣ глина и, наконецъ, опять песокъ.

Въ областяхъ гдѣ имѣли мѣсто оба эти измѣненія въ положеніи земной поверхности можно замѣтить много послѣдовательно расположенныхъ морскихъ отложений. Самое глубокое положеніе занимаетъ образовавшаяся въ Іольдіевый періодъ ледниковая глина, содержащая значительное количество песка въ тѣхъ частяхъ, которыя отложились ранѣе всего подлѣ края ледника. Далѣе слѣдуютъ песокъ Сѣвернаго и Восточнаго морей времени послѣледниковаго періода, глина и опять песокъ. Эти слои рѣдко встрѣчаются всѣ въ одномъ мѣстѣ и могутъ быть различаемы лишь по окаменѣlostямъ.



Чер. 59. Литториновый періодъ.

- — — — — Береговая линия моря—Литторина.
- - - - - Въроятная линия берега.
- Современная линия берега.

Послѣ приведеннаго краткаго обзора важнѣйшихъ періодовъ въ исторіи геологическаго развитія Швеціи, сдѣлаемъ бѣглый обзоръ рыхлыхъ и твердыхъ пластовъ горныхъ породъ, общихъ разнымъ частямъ страны и имѣющихъ гидрологическое значеніе.

Горы состоятъ большею частью изъ „сѣраго камня“, т. е. гранита и гнейса, принадлежащихъ къ первобытнымъ формаціямъ. Отъ существующихъ раньше мощныхъ алгонскихъ, кэмбрійскихъ и силурійскихъ пластовъ песчанниковъ, известняковъ, сланцевъ остались лишь разрозненные остатки, устоявшіе въ силу разныхъ причинъ передъ напоромъ денудирующихъ силъ. Такъ напр. Халле и Хунненбергъ, Кинекулле, Биллингень покрыты твердыми изверженными горными породами болѣе ранняго происхожденія, проникшими черезъ силурійскія напластованія и покрывшими ихъ въ видѣ защищающаго покрова. Горы принадлежація такъ наз. „группѣ Дальсланда“ образовались вслѣдствіе сбросовъ и опусканій, при чемъ онѣ заняли естественно защищенное положеніе и силурійскіе пласты, обнаженные у подножія Арэскутана защищены и прикрыты вершиной, состоящей изъ гнейсовыхъ сланцевъ; эти сланцы принадлежаціе къ первобытнымъ породамъ, были надвинуты при образованіи складокъ въ горныхъ цѣпяхъ на тѣ слои, подъ которыми первоначально находились. Готландъ и Эландъ цѣликомъ возникли изъ подобныхъ силурійскихъ отложений.

Въ южномъ Шоненѣ расположена известняковая равнина, образовавшаяся во время мѣловаго періода, покрытая двойными моренами и пересѣченная полосой разрушенной породы и, вѣроятно, долиной третичной рѣки.

Въ отношеніи рыхлыхъ (обломочныхъ) породъ области, лежація выше границы, оставленной поверхностью моря, отличаются отъ расположенныхъ ниже ея. Въ первыхъ находимъ почти исключительно морены; отложения наноснаго характера представлены озами и осадками изъ озеръ, запруженныхъ льдами или изъ прежнихъ открытыхъ потоковъ, съ теченіемъ прегражденнымъ остатками материковаго льда.

Ниже морской границы находятся слои песка и глины позднѣйшаго ледниковаго или еще глубже послѣледниковаго моря. Озы ясно очерчены и часто погружены въ глину или окружены ею съ обѣихъ сторонъ. Также и большія конечныя морены, времени второго оледенѣнія, отложенныя въ позднеледниковомъ морѣ, во многихъ случаяхъ оказываются погруженными въ глину.

Южный Шоненъ отличается многими характерными особенностями отъ остальной Швеціи. Известняковыя скалы покрыты под-

донными моренами періода великаго оледенѣнія; надъ ними расположенъ слой межледниковаго песка, а надъ этимъ послѣднимъ верхняя морена балтійскаго ледниковаго періода. Въ углубленіяхъ известняковыхъ горъ, образованныхъ разрушеніемъ и размытыхъ потокомъ, встрѣчаются третичные или доледниковые слои, которые были защищены отъ дѣйствія перваго материковаго льда, и не были имъ обработаны. Поддонная морена имѣетъ тотъ-же составъ что и другіе остатки времени великаго льда и состоитъ главнымъ образомъ изъ обломковъ первозданныхъ породъ; въ верхнихъ же моренахъ находится много крупныхъ обломковъ известняковъ южной области Восточнаго моря. Благодаря присутствію известнякаго матеріала моренъ, южный Шоненъ отличается плодородіемъ. Если-бы эта часть страны не была затоплена балтійскимъ ледянымъ потокомъ ея почва имѣла бы то же строеніе, что и въ мѣстности, лежащей на сѣверъ отъ Ромэле Клинтъ, и цѣлые участки берега не существовали-бы такъ какъ лежали бы ниже поверхности моря.

Въ заключеніе слѣдуетъ упомянуть, что значительная часть сѣверной Германіи состоитъ изъ моренъ. Тамъ также находимъ верхнюю балтійскую и нижнюю скандинавскую морену, и кромѣ того дилювіальные песчаные слои, вымытые глетчерными потоками изъ моренъ. Материки Даніи и Россіи расширились благодаря отложеніямъ скандинавскаго материковаго льда; ледниковые періоды имѣли огромное значеніе на географическое развитіе сѣверной Европы.

Первобытныя горы въ гидрологическомъ отношеніи не имѣютъ особеннаго значенія. Скалистый грунтъ непроницаемъ и только въ его трещинахъ протекають небольшія водяныя струйки. Для большаго потребленія, напр. для городскихъ водоснабженій, первобытныя горы бесполезны. Буровыя скважины въ скалахъ даютъ иногда небольшія количества воды. Особенный интересъ представляютъ буровыя скважины на шхерахъ; ихъ дебетъ объясняется притокомъ подъ морскимъ дномъ со стороны материка. А. Норденшильдъ первый указалъ на гидрологическое значеніе гранитныхъ горъ и объяснялъ его слѣдующимъ образомъ: выше геотермической границы, т. е. на глубинѣ, гдѣ замѣтны перемѣны температуры—около 30 мет. камень прорѣзанъ мелкими вертикальными щелями и подверженъ усиліямъ, которыя между подвижными и неподвижными могутъ массами образовать горизонтальныя щели. На глубинѣ около 30 мет. долженъ находится главный потокъ, образующійся изъ просачивающихся сверху водяныхъ нитей. Теорія Норден-

шильда не нашла многихъ приверженцевъ и послѣдующія наблюденія не доказали особеннаго значенія глубины 30 мет. Однако буренія скаль даютъ возможность снабжать водой малыя поселенія и особенно для населенія шхеръ работы Норденшильда дали цѣнныя результаты.

Хотя осадочныя каменные породы не столь плотны, какъ матеріаль первобытныхъ горъ, но всетаки мало водопроницаемы. Напротивъ трещины въ нихъ представляютъ довольно обычное явленіе, особенно въ известняковыхъ горахъ, гдѣ образуются иногда мощные подземные потоки. Известняковыя горы весьма часто подвергаются химическому воздѣйствію со стороны воды, циркулирующей въ ихъ нѣдрахъ и содержащей углекислоту поглощенную въ верхнихъ слояхъ во время инфильтраціи. Углекислая вода растворяетъ известъ и становится „жесткой“. Трещины постепенно расширяются, превращаются въ туннели и гроты, у которыхъ часто проваливаются перекрытія, образуя на поверхности земли воронкообразныя впадины, называемыя въ Готландѣ „глотками“. Подобныя подземныя ходы встрѣчаются въ мѣловыхъ формаціяхъ Шонена, а также въ большомъ количествѣ въ другихъ странахъ. Въ такъ называемыхъ „карстовыхъ ландшафтахъ“ Далмаціи, Военной границѣ и другихъ австрійскихъ провинціяхъ подпочва столь изборождена ходами, что большія области остаются необитаемы. Иногда большія рѣки входятъ подъ земную поверхность и появляются опять наружу на значительномъ разстояніи отъ мѣста входа. Грунтовые потоки изъ известняковъ обладаютъ часто большими расходами, хотя качества ихъ воды не особенно удовлетворительны вслѣдствіе значительнаго содержанія извести и плохой фильтраціи. Копенгагенъ снабжается грунтовой водой изъ известняковыхъ горъ, въ Мальмѣ существуетъ цѣлый рядъ колодцевъ съ хорошимъ дебетомъ и изысканія въ Истадѣ и Висби дали удовлетворительные результаты.

Песчанникъ въ окрестностяхъ Кальмара водопроницаемъ и у подножія Виллингена выступаютъ ключи, питающіе городъ Скэфде.

Изъ осадочныхъ пластовъ глина совсѣмъ непроницаема, щебень моренъ крайне мало водопроницаемъ. Подножныя морены имѣютъ плотное строеніе, боковыя морены (поверхностныя) состоятъ изъ промытаго пористаго матеріала. Отдѣльныя водяныя струйки можно наблюдать весьма часто, но дѣйствительные подземные потоки образуются лишь въ тѣхъ моренообразныхъ валахъ изъ гравія, которые были отложены въ морѣ въ періодъ позднѣйшаго ледниковаго опусканія почвы.

Водносные песчаные пласты находятся главнымъ образомъ въ доледниковыхъ, межледниковыхъ и позднеледниковыхъ отложеніяхъ

Эти формациі весьма цѣнны въ гидрологическомъ отношеніи, особенно цѣнны озы, изъ которыхъ съ успѣхомъ получается вода для снабженія цѣлыхъ городовъ, о чемъ мы будемъ имѣть случай говорить еще дальше.

Въ общемъ гидрологическія условія Швеціи довольно посредственны. Пласты почвы состоятъ главнымъ образомъ изъ первобытныхъ породъ, моренъ и глины. Большія площади водоносныхъ песковъ встрѣчаются рѣдко; озы попадаются довольно часто, но многократно пересекаются открытыми рѣками и не обладаютъ непрерывностью на большомъ протяженіи, что является необходимымъ условіемъ возникновенія болѣе мощныхъ подземныхъ потоковъ. Силурийскія известковыя напластованія большей частью разрушены и водоносные известковые мѣловые слои остались только въ Южномъ Шоненѣ. Въ Швеціи нѣтъ такихъ грунтовыхъ потоковъ какъ въ остальной Европѣ, гдѣ они питаютъ города съ миллионнымъ населеніемъ. Что всетаки многіе шведскіе города получаютъ подземную воду въ достаточномъ количествѣ объясняется сравнительно малымъ ихъ населеніемъ. Практическіе примѣры, приведенные въ III части, даютъ представленіе о трудностяхъ каковыя приходится преодолевать шведскому гидрологу и которыя заставляютъ его прибѣгать къ искусственному повышенію производительности грунтовыхъ потоковъ.

Часть III.

Нѣкоторыя гидрологическія изслѣдованія, выполненныя въ Швеціи.

Въ этой главѣ мы опишемъ нѣкоторыя гидрологическія изслѣдованія, произведенныя въ Швеціи, и попутно выяснимъ вопросъ о возрастѣ и строеніи водоносныхъ слоевъ.

Готенбургъ.

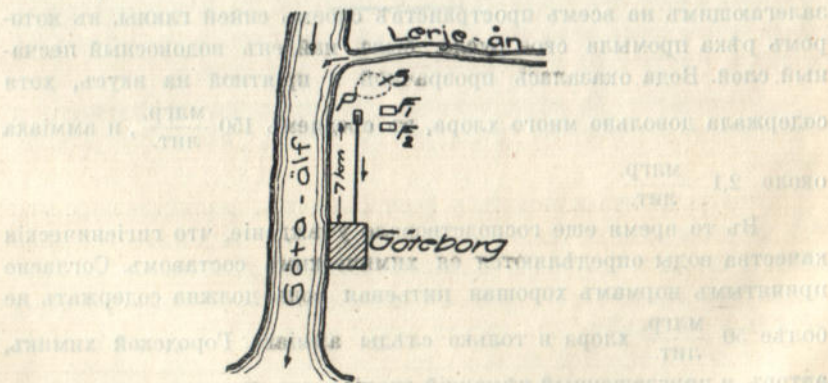
Въ 1893 году Готенбургъ имѣлъ два водопровода. Первый, устроенный въ 1871 г., подавалъ подъ естественнымъ напоромъ воду, изъ озера Дельсенъ въ количествѣ 3.65 милліона куб. метровъ въ годъ, что соотвѣтствуетъ среднему суточному расходу въ 10.000 куб. метровъ и максимальному суточному въ 14.000 куб. мет. Въ 1893 г. была закончена постройка новаго водопровода съ насосной станціей у Гэтаэльфа на 7 км. выше города. Для очистки воды было сооружено два фильтра, каждый на 2600 куб. мет. суточного расхода.

Еще до постройки этихъ фильтровъ въ 1889 до 1890 г. были произведены гидрологическія изысканія въ долину Гэтаэльфа. Подъ залегающимъ на всемъ пространствѣ слоемъ синей глины, въ которомъ рѣка промыла свое русло, былъ найденъ водоносный песчаный слой. Вода оказалась прозрачной и пріятной на вкусъ, хотя содержала довольно много хлора, въ среднемъ $150 \frac{\text{млгр.}}{\text{лит.}}$, и амміака около $2,1 \frac{\text{млгр.}}{\text{лит.}}$.

Въ то время еще господствовало убѣжденіе, что гигиеническія качества воды опредѣляются ея химическимъ составомъ. Согласно принятымъ нормамъ хорошая питьевая вода должна содержать не болѣе $50 \frac{\text{млгр.}}{\text{лит.}}$ хлора и только слѣды амміака. Городской химикъ, авторъ и приглашенный нѣмецкій специалистъ признали единогласно воду непригодной.

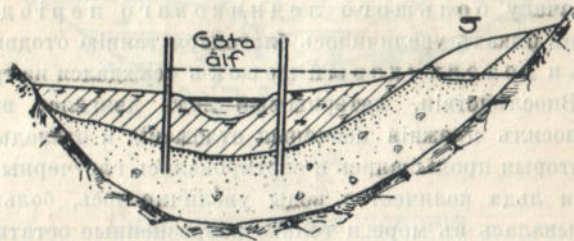
Но съ теченіемъ времени взгляды измѣнились и въ началѣ девяностыхъ годовъ пришли къ убѣжденію, что нельзя основывать сужденіе о поверхностной и грунтовой водѣ на однихъ и тѣхъ-же положеніяхъ. Высокое содержаніе хлора въ водѣ открытаго водоема дѣлаетъ ее подозрительной, указывая на загрязненіе фекальнаго характера; это заключеніе не можетъ быть примѣнимо къ грунтовому потоку, глубоко протекающему подъ поверхностью земли, ибо въ данномъ случаѣ присутствіе хлора должно приписать слѣдамъ соляныхъ отложений изъ давно исчезнувшаго моря. Амміакъ въ поверхностной водѣ является результатомъ примѣси урины, но въ водѣ, протекающей подъ защищающимъ слоемъ глины, представляетъ изъ себя продуктъ безвредныхъ химическихъ процессовъ. Въ 1892 г. проф. Лангъ одобрилъ артезіанскую воду въ окрестностяхъ Мальмэ, хотя она содержала $148 \frac{\text{млгр.}}{\text{лит.}}$ хлора и $0.8 \frac{\text{млгр.}}{\text{лит.}}$ амміака и рекомендовалъ ее для новаго водопровода въ Мальмэ. Проф. Альмквистъ въ 1893 г. призналъ грунтовую воду въ Арбога „весьма подходящей“ для водоснабженія, хотя содержаніе хлора въ ней достигало 105 и амміака $1,7 \frac{\text{млгр.}}{\text{лит.}}$; позднѣе нѣмецкіе авторы-теты нашли хорошей артезіанскую воду изъ глубокихъ колодцевъ возлѣ Бремена при содержаніи амміака въ $15 \frac{\text{млгр.}}{\text{лит.}}$

Вслѣдствіе такой переменны возрѣвній въ 1895—1896 году въ Готенбургѣ были произведены новыя гидрологическія изысканія. На чер. 60 имѣемъ планъ мѣстности между городомъ и водоподъемной станціей Гэтаэльфъ.

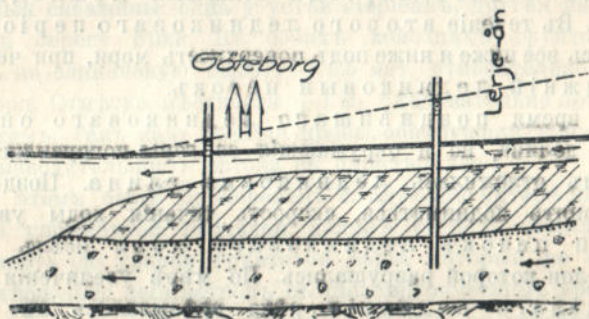


Чер. 60.

Чер. 61 и 62 представляют схематический поперечный и продольный разрез долины Гетаэльфа. Глина сѣровато-синяго цвѣта, тощая и непластичнаго строенія. Крушно-зернистый песокъ частью перемежанъ съ гравіемъ. Въ песчаной котловинѣ, изображенной въ разрезѣ на чер. 61, дно состоитъ изъ песка, а верхніе слои имѣють характеръ моренъ.



Чер. 61. Поперечный разрезъ.



Чер. 62. Продольный разрезъ.

Постараемся дальѣ разобраться въ геологическомъ образованіи долины Гетаэльфа.

Геологическія условія.

Скалистый грунтъ, въ которомъ вода промыла долину, преимущественно состоитъ изъ гнейса и принадлежитъ къ первозданнымъ формациямъ.

Во время алгонскаго, кэмбрійскаго и силлурійскаго періодовъ первобытныя горы покрылись осадочными отложеніями, которыя были уничтожены влѣдствіе вывѣтриванія и размыванія въ теченіе послѣдующихъ періодовъ, когда страна

возвышалась надъ уровнемъ моря. Въ теченіе третичнаго періода современная намъ долина была выдолблена въ горныхъ первобытныхъ массивахъ. Ея дно лежало выше уровня моря и было вѣроятно заполнено пескомъ и щебнемъ рѣчного происхожденія. Поверхностная вода отводилась рѣкой, подземная же потокомъ со свободной поверхностью. Какъ рѣка такъ и потокъ изливались въ море.

Къ началу большого ледниковаго періода количество воды въ рѣкахъ увеличилось благодаря таянію отодвигающихся глетчеровъ и до ледниковый песокъ осаждался на третичныхъ пескахъ. Впослѣдствіи, материковый ледъ двигался впередъ по долинѣ, сносилъ прежнія песчаная отложенія и откладывалъ свои морены, которыя промывались и сортировались глетчерными водами. При таяніи льда количество воды увеличивалось, большая часть моренъ смывалась въ море и только разрозненные остатки сохранились подъ защитой выступающихъ скалистыхъ стѣнъ. Во время межледниковаго періода отлагался межледниковый песокъ. Въ теченіе второго ледниковаго періода долина опускалась все ниже и ниже подъ поверхность моря, при чемъ образовался нижній ледниковый песокъ.

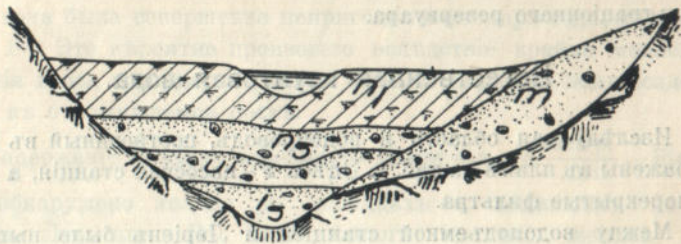
Во время позднѣйшаго ледниковаго опусканія не только долина, но и окружающія ее горы погрузились въ море; при этомъ отложилась ледниковая глина. Позднѣе почва начала опять подниматься, скорость теченія воды увеличилась, верхній песокъ ледниковаго моря осѣлъ на глинѣ, верхніе слои которой разрушались. По мѣрѣ увеличенія позднеледниковаго поднятія рѣка врѣзывалась въ почву все глубже и глубже. Наконецъ, какъ ледниковая глина такъ и верхній ледниковый песокъ были совершенно размыты и русло рѣки достигло нижнихъ ледниковыхъ песковъ. Во время послѣдствіи ледниковаго опусканія раньше отложился сѣвероозерный песокъ и затѣмъ сѣвероозерная глина.

Во время послѣдствіи ледниковаго поднятія снова образовался сѣвероозерный песокъ, остатки коего еще кое гдѣ сохранились. Рѣка врѣзывалась все глубже въ пластъ сѣвероозерной глины, которая служила ей русломъ.

Окончательнымъ результатомъ дѣйствія этихъ геологическихъ силъ, (чер. 63), является мощный слой сѣвероозерной глины (n_1) наполняющій долину на 30—40 метровъ глубины¹⁾. Песчаная мульдона

¹⁾ ниже, ближе устья, гдѣ глина обладаетъ мощностью свыше 100 мет., глубже лежащіе слои состоятъ изъ ледниковой глины.

видная масса на чер. 61 представляет из себя старую морену (m) и подъ глиной чередуются сѣвероозерный песокъ (n_s), нижній ледниковый песокъ (n_l) и межледниковый песокъ (i_s).



Чер. 63.

Гидрологическія условія.

При первыхъ изслѣдованіяхъ (1889 до 1890) были исполнены двѣ буровыя скважины: одна у устья Леріеанъ, другая на противоположномъ берегу рѣки. Въ обоихъ колодцахъ грунтовая вода поднялась на одинаковую высоту $+5.5$ мет. относительно средняго уровня моря. Отмѣтка мѣстности $+1$ м., слѣдовательно потокъ былъ артезіанскимъ. Такъ какъ взятые пробы обнаружили непригодность воды, производительность потока не опредѣлялась.

При этомъ былъ произведенъ слѣдующій интересный опытъ. Въ ранѣ упомянутой песчаной долинь (чер. 61) была сдѣлана выемка вплоть до уровня грунтовой воды, который не совпадалъ всего на нѣсколько дециметровъ съ пьезометрическимъ уровнемъ въ колодцахъ. При откачкѣ изъ колодцевъ уровень въ песчаной выемкѣ тоже понижался, что и доказываетъ на сообщеніе между песчанымъ резервуаромъ и водоноснымъ пластомъ, перекрытымъ глиной.

Позднѣйшія изслѣдованія (1895 до 1896) были направлены къ выясненію свойствъ грунтового потока въ качественномъ и количественномъ отношеніи. Съ самаго начала была очевидна невозможность полученія сколь-нибудь значительныхъ количествъ воды. Долина Гѣтаальфъ состоитъ главнымъ образомъ изъ скалъ и глины, съ которыхъ почти всѣ атмосферные осадки стекаютъ къ рѣкѣ, а собственно инфильтраціонная площадь ограничена лишь нѣсколькими холмами моренъ, выступающими надъ поверхностью глины и имѣющими тотъ-же характеръ, что и песчаная Леріехольмская долина.

Но также съ самаго начала было ясно, что естественный запасъ воды можетъ быть увеличенъ искусственнымъ образомъ при помощи инфильтраціи воды изъ Гѣтаальфа.

Поэтому изысканія преслѣдовали двѣ цѣли:

1. Опредѣленіе количества и свойствъ естественной грунтовой воды.
2. Опредѣленіе пригодности песчаной долины въ качествѣ инфильтраціоннаго резервуара.

Естественная грунтовая вода.

Исслѣдуемая область и водопроводъ, построенный въ 1893 г., изображены въ планѣ на таб. 1. Здѣсь P — насосная станція, а F_1 и F_2 два перекрытые фильтра.

Между водоподъемной станціей и Леріенъ было выполнено 54 буровыхъ скважины діаметромъ 50 мм. каждая; работа велась съ промывкой. Какъ видно изъ разрѣза (таб. 2) черезъ колодезь a между песчаной долиной и рѣчкой мощность пластовъ глины и песка весьма различна. Верхній изолированный слой, вѣроятно, состоитъ изъ верхняго сѣвероозернаго песка, отложившагося во время послѣледниковаго повышенія почвы. Геологическое строеніе глины и нижнихъ песчаныхъ слоевъ объяснено выше.

Изъ колодца b , расположеннаго на берегу рѣчки, съ 28 ноября 1895 до 4 іюня 1896 г. вода подѣ естественнымъ напоромъ свободно изливалась на поверхность земли. Въ началѣ января дебетъ воды понизился до $8,6 \frac{\text{лит.}}{\text{сек.}}$ и сохранялся въ этомъ размѣрѣ въ теченіе 5 мѣсяцевъ. Уровень воды въ развѣдочномъ колодцѣ c вначалѣ, пока вода изъ колодца b не выпускалась, стоялъ на отмѣткѣ $+5,1$ м., а съ января до іюня на отмѣткѣ $+3,6$ м. Слѣдовательно восходимость артезианскаго потока въ колодцѣ понизилась на 1,5 метра при расходѣ $8,6 \frac{\text{лит.}}{\text{сек.}}$. При подстановкѣ этихъ величинъ въ уравненіе (23) получимъ:

$$8,6 = c \cdot 1,5,$$

откуда

$$c = 5,7.$$

Удѣльная производительность потока въ поперечномъ сѣченіи, проведенномъ черезъ c , была равна, слѣдовательно, 5,7 или, округляя, $5 \frac{\text{лит.}}{\text{сек.}}$. Отсюда, пользуясь уравненіемъ (24), можно было опредѣлить полную производительность, именно:

$$Q = 5 \times 5,1,$$

т. е. приблизительно 25 лит. въ секунду.

Содержаніе хлора опредѣлялось во всѣхъ колодцахъ и было найдено между 50 и 400 $\frac{\text{млгр.}}{\text{лит.}}$. Исключеніе представляетъ колодезь *d*, ближайшій къ водокачкѣ, гдѣ песокъ былъ весьма мелкозернистымъ. Здѣсь вода была совершенно непригодна благодаря содержанію соли свыше 1%. Это вѣроятно произошло вслѣдствіе крайне медленнаго движенія воды, которая не успѣла вымыть морскую воду, содержащуюся въ отложившемся пескѣ.

Содержаніе амміака колебалось между 0,5 и 5 $\frac{\text{млгр.}}{\text{лит.}}$. Желѣзо было обнаружено только въ колодцахъ *e*, лежащихъ по обѣ стороны Лерьеана. Въ водѣ одного чистаго желѣза было 2 $\frac{\text{млгр.}}{\text{лит.}}$, а второго 0,5 $\frac{\text{млгр.}}{\text{лит.}}$. Вода имѣла ясно выраженный желѣзистый вкусъ и запахъ и при истеченіи выдѣляла ржавчину. Остальные колодцы не содержали желѣза и давали прозрачную воду пріятнаго вкуса.

Въ заключеніе слѣдуетъ упомянуть, что при бактериологическомъ изслѣдованіи вода оказалась вполне стерильной и что она имѣла температуру $+ 9^{\circ} \text{C}$, и, наконецъ, что во многихъ колодцахъ обладала ясно ощущаемымъ запахомъ сѣроводорода.

Какъ видно результаты приведенныхъ изысканій нельзя назвать благоприятными; въ самомъ дѣлѣ, въ одной изъ самыхъ большихъ долинъ Швеціи подземный потокъ даетъ всего 25 $\frac{\text{лит.}}{\text{сек.}}$ и его вода содержитъ около 400 $\frac{\text{млгр.}}{\text{лит.}}$ хлора и 5 $\frac{\text{млгр.}}{\text{лит.}}$ амміака. Приблизительная площадь поперечнаго сѣченія потока равна 20.000 кв. мт., при чемъ площадь свободныхъ промежутковъ между песчинками, черезъ которыя проходитъ вода, составляетъ около 20% всей площади, т. е. равна 4000 кв. мт. Дѣйствительная скоростъ потока не превосходитъ 0,5 мет. въ 24 часа, такъ что для прохожденія частицею воды 1 кл. м. требуется $5\frac{1}{2}$ дѣтъ.

Инфильтрація въ песчаномъ резервуарѣ началась 5 іюня 1896 г. и продолжалась непрерывно въ теченіе двухъ мѣсяцевъ. Вода притекала подѣ дѣйствиемъ собственнаго вѣса изъ пруда, устроеннаго на Лерьеанѣ (табл. 1). Въ первые дни, когда уровень грунтовой воды стоялъ ниже дна песчанаго резервуара, просачивалось около 14.500 куб. мет. въ сутки. Когда-же уровень воды сравнялся съ самой низкой отмѣткою окружающей мѣстности ($+ 7$), грунтъ могъ воспринимать лишь 1360 куб. мет. въ сутки.

Часть этого количества проходила через артезианскій колодезь, а другая въ естественномъ направленіи потока. При установившемся движеніи колодезь давалъ постоянное количество воды $19,1 \frac{\text{лит.}}{\text{сек.}}$ вмѣсто $8,6 \frac{\text{лит.}}{\text{сек.}}$, бывшаго въ первый періодъ изысканій, и уровень воды въ развѣдочномъ колодцѣ с установился на отмѣткѣ $+4,3$ мет., т. е. на $0,7$ мет. выше.

Расходъ воды изъ колодца увеличился на $10,5 \frac{\text{лит.}}{\text{сек.}}$ и расходъ потока на $0,7 \times 5,7 = 4,0 \frac{\text{лит.}}{\text{сек.}}$ или въ общемъ на 1250 куб. мет. въ 24 часа, т. е. всего на 8% меньше инфильтруемаго количества, что является вполне удовлетворительнымъ совпаденіемъ. При инфильтраціи 1360 куб. мет. вода распространялась по площади въ 65 кв. мет. Скорость инфильтраціи была слѣдовательно равна $\frac{1360}{65} = 20$ мет. въ сутки.

Уровень воды въ трубчатомъ колодцѣ установился на отмѣткѣ $+6,5$ мет. или на $0,5$ метра ниже уровня воды надъ пескомъ. Скорости инфильтраціи 1 метръ въ сутки соответствуетъ поэтому высота напора $\frac{0,5}{20} = 0,025$ мет.

Въ концѣ періода инфильтраціи вода имѣла слѣдующія температуры: въ песчаномъ резервуарѣ $+22,5^{\circ} C.$
въ трубчатомъ колодцѣ, возлѣ песчанаго резервуара . . . $+15,5^{\circ} C.$
въ трубчатомъ колодцѣ, удаленномъ на 150 мет. отъ песчанаго резервуара $+14,5^{\circ} C.$
Постоянное количество воды [1360 куб. мет. въ 24 часа], инфильтруемое въ песчаномъ резервуарѣ, расходилось въ подпочвѣ по всѣмъ направленіямъ и поэтому не было возможности точно опредѣлить зависимости между скоростью потока и уклономъ его поверхности. Окончательно было признано цѣлесообразнымъ при устройствѣ настоящаго водоснабженія расположить колодцы на расстояніи 200 метровъ отъ песчанаго резервуара, что въ отношеніи глубины песчанаго слоя (таб. 2) достаточно для улучшенія нефилътрированной воды. Важнѣйшимъ результатомъ этихъ изысканій въ началѣ инфильтраціи было констатированіе возможности фильтровать большія массы воды при маломъ сопротивленіи.

„Фабрика грунтовой воды“

была сооружена въ 1897 и 1898 году. Общее расположеніе показано на таб. 3.

Инфильтрационные резервуары I_1 и I_2 обладают общей песчаной площадью в 5600 кв. мт. Вода из Гетаэльфа подается по тому же проводу L_1 , который питает старые фильтры F_1 и F_2 . Наибольшая высота уровня в последних двух резервуарах в среднем равна +7, а в первых +6.5. т. е. меньше на 0.5 мет. вследствие потери напора в трубопровод. Дно инфильтрационных резервуаров лежит на отметке + 5,5 мет. и на глубину 0.5 мет., состоит из мелкого песка. Колодцы B_1 (в числе двадцати*) присоединены к сборному гравитационному проводу L_2 , через который вода притекает к колодцу насосной станции P_1 . Путем аэрации вода освобождается от сероводорода и смешивается с водой из F_1 и F_2 .

В первые годы два колодца давали желвзистую воду, которая поэтому отводилась в сторону по гончарному трубопроводу, проложенному вдоль сборной линии. Содержание желваза уменьшалось с каждым годом и в настоящее время оба колодца присоединены к сборному трубопроводу.

Колодцы дают постоянное количество воды 6000 куб. мет. в сутки (70 $\frac{\text{лит.}}{\text{сек.}}$). Уровень воды в пробном колодце между резервуарами стоит в среднем на отметке +6, уровень воды между колодцами на отметке +4, в колодцах на отметке +2 и в насосном колодце на +1.

Во время чистки одного резервуара другой работает при пониженном уровне. Вода протекает от резервуара до колодцев в течение трех месяцев что соответствует скорости 2,2 мет. в сутки. Нижеслдующая таблица дает качественные результаты:

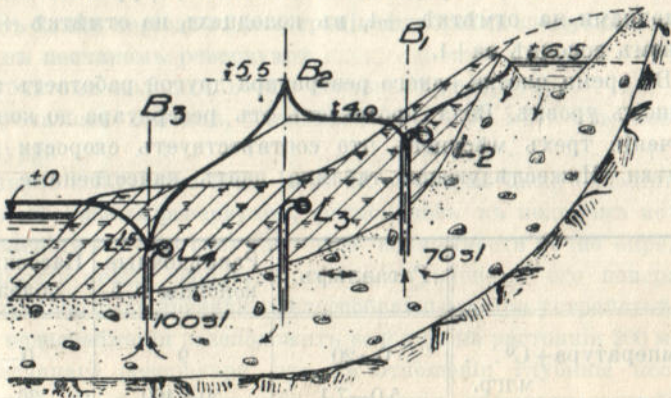
	Гетаэльф.	Развѣдочные колодцы а, в.	Насосный колодезь P_1 .
Температура + С° . .	0—20	9	0—11
Cl $\frac{\text{млгр.}}{\text{лит.}}$	5,0—7,1	50—400	36—45
NH ₃ " . . .	0	0,5—5	0—0,3
Fe " . . .	0,1—0,3	0.1—2	0,1—0,2
Бактерій на куб. см.	500—8000	0	0

*) Впоследствии некоторые колодцы были выключены и заменены одним большим колодцем.

Вода хрустально прозрачна и обладает освежающим приятным вкусом; она лучше во всех отношеніях, чѣмъ очищенная фильтрами F_1 и F_2 рѣчная вода, при чемъ бросается въ глаза постепенное исчезновеніе желѣза въ нѣкоторыхъ колодцахъ, что нужно принести къ улучшенію свойствъ естественной грунтовой воды, благодаря инфильтраціи.

Въ виду такихъ благоприятныхъ результатовъ городъ рѣшилъ расширить „фабрику“ до 8600 кв. мт. ($100 \frac{\text{лит.}}{\text{сек.}}$). Такъ какъ старые инфильтраціонные резервуары занимаютъ площадь песчаной впадины, то для новыхъ нѣтъ мѣста, а поэтому авторъ разработалъ проектъ двухъ фильтровъ F_3 и F_4 и 80 инфильтраціонныхъ колодцевъ B_2 (таб. 3). Первые лежатъ вблизи старыхъ резервуаровъ F_1 и F_2 и будутъ питаться рѣчной водой изъ упомянутой линіи L_1 ; фильтрованная вода будетъ притекать по гравитаціонному трубопроводу L_3 къ колодцамъ B_2 , отсюда просачиваться въ грунтъ, достигая колодцевъ B_3 и протекать оттуда по линіи L_4 къ насосному колодцу P_2 .

Послѣ окончанія этого сооруженія, начатаго въ 1909 г. условія грунтоваго потока опредѣлятся приблизительно картиной, представленной на чер. 64.



Чер. 64.

Мальмэ.

Въ 1888 году Канд. филос. I. Гёнссонъ предпринялъ рядъ глубокихъ буреній въ окрестностяхъ Мальмэ и попутно собралъ свѣдѣнія о многихъ колодцахъ, устроенныхъ въ промышленныхъ учрежденіяхъ и крестьянскихъ усадьбахъ. Рыхлые осадочные пласты

состояли изъ морень, песковъ и глины различной толщины и свойствъ. Известковый пластъ, лежащій вблизи города приблизительно на уровнѣ моря, прорѣзанъ глубокой ложбиной, шириною вѣ нѣсколько километровъ, направляющейся съ юго-востока на сѣверо-западъ, какъ изображено на таб. 4, составленной Іэнессономъ. Въ большинствѣ колодцевъ вода обладала восходимостью, т. е. принадлежала артезианскому потоку. Въ 1890 году авторъ получилъ предложеніе произвести подъ руководствомъ извѣстнаго гидролога А. Тима окончательныя изслѣдованія, которыя привели къ нижеслѣдующимъ результатамъ.

Геологическія условія.

Первыя буренія были произведены при Бультофта (таб. 4) вблизи старой водоподъемной станціи, подававшей фильтрованную воду изъ Зегеана и Бультоффабаха. Пять колодцевъ были доведены до известняка, залегающаго на 15 мет. ниже поверхности земли. Первый колодезь прошелъ только гравій морень и глину морень, въ другихъ были обнаружены лежащіе между ними песчаные слои. Въ пяти колодцахъ при Арлефѣ, болѣе глубокихъ, чѣмъ предыдущіе, встрѣчались только матеріалъ морень. Всѣ колодцы давали воду изъ известняковъ, но только въ очень незначительномъ количествѣ. Наконецъ при Аккарпѣ было выбурено девять глубокихъ колодцевъ, обладающихъ большою производительностью. Строепіе почвы показано на таб. 5. Сверху расположена поддонная морена, толщиной въ 10—20 метровъ, прорѣзанная въ разныхъ мѣстахъ прослойками песка и глины. Далѣе слѣдуютъ чередующіеся пласты чистаго песка и бурой пластичной глины съ примѣсью мореннаго гравія; еще далѣе—легкій песокъ пластомъ большой мощностью и наконецъ тонкій слой крупнаго песка или гравія, лежащій на известнякѣ. Въ буровомъ илѣ было найдено много кусковъ бураго угля и янтаря; самый нижній слой—гравій состоялъ большей частью изъ обломковъ кремней. Характерно то, что только нижележащіе песчаные слои оказались равномѣрно-расположенными въ отдѣльныхъ колодцахъ. Всѣ вышележащіе слои глины и песка расположены весьма неправильно, какъ по глубинѣ залеганія такъ и по толщинѣ. На таб. 6 имѣемъ общій профиль черезъ колодцы при Бультофта, Арлефѣ и Аккарпѣ; схематическій поперечный разрѣзъ черезъ подземную долину отъ *x* до *y* изображенъ на таб. 4.

Постараемся теперь на основаніи этихъ изысканій составить себѣ представленіе о геологическомъ образованіи почвы. Известко-

вый слой почвы образовался во время мѣлового періода и поднялся надъ уровнемъ моря въ третичномъ періодѣ. Зундъ и Балтъ тогда еще не существовали и мощный потокъ, протекающій черезъ современное намъ Балтійское море, при продолжающемся поднятіи почвы, долженъ былъ все больше и больше углублять свои устья въ море. Одинъ изъ рукавовъ черезъ сѣверную Германію изливалъ свои воды въ морской заливъ; но въ то-же время трещины, прорѣзывающія Шоненъ, были столь уширены размываніемъ, что превратились въ широкую рѣчную долину, начинающуюся у Иштада и простирающуюся въ сѣверо-восточномъ направленіи до Акарпа. Эта третичная размытая долина показана въ планѣ на таблицѣ 4 и въ разрѣзѣ на таблицѣ 6. Здѣсь протекала многоводная рѣка, на днѣ коей отлагался крупно-зернистый гравій, встрѣчающійся теперь въ колодцахъ у Акарпа.

Во время этого періода, какъ и во время четвертичнаго чередовались опусканія и повышенія известковой почвы Шонена. Послѣ осажденія гравія наступило пониженіе, глубина въ руслѣ увеличивалась, скорость теченія уменьшалась и отлагались песокъ и глина. Слѣдующее за симъ новышеніе охватывало главнымъ образомъ область на сѣверъ отъ Ромеле Клинтъ, горная цѣпь коего представляетъ необычайно ярко выраженную линію излома. Южная часть Шонена остается на болѣе низкомъ уровнѣ, поэтому третичные пласты ложбины Шонена не подвергались сильному размыву и остались мало затронутыми. Само собой очевидно, что всѣ предположенія, касающіяся мало извѣстныхъ древнихъ формаций, нельзя считать абсолютно вѣрными.

Наступилъ ледниковый періодъ, въ теченіе котораго мѣстность на сѣверъ отъ Ромеле Клинтъ лежала значительно выше, чѣмъ теперь. Материковый ледъ продвигался на югъ, перешелъ черезъ Ромеле-Клинтъ и пересѣкъ долину въ поперечномъ направленіи, при чемъ ея верхніе пласты были снесены и частью замѣщены моренами. Послѣ наступилъ межледниковый періодъ, въ теченіе коего поддонныя морены покрылись межледниковымъ пескомъ. Наконецъ прошелъ балтійскій ледниковый потокъ, который двигался вдоль ложбины и разрылъ ее гораздо сильнѣе, чѣмъ предыдущіе потоки хотя онъ былъ и тоньше послѣднихъ. Межледниковые песчаные слои были снесены вмѣстѣ со старыми поддонными моренами и третичными глинами. Когда, наконецъ, отложилась верхняя морена, она смѣшалась съ прежними старыми осадками, которые передвигались въ видѣ замерзшей массы, отчего и сохранили отчасти свое естественное расположеніе и составъ.

Такимъ образомъ приходится заключить, что балтійскій ледниковый потокъ вѣзался столь глубоко, какъ показано пунктирной линіей на таблицѣ 5, и что лежащія выше этой границы массы песка и глины представляютъ изъ себя обломки третичныхъ и межледниковыхъ слоевъ, подхваченныхъ и опять отложенныхъ ледниками; находящіеся же подъ ними пласты песка и гравія являются нетронутыми третичными образованиями.

Въ заключеніе слѣдуетъ упомянуть о буреніи, исполненномъ въ ломкахъ мѣла у Кварнби въ концѣ изысканій, при помощи котораго было обнаружено, что мѣлъ расположенъ на моренѣ, которая въ свою очередь покоится на обыкновенной известковой горѣ. Эта мѣловая гора является очевидно постороннимъ пришельцемъ, принесеннымъ балтійскимъ ледниковымъ потокомъ отъ мѣловыхъ формаций юго-восточнаго Шонена и является яркимъ доказательствомъ огромной разрушительной силы ледниковъ.

Гидрологическія условія.

Выше было упомянуто, что буреніе у Бультофта и Арлефа дало неудачные результаты. Въ пяти колодцахъ у Бультофта, расположенныхъ на площади треугольника съ основаніемъ въ 300 мет. и высотой 500 мет., пьезометрической уровень установился въ среднемъ на 3 мет. выше уровня моря. При заборѣ изъ какого-либо изъ колодцевъ $3,8 \frac{\text{лит.}}{\text{сек.}}$ уровень въ сосѣднемъ понижался на одинъ метръ. Колодцы у Арлефа дали результаты еще менѣе утѣшительные.

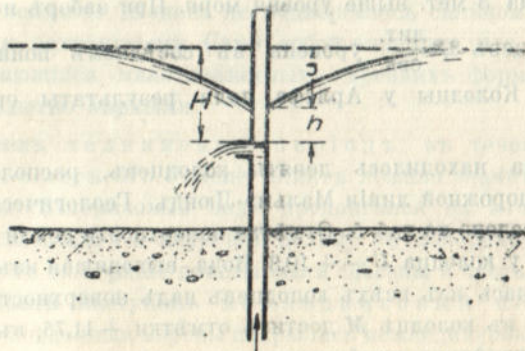
У Акарпа находилось девять колодцевъ, расположенныхъ вдоль желѣзнодорожной линіи Мальмэ-Людъ. Геологическое строеніе почвы приведено на таб. 5. Отмѣтка поверхности земли у колодца *М* равна +5 и у колодца *U* — +10,3. Вода, выходящая изъ крупнаго гравія, изливалась изъ всѣхъ колодцевъ надъ поверхностью земли. Уровень воды въ колодецъ *М* достигъ отмѣтки +11,75, въ *U* +11,68 т. е. въ двухъ крайнихъ приблизительно одной высоты; въ среднемъ для всѣхъ колодцевъ, отмѣтку уровня можно было принять равной +12,1. Слѣдовательно главное направленіе потока было перпендикулярно къ линіи дороги. При *О* произошло размываніе кругомъ колодца почему трубу пришлось вынуть и колодезь засыпать. Колодцы были закрѣплены обыкновенными гальванизированными желѣзными трубами 75 мм. діаметра и имѣли въ среднемъ глубину 76 метровъ.

Въ теченіе промежутка времени съ 7-го ноября до 30 декабря 1891 г. велись постоянныя наблюденія надъ высотой восходимости въ отдѣльныхъ колодцахъ; отъ послѣдняго числа до 16 февраля 1892 брались пробы воды изъ колодцевъ *N*, *P*, *R* и *T*₁, а отъ 17 февраля также изъ *N*, *Q*, *S* и *U*. Отъ 29 мая до 13 іюля опредѣлялись данныя для расчета удѣльной производительности каждаго отдѣльнаго колодца, при чемъ опять наблюдался уровеньъ воды вплоть до 15 октября 1892 года.

На таб. 7 построеныя графикъ колебаній уровня и расходовъ въ колодцахъ *S* и *T*. Верхняя линия изображаетъ колебаніе высоты восходимости, средняя—колебаніе дебетовъ и нижняя—положеніе уровня моря. При этомъ оказалось, что положеніе уровня моря замѣтнаго вліянія на колодцы не имѣло.

Опредѣленіе количества воды, которую можно было получить между *M* и *U*, было основано на нижеслѣдующихъ приблизительныхъ соображеніяхъ.

Если разсматривать отдѣльные колодцы какъ одно цѣлое или какъ колодезь со многими выпускными отверстіями, то для такой совокупности можно примѣнить тѣ-же законы, что и для одного колодца, т. е. что общій расходъ растетъ съ пониженіемъ уровня всей группы колодцевъ. Итакъ, если пнезометрической уровеньъ между *M* и *U* понижается въ среднемъ на *s* метровъ (чер. 65), то количество



Чер. 65.

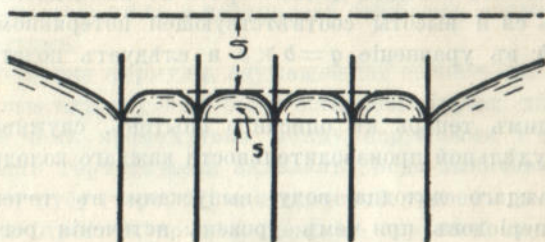
воды, которое должно при этомъ получиться между *M* и *U* равно $Q = s \times c$, гдѣ *c* удѣльная производительность совокупности колодцевъ.

Чѣмъ больше было-бы колодцевъ между *M* и *U*, т. е. чѣмъ больше была-бы площадь истеченія, тѣмъ больше были бы *s* и *Q*. Расходъ каждаго отдѣльнаго колодца растетъ пропорціонально пониженію уровня по сравненію съ горизонтомъ, коимъ обус-

довленъ притокъ въ колодезь (чер. 66) и можетъ быть опредѣленъ по уравненію

$$q = b \times s,$$

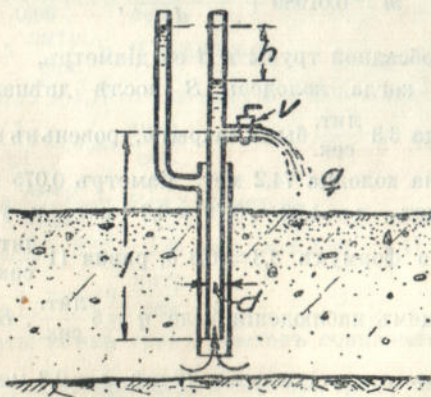
гдѣ b удѣльная производительность колодца.



Чер. 66.

Уровень воды внѣ колодца непосредственно около него лежитъ на h мет. выше уровня въ колодцѣ; h метр. представляютъ поэтому потерю напора при движеніи воды по трубѣ.

Уровень воды внутри обсадной трубы можно регулировать посредствомъ вентиля v на отводящей трубѣ. При совершенно открытомъ вентилѣ уровень устанавливается лишь на столько выше отверстия чтобы получилась нужная скорость истечения. Если вентиль частью прикрыть, (чер. 67), то расходъ уменьшается и уровень



Чер. 67.

воды въ трубѣ устанавливается выше; если-же его совсѣмъ закрыть то вода подыметься до уровня воды въ предѣлахъ комплекса колод-

цевъ, т. е. до уровня, лежащаго на S метровъ (чер. 66) ниже первоначальнаго пьезометрическаго уровня.

Если расходъ воды изъ колодца, дававшаго продолжительное время постоянное количество воды q быстро прекращенъ, то уровень въ немъ поднимается на $H = h + s$ мет. Для опредѣленія удѣльной производительности колодца, должно брать не наблюдаемую высоту H , а разность ея и высоты соответствующей потерянному напору; т. е. $s = H - h$; въ уравненіе $q = b \times s$ и слѣдуетъ подставить эту величину.

Переходимъ теперь къ описанію опытовъ, служившихъ для опредѣленія удѣльной производительности каждаго колодца

Изъ каждаго колодца воду выпускали въ теченіе трехъ отдѣльныхъ періодовъ, при чемъ уровень истечения регулировали вентилямъ v . Когда q становилось постояннымъ вентиль закрывали и наблюдали черезъ нѣсколько часовъ уровень, когда онъ переставалъ повышаться. Наблюдаемую высоту H уменьшали на величину h , опредѣляемую по извѣстной формулѣ:

$$h = (1 + u + m \frac{l}{d}) \frac{v^2}{2g},$$

гдѣ u коэффициентъ, выражающій потерю на ударъ при входѣ воды въ колодезь, принятый равнымъ 0,5, m есть коэффициентъ тренія при движеніи воды черезъ колодезь, рассчитанный по формулѣ Дарси

$$m = 0.01989 + \frac{0.0005078}{d},$$

при чемъ l длина обсадной трубы и d ея діаметръ.

Такъ напр., когда колодезь S послѣ двѣнадцатичасоваго постояннаго расхода $3,3 \frac{\text{лит.}}{\text{сек.}}$ былъ закрытъ, уровень въ немъ поднялся на 1,09 мет. Глубина колодца 74,2 мет. діаметръ 0,075 мет. Согласно расчету $h = 0,79$ мет., $s = 1,09 - 0,79 = 0,3$ мет. и удѣльная производительность по формулѣ $3,3 = 0,3 b$, равна $11 \frac{\text{лит.}}{\text{сек.}}$.

При слѣдующемъ наблюденіи было: $q = 5 \frac{\text{лит.}}{\text{сек.}}$, $H = 2,09$ мет. и $h = 1,79$; какъ и въ предыдущемъ случаѣ $s = 0,3$ мет. и $b = \frac{5}{0,3} = 16,7 \frac{\text{лит.}}{\text{сек.}}$.

Сравнивая результаты двухъ опытовъ, легко обнаружить противорѣчіе положенію, что производительность артизианскаго колодца

растетъ пропорціонально пониженію уровня. При третьемъ опытѣ оказалось: $q = 6 \frac{\text{лит.}}{\text{сек.}}$, $H = 2,58$ мет., $h = 2,57$ мет., $s = 0,01$ мет. и $b = \frac{6}{0,01} = 600 \frac{\text{лит.}}{\text{сек.}}$.

Отсюда слѣдуетъ, что расчетъ далъ слишкомъ большія значенія для h и что вслѣдствіе этого s получилось слишкомъ малымъ и b чрезвычайно большимъ.

Для повѣрки формулы, служащей для вычисленія h , во всѣ колодцы на всю ихъ глубину были вставлены трубы, діаметромъ въ 38 мм., при чемъ промежутокъ между наружными и внутренними трубами былъ герметически задѣланъ. Вода выкачивалась черезъ внутреннюю трубу (черт. 67), а статическій уровень въ колодцѣ наблюдался въ отросткѣ, придѣланномъ къ наружной трубѣ. Разность уровня h въ двухъ трубахъ есть высота вредныхъ потерь при теченіи по внутренней трубѣ.

Изъ сравненія значеній h , рассчитанныхъ по формулѣ Дарси со средними значеніями, полученными изъ 20 опытовъ, оказалось, что дѣйствительное значеніе h на 55% менѣе расчетнаго.

Цифры, полученные для колодца S можно исправить слѣдующимъ образомъ:

Для $q = 3,3 \frac{\text{литр.}}{\text{сек.}}$ и $H = 1,09$ метр.

$$h = 0,55 \times 0,79 = 0,43 \text{ метр.}, s = 1,09 - 0,43 = 0,66 \text{ метр.}$$

$$b = \frac{3,3}{0,66} = 5 \frac{\text{литр.}}{\text{сек.}}$$

Для $q = 5 \frac{\text{литр.}}{\text{сек.}}$ и $H = 2,09$ мет.

$$h = 0,55 \times 1,79 = 0,99 \text{ мет.}, s = 2,09 - 0,99 = 1,1 \text{ мет.}$$

$$b = \frac{5}{1,1} = 4,55 \frac{\text{литр.}}{\text{сек.}}$$

Для $q = 6 \frac{\text{литр.}}{\text{сек.}}$ и $H = 2,58$ мет.

$$h = 0,55 \times 2,57 = 1,41 \text{ мет.}, s = 2,58 - 1,41 = 1,17 \text{ мет.}$$

$$b = \frac{6}{1,17} = 5,13 \frac{\text{литр.}}{\text{сек.}}$$

Результаты всѣхъ трехъ опытовъ совпадали довольно близко, для b принято среднее арифметическое изъ трехъ значеній, т. е. $4,9 \frac{\text{лит.}}{\text{сек.}}$

Подобнымъ образомъ были найдены удѣльные производительности всѣхъ остальныхъ колодцевъ, среднее значеніе b для всей группы колодцевъ оказалось равнымъ $2,7 \frac{\text{лит.}}{\text{мет.}}$

Въ теченіе послѣдняго мѣсяца періода времени съ 13 декабря 1891 г. до 16 февраля 1892 г. колодцы *M, P, R* и *T*, давали постоянное общее количество воды $16.7 \frac{\text{лит.}}{\text{сек.}}$. Уровень въ остальныхъ колодцахъ понизился на 1.15 мет., съ +12.1 на 10.95. Удѣльная производительность группы колодцевъ равнялась слѣдовательно

$$\frac{16.7}{1.15} = 14.4 \frac{\text{литр.}}{\text{сек.}}$$

Въ послѣднемъ періодѣ, съ 17 февраля до 29 мая 1892 г., изъ всѣхъ колодцевъ вмѣстѣ расходовалось постоянное количество $24.6 \frac{\text{лит.}}{\text{сек.}}$. Пониженіе уровня воды между *M* и *U* рассчитывалось такимъ образомъ, что для каждаго отдѣльнаго колодца находились соответствующія расходу q и удѣльной производительности b , значенія h и s , т. е. разность высотъ H уровня въ колодцѣ и пониженнаго уровня грунтовой воды, установившагося въ среднемъ на отмѣткѣ +10,19. Пониженіе при этомъ было равно $12.1 - 10.19 = 1.91$ мет. и удѣльная производительность группы колодцевъ

$$\frac{24.6}{1.91} = 12.9 \frac{\text{литр.}}{\text{сек.}}$$

Если для большей увѣренности производительность группы колодцевъ принять равной $12 \frac{\text{литр.}}{\text{сек.}}$, то при пониженіи уровня воды между колодцами *M* и *U* на 12 метр., т. е. до уровня моря, расходъ былъ бы равенъ $12 \times 12 = 144 \frac{\text{литр.}}{\text{сек.}}$ или 12400 кб. мет. въ сутки.

Водосборныя устройства были выполнены не при Акарпѣ, а вдоль Торреберганъ (табл. 4) гдѣ пнезометрической уровень достигаетъ отмѣтки +24 мет. Вода добывается при помощи артезианскихъ колодцевъ 100 мм. діаметра и притекаетъ естественнымъ напоромъ къ водопроводной станціи Бультофта, гдѣ путемъ аэраціи и фильтраціи освобождается отъ желѣза и сѣроводорода. Въ будущемъ уровень можетъ быть пониженъ до уровня моря, какъ при Акарпѣ. Сооруженія, оконченныя въ 1900 г., работаютъ вполнѣ удовлетворительно при суточномъ максимальномъ расходѣ въ 11000 кб. мт.

Въ качественномъ отношеніи вода похожа на артезианскую воду у Готенбурга, хотя содержитъ больше извести и желѣза. Жесткость равна 14° , содержаніе хлора около $150 \frac{\text{млгр.}}{\text{лит.}}$, содержаніе амміака 0 до $0,8 \frac{\text{млгр.}}{\text{лит.}}$, желѣза (углекислая окись желѣза) $10 \frac{\text{млгр.}}{\text{лит.}}$

и температура + 9°. Послѣ очистки замѣтны лишь слѣды желѣза и вода вполне пригодна для домашняго обихода и промышленныхъ цѣлей.

Упсаль.

Въ 1875 г. въ Упсаль былъ построенъ водопроводъ по проекту покойнаго главнаго инженера I. Г. Рихерта. Славящаяся необыкновенной чистотой, вода получается изъ ключей, бьющихъ у подножія мощнаго оза Упсаля и подается въ резервуаръ на вершинѣ оза насосной станціей, приводимой въ движеніе водяной энергіей. Ни одинъ изъ шведскихъ водопроводовъ не находится въ столь благоприятныхъ техническихъ и гигиеническихъ условіяхъ.

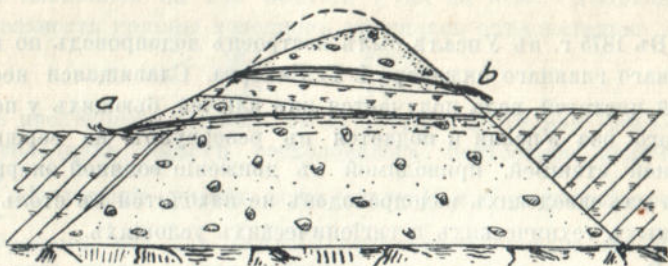
Въ первые годы эксплуатировали лишь „ключъ святого Эрика“ (*E* на планѣ таб. 8), вода коего направлялась подъ естественнымъ напоромъ къ насосной станціи *P*, лежащей ниже плотины *D*. Позднѣе водопроводъ былъ продолженъ до „песчанаго ключа“ *S*, который находился на 500 м. сѣвернѣе границы города. Такъ какъ эти два ключа не могли покрывать долго расходъ города, то отъ станціи проложили всасывающій тробопроводъ къ колодцу *A*. Въ 1902 г. на основаніи изысканій автора былъ выбуренъ новый колодезь при *B*.

Всѣ эти ключи и колодцы принадлежатъ грунтовому потоку, протекающему вдоль оза Упсаля.

Озъ Упсаля принадлежитъ къ числу самыхъ большихъ и богатыхъ водою озъ Швеціи. Онъ состоитъ изъ залежей песка и гравія съ правильно округленными зернами, что служитъ доказательствомъ прежней обработки текущей водою. Озъ образовался изъ отложеній, оставленныхъ глетчерной рѣкой, протекающей подъ тающимъ материковымъ льдомъ, и его стороны впоследствии покрылись поздне-ледниковой и послѣ-ледниковой глиной. Когда почва поднялась надъ моремъ, послѣледниковый песокъ былъ смытъ съ вершины на прилегающій глиняный покровъ (чер. 68).

Такой болѣе чѣмъ на 100 метровъ погруженный въ почву озъ дѣйствуетъ какъ громадная дренажная труба, собирающая подземныя водяныя нити изъ окружающей мѣстности въ одинъ потокъ, текущій вдоль оза. Уровень воды въ озѣ опредѣляется главнымъ образомъ высотой положенія того мѣста, куда изливается потокъ. Чѣмъ дальше вверхъ по теченію, тѣмъ выше уровень грунтовой воды, уклонъ коего зависитъ отъ скорости потока и скважности песка.

Если гдѣ нибудь поверхность потока поднимается выше окружающей глины, то образуется ключъ (*a* на чер. 68). Часто песокъ оказывается неоднороднаго строения и имѣетъ прослойки мелкаго или глинистаго песка; здѣсь въ такомъ случаѣ получается „верхній этажъ“, съ ключемъ при *b*.



Чер. 68.

На восточномъ берегу Фиризана озеро Упсаля выдается высоко надъ окружающей мѣстностью, отсюда погружается подъ глины и появляется опять западнѣе рѣки (таб. 8) въ видѣ уширенной песчаной площади, а далѣе въ формѣ выступающей возвышенности, ходъ которой можно прослѣдить вплоть до Ультуна, гдѣ озеро опять исчезаетъ подъ рѣкой. О мощности оза можно составить себѣ представленіе изъ слѣдующихъ сопоставленій. Хребтъ возвышенности при *F* лежитъ выше уровня нижней воды у плотины ея на 41 метръ, а при буреніи колодца с у насосной станціи боковая поверхность оза была встрѣчена послѣ того, какъ былъ пройденъ слой глины въ 100 метровъ. Слѣдовательно общая высота оза по крайней мѣрѣ равна 150 мет.

При Ультуна, гдѣ Фиризанъ никогда не замерзаетъ, грунтовая вода изливается очевидно въ рѣку. У госпиталя Упсаля (на таб. 8) изливается ключъ со свободной поверхностью, лежащей на 2,5 мет. выше уровня рѣки. Въ буровомъ колодцѣ с отмѣтка уровня равна +3,6 и на томъ уже горизонтѣ лежитъ уровень „ключа св. Эрика“. Отмѣтка уровня „песчанаго ключа“ — +4,9 относительно уровня Фиризана. Грунтовый потокъ между устьемъ и песчанымъ ключемъ и также, вѣроятно, на востокъ отъ Фиризана обладаетъ свободной поверхностью; но въ мѣстѣ пересѣченія съ рѣкой представляетъ изъ себя артезианскій потокъ. Условія движенія потока видны изъ продольнаго профиля на таб. 9.

Песчаный „ключъ“, „ключъ св. Эрика“ и „госпитальный ключъ“ принадлежатъ къ типу *a* и образуютъ водосливы главнаго потока, протекающаго вдоль рѣки. Кромѣ того въ самомъ городѣ и

внѣ его появляется много ключей типа *b* съ сильно колеблющимся дебетомъ, подающимъ въ извѣстныя времена года до нуля.

Во время изслѣдованій 1902 года откачка не производилась по слѣдующимъ причинамъ.

Расширеніе водопровода имѣло цѣлью полученіе 5000 кб. мт. въ сутки. Существующіе ключи и колодцы давали раньше 3500 кб. мт., а госпитальный ключъ—1400 кб. мт. Такимъ образомъ, если при помощи новаго колодца *B* уровень грунтовой воды былъ-бы пониженъ настолько, что госпитальный ключъ пересталъ давать воду, то суточная производительность водопровода возрасла-бы до 4900 кб. мт., т. е. почти до требуемой величины. Но этотъ ключъ и оба остальные представляютъ, какъ видно изъ предыдущаго, частичные истоки грунтоваго потока огромной мощности и вѣроятно очень большой производительности. Весьма важна возможность повышенія дебета потока искусственнымъ путемъ. Уровень грунтовой воды вмѣстѣ встрѣчи хребта возвышенности съ Фиризанъ выше города, лежитъ выше уровня въ рѣкѣ, такъ что вода „песчанаго ключа“ вытекаетъ при паденіи въ 2 метра. Если въ будущемъ естественный расходъ воды будетъ использованъ, такъ что уровень „песчанаго ключа“ сравняется съ истокомъ при Ультуна, т. е. понизится на +0, то можно ввести въ озъ воды рѣки выше плотины. Устроивъ инфильтраціонные резервуары можно получить потребное въ будущемъ количество воды, а сама рѣчная вода, пройдя фильтрующій слой глубиной 100 мет. и разстояніе въ 1000 мет. отъ насосной станціи, будетъ улучшена въ достаточной мѣрѣ.

Такимъ образомъ колодезь при *B* былъ устроенъ безъ предшествующихъ пробныхъ откачекъ. При пониженіи уровня на 6 мет. онъ даетъ $60 \frac{\text{лит.}}{\text{сек.}}$, т. е. количество воды удовлетворяющее само по себѣ потребностямъ города. Пониженіе уровня грунтовой воды въ озѣ Упсаля до сихъ поръ не замѣчено. Вода стерильна, свободна отъ желѣза и въ другихъ отношеніяхъ весьма хорошаго качества.

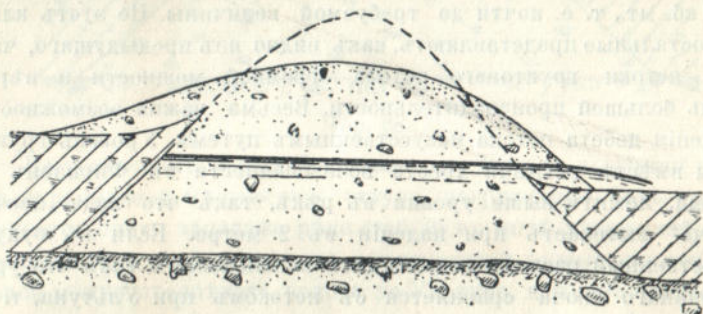
Г э ф л е.

Въ 1895 г. былъ уничтоженъ старый водопроводъ у Гэфлеанъ и устроенъ новый—съ колодцами у Тестебоанъ (таб. 10). Вода забирается изъ Сэ т р а-о з а, сравнительно небольшого оза, шириной въ 200—300 мет. и глубиной отъ 5 до 20 мет.

Суточная производительность водопровода была определена въ 8000 куб. мет.

Озъ Сэтра простирается въ направленіи съ юго-запада на сѣверо-востокъ и въблизи города пересѣкается рѣками Гафлеанъ и Тестебоанъ. Уровень первой ниже пересѣченія съ озомъ поднять плотиной на 10 мет., у второй совпадаетъ съ уровнемъ моря.

Въ геологическомъ отношеніи мѣсто не представляетъ ничего достопримѣчательнаго. Озъ Сэтра—типичный озъ, отложившійся на моренѣ и виѣдренный впоследствии частью въ послѣднюю ледниковую глину (чер. 69).



Чер. 69.

На таб. 11 изображенъ продольный профиль, изъ коего видны условія паденія грунтового потока. При встрѣчѣ съ Гэфлеанъ поверхность грунтового потока лежитъ на 6 мет. ниже уровня рѣки и на 3 мет. ниже ея дна. Когда трубчатый колодезь на берегу рѣки былъ погруженъ на нѣсколько дециметровъ въ грунтовой потокъ и изъ него производилась откачка въ теченіе нѣсколькихъ часовъ, то оказалось, что получаемая вода обладала температурой $+15^{\circ}\text{C}$, между тѣмъ температура воды въ рѣкѣ была $+23^{\circ}\text{C}$. Когда колодезь углубили еще на 3 мет., получилась вода съ температурой $+9^{\circ}$. Это обстоятельство показываетъ, что здѣсь грунтовой потокъ получаетъ воду изъ рѣки Гафлеана. Дно рѣки лежитъ на много метровъ выше поверхности грунтового потока, вслѣдствіе чего между ними нѣтъ прямого сообщенія; но рѣчная вода просачивается черезъ поры грунта и достигаетъ грунтового потока въ видѣ отдѣльныхъ струекъ. Благодаря значительной мѣстами величинѣ зеренъ гравія рѣчная вода инфильтрируется въ довольно большомъ количествѣ, отчего и происходитъ нагрѣваніе верхняго слоя грунтовой воды. Зимой, вѣроятно, будетъ имѣть мѣсто обратное явленіе, т. е. охлажденіе грунтовой воды холодной рѣчной.

Безъ продолжительныхъ наблюденій трудно опредѣлить вліяніе этой инфильтраціи на производительность потока. Количество инфильтрата замѣтно колеблется въ зависимости отъ характера русла, который мѣняется вслѣдствіе часто повторяемыхъ землечерпательныхъ работъ.

Вблизи упомянутаго выше колодца былъ устроенъ колодезь изъ свай, изъ котораго велась откачка въ теченіи 16 дней. Уровень въ колодцѣ понизился на 2,7 мет. и послѣ нѣсколькихъ дней установился постоянный дебетъ въ $30 \frac{\text{лит.}}{\text{сек.}}$. Въ скважинѣ, отстоящей отъ колодца на 10 мет., уровень упалъ на 0.1 мет., а въ скважинѣ, находящейся на разстояніи 20 мет., остался неизмѣннымъ. Радиусъ границы области пониженія былъ принятъ равнымъ 15 мет. Такимъ образомъ, при ширинѣ сферы вліянія колодца въ 30 мет. и расходъ въ $30 \frac{\text{лит.}}{\text{сек.}}$, расходъ на 1 мет. ширины потока можно было считать равнымъ $1 \frac{\text{лит.}}{\text{сек.}}$. При ширинѣ оза въ 200 мет. общую производительность потока возможно было принять равной $200 \frac{\text{лит.}}{\text{сек.}}$.

Была предпринята новая откачка изъ свайнаго колодца, отстоящаго на нѣсколько метровъ отъ рѣки Тестебоанъ. Такое малое разстояніе колодца отъ рѣки имѣло цѣлью изслѣдованіе инфильтраціи рѣчной воды.

Во время откачки, когда уровень въ колодцѣ упалъ на 1.5 метра, вода изъ грунта устремилась сильными струями черезъ зазоры между шпунтами. При этомъ можно было наблюдать разницу между вѣроятнымъ притокомъ изъ рѣки и несомнѣннымъ притокомъ изъ грунтоваго потока. Въ первый день измѣренная температура воды, притекающей со стороны рѣки, оказалась равной $+14^{\circ}$, въ то-же время рѣчная вода имѣла температуру $+15.5^{\circ}$. Температура притекающей воды въ западной сторонѣ колодца была всего $+7^{\circ}$. Во время моихъ наблюденій на мѣсть 1-го сентября при откачкѣ $70 \frac{\text{лит.}}{\text{сек.}}$ депрессія возросла до 1,7 метра, температура въ четырехъ углахъ колодца была соответственно 9° и $10,5$ со стороны рѣки и 7° съ противоположной стороны.

Этотъ результатъ ясно показываетъ быстрое прекращеніе инфильтраціи со стороны рѣки и приводитъ къ заключенію, что при продолжительной непрерывной откачкѣ дно рѣки сдѣлалось столь непроницаемымъ, что ни одна капля рѣчной воды не могла болѣе проникнуть въ колодезь.

Результатъ вполне совпадаетъ съ опытомъ многочисленныхъ городовъ, основавшихъ свое водоснабженіе на такъ называемой естественной фильтраціи. Только въ очень немногихъ случаяхъ удавалось получать продолжительное время рѣчную воду изъ колодезъ, лежащихъ вдоль берега рѣки; обыкновенно же поры русла быстро совершенно заносились иломъ изъ фильтруемой воды, при чемъ колодцы давали исключительно грунтовую воду.

Если грязная вода Гафлеанъ проникаетъ, очевидно, въ озъ, то подобнаго-же можно опасаться и у Лексваля; на этомъ основаніи перенесеніе въ это мѣсто водопроводныхъ сооруженій представляло бы сомнительныя преимущества. Но Гафлеанъ течетъ съ большой скоростью, что препятствуетъ образованію отложений на днѣ. Наоборотъ рѣка Тестобоанъ, находясь въ непосредственномъ сообщеніи съ моремъ, обладаетъ малой скоростью теченія, отчего ее дно не можетъ долго оставаться чистымъ. Фактъ проникновенія грунтовой воды черезъ рѣчное дно не является еще доказательствомъ возможности пропуска рѣчной воды въ обратномъ направленіи. Абсолютно чистая грунтовая вода обладаетъ скоростью истеченія достаточной для поднятія и передвиженія частицъ ила, лежащихъ на днѣ рѣки. Однако какъ скоро произойдетъ перемена направленія потока, т. е. когда рѣчная вода начнетъ проникать черезъ песчаное дно, послѣднее, играя роль обыкновеннаго фильтра, будетъ засоряться и перестанетъ пропускать воду безъ систематической механической очистки.

Вслѣдствіе этого ясно, что колодцы, заложенные вблизи рѣки Тестобоанъ, послѣ сравнительно короткаго промежутка времени будутъ давать грунтовую воду, а не фильтрованную воду изъ Тестебоанъ, какъ этого можно было опасаться.

Здѣсь слѣдуетъ замѣтить, что пока потребленіе городомъ будетъ меньше производительности грунтоваго потока, рѣка будетъ принимать часть грунтовой воды даже послѣ устройства водопроводныхъ сооруженій; конечно, въ этомъ случаѣ въ рѣку будетъ попадать меньше грунтовой воды чѣмъ раньше. Если колодезь или колодцы настолько удалены отъ берега, что депрессія не достигаетъ рѣки, то часть грунтоваго потока, лежащая за предѣлами депрессіи, будетъ двигаться хотя и съ уменьшенной скоростью къ рѣкѣ и подниматься черезъ ее дно.

Согласно произведеннымъ у Гафлеанъ изысканіямъ ясно, что количество воды у Лексваля превосходитъ нужное для города. Откачка дала слѣдующіе результаты.

При девятидневной непрерывной откачкѣ уровень въ колодезѣ понизился на 1,5 метра при подачѣ $45 \frac{\text{лит.}}{\text{сек.}}$. На разстояніи 20 мет. отъ колодца уровень оставался на прежней высотѣ. Послѣ прекращенія откачки уровень поднялся на прежнюю высоту въ теченіе нѣсколькихъ минутъ.

Слѣдуетъ однако имѣть въ виду, что колодезь давалъ не только грунтовую воду, но отчасти и рѣчную. Какая часть грунтовой воды находилась въ общемъ дебетѣ колодца можно было опредѣлить изъ сопоставленія температуръ.

Температура воды въ рѣкѣ въ послѣдній день откачки была 14,5°.

Въ теченіе перваго дня наблюденій, когда вода изъ рѣки проникала въ колодезь почти безъ сопротивленія, ея температура при этомъ процессѣ инфильтраціи понизилась на 1,5°. Считая, что въ дальнѣйшемъ паденіе температуры сохраняетъ то же значеніе, видимъ, что въ послѣдній день рѣчная вода поступала въ колодезь съ температурой $14,5 - 1,5 = 13^\circ$.

Грунтовая вода обладаетъ постоянной температурой 7°, а вода получаемая изъ колодца—8,5°. Обозначивши количество грунтовой воды x , можно составить слѣдующее уравненіе:

$$7x + 13(45 - x) = 45 \times 8,5,$$

откуда $x = 35 \frac{\text{лит.}}{\text{сек.}}$, что при дѣйствительной ширинѣ потока въ 35 мет.,

на которую влияетъ колодезь, соответствуетъ 1 $\frac{\text{лит.}}{\text{сек.}}$ на 1 мет. ширины

и общему расходу въ 200 $\frac{\text{лит.}}{\text{сек.}}$

Въ количественномъ отношеніи этотъ результатъ не оставляетъ желать ничего лучшаго. Запасъ воды является также достаточнымъ и для удовлетворенія будущихъ увеличенныхъ потребностей.

Если-бы даже появились впоследствіи непредвидѣнныя въ настоящее время обстоятельства, могущія повліять на естественную производительность оза Сэтра въ отрицательномъ смыслѣ, то есть возможность ее увеличить искусственнымъ путемъ. Мы имѣемъ въ виду здѣсь большую песчаную долину (S таб 10), которая образовалась на горномъ хребтѣ. Дно ее съ небольшими затратами можетъ быть поднято на уровень, лежащій выше уровня грунтовой воды, но ниже поверхности рѣки Гаф-

леанъ. Если бы вода изъ рѣки Гафлеанъ была направлена въ эту долину, получился-бы превосходный фильтръ, съ пропускной способностью приблизительно соответствующей общему потреблению воды городомъ; кромѣ того упомянутый фильтръ отстоялъ-бы болѣе чѣмъ на 1 километръ отъ предполагаемой группы колодцевъ у Лекеваля, благодаря чему вода на этомъ протяженіи имѣла-бы достаточно времени совершенно освободиться отъ загрязненій, приобрѣсти постоянную температуру и превосходныя свойства, присущія естественно фильтруемой водѣ оза Сэтра.

Водосборныя сооруженія въ окончательномъ видѣ состоятъ изъ удаленнаго на 5 мет. отъ рѣки насоснаго колодца В, имѣющаго 3 мет. въ діаметрѣ и пронцаемое дно (табл. 10), и нѣсколькихъ трубчатыхъ колодцевъ. При откачкѣ 110 $\frac{\text{лит.}}{\text{сек.}}$ уровень воды въ насосномъ колодцѣ понижался не болѣе чѣмъ на 2 мет. Температура воды $+7^{\circ}\text{C}$, а прочія хорошія ея свойства остались безъ измѣненій.

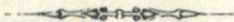
Вышеописанныя сооруженія представляютъ типичныя примѣры условій снабженія грунтовой водой шведскихъ городовъ. Авторъ выполнилъ гидрологическія изысканія для 33 шведскихъ городовъ, изъ коихъ 26 снабжаются грунтовой водой.

Эребро, Борасъ, Хальмстадъ, Вэстерасъ, Седерхамнъ Фалюнь, Седертэліе, Люле, Саля, Лидкэпингъ, Худикеваль и Карльсхамнъ получаютъ воду изъ озъ или озовидныхъ конечныхъ моренъ.

Въ Хельсингборгъ, Оскарсхамнъ, Хіо, Ульрицехамнъ, Линкэпингъ, Фалькенбергъ и Энгельхольмъ водоносные слои состоятъ изъ послѣдникаваго песка, въ Скара, Карьмарь, Алингеасъ Ляндскрона, Вэстервикъ, Виммерби изъ позднелѣдникаваго песка, въ Люндъ, Треллеборгъ и Истадъ изъ позднелѣдникаваго песка, отложившагося на известнякахъ. Въ Висби, единственномъ мѣстѣ, гдѣ вода получается изъ известняковъ, изслѣдованія еще не закончены.

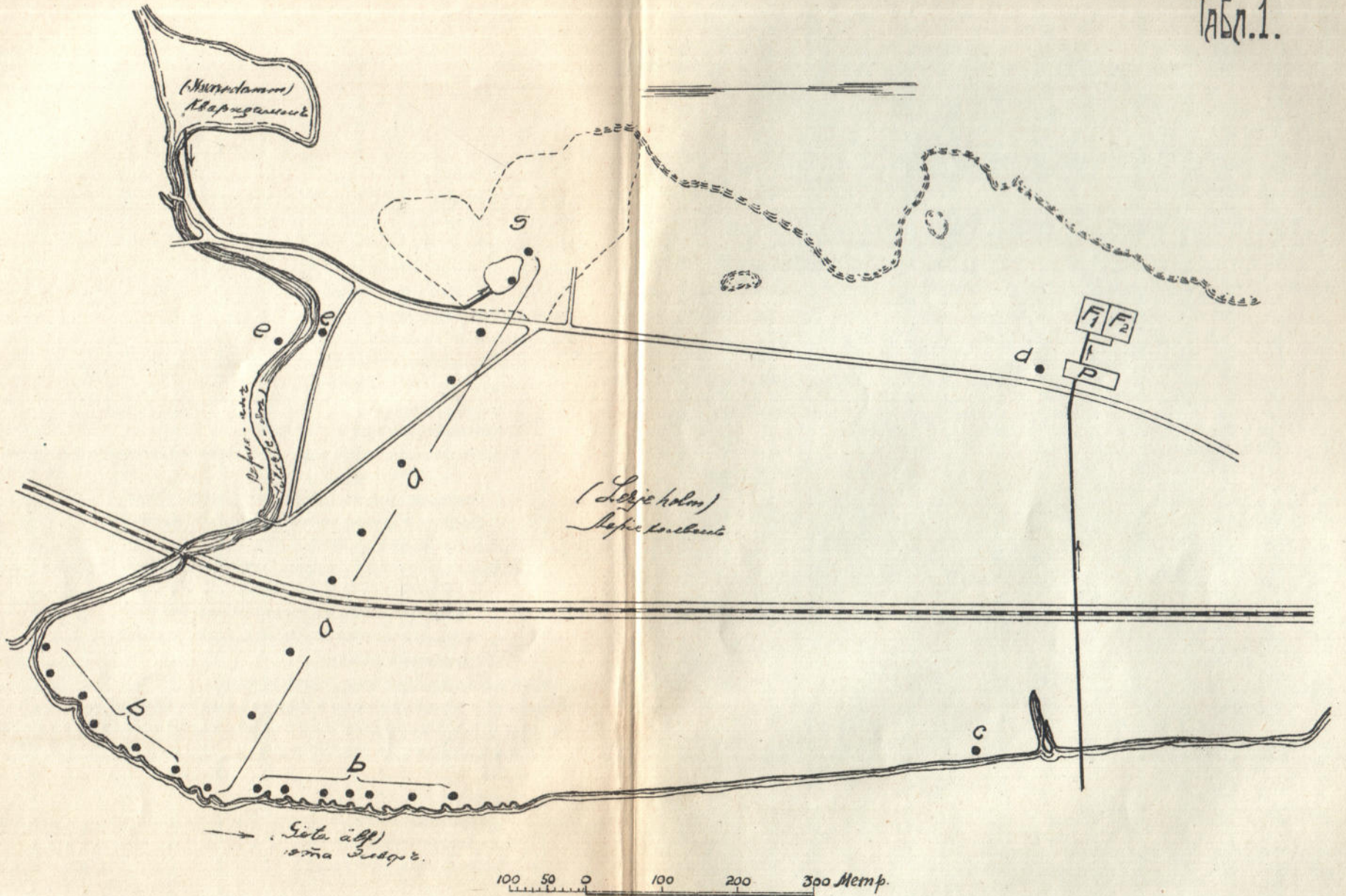
Въ Люле и Карльсхамнъ расходъ грунтовой воды увеличенъ „искусственной“ фильтраціей; въ Саля и Фалюнь также находятся въ дѣйствиіи инфильтраціонныя резервуары. Въ Эребро, Борасъ Вэстерасъ, Карльсхамнъ, Хельсингборгъ, Оскарсхамнъ и Линкэпингъ, вѣроятно, понадобятся въ будущемъ подобныя-же резервуары.

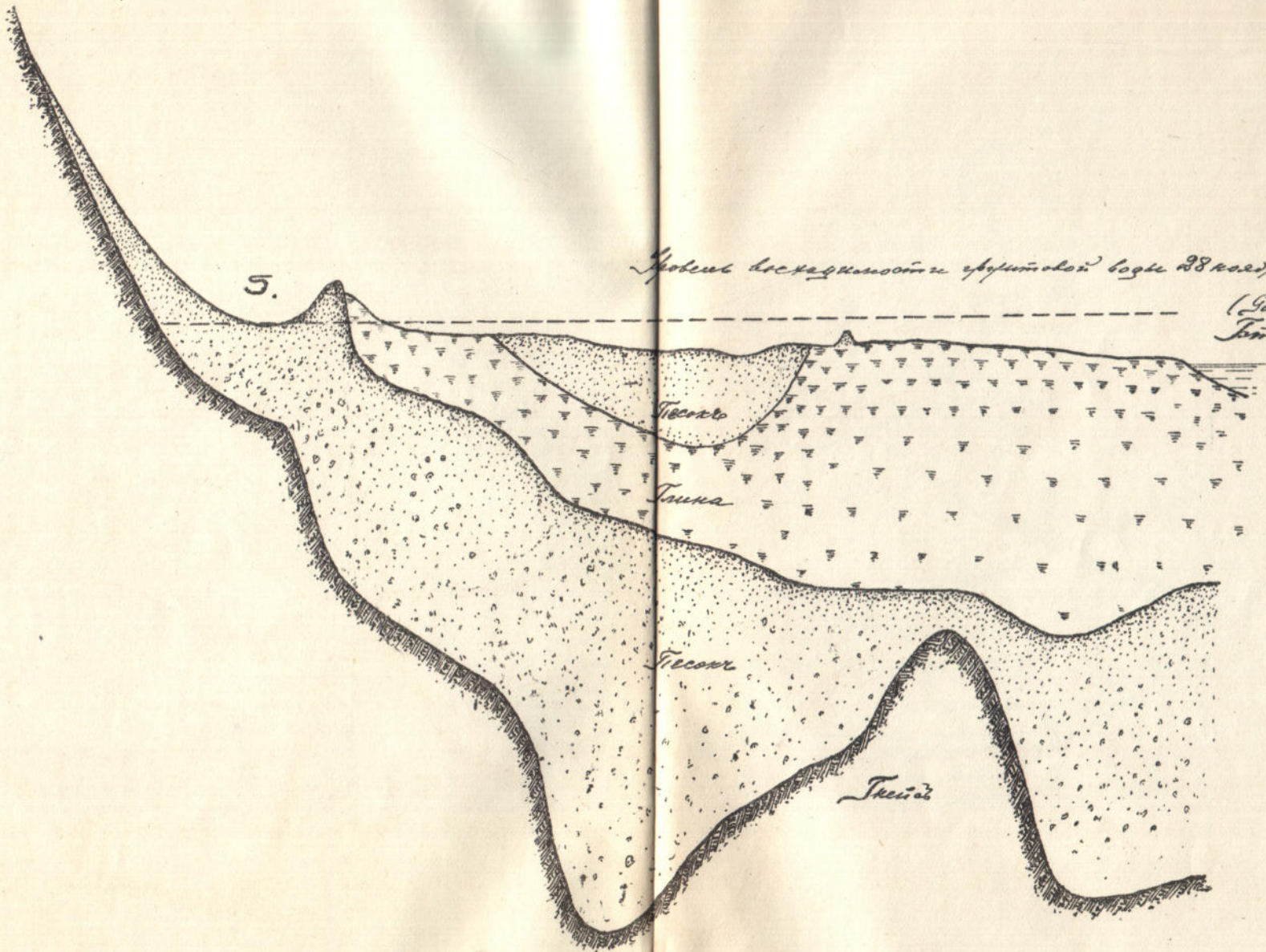
Изъ вышеизложеннаго видно, что несмотря на неблагоприятныя гидрологическія условія Скандинавскаго полуострова, удалось выполнить грунтовое водоснабженіе для большого числа большихъ и среднихъ городовъ Швеціи. Возможность этого объясняется съ одной стороны относительно небольшимъ населеніемъ городовъ, а съ другой—нужда „мать изобрѣтательности“ привела къ повышенію производительности грунтовыхъ потоковъ помощью искусственной инфильтраціи.



ОГЛАВЛЕНИЕ.

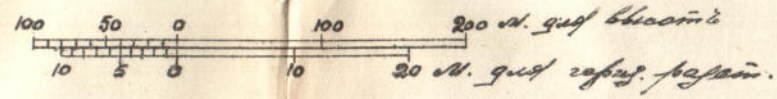
	СТРАН.
Вступленіе	3
Часть I Гидрологія	5
Историческій обзоръ	5
Образованіе грунтовой воды	8
Разные виды подземныхъ потоковъ	9
Свойства грунтовой воды	13
Гидрологическія изысканія	16
Предварительныя изысканія	16
Окончательныя изысканія	19
Измѣреніе скорости	22
Опредѣленіе скорости	24
Опредѣленіе количества воды изъ наблюденій пониженія уровня при пробной откачкѣ	37
Свободный потокъ со свободной поверхностью	40
Свободный потокъ съ подпруженнымъ уровнемъ	43
Артезіанскій потокъ	44
Опредѣленіе расхода путемъ наблюденія высоты уровня при искусственной инфильтраціи	50
Свободный потокъ со свободной поверхностью	53
Свободный потокъ съ подпруженнымъ уровнемъ	54
Артезіанскій потокъ	55
Искусственное приготовленіе грунтовой воды	56
Часть II Геологическое образованіе Швеціи	66
Часть III Нѣкоторыя гидрологическія изслѣдованія, выполненныя въ Швеціи	83
Готенбургъ	83
Геологическія условія	85
Гидрологическія условія	87
Естественная грунтовая вода	88
„Фабрика грунтовой воды“	90
Мальмэ	92
Геологическія условія	93
Гидрологическія условія	95
Упсаль	101
Гвѣле	103

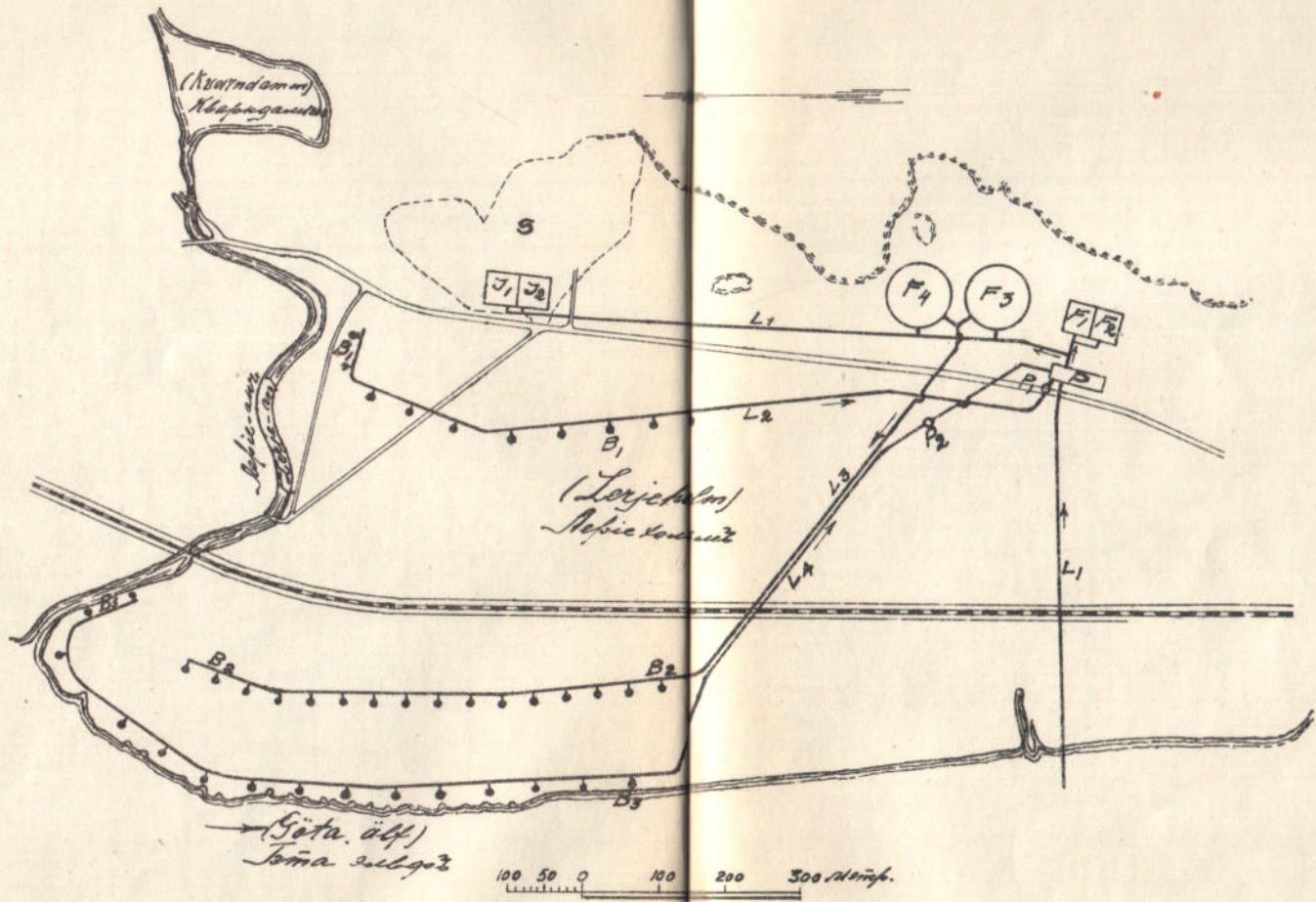




Профиль высеченности и формирования берега 28 ноября 1895.

(Гитта альфа)
Гитта альфа





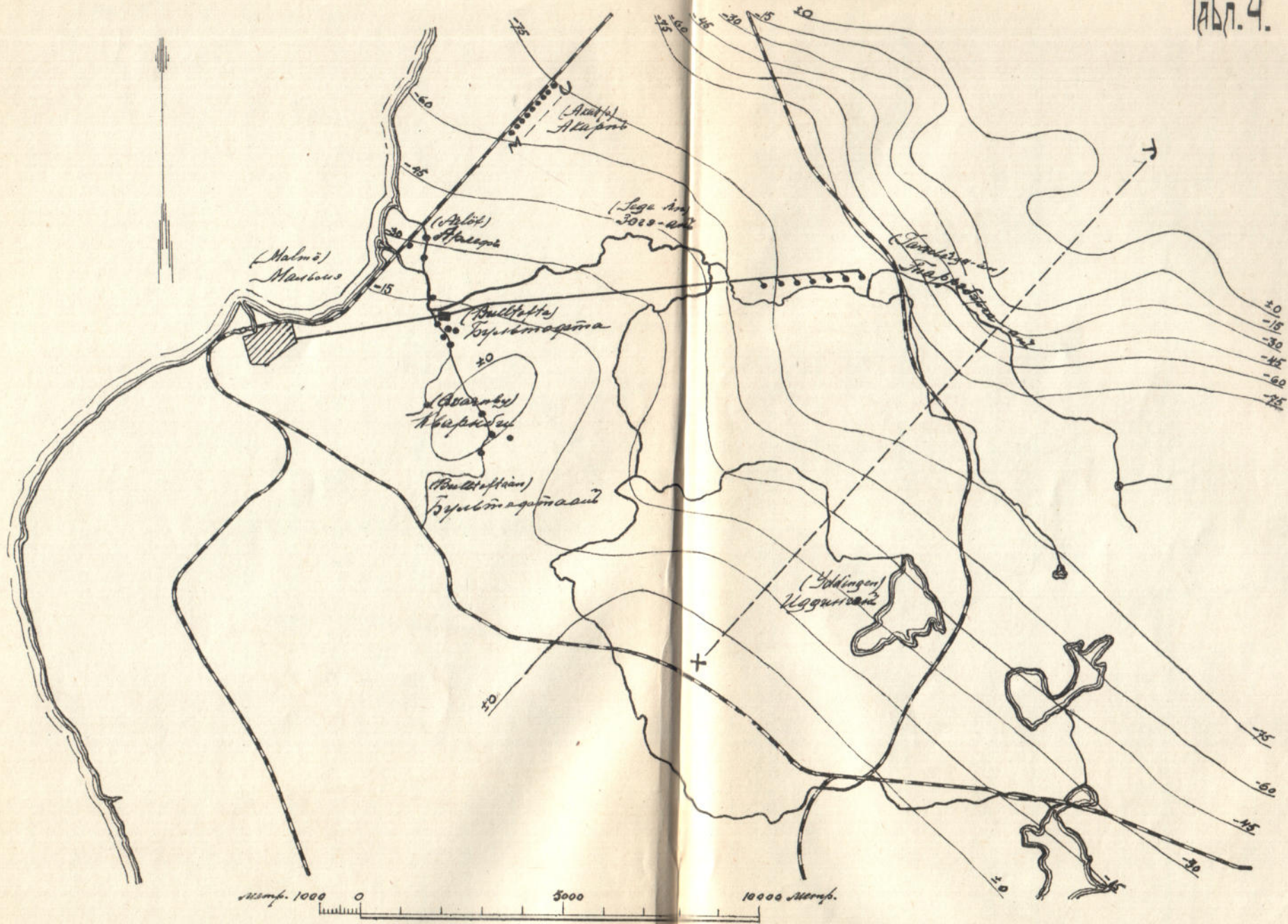
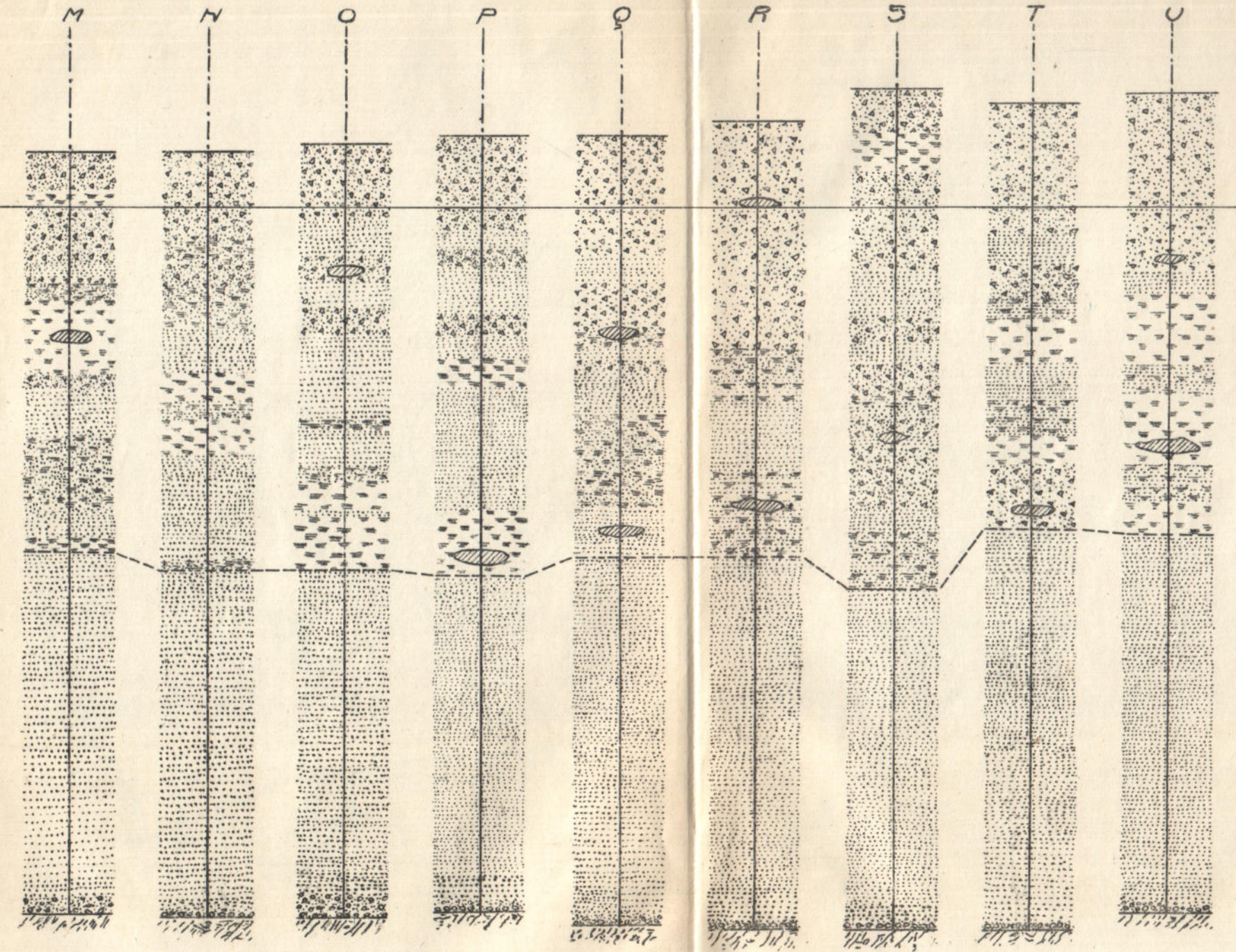
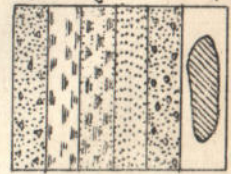


ТАБЛ. 5.



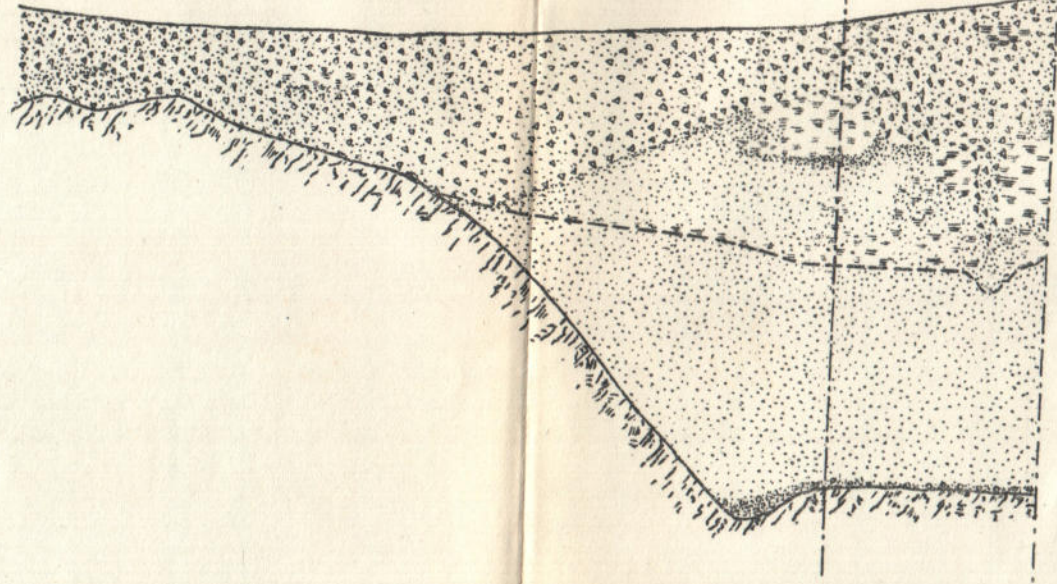
Мелена
 Палеа
 Суммарный песок
 Песок
 Гравий
 Мелкозернистый песок



(Булган)
Булгангома

(Алты)
Алтыгома

M
(Алты)
Алтыгома
U



X-Y (Табл. 4.)

