

Н. А. Кашкаровъ,
профессоръ Томскаго Технологическаго Института Императора Николая II.

СОВРЕМЕННЫЕ
СПОСОБЫ ОЧИСТКИ ВОДЫ.

СЪ ПРИБАВЛЕНІЕМЪ:
БИОЛОГІЯ ПИТЬЕВЫХЪ и СТОЧНЫХЪ ВОДЪ.

Цѣна 3 рубля.

ТОМСКЪ.

Типо-литографія Сибирскаго Т-ва Печатнаго Дѣла, уг. Дворянской ул. и Ямск. пер., с л.

1912.

СОДЕРЖАНІЕ.

	Стр.
Предисловіе.	1
Глава I.	3
<i>Свойства воды: физическія (3), химическія (8), біологическія (микрогра- фическія (19) и бактеріологическія (24).</i>	
<i>Вліяніе питьевой воды на распространеніе эпидемій и на смертность населенія (30). Требования, предъявляемыя къ питьевой водѣ (36).</i>	
Глава II.	39
<i>Классификація способовъ очистки воды (39). Удаленіе взвѣшенныхъ веществъ.</i>	
<i>Процѣживаніе воды (41). Отстаиваніе (42).</i>	
Глава III.	55
<i>Фильтрованіе воды (55).</i>	
<i>Англійскіе песочные фильтры; общее описаніе изъ устройства (56). Теорія дѣйствія песочныхъ фильтровъ (56); роль песка (59); механиче- ская теорія дѣйствія фильтровъ (60). Измѣненія химическаго состава воды (63). Вліяніе толщины фильтрующаго слоя, крупности песка и скорости фильтрованія на работу фильтра (64). Конструкція и расчетъ англійскихъ фильтровъ (66). Потеря напора при фильтрованіи (74). Приборы для напуска и выпуска фильтруемой воды (75). Принадле- жности фильтра (79). Открытые и закрытые фильтры (82).</i>	
<i>Эксплоатація англійскихъ фильтровъ (83) Инструкція для управле- нія фильтрами въ Берлинѣ (83). Очистка фильтровъ (88). Промывка песка (93). Стоимость устройства и эксплуатаціи (95). Достоинства и недостатки англійскихъ фильтровъ (96).</i>	
Глава IV.	98
<i>Видоизмѣненія англійскаго способа фильтрованія.</i>	
<i>Фильтрованіе съ префильтраціею (98).</i>	
<i>Фильтры Пеша-Шаболія (103).</i>	
<i>Случаи примѣненія двойной фильтраціи и фильтровъ Пеша (108).</i>	
<i>Переменяющаяся фильтрація (108).</i>	
<i>Незатопляемые фильтры (109).</i>	

Глава V.	110
------------------	-----

Американскіе (механическіе) фильтры.

Коагулированіе (111). Общее описаніе устройства американскихъ фильтровъ (113). Различныя системы американскихъ фильтровъ: Джуэля (118), Говатсона (120), Ривса (120), Нью-Йоркской компаніи (120), Белля (121).

Фильтры Кренке (122) и Зимина (122).

Большія фильтровальныя станціи американской системы (Цинциннати) (123).

Результаты очистки воды американскими фильтрами (127).

Стоимость устройства и эксплуатаціи американскихъ фильтровъ (128).

Глава VI.	131
-------------------	-----

Фильтры особыхъ системъ.

Фильтры Фишера и Петерса (131), Курка (133).

Домашніе фильтры Чемберлена (133) и Беркефельда (135).

Фильтры Говатсона (135), фильтры Канди (135).

Система Андерсона (137).

Глава VII.	139
--------------------	-----

Измѣненіе содержанія въ водѣ нѣкоторыхъ растворенныхъ веществъ.

Аэрація воды (139).

Смягченіе воды (140). Основанія способовъ смягченія (140). Химическая обработка жесткой воды (141); опредѣленіе количества реактивовъ (142). Аппараты Беранже и Штингля, Дерво, Дерюмо (145). Смягченіе воды при посредствѣ цеолитовъ (148).

Уменьшеніе кислотности воды (151).

Удаленіе изъ воды желѣза (обезжелѣзиваніе) (152).

Удаленіе изъ воды марганца (160).

Опрѣсненіе воды (161).

Глава VIII.	164
---------------------	-----

Физическіе способы дезинфекціи (обеззараживанія) воды.

Дезинфекція ультрафіолетовыми лучами (165). Характеристика и свойства ультрафіолетовыхъ лучей (165). Приборы для дезинфекціи воды (168).

Глава IX.	172
-------------------	-----

Химическіе способы дезинфекціи воды.

Дезинфекція воды гипохлоридами (173); сущность процесса (174); требуемое количество хлора (175) и продолжительность воздѣйствія хлора на воду (175); мѣсто добавленія реактива (176).

Результаты обработки воды хлоромъ (180).

Стоимость обработки воды хлоромъ (182).

Достоинства и недостатки способа (183).

Примѣненіе гипохлорида натрія (185).

„De-clor“ система (185).

Система Duysck-Howatson (186).

Глава X. 187

Озонированіе воды.

Озонъ и его добываніе (187). Озонаторы Сименса (190), Отто (193), Жерара (196), де-Фриза (196). Vasmaer (197). Опредѣленіе количества озона (198). Сравненіе различныхъ системъ озонаторовъ (199).

Озонированіе питьевой воды (200). Стерилизаторы Отто (200), де-Фриза (202), Сименса (202) и др. Сравненіе различныхъ системъ стерилизаторовъ (204).

Результаты обработки воды озономъ (208). Вліяніе свойствъ воды на результаты озонирования (208). Концентрація озона и время соприкосновенія (211). Контроль результатовъ (212).

Озонныя станціи въ С.-Петербургѣ (212) и Германштадтѣ (218).

Приборы для домашняго озонирования воды (219).

ПРИБАВЛЕНІЕ.

Біологія питьевыхъ и сточныхъ водъ 221

Біологія питьевой воды 225

Ключевая вода (225). Грунтовая вода (226). Вода изъ неглубокихъ колодцевъ (231). Вода изъ водохранилищъ (231). Вода изъ озеръ (233). Рѣчная вода (235).

Біологія сточныхъ водъ и открытыхъ водоемовъ 237

Сточные воды городовъ, поля орошенія, искусственная біологическая очистка (237). Сточные воды фабрикъ и заводовъ (242). Самоочищеніе водоемовъ, въ особенности рѣкъ (244); зоны полисапробная (244), мезосапробная (247) и олигосапробная (251). Ручьи и каналы (254). Пруды (255). Берега морей и озеръ (257).

Методы біологическаго изслѣдованія. Организмы 258

Раздѣленіе водоема на области (258). Приборы для взятія пробъ и изслѣдованія (260). Организмы: полисапробные (264), мезосапробные (258) и олигосапробные (272).

Предисловіе.

Вопросы водоснабженія вообще, и очистки питьевой воды въ частности, приобрѣтають въ настоящее время огромное практическое значеніе, въ особенности для русскихъ городовъ. По даннымъ, собраннымъ къ 1911 г. „Постояннымъ Бюро Русскихъ Водопроводныхъ Съѣздовъ“, изъ 1082 городовъ Россіи только 192, т. е. около 17,7%, имѣють водопроводы, тогда какъ, напримѣръ, въ Германіи водопроводы устроены свыше чѣмъ въ 70% общаго числа городовъ. Но и изъ этихъ 17% многіе города (чтобы не сказать: большинство) пользуются водою весьма сомнительнаго качества. Яркій примѣръ былъ данъ холерною эпидеміею 1908—9 гг. въ Петербургѣ, которая всецѣло была вызвана неудовлетворительною очисткою невской воды. Эта эпидемія, повидимому, подняла интересъ къ вопросамъ очистки воды не только у специалистовъ, но и въ обществѣ.

Между тѣмъ, на русскомъ языкѣ не имѣется систематическаго изложенія современныхъ методовъ очистки воды; да и въ иностранной литературѣ послѣдняго времени нѣтъ систематическихъ работъ по этому вопросу, хотя именно въ послѣднее время теорія и техника очистки воды получаютъ особенно сильное развитіе. Съ расширеніемъ требованій, предъявляемыхъ къ питьевой водѣ гигиенистами, возникаютъ новые способы очистки воды и новый видъ очистки—дезинфекція воды, ставящій цѣлью уничтоженіе патогенныхъ бактерій въ водѣ; вслѣдъ за распространеніемъ озонированія воды, приобрѣтающаго господство въ Европѣ, въ Америкѣ быстро развивается съ конца 1908 г. способъ очистки воды гипохлоридами, принятый теперь почти въ 200 городахъ; наконецъ, изучаются ультра-фіолетовые лучи, обѣщающіе дешевый и изящный способъ обезвреживанія воды. На ряду съ этимъ, роль старыхъ способовъ очистки воды, а съ нею и примѣненіе ихъ, видоизмѣняются. Развитіе и разъясненіе теоретическихъ требованій, предъявляемыхъ къ питьевой водѣ и къ различнымъ процессамъ ея обработки, принадлежитъ гигиенистамъ, врачамъ и естествоиспытателямъ; они вырабатываютъ общія заданія, техническимъ осуществленіемъ которыхъ занимаются инженеры. Создается обширная литература, разбросанная по разнымъ журналамъ, какъ техническимъ, такъ и инымъ (напр., посвященнымъ вопросамъ бактериологіи).

Предлагаемая работа представляетъ попытку систематизаціи современныхъ способовъ очистки воды; она предназначена для техниковъ водопроводнаго дѣла, и потому въ ней изложены нѣкоторыя свѣдѣнія, ко-

торыя для естественника можетъ быть казались бы чрезчуръ элементарными и излишними. Вначалѣ разсматриваются свойства воды и требованія, предъявляемыя къ питьевой водѣ въ настоящее время.

Матеріалы, использованные при составленіи настоящей работы, указаны по большей части въ выноскахъ къ тексту; отдѣльно перечислены лишь капитальныя работы по водоснабженію. Не указаны источники тѣхъ данныхъ, которыя собраны нами во время заграничной поѣздки лѣтомъ 1911 г.

Списокъ главнѣйшихъ источниковъ, находившихся въ пользованіи автора:

- Проф. Тимоновъ.* Водоснабженіе и водостоки.
Пр. Проводникъ. Курсъ водоснабженія.
Luеger. Wasserversorgung der Städte.
Frühling und Oesten. Wasserversorgung der Städte.
Débauxe et Imbeaux. Assainissement des villes. Distribution d'eau.
Bechmann. Assainissement des villes.
J. Don. The filtration and purification of potable supply.
В. Л. Омелянскій. Основы микробиологіи.
Rubner, Gruber und Ficker. Handbuch der Hygiene.
 Труды I—IX Русскихъ Водопроводныхъ Съѣздовъ.
Журналы: Gesundheits-Ingenieur, La Technique Sanitaire, Sanitary Record, Engineering News, Engineering Record, Engineering, Municipal Journal and Engineer, Zeitschrift für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung, Zeitschrift für Hygiene, Zentralblatt für Bakteriologie, Wasser und Abwasser, Génie Civil и другіе.

Описанія водоснабженій различныхъ городовъ (изданія муниципалитетовъ).

Работы по отдѣльнымъ вопросамъ, указанные въ примѣчаніяхъ къ тексту.

ГЛАВА I.

Свойства воды.

Химически-чистая вода (H_2O) есть тѣло, состоящее изъ соединенія 2 атомовъ водорода и 1 атома кислорода, или, по вѣсу, изъ 2 частей водорода на 16 частей кислорода; такимъ образомъ, въ данномъ вѣсовомъ количествѣ воды содержится 88,88% кислорода и 11,12% водорода.

По объему, 2 объема водорода, соединяясь съ 1 объемомъ кислорода, образуютъ 2 объема водяного пара; при температурѣ 0° и давленіи 760 мм. 1 литръ кислорода (O) вѣситъ 1,4298 гр., а 1 литръ водорода (H) вѣситъ 0,08936 гр.; литръ водяного пара вѣситъ 0,805 гр.:

Прежде, чѣмъ разсматривать свойства воды, укажемъ, что вода, какъ источникъ водоснабженія, раздѣляется по происхожденію на 3 вида: на атмосферныя воды (дождь, снѣгъ), поверхностныя воды (водарѣкъ, озеръ, морей) и подземныя воды (грунтовая, получаемая изъ разнаго рода колодцевъ, и ключевая, добываемая непосредственно въ мѣстѣ выхода воды на поверхность земли).

Во всѣхъ этихъ видахъ вода въ природѣ не бываетъ химически-чистой. Обыкновенно въ водѣ содержатся разнаго рода примѣси, плавающія въ ней въ нерастворенномъ видѣ (взвѣшенныя примѣси) или же растворенныя, обуславливающія ея химическій составъ и внѣшнія физическія свойства, а также низшія животныя и растенія, обнаруживаемыя микроскопомъ, и бактеріи, присутствіе которыхъ можно опредѣлить путемъ бактериологическаго изслѣдованія.

Физическія свойства воды.

Подъ физическими свойствами воды обычно понимаютъ такъ называемыя внѣшнія ея особенности: температуру, вкусъ, запахъ, цвѣтъ, мутность и прозрачность.

Температура:

Вода въ природѣ бываетъ различной температуры, отъ температуры близкой къ 0° и до кипящей воды въ нѣкоторыхъ горячихъ источникахъ. Но для употребленія въ хозяйствѣ и для иныхъ надобностей пригодна лишь вода умѣренной температуры; такъ, для питья вода должна по возможности имѣть температуру отъ 7° до 12° , чтобы не казаться зимою—холодною, а лѣтомъ теплою.

Вода холоднѣе 5° неприятна и даже вредна, такъ какъ холодъ можетъ вызвать раздраженіе полости рта, гортани и пищеварительныхъ органовъ и недомоганіе печени. Вода теплѣе $14-15^{\circ}$ перестаетъ освѣжать.

Вкусъ и запахъ. Чистая вода безвкусна и не имѣетъ запаха; вкусъ и запахъ происходятъ отъ растворенныхъ или взвѣшенныхъ примѣсей къ водѣ. Большинство минеральныхъ солей, сахаръ и т. п. придаютъ водѣ вкусъ, не вызывая запаха, тогда какъ растворенные газы и масла дѣйствуютъ больше на обоняніе, чѣмъ на вкусъ, хотя нерѣдко мы относимъ впечатлѣніе отъ нихъ къ вкусу.

Растворимость газовъ въ водѣ различна и уменьшается съ повышеніемъ температуры; исключеніе составляетъ водородъ, имѣющій постоянную растворимость при температурѣ $0^{\circ}-20^{\circ}$ С.

Въ таблицѣ 1 приведены коэффициенты растворимости нѣкоторыхъ газовъ при давленіи 760 мм.

Таблица I.

Названіе газовъ.	Коэффициенты растворимости при давленіи 760 мм. въ литрахъ.			Удѣльный вѣсъ при 0° (по отношенію къ воздуху).	Вѣсъ 1 метра при 0° и давл. 760 мм.
	$t=0^{\circ}$	$t=10^{\circ}$	$t=20^{\circ}$		
Воздухъ	0,025	0,020	0,017	1	1,2932 гр.
Кислородъ	0,041	0,032	0,028	1,1056	1,43
Водородъ	0,019	0,019	0,019	0,06929	0,0895
Азотъ	0,020	0,016	0,014	0,9714	1,256
Углекислый газъ	1,80	1,18	0,90	1,529	1,977
Окись углерода	0,032	0,026	0,023	0,968	1,254
Болотный газъ	0,054	0,044	0,035	0,558	0,716
Сѣроводородъ	4,37	3,59	2,90	1,171	1,523
Амміакъ	1,049	0,812	0,654	0,597	0,761
Хлоръ	3,00	2,58	2,16	2,47	3,81

Препомнимъ кстати законы растворимости газовъ:

- 1) При одинаковой температурѣ, растворимость возрастаетъ прямо пропорціонально давленію;
- 2) когда смѣсь газовъ соприкасается съ жидкостью, каждый газъ растворяется въ ней такъ, какъ если бы онъ одинъ занималъ весь объемъ смѣси газовъ.

Нерѣдко запахъ вызывается присутствіемъ въ водѣ микроорганизмовъ, живыхъ или мертвыхъ, главнымъ образомъ, водорослей (algae), которые особенно сильно развиваются въ озерахъ, прудахъ, а также на песчаныхъ фильтрахъ. Нѣкоторые изъ живыхъ микроорганизмовъ вызываютъ ароматическіе запахи, сходные, на примѣръ, съ запахомъ герани (Asterionella) или фіалки (Mallomonas), другіе вызываютъ запахъ травы (Anabaena, Melosira и др.) или рыбы (Chloro phycea и нѣкоторыя

Protozoa). После смерти, микроорганизмы, разлагаясь, придаютъ водѣ запахъ сѣроводорода или углеводорода.

Еще не вполне установлено, вредна ли для здоровья вода съ такимъ запахомъ, и даже съ самими пахучими микроорганизмами. Повидимому, они безвредны для здороваго человѣка, но могутъ повредить при разстроенномъ уже кишечникѣ.

На практикѣ для выясненія отсутствія запаха берутъ 0,5 литра воды и нагреваютъ ее въ колбѣ до 40—50° С.

Если вода содержитъ сѣроводородъ, заглушающій всѣ другіе пахучіе газы, прибавляютъ къ водѣ растворъ сѣрнокислой мѣди, которая съ свободнымъ (освобожденнымъ при нагреваніи изъ раствора) сѣроводородомъ образуетъ сѣрнистую мѣдь и освобождаетъ воду отъ этого газа; затѣмъ повторяютъ нагреваніе для опредѣленія другихъ пахучихъ газовъ.

Для характеристики силы запаха нѣтъ научныхъ пріемовъ и выраженій, и приходится опредѣлять запахъ, какъ „слабый“, „замѣтный“; „сильный“ и т. п., т. е. по субъективнымъ впечатлѣніямъ. А. Gérardin предложилъ опредѣлять запахъ, вызываемый въ воздухѣ органическими примѣсями, посредствомъ перекиси марганца и установилъ понятіе объ „озометрическомъ градусѣ“. Озометрическій градусъ есть количество (въ миллиграмахъ) кристаллической щавелевой кислоты, которая производитъ на перекись марганца такое же дѣйствіе, какъ органическія вещества, содержащіяся въ 1 граммѣ. воздуха.

Вкусъ. Вкусовые ощущенія подраздѣляются на четыре группы: сладкій вкусъ, соленый, кислый и горькій. Человѣческій языкъ не слишкомъ чувствителенъ, и большинство солей примѣшанныхъ къ водѣ, замѣтны на вкусъ лишь при примѣси не менѣе 0,5—1 гр. на 1 литръ; исключеніе составляютъ соли желѣза и мѣди, которыя придаютъ металлическій вкусъ при примѣси 0,05—0,06 гр. на литръ. Органическія вещества обыкновенно дѣйствуютъ почти исключительно на обоняніе, а не на вкусъ.

Намъ кажется, что вода имѣетъ „пріятный“ вкусъ, когда она производитъ на насъ освѣжающее дѣйствіе, которое зависитъ отъ температуры воды и отъ количества растворенныхъ въ ней воздуха и углекислоты.

Цветъ, мутность и прозрачность. Слѣдуетъ различать: *цветъ*, т. е. оттѣнокъ, свойственный само водѣ, независимо отъ находящихся въ ней взвѣшенныхъ веществъ; *мутность* („turbidity“), т. е. болѣе или менѣе сильное загрязненіе ея взвѣшенными въ ней мелкими частицами; наконецъ, *прозрачность* воды, являющуюся результатомъ двухъ предыдущихъ свойствъ, и объясняемую свѣтопроницаемостью воды.

Цветъ. Химически-чистая вода безцвѣтна при небольшой глубинѣ, и имѣетъ голубой, впадающій въ зеленоватый, оттѣнокъ при глубинѣ въ нѣсколько метровъ.

Всякій другой цвѣтъ происходитъ отъ растворенныхъ въ водѣ веществъ. Вещества эти по большей части бываютъ растительнаго происхожденія и происходятъ отъ листьевъ, мха, и травы, которые придаютъ иногда поверхностнымъ водамъ желтоватую окраску.

Окраска грунтовыхъ водъ, вообще рѣдко имѣющая мѣсто, зависитъ главнымъ образомъ отъ растворимыхъ соединений желѣза, образовавшихся вслѣдствіе недостатка кислорода; при соприкосновеніи съ воздухомъ, эти соединения, окисляясь, переходятъ въ нерастворимыя и осаждаются изъ воды.

Для опредѣленія (относительнаго) степени окраски воды, ее сравниваютъ съ дистиллированной водою. Для этого берутъ два одинаковыхъ цилиндрическихъ сосуда изъ чистаго безцвѣтнаго стекла, діаметромъ 20—30 мм., и длиною 30—40 см., и наполняютъ одинъ изслѣдуемую, другой—дистиллированную водою, и затѣмъ смотрятъ черезъ цилиндры на подложенную подъ дно бѣлую бумагу. Иногда взамѣнъ дистиллированной воды наливаютъ жидкость опредѣленно окраски¹⁾ на такую высоту, чтобы столбъ ея имѣлъ такую же прозрачность, какъ столбъ изслѣдуемой воды постоянной высоты. Приборы для опредѣленія окраски называются колориметрами²⁾.

Окраска воды уничтожается удаленіемъ тѣхъ растворенныхъ или взвѣшенныхъ веществъ, которыми она вызвана.

Мутность. Вода большинства источниковъ не всегда содержитъ одинаковое количество взвѣшенныхъ веществъ; въ поверхностныхъ водахъ обыкновенно оно увеличивается весною во время таянія снѣговъ, когда стекающія воды увлекаютъ землистыя частицы съ поверхности земли. Однако, не всякія взвѣшенные частицы мутятъ воду; такъ, бактеріи даже въ значительномъ количествѣ не вызываютъ мутности, вслѣдствіе ничтожныхъ размѣровъ. Чтобы вызвать мутность воды, взвѣшенные частицы должны быть достаточно крупны и находиться въ достаточномъ количествѣ. Взвѣшенные вещества бываютъ иногда органическія, иногда неорганическія (чаще всего—землистыя). Органическія вещества попадаютъ почти исключительно въ озерахъ и въ искусственныхъ резервуарахъ, вслѣдствіе разложенія водорослей и мелкихъ животныхъ; мы вернемся къ нимъ при разсмотрѣніи біологическихъ свойствъ воды. Землистыя частицы бываютъ кремнистыя и глинистыя; первыя легче удалить, вторыя же чрезвычайно мелки и желатинообразны („коллоидальная глина“) и отлагаются весьма медленно. Присутствіе коллоидальныхъ глинистыхъ частицъ вмѣстѣ съ органическими примѣсями объясняетъ такъ называемое опалисцированіе (отъ слова опаль) рѣчной воды во время половодья, т. е. окраску воды, напоминающую молочное стекло. Уничтоженіе опалисцированія очень рѣдко мо-

¹⁾ Чаще всего растворы кобальта и платины, или смѣсь ихъ.

²⁾ Колориметръ Fitz-Gerald въ Бостонѣ описанъ въ „Transaction of American Society of Civil Engineers“, 26 juny 1908.

жетъ быть достигнуто механически (отстаиваніемъ и фильтраціею), чаще приходится прибѣгать къ химической очисткѣ воды (такъ наз. коагуляція).

Степень мутности воды характеризуютъ или количествомъ взвѣшенныхъ веществъ въ единицѣ объема воды, или же прозрачностью воды; при послѣднемъ способѣ, какъ указано, мы получаемъ результаты, зависящіе не только отъ мутности воды, но и отъ присущей ей окраски.

Для опредѣленія количества взвѣшенныхъ веществъ примѣняютъ выпариваніе (описаніе процесса см. ниже).

При опредѣленіи прозрачности пользуются приборами, подобными вышеуказанному колориметру, или же наливаютъ въ цилиндръ прозрачнаго стекла столбъ изслѣдуемой воды высотой 70 см. и подъ дно помещаютъ бѣлую пластинку съ напечатанными на ней цифрами различнаго размѣра (шкала Hillebrand'a); наименьшая изъ видимыхъ цифръ даетъ степень прозрачности изслѣдуемой воды.

Въ настоящее время чаще опредѣляютъ степень прозрачности воды тою глубиною, до которой видна погруженная въ воду платиновая проволока діаметромъ 1 мм. По предложенію американскихъ изслѣдователей А. Hazen и G. Whipple, для выраженія мутности воды въ градусахъ за образецъ принимаютъ воду, содержащую 100 мгр. кремнія (аморфнаго) въ такомъ состояніи размельченія, что платиновая проволока діаметромъ 1 мм. видна до глубины 100 мм., причемъ глазъ наблюдателя находится на 1,20 м. надъ проволокою; мутность такого образца обозначаютъ 100 градусами. Для оцѣнки воды, болѣе мутной, чѣмъ образецъ, ее разбавляютъ дистиллированную водою до степени мутности образца, и опредѣляютъ отношеніе объема разбавленной воды къ первоначальному объему мутной воды. Для оцѣнки менѣе мутной воды, наоборотъ,, разбавляютъ образецъ.

Путемъ лабораторныхъ опытовъ, Hazen опредѣлилъ указаннымъ способомъ мутность воды въ градусахъ, соответствующую глубинѣ, до которой видна платиновая проволока въ 1 мм.; эта шкала принята въ Америкѣ.

Градусы мутности.	Глубина платин. проволоки.	Градусы мутности.	Глубина платин. проволоки.	Градусы мутности.	Глубина платин. проволоки.	Градусы мутности.	Глубина платин. проволоки.	Градусы мутности.	Глубина платин. проволоки.
	мм.		мм.		мм.		мм.		мм.
7	1095	18	468	30	187	110	93	300	43,2
8	971	19	446	55	171	120	86	350	38,8
9	873	20	426	60	158	130	81	400	35,4
10	794	22	391	65	147	140	76	500	30,9
11	729	24	361	70	138	150	72	600	27,7
12	674	26	336	75	130	160	68,7	800	23,4
13	627	28	314	80	122	170	65,4	1000	20,9
14	587	30	296	85	116	180	62,4	1500	17,1
15	551	35	257	90	110	190	59,8	2000	14,8
16	520	40	228	95	105	200	57,4	3000	12,1
17	493	45	205	100	100	250	49,1	—	—

Вліяніє фізическихъ качествъ воды на здоров'є. Безъ сомнѣнія, желателъно, чтобы питьевая вода была надлежащей температуры (7—12°C), безъ вкуса и безъ запаха и совершенно прозрачна. Однако, вода, не обладающая тѣми или другими изъ этихъ качествъ, далеко не всегда вредна для здоров'я; въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ необходимо выяснитъ причину того или иного изъ фізическихъ недостатковъ воды, и уже въ зависимости отъ этой причины рѣшатъ, вредна ли вода и необходимо ли, съ точки зрѣнія гигіены, устраненіе найденнаго недостатка. Какъ примѣръ укажемъ, что вода, содержащая много желѣза, по соприкосновеніи съ воздухомъ становится мутною, вслѣдствіе окисленія растворенныхъ въ ней солей желѣза и перехода ихъ въ нерастворимыя соединенія, выпадающія изъ воды и дѣлающія ее мутною; однако, такая вода совершенно безвредна для здоров'я. Напротивъ, иногда вода, на видъ безукоризненна-чистая, содержитъ много бактерій и опасна для здоров'я (укажемъ на Невскую воду, служащую проводникомъ холеры въ С.-Петербургѣ, но превосходную на видъ и вкусъ).

Однако, несмотря на всѣ увѣренія гигіенистовъ, человѣкъ чувствуетъ инстинктивное недовѣріе и даже отвращеніе къ водѣ, не обладающей фізической чистотою—мутной, пахучей, и т. п., и если является возможность выбирать между водою, непріятною на видъ, хотя и завѣдомо безвредною, и водою чистою по виду, хотя бы и содержащею бактерій,—человѣкъ почти всегда предпочтетъ вторую; въ мѣстахъ, гдѣ безвредная вода непріятна на видъ, а другой воды вовсе нѣтъ,—замѣчается усиленное потребленіе другихъ напитковъ, напр., алкогольныхъ, безусловно вредное.

Поэтому, при проведеніи воды всегда приходится заботиться объ улучшеніи ея внѣшнихъ фізическихъ свойствъ, объ „украшеніи“ воды („Schönheit“), не ограничиваясь обезвреживаніемъ ея.

Химическія свойства воды.

Химически-чистая вода (H_2O) лишь весьма рѣдко встрѣчается въ природѣ.

Употребленіе химически-чистой воды (напр. дистиллированной) едва ли полезно для человѣка. Есть мнѣніе ³⁾, что постоянное употребленіе такой воды прямо вредно для организма.

Хотя моряки и не страдаютъ отъ употребленія въ морѣ дистиллированной воды ⁴⁾, однако раствореніе въ ней воздуха („аэрація“, обвоздушиваніе воды) или углекислоты и добавленіе небольшого количества нѣкоторыхъ солей безусловно полезны.

Въ натуральной водѣ, пригодной для питья, чаще другихъ содержатся слѣдующія минеральныя вещества: 1) известь (CaO), 2) магнезія

³⁾ Koepe. „Deutsche Medizinische Wochenschrift“, 1898, 624.

⁴⁾ Nocht. Hygienische Rundschau, 1892, стр 273.

(MgO), 3) гипсъ (CaSO_4), 4) соли желѣза (Fe_2O_3), 5) соли калия (KSO_4 , KNO_3), 6) соли натрія (NaSO_4 , NaNO_3), 7) азотная кислота (HNO_3), 8) азотистая кислота (HNO_2), 9) амміакъ (NH_3), 10) сѣрная кислота (H_2SO_4), 11) сѣрнистая кислота (H_2SO_3), 12) хлоръ (Cl), 13) кремнеземъ (SiO_2).

Кромѣ того, находятся органическія вещества и растворенные газы (особенно углекислота (CO_2) и кислородъ (O), а также сѣроводородъ (H_2S)).

Коэффициенты растворимости газовъ приведены выше въ таблицѣ № 1, а нѣкоторыхъ солей—въ таблицѣ № 2.

Таблица II.

НАЗВАНІЕ СОЕДИНЕНІЙ.	Химическое обозначеніе.	Коэффиц. растворим. при давл. 760 мм.	Температура $^{\circ}\text{C}$.
Сѣрниокислый кальцій	CaSO_4	0,0024	21
Сѣрниокислый калий	K_2SO_4	0,103	15
Сѣрниокислый натрій	Na_2SO_4	0,163	18
Хлористый калий	KCl	0,326	15
Хлористый натрій	NaCl	0,357	15
Хлористый магній	MgCl_2	0,307	15
Поташъ	K_2CO_3	0,244	10
Сода	Na_2CO_3	0,083	10

Таблица III.

Максимальныя количества примѣсей въ питьевой водѣ, допускаемыя въ нѣкоторыми учрежденіями и лицами.

Названіе примѣсей.	Наименованіе единиць.	Брюс-сельскій конгрессъ 1885 г. 1).	Швейцарскій конгрессъ 1888 г. 1).	Tiemann и Gartner 1889 г. 1).	Klut 1909 г. 2).
Общая жесткость	Нѣмецк. градусовъ	20	—	18—20	—
Плотнаго остатка	миллигр. въ 1 литрѣ.	500	500	500	300
Сѣрной кислоты		60	—	80—100	60
Хлора		8	20	20—30	30
Азотной кислоты	"	2	20	5—15	до 30
Азотистой кислоты	"	—	0	0	0
Амміака	"	—	0	0	0
Органическихъ веществъ (по опредѣленію при помощи марганцево-кислаго кали) .	"	10	10	6—10	до 12
Въ томъ { органич. углерода	"	—	—	5	—
числѣ { органич. азота . .	"	0,1	0,05	0,2	—

Даже тѣ примѣси, которыя въ маломъ количествѣ безвредны для человѣка, могутъ повредить при большомъ содержаніи ихъ въ водѣ.

1) По Frühling'y.

2) Данныя изслѣдованія лучшихъ питьевыхъ водъ Сѣверной Германіи.

Нѣкоторые изслѣдователи, какъ напр. Фишеръ, Рейхардтъ, Тиманнъ, а также Брюссельскій и Швейцарскій гигиеническіе конгрессы (1885 г.) и многіе др. пытались назначить приблизительно такіа максимальныя количества примѣсей въ водѣ, превышеніе которыхъ дѣлаетъ воду непригодной для употребленія. Однако, мнѣнія изслѣдователей далеко несходны.

Въ таблицѣ № 3 приведены нѣкоторыя изъ этихъ максимальныхъ количествъ. Данныя послѣдней графы относятся къ лучшимъ питьевымъ водамъ Сѣверной Германіи⁵⁾.

Для производства полного химическаго анализа воды требуется не менѣе 5 литровъ ея.

При изслѣдованіи химическихъ свойствъ воды⁶⁾ прежде всего опредѣляютъ общую сумму твердыхъ минеральныхъ примѣсей, такъ называемый „остатокъ послѣ выпариванія“, въ миллиграммахъ на литръ воды. Для этого выпариваютъ 0,5—1 литръ воды во взвѣшенной платиновой чашкѣ на водяной банѣ; по испареніи всей воды, чашку ставятъ въ сушильный шкафъ при 110° С (въ Америкѣ выпариваютъ при 100°) и взвѣшиваютъ послѣ трехчасовой просушки; затѣмъ снова ставятъ въ шкафъ и черезъ часъ вторично взвѣшиваютъ. Такъ продолжаютъ до тѣхъ поръ, пока разница между взвѣшиваніями не уменьшится до десятыхъ долей миллиграмма.

Если вода была мутная, то надо еще опредѣлить количество механически-взвѣшенныхъ веществъ. Для этого выпариваютъ 0,5—1 литръ мутной воды, которую до отмѣриванія хорошо взбалтываютъ и наряду съ этимъ выпариваютъ равный объемъ фильтрованной воды. Разность высушенныхъ остатковъ и составитъ вѣсъ механически-взвѣшенныхъ веществъ.

Для приблизительнаго опредѣленія содержанія въ остаткѣ органическихъ примѣсей, прокалываютъ остатокъ докрасна и вновь взвѣшиваютъ послѣ охлажденія. При накаливаніи органическія примѣси сгораютъ, но въ то же время выдѣляются летучія соединенія, а кромѣ того нѣкоторыя изъ солей разлагаются, напр. углекислая известь (CaCO_3) переходитъ въ окись кальція (CaO , известь), теряя углекислоту (CO_2). Поэтому потеря при прокаливаніи не выражаетъ истиннаго количества органическихъ веществъ.

Для опредѣленія общаго содержанія минеральныхъ солей во многихъ случаяхъ удобнѣе пользоваться способомъ Kohlrausch-Ostwald, основанномъ на увеличеніи электропроводимости воды съ увеличеніемъ содержанія въ ней солей.

⁵⁾ Klut. Berichte d. deutsch. pharmazeutisch. Gesellsch., 1900, стр. 140.

⁶⁾ Какъ руководства для изслѣдованія воды, можемъ указать: Tiemann-Gärtner. „Handbuch der Untersuchung und Beurtheilung der Wässer“. Проф. Гемиланъ „Руководство къ изслѣдованію воды, оцѣнка ея пригодности и способы ея очищенія“. Левинъ. „Краткое руководство къ химическому изслѣдованію питьевой воды“.

Приборъ (сконструированный по указаніямъ Плейснера⁷⁾, см. фиг. 1 и 2) состоитъ изъ стеклянки для изслѣдуемой воды, въ которую опущены двѣ металлическія пластинки, служація электродами; разстояніе между ними остается постояннымъ. Стеклянки помѣщаютъ въ сосудъ или ящикъ, въ которомъ поддерживаютъ опредѣленную температуру (электро-проводимость воды зависитъ отъ температуры). Затѣмъ измѣряютъ сопротивленіе жидкости прохожденію черезъ нее тока (между электродами), пользуясь методомъ переменнаго тока, который вызываетъ шумъ въ телефонъ въ случаѣ неравенства потенциаловъ.

Называя искомое сопротивленіе воды W , извѣстное сопротивленіе, введенное въ цѣпь, R (въ приборѣ имѣется три катушки въ 10, 100 и 1000 омовъ), и сопротивленія отрѣзковъ градуированной линейки черезъ АВ и ВС, опредѣлимъ W изъ уравненія

$$\frac{R}{W} = \frac{AB}{BC}, \text{ откуда } W = R \times \frac{BC}{AB}.$$

Содержаніе солей въ изслѣдуемой водѣ опредѣляется по включенному АВ по таблицѣ, прилагаемой къ прибору.

Жесткость воды. Послѣ общаго содержанія въ водѣ твердыхъ примѣсей, весьма важное значеніе имѣетъ такъ называемая „жесткость“ воды, т. е. количество содержащихся въ ней солей щелочно-земельныхъ металловъ (кальція, магнія и др.). Жесткость измѣряютъ градусами, обозначающими вѣсовое содержаніе солей, вызывающихъ жесткость воды. Градусамъ жесткости въ разныхъ странахъ придаютъ различную величину; отличаютъ градусы нѣмецкій (принятый также въ Россіи), французскій и англійскій.

Одинъ нѣмецкій градусъ обозначаетъ содержаніе одной вѣсовой части извести (CaO) или эквивалентнаго количества солей магnezіи въ 100000 частей воды, т. е. 0,01 грамма извести въ 1 литрѣ воды.

Французскій градусъ соотвѣтствуетъ содержанію 1 вѣсовой части углекислой извести (CaCO_3) въ 100.000 частей воды, а англійскій— 1 части углекислой извести (CaCO_3) на 70.000 частей воды.

Такъ какъ въ 1 вѣсовой части CaCO_3 содержится 0,56 вѣсовыхъ частей CaO , то

1 французскій градусъ=0,56 нѣмецкаго=0,70 англійскаго.

1 англійскій градусъ= $\frac{1}{0,70}=1,43$ франц.= $\frac{0,56}{0,70}=0,80$ нѣмецкаго.

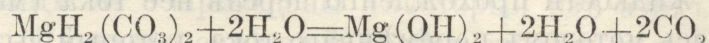
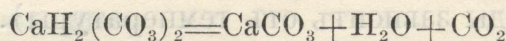
1 нѣмецкій градусъ= $\frac{1}{0,56}=1,79$ франц.= $\frac{1}{0,80}=1,25$ англійскаго.

Такъ какъ количество углекислыхъ солей кальція и магнія (CaCO и MgCO_3), растворимыхъ въ водѣ, зависитъ отъ количества растворенной

⁷⁾ „Wasser und Abwasser“, 1910 г., II, стр. 249.

въ ней углекислоты (CO_2), то при кипяченіи воды, вслѣдствіе выдѣленія CO_2 , часть этихъ солей выпадаетъ, образуя осадокъ, и жесткость воды понижается.

Процессы эти происходятъ по уравненіямъ:



Соли сѣрной кислоты, азотной и соединенія хлора при кипяченіи по большей части остаются въ водѣ въ растворенномъ видѣ.

Жесткость воды, остающаяся послѣ кипяченія, называется *постоянною жесткостью*, а жесткость воды до кипяченія—*общею жесткостью*. Разность между общею и постоянною жесткостью называется *временною* или *выпадающею* жесткостью.

Гидротиметрія. Жесткость воды можетъ быть точно опредѣлена путемъ полного количественнаго анализа; для вычисленія градуса жесткости, надо количество всѣхъ содержащихся въ водѣ солей металловъ, кромѣ солей кальція, перевести въ градусы жесткости по отношенію молекулярныхъ вѣсовъ извести и этихъ солей, и полученные градусы жесткости просуммировать. Для вычисленія можно пользоваться таблицею № 4.

Таблица IV.

Названіе соединенія.	Химическое обозначеніе.	° жесткости соотвѣтствуетъ содержанію въ граммахъ.
Известь	CaO	1,00
Магнезія	MgO	0,714
Углекислота	CO ₂	0,786
Сѣрный ангидридъ	SO ₂	1,428
Углекислый кальцій	CaCO ₃	1,76
Двууглекислый кальцій	CaH ₂ (CO ₃) ₂	2,89
Сѣрнокислый кальцій (гипсъ)	CaSO ₄	2,43
Углекислый магній	MgCO ₃	1,50
Двууглекислый магній	MgH ₂ (CO ₃) ₂	2,61
Сѣрнокислый магній	MgSO ₄	2,14
Желѣзный купоросъ	FeSO ₄ +7H ₂ O	4,96
Сода	Na ₂ CO ₃	1,89
Вдкій натръ	NaOH	1,43
Бисульфатъ натрія	NaHSO ₄	4,28
Хлоръ	Cl	0,634

На практикѣ часто ограничиваются приближеннымъ способомъ опредѣленія общаго количества землистыхъ солей въ водѣ, называемомъ „гидротиметріею“. Способъ этотъ, предложенный Кларкомъ (Англія) и усовершенствованный Boutron и Boudet (Франція), весьма простъ и не требуетъ специальныхъ приборовъ, кромѣ градуированной стеклянной трубки („гидротиметръ“).

Способъ этотъ основанъ на свойствѣ мыльнаго раствора (на спирту) образоватъ въ водѣ, не содержащей землистыхъ солей (кальція или магнія), пѣну, остающуюся на поверхности; напротивъ, если въ водѣ имѣются эти соли, то въ присутствіи жирныхъ кислотъ, заключающихся въ мылѣ, онѣ образуютъ нерастворимыя соединенія, препятствующія появленію пѣны. Пѣна появится лишь послѣ того, какъ всѣ соли кальція и магнія будутъ нейтрализованы жирными кислотами мыла. Для нейтрализованія 10° (нѣм.) жесткости въ 1 литрѣ воды, требуется около 1,2 грамма бѣлаго содоваго мыла.

Такимъ образомъ, по количеству добавленнаго къ водѣ титрованнаго раствора мыла можно судить о количествѣ солей кальція и магнія, а слѣдовательно (приближенно) и о жесткости воды.

По *Boutron* и *Boudet* для приготовленія титрованнаго мыльнаго раствора надо растворить 100 гр. хорошо высушеннаго бѣлаго Марсельскаго (содоваго) мыла въ 1600 гр. 90-градуснаго спирта, нагрѣть до кипѣнія и по охлажденіи профильтровать; затѣмъ добавить 1000 гр. дистиллированной воды. Получимъ „первый гидротиметрический растворъ“ (*liqueur*), который и служитъ для опредѣленія жесткости воды. Мыльный растворъ наливаютъ въ бюретку (узкую стеклянную трубку, снабженную снизу отверстіемъ съ краномъ для выпуска жидкости по каплямъ), на которой нанесены дѣленія такъ, что 2,4 куб. см. ея объема раздѣлены на 23 равныя части. Первое (верхнее) дѣленіе не идетъ въ счетъ, 0 поставлено у второго дѣленія, такъ какъ для появленія пѣны необходимо прилить нѣкоторой избытокъ мыльнаго раствора. Каждое дѣленіе такой бюретки („гидротиметра“) соотвѣтствуетъ 1° (французскому) жесткости, при примѣненіи вышеуказаннаго мыльнаго раствора.

Для провѣрки правильности состава мыльнаго раствора пользуются „вторымъ растворомъ“—растворомъ 0,25 гр. хлористаго кальція въ 1 литрѣ дистиллированной воды. Этотъ послѣдній растворъ, въ свою очередь, провѣряютъ добавленіемъ раствора (въ $\frac{1}{60}$) щавелевокислаго аммонія, котораго при правильномъ составѣ „второго раствора“ требуется 0,126 гр на 1 литръ.

Второй растворъ имѣетъ 22° (французскихъ) жесткости. Для изслѣдованія берутъ всегда 40 куб. см. той жидкости, жесткость которой опредѣляютъ. Если взять 40 куб. см. „второго раствора“, и добавлять къ нему постепенно мыльный растворъ изъ бюретки, сильно взбалтывая послѣ каждой прибавки для полученія пѣны, то пѣна должна появиться при добавленіи мыльнаго раствора въ полномъ объемѣ бюретки (т. е. при 22°); если пѣна получится при иномъ количествѣ добавленнаго раствора, то растворъ составленъ неправильно и его требуется пересоставить.

Послѣ провѣрки мыльнаго раствора, берутъ 40 куб. см. испытуемой воды и добавляютъ къ ней мыльный растворъ до полученія пѣны; до-

бавленное количество раствора укажетъ число градусовъ жесткости. Пѣна должна быть въ слоѣ около 5 мм. и оставаться 5—10 минутъ.

Способъ *Boutron* и *Boudet* примѣнимъ для воды ниже 30° (франц.) жесткости ($=16,8^\circ$ нѣмецкихъ); при большей жесткости воды образуется столь значительное количество нерастворимыхъ хлопьевъ, что они мѣшаютъ образованію пѣны. Поэтому воду большей жесткости слѣдуетъ предварительно разбавить опредѣленнымъ количествомъ дистиллированной воды (напримѣръ, равнымъ количеству испытуемой воды, или вдвое большимъ); соотвѣтственно этому полученный градусъ жесткости придется увеличить (въ первомъ примѣрѣ—въ 2, во второмъ—въ 3 раза).

Какъ указано, 22 градуса мыльного раствора должны нейтрализовать 40 куб. см. раствора хлористаго кальція, содержащія 10 мгр. этой соли; слѣд., 1° раствора соотвѣтствуетъ 0,455 мгр. Ca Cl въ куб. см. водн.; или 11,4 мгр. CaCl въ литрѣ воды. Но 11,4 мгр. CaCl эквивалентны въ гидротиметрическомъ отношеніи 1,03 мгр. углекислаго кальція (CaCO_3); такимъ образомъ этотъ способъ достаточно точно опредѣляетъ жесткость воды во французскихъ градусахъ.

Иногда производятъ болѣе подробный анализъ жесткости воды, посредствомъ 4 послѣдовательныхъ титрованій при помощи гидротиметра⁸⁾.

Послѣ опредѣленія общей жесткости воды (A°), къ 50 куб. см. этой воды прибавляютъ 2 куб. см. раствора щевелевокислаго аммонія; профильтровавъ, берутъ 40 куб. см. полученной смѣси и опредѣляютъ жесткость ея B° . Разница общей жесткости воды (A°) и жесткости (B°): $(A-B)^\circ$ есть жесткость, происходящая отъ известковыхъ солей, такъ какъ известъ осаждается изъ раствора щавелевокислымъ аммоніемъ.

Далѣе, кипятятъ 100 куб. см. испытуемой воды полчаса въ стеклянной колбѣ, пополняя убыль (до первоначальнаго объема) дистиллированной водою, и послѣ охлажденія фильтруютъ. Углекислая известь, осѣвшая при кипяченіи, остается на фильтрѣ. Жесткость профильтрованной воды C° есть „постоянная жесткость“.

Наконецъ, берутъ 50 куб. см. воды, полученной послѣ предыдущей операціи, и смѣшиваютъ съ 2 куб. см. раствора щевелевокислаго аммонія; даютъ отстояться, фильтруютъ и опредѣляютъ снова жесткость D° , которая выражаетъ соли магнезіи.

Итакъ A° —выражаетъ общую жесткость (зависящую отъ углекислоты, солей кальція и магнезіи).

$A-B$ соотвѣтствуетъ солямъ кальція.

$C-D$ —сѣрноокислому кальцію.

$A-B (C-D)$ —углекислому кальцію.

$B-D$ —углекислотѣ.

⁸⁾ См. A. Lëvy. Etude critique de l'hydrotimétrie („Annuaire de Montsouris“, 1892).

Количество кальція опредѣляется этимъ способомъ съ точностью до 1—2%.

Способъ Pignet и Hue. Для опредѣленія жесткости воды въ полѣ, во время изысканій, можно употреблять заранѣе заготовленные кусочки мыла, соотвѣтствующіе каждый напр. 4 градусамъ жесткости. Кусочки мыла растворяютъ постепенно въ 40 куб. см. воды, взбалтываютъ и смотрятъ, остается ли пѣна. Число кусковъ мыла, потребное для появленія пѣны, указываетъ степень жесткости воды.

Недостатки жесткой воды. Пригодность жесткихъ водъ для питья зависитъ отъ состава солей, вызывающихъ жесткость. Вода, содержащая значительное количество углекислаго кальція, обыкновенно болѣе пригодна для употребленія, чѣмъ вода такой же жесткости, но содержащая гипсъ или магнезію. Примѣсь гипса и магнезій къ водѣ обыкновенно вредна, но лишь для лицъ, непривыкшихъ къ такой водѣ; съ теченіемъ времени организмъ привыкаетъ къ этимъ примѣсямъ.

Присутствіе въ питьевой водѣ углекислаго кальція, хотя бы въ значительномъ количествѣ, вообще говоря, безусловно безвредно для человека. Такъ, въ германскомъ городѣ Burgel (въ Тюрингіи) жители около 1000 лѣтъ пользуются водою въ 103° (нѣмецкихъ) жесткости (изъ которыхъ 88° зависитъ отъ примѣси кальція, и 15°—отъ магнезій), безъ всякаго вреда для здоровья⁹⁾.

Напротивъ, установлено, что продолжительное употребленіе мягкой воды вызываетъ, напр., болѣзни зубовъ, а также иногда и другія разстройства организма¹⁰⁾.

Однако, жесткая вода непригодна для примѣненія въ хозяйствѣ и промышленности. Въ жесткой водѣ нельзя стирать бѣлье, такъ какъ мыло образуетъ нерастворимыя хлопья, и прежде, чѣмъ мыть бѣлье, приходится израсходовать много мыла на нейтрализацію землистыхъ солей въ водѣ. Такъ, напр., на нейтрализацію на 1 куб. м. воды Сены требуется 2 кгр. мыла. Для города Глазгоу Parkes подсчиталъ, что ежегодная экономія, достигаемая городомъ на мылѣ послѣ проведенія ключевой воды, доходитъ до 900.000 франковъ.

При варкѣ въ жесткой водѣ, овощи отвердѣваютъ; поэтому такая вода непригодна для кухни. Наконецъ, при питаніи котловъ жесткою водою известь и магнезія выдѣляются при нагрѣваніи воды и образуютъ котельный камень, портящій котлы; поэтому при техническихъ примѣненіяхъ воды необходимо заботиться объ ея смягченіи.

Обыкновенно считаютъ необходимымъ смягчать воду, если жесткость ея достигаетъ 20° (нѣмецкихъ).

Значеніе другихъ примѣсей. Содержаніе въ водѣ желѣза, въ количествѣ выше 0,9 мгр. въ литрѣ, хотя и безвредно для здоровья но

⁹⁾ Gärtner. „Klinische Jahrbuch“ 1902, IX.

¹⁰⁾ Roesse Erdsalzarmut und Entartung. Berlin, 1908.

придаетъ водѣ непріятный вкусъ и цвѣтъ ржавчины; кромѣ того, такая вода сильно разъѣдаетъ водопроводныя трубы, вслѣдствія быстраго размноженія въ ней желѣзобактерій, разъѣдающихъ желѣзо.

Для кухни и для стирки воды съ содержаніемъ желѣза и марганца также непримѣнимы.

Свинецъ, который попадаетъ въ воду обыкновенно при прохожденіи ея по свинцовымъ трубамъ, разводящимъ воду внутри домовъ, весьма вреденъ для здоровья; извѣстно много случаевъ отравленія водою. Содержаніе свинца въ количествѣ меньшемъ 0,35 mgr. на 1 литр. мало замѣтно, однако, вода съ такимъ содержаніемъ свинца не должна быть употребляема, такъ какъ установлено¹¹⁾, что ежедневное употребленіе 0,55 mgr. свинца въ теченіе нѣсколькихъ мѣсяцевъ вызываетъ отравленіе.

Свинецъ растворяется въ водѣ, содержащей свободную углекислоту, или органическія кислоты (гуминовую и ульминовую—въ водѣ, проходящей по торфу).

Мѣдь, иногда попадающая изъ мѣдныхъ трубъ, а также примѣняемая для дезинфекціи воды, въ видѣ легко растворимыхъ солей, безвредна при содержаніи ея 10—30 mgr. Серьезное вліяніе на здоровье можетъ оказать лишь въ количествѣ свыше 200 mgr.

Встрѣчающіяся въ водѣ неорганическія азотистыя соединенія (амміакъ, нитриты, нитраты), а также *растворенные газы и органическія вещества*, важны не сами по себѣ (такъ какъ обыкновенно они бываютъ въ ничтожномъ количествѣ), но какъ *показатели*, что содержащая ихъ вода подозрительна въ гигиеническомъ отношеніи, являясь результатомъ процесса разложенія.

Органическія примѣси.

Органическія примѣси въ поверхностныхъ водахъ бываютъ животнаго и растительнаго происхожденія; первыя, разлагаясь, образуютъ амміакъ, который при дальнѣйшемъ окисленіи, переходитъ въ азотистую и наконецъ въ азотную кислоту. Этотъ процессъ называютъ процессомъ минерализаціи органическихъ веществъ.

При разложеніи растеній получаютъ различныя органическія соединенія (гумусовыя, или перегнойныя, вещества), твердыя и газообразныя, не содержащія въ себѣ амміака. Такимъ образомъ, амміакъ является вѣрнымъ показателемъ попаданія въ воду продуктовъ разложенія органическихъ веществъ животнаго происхожденія.

На практикѣ нерѣдко ограничиваются приблизительнымъ опредѣленіемъ общаго количества органическихъ веществъ по количеству кислорода, потребнаго на ихъ окисленіе. Въ изслѣдуемую воду добавля-

¹¹⁾ Brouardels'омъ; см. Lehmann, Methoden der praktische Hygiene, 1901, стр. 618.

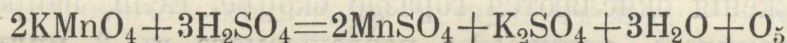
ють растворъ марганцево-кислаго калия (марганцевый хамелеонъ) (KMnO_4), обладающаго ярко-краснымъ цвѣтомъ; отдавая часть кислорода на окисленіе органическихъ веществъ, хамелеонъ переходитъ въ марганцевисто-кислый калий, теряя окраску.

Опредѣленіе окисляемости по методу Кубеля производится слѣдующимъ образомъ¹²⁾:

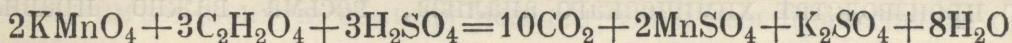
Въ колбу емкостью 300—400 куб. см. наливаютъ 100 куб. с. испытуемой воды, 5 куб. см. раствора (1:3) сѣрной кислоты и добавляютъ изъ бюретки съ краномъ 10 или болѣе куб. см. такъ наз. нормальнаго раствора хамелеона (0,316 гр. на 1 литръ воды); куб. сантиметръ этого раствора соотвѣтствуетъ 0,08 mgr. кислорода; колбу ставятъ на трехножникъ съ сѣткою и кипятятъ ровно 10 минутъ, затѣмъ приливаютъ 10 куб. см. раствора щавелевой кислоты (0,63 гр. на 1 литръ воды), отчего растворъ обезцвѣчивается; тогда снова прибавляютъ хамелеона сначала небольшими порціями, подѣ конецъ каплями до появленія не исчезающаго слабо-розоваго окрашиванія, и замѣчаютъ полное количество добавленнаго хамелеона.

Тотчасъ по окончаніи опыта къ горячей еще жидкости прибавляютъ 10 к. с. раствора щавелевой кислоты и опять по предъидущему титруютъ хамелеономъ; этотъ второй опытъ показываетъ отношеніе хамелеона къ раствору щавелевой кислоты, и служитъ для провѣрки правильности состава раствора хамелеона.

Происходящія при этихъ двухъ процессахъ реакціи выражаются слѣдующими формулами.



(хамелеонъ, соединяясь съ сѣрною кислотой, освобождаетъ кислородъ, идущій на окисленіе органическихъ веществъ)



Количество хамелеона, потребовавшееся на окисленіе воды, вычисляется такъ:

Положимъ, что во второмъ опытѣ на окисленіе 10 куб. см. щавелевой кислоты израсходовано 9,9 куб. см. хамелеона; слѣд., растворъ хамелеона крѣпче нормальнаго въ $\frac{10}{9,9}$ разъ. На окисленіе органическихъ веществъ и 10 куб. см. щавелевой кислоты въ первомъ опытѣ пошло, напр., 25,3 куб. см.; изъ нихъ на окисленіе органическихъ веществъ приходится $25,3 - 9,9 = 15,4$ куб. см. раствора, что соотвѣтствуетъ $\frac{15,4 \times 10}{9,9} = 15,56$ куб. см. нормальнаго раствора, или $15,56 \times 1,16 = 4,92$ mgr. хамелеона.

¹²⁾ Левинъ. Краткое руководство къ химическому изслѣдованію питьевой воды. Стр. 26.

Слѣд., на окисленіе органическихъ веществъ, содержащихся въ 1 литрѣ воды, требуется $4,92 \times 10 = 49,2$ мгр. хамелеона, или $15,56 \times 0,08 \times 10 = 12,45$ мгр. кислорода.

При изслѣдованіи воды, очень сильно загрязненной органическими веществами, ее предварительно разбавляютъ дистиллированной водою, а затѣмъ дѣлають соотвѣтственную поправку въ полученныхъ результатахъ.

Слѣдуетъ имѣть въ виду, что окись желѣза, сѣководорода и азотная кислота также обезцвѣчиваютъ марганцево-кислый калий, а потому при присутствіи въ водѣ этихъ веществъ надо предварительно опредѣлить содержаніе ихъ; относительно азотной кислоты укажемъ, что 1 часть ея поглощаетъ 0,42 части кислорода или 1,66 части хамелеона.

Опредѣленіе загниваемости воды. Какъ мы сказали, присутствіе амміака, азотистой и азотной кислотъ ¹³⁾ въ водѣ указываетъ на результаты процесса разложенія (гниенія) органическихъ веществъ. Для выясненія, законченъ ли этотъ процессъ, или еще продолжается въ водѣ, прибѣгаютъ къ опредѣленію загниваемости воды. Опишемъ вкратцѣ наиболѣе простой способъ этого опредѣленія, принятый въ Англіи, такъ называемый „incubator test“.

Опредѣливъ количество кислорода, поглощаемое испытуемою водою въ теченіи 3 мин., держать воду въ теченіи 5 дней въ водяной банѣ при 27° , и затѣмъ снова опредѣляютъ окисляемость въ теченіи 3 минутъ: если въ теченіи этого времени происходило гниеніе, поглощаемое количество кислорода должно значительно повыситься, такъ какъ продукты разложенія окисляются гораздо скорѣе. Если, напротивъ, вода хороша сохранилась, количество поглощаемого въ 3 минуты кислорода уменьшится. Нѣкоторые изслѣдователи производятъ это испытаніе, выдерживая воду при 18° и въ теченіи 7 дней.

По производствѣ химическаго анализа, весьма важно правильно истолковать его результаты.

Знать количество отдѣльныхъ элементовъ, содержащихся въ водѣ, менѣе важно, чѣмъ знать ихъ происхожденіе и, слѣдовательно, тѣ измѣненія, которымъ подверглась вода въ различныхъ частяхъ своего пути. Такъ, напримѣръ, значительное содержаніе соединений хлора, сульфатовъ и фосфатовъ не имѣетъ дурного значенія, если объясняется геологическимъ составомъ тѣхъ слоевъ, черезъ которые протекала вода; но совершенно иное значеніе имѣетъ количество этихъ примѣсей, если доказано, что онѣ проникли въ воду не изъ почвы, а лишь черезъ почву или помимо нея и, слѣд., являются результатомъ прямого или косвеннаго зараженія воды. Точно также, значительная примѣсь органи-

¹³⁾ Инженеру рѣдко приходится самому производить опредѣленіе этихъ веществъ. Для ознакомленія со способами ихъ опредѣленія—см., напр., вышеуказанное руководство Левина.

ческихъ веществъ растительнаго происхожденія гораздо безвреднѣе, чѣмъ ничтожная примѣсь—происхожденія животнаго.

Для правильной оцѣнки воды любого источника, надо сравнить ея составъ съ „нормальною водою“ того же источника, т. е. съ такою водою, которою обладалъ бы данный источникъ (въ зависимости отъ его положенія, геологическаго строенія мѣстности и т. п. естественныхъ условій), если бы онъ былъ оставленъ въ естественномъ состояніи и не подвергался бы никакимъ искусственнымъ, постороннимъ загрязненіямъ.

Біологическія свойства воды.

Мы видѣли, что вода можетъ содержать во взвѣшенномъ состояніи землистыя частицы, главнымъ образомъ кремнистыя и глинистыя, болѣе или менѣе мелкія; но въ ней часто содержатся также и другія тѣла, видимыя или невидимыя невооруженнымъ глазомъ, принадлежащія къ растительному или животному царству; иногда попадаются живые организмы, иногда части мертвыхъ организмовъ. Организмы эти, особенно если они еще живутъ и способны размножаться и вести образъ жизни паразитовъ, имѣютъ изъ всѣхъ примѣсей къ водѣ наиболѣе важное значеніе для здоровья человѣка и животныхъ, пользующихся водою; кромѣ того, ихъ присутствіе въ водѣ служитъ показателемъ тѣхъ явленій, которыя происходятъ въ водѣ и въ которыхъ эти микроорганизмы принимаютъ участіе. При этомъ можно сказать, что микроорганизмы, водящіеся въ водѣ, тѣмъ важнѣе, чѣмъ они медчѣ.

Изученіе микроорганизмовъ воды составляетъ задачу естествоиспытателя или врача; однако, при современномъ развитіи ученія о микроорганизмахъ, которымъ принадлежитъ первое мѣсто въ процессахъ загрязненія и очистки воды, инженеру, занимающемуся водоснабженіемъ, необходимо имѣть понятіе о микробиологіи воды, для правильнаго сужденія о качествахъ ея и способахъ ея очистки.

Хотя въ природѣ не существуетъ рѣзкой границы, однако принято выдѣлять изъ флоры и фауны воды группу низшихъ организмовъ—бактерій, или микробовъ; они особенно важны для гигиениста, потому что къ ихъ числу принадлежатъ всѣ возбудители болѣзней, встрѣчающіеся среди высшихъ микроорганизмовъ лишь какъ исключеніе.

Поэтому біологическій анализъ воды можно разбить на *микрографическій анализъ* (или *микроскопически-біологическій*), или изслѣдованіе (подъ микроскопомъ) микро-флоры и-фауны высшаго порядка, и *бактеріологическій анализъ*, или обнаруженіе бактерій (путемъ созданія искусственныхъ условій, благопріятствующихъ развитію зародышей бактерій).

Коснемся вкратцѣ біологическаго анализа.

Совокупность микроорганизмовъ, животныхъ и растительныхъ, плавающихъ въ водѣ во взвѣшенномъ состояніи, называютъ планктономъ.

Количество планктона значительно измѣняется въ различныхъ случаяхъ: многія ключевыя и грунтовыя воды совершенно свободны отъ живыхъ организмовъ, даже бактерій, между тѣмъ, какъ нѣкоторыя поверхностныя воды, особенно стоячія, содержатъ нѣсколько тысячъ микроскопическихъ животныхъ и растений и нѣсколько миллионовъ бактерій въ 1 кубическомъ сантиметрѣ.

Развитіе микроорганизмовъ воды всегда подчинено закону, по которому *характеръ и количество элементовъ, составляющихъ планктонъ, зависитъ главнымъ образомъ отъ болѣе или менѣе благоприятныхъ условій, представляемыхъ изслѣдуемою водою для разныхъ видовъ, и измѣняются во времени и пространствѣ только слѣдуя за измѣненіями въ этихъ условіяхъ.*

Другими словами, каждый видъ микроорганизмовъ развивается въ водѣ только въ томъ случаѣ, если онъ находитъ въ ней подходящія для себя физическія условія (теплоту, свѣтъ, покой или движеніе и т. д.), химическій составъ (кислородъ, нитраты, альбуминоидъ и т. д.), наконецъ запасъ пищи (обыкновенно одинъ видъ питается другими, низшими). Когда эти условія измѣняются: понизится или повысится средняя температура воды, или уменьшится содержаніе кислорода и т. п., тотчасъ этотъ видъ микроорганизмовъ исчезаетъ, или точнѣе, изъ него остаются лишь нѣсколько отдѣльныхъ экземпляровъ, готовые опять начать размножаться, какъ только вода вновь представитъ благоприятныя условія. Этотъ видъ замѣняется въ водѣ другимъ, который какъ бы выжидалъ благоприятныхъ условій для своего размноженія. Такимъ образомъ, микроорганизмы весьма чутки къ измѣненіямъ свойствъ воды, и притомъ свойствъ, зависящихъ отъ средняго состава воды, на которыя не имѣютъ вліянія случайныя примѣси къ водѣ и случайныя измѣненія ея качествъ.

Поэтому, обратно, изучивъ нравы и потребности разныхъ видовъ микроорганизмовъ, можно по присутствію въ водѣ того или другого вида, или совокупности нѣсколькихъ видовъ, легко судить о происхожденіи и составѣ воды, о характерѣ тѣхъ загрязненій, которыя въ нее попали и т. д.

Въ настоящее время біологическимъ изслѣдованіемъ водъ пользуются не только для опредѣленія присутствія микроорганизмовъ, вредныхъ для здоровья человѣка, но и для выясненія происхожденія элементовъ, обнаруженныхъ химическимъ анализомъ, появленіе и превращенія которыхъ въ водѣ нерѣдко не могутъ быть объяснены данными химіи. Кромѣ быстроты и простоты полученія результатовъ (по сравненію съ химическимъ и бактеріологическимъ анализами, требующимъ и времени, и специальной лабораторіи), микроскопически-біологическое изслѣдованіе имѣетъ еще то преимущество, что добытыя имъ данныя относятся, какъ упомянуто, къ среднему составу воды, характерному для изучаемаго водовмѣстилища, тогда какъ при взятіи пробъ

для лабораторнаго анализа мы всегда рискуемъ получить пробу, зависящую отъ случайныхъ примѣсей къ водѣ въ данное время.

Основанія біологическаго изслѣдованія воды по ея флорѣ и фаунѣ разрабатываются лишь въ послѣдніе десять—пятнадцать лѣтъ¹⁴⁾, главнымъ образомъ д-ромъ Kolkwitz (въ Берлинѣ¹⁵⁾). Особенно важно значеніе этого способа для изслѣдованія степени загрязненія рѣкъ¹⁶⁾.

Въ Россіи біологическое изслѣдованіе было произведено въ широкихъ размѣрахъ на Москвѣ-рѣкѣ д-ромъ Никитинскимъ¹⁷⁾.

Свойства видовъ, мивущихъ въ водѣ, еще далеко не изучены; біологическое изслѣдованіе водъ осложняется еще тѣмъ, что микроорганизмы, населяющіе воды разныхъ странъ, различны, въ зависимости отъ климата, почвы и т. д., поэтому, для правильности выводовъ изъ изслѣдованія, необходимо тщательное ознакомленіе съ мѣстными условіями и уясненіе т. наз. „нормальнаго“ состоянія водовмѣстности и нормальныхъ для него микро-флоры и фауны.

Однако, основанія для біологическихъ изслѣдованій уже установлены; выяснены свойства цѣлаго ряда микроорганизмовъ, остающіеся неизмѣнными почти при всѣхъ мѣстныхъ условіяхъ¹⁸⁾.

Всѣ виды, животные и растительные, раздѣляются на двѣ большихъ группы: виды, водящіеся въ чистой водѣ, которымъ дано названіе „катаробныхъ“ микроорганизмовъ, и виды, требующіе присутствія продуктовъ разложенія, или „сапробные“. Сапробные микроорганизмы животные называются „сапрозоями“, а растительные—„сапрофитами“. Организмы, живущіе въ сильно загрязненныхъ продуктами разложенія водахъ, называются „полисапробными“, въ мало-загрязненныхъ—„олиго-сапробными“, требующіе средняго загрязненія—„мезосапробными“.

Скажемъ нѣсколько словъ о *составѣ планктона прѣсныхъ водъ*.

Прежде живого планктона, слѣдуетъ умѣть отличать нѣкоторые неживые элементы, или такъ-называемый псевдо-планктонъ. Къ нему относятся:

1) Остатки организмовъ растительнаго происхожденія. Они имѣютъ мало значенія для здоровья человѣка, и служатъ лишь показателями присутствія въ водѣ гниющаго дерева, или веществъ, вышедшихъ изъ

¹⁴⁾ Prof. Metz. Microscopische Wasser analyse. 1898.

¹⁵⁾ См. рядъ статей по этому вопросу Kolkwitz и Marsson въ „Mitteilungen aus der Kngl. Prüfungsanstalt für Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung“ съ 1902 года и до настоящаго времени.

¹⁶⁾ Этимъ вопросомъ приходится также заниматься при изученіи условій спуска сточныхъ водъ въ рѣки и выбора степени очистки сточныхъ водъ передъ ихъ спускомъ.

¹⁷⁾ Никитинскій. Второй отчетъ Комиссіи по изслѣдованію результатовъ біологической очистки сточныхъ водъ на поляхъ орошенія г. Москвы. 1909—1910.

¹⁸⁾ Описанію главнѣйшихъ микроорганизмовъ а равно и основныхъ методовъ біологическаго изслѣдованія, посвящается спеціальное прибавленіе къ предлагаемой работѣ.

кишечника человека или животных (зерна вареных бобовъ, кожица фруктъ или овощей и др.).

2) Остатки организмовъ животного происхожденія.

Въ водахъ, населенныхъ многочисленными животными организмами, естественно, встрѣчаются тѣла, или части тѣлъ, умершихъ животныхъ; нѣкоторыя изъ нихъ разлагаются быстро, другія медленно. Эти тѣла имѣютъ значеніе только какъ показатели присутствія живыхъ микроорганизмовъ того же вида.

Мышечныя волокна мяса (фиг. 3), капли жира, кусочки эпителия кишечника указываютъ на загрязненіе воды фекальными веществами.

Волокна матеріи, волоса людей и животныхъ указываютъ, что вода служила для мытья, и т. д.

3) Яйца и личинки червей-паразитовъ (напримѣръ солитера и др.) опасны для человека, такъ какъ могутъ получить развитіе въ его кишечникѣ; кромѣ того, ихъ присутствіе въ водѣ указываетъ на загрязненіе ея фекаліями, такъ какъ эти яйца могли попасть почти исключительно изъ кишечника и изъ испражнений.

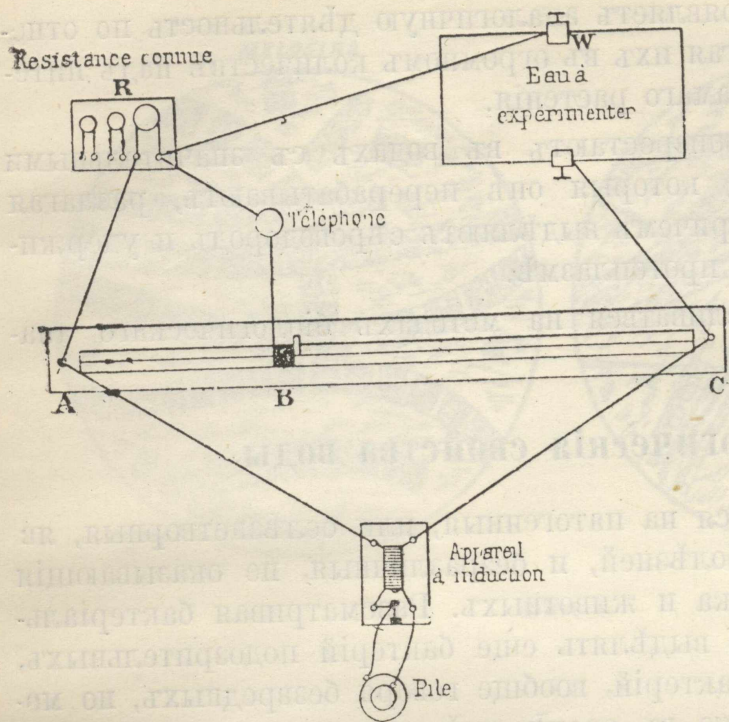
4) Передача болѣзней животными микроорганизмами (протозоями) черезъ воду, повидимому, почти не имѣетъ мѣста ¹⁹⁾. Одна только *Amoeba dysenteriae*, можетъ быть, переносится водою.

5) *Флора прѣсныхъ водъ*. Водяныя растенія играютъ большую роль въ процессѣ естественнаго очищенія и окисленія водъ, такъ какъ они, по самому способу своего питанія, при помощи хлорофила, усваиваютъ углеродъ углеводовъ и углекислоты, возстановляя кислородъ. Этотъ процессъ возстановленія кислорода, повидимому, сильнѣе у растений низшихъ классовъ, чѣмъ у высшихъ, такъ что наиболѣе энергичное окисленіе вызываютъ альги (водоросли). Водоросли разрушаютъ также и бактерій. На фиг. 4 показаны наиболѣе распространенные виды водорослей.

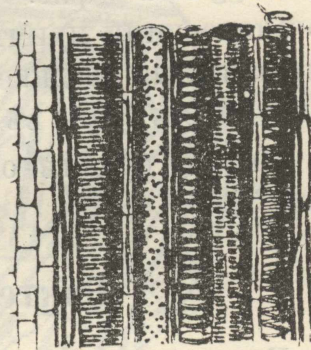
Отмѣтимъ еще четыре вида изъ класса Schyzophyceae (группы bacteriacea), имѣющихъ большое значеніе для техника: 1) *Crenothrix* (фиг. 5) и 2) *Leptothrix* обладаютъ способностью извлекать изъ воды растворенное въ ней желѣзо. Они не могутъ развиваться въ водѣ безъ присутствія въ ней желѣза, но достаточно содержанія 3 мгр. желѣза на 1 литръ воды, чтобы *Crenothrix* и *Leptothrix* развились въ большомъ количествѣ. Кѣлки этихъ растений выдѣляютъ желѣзо изъ воды и окисляютъ его; корни, вырастая, образуютъ сѣть желѣзистаго вещества, прилипающаго къ стѣнкамъ водопроводныхъ трубъ и стѣсняющаго сѣченіе трубъ.

При благоприятныхъ условіяхъ, *Crenothrix* уменьшаетъ пропускную способность трубъ на 1% въ теченіе года. Вода отъ присутствія *Crenothrix* становится мутною и иногда зловонною.

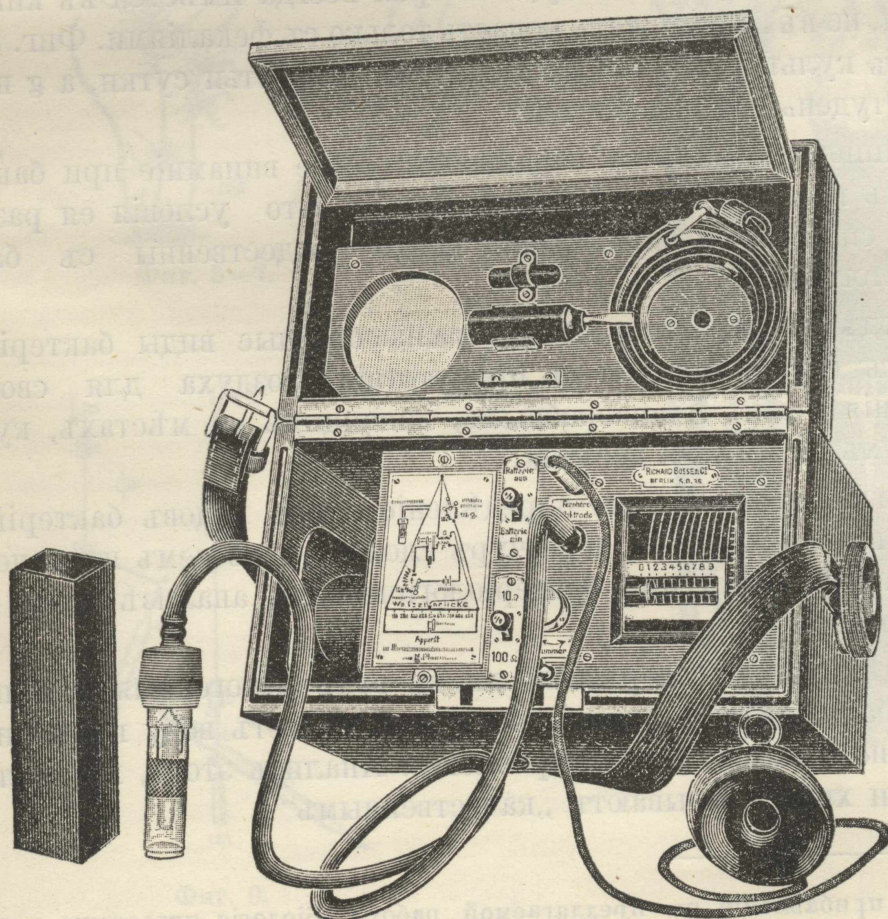
¹⁹⁾ Moser und Peiper. Tierische Parasiten. 1904.



Фиг. 1.



Фиг. 3.



Фиг. 2.

3) *Cladotrix* (фиг. 6) проявляетъ аналогичную дѣятельность по отношенію солей извести, отлагая ихъ въ огромномъ количествѣ надъ нитевидными развѣтвленіями самаго растенія.

4) *Beggiatoa* (фиг. 7) произрастаютъ въ водахъ съ значительными органическими примѣсями, которыя онѣ перерабатываютъ, разлагая сѣрнокислыя соединенія, причемъ выдѣляютъ сѣроводородъ и удерживаютъ часть сѣры въ своей протоплазмѣ.

Мы не будемъ останавливаться на методахъ біологическаго анализа ²⁰⁾.

Бактеріологическія свойства воды.

Бактеріи подраздѣляются на патогенныя, или болѣзнетворныя, являющіяся возбудителями болѣзней, и безразличныя, не оказывающія вліянія на здоровье человѣка и животныхъ. Разсматривая бактеріальное населеніе воды, можно выдѣлять еще бактерій подозрительныхъ, подразумѣвая подъ ними бактерій, вообще говоря безвредныхъ, но могущихъ существовать только въ средѣ, гдѣ происходитъ разложеніе органическихъ веществъ, и потому указывающихъ на эти процессы въ водѣ; къ подозрительнымъ бактеріямъ слѣдуетъ отнести *Bacillus coli communis* (кишечную палочку), которая всегда имѣется въ кишечникѣ человѣка, но въ воду можетъ попасть только съ фекаліями. Фиг. 8 h представляетъ культуру *B. coli* на желатинѣ на третьи сутки, а g на агаръ-агарѣ (студень изъ водорослей).

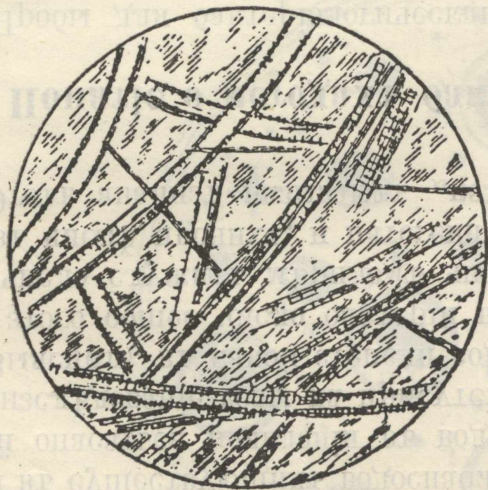
На кишечную палочку обращаютъ особое вниманіе при бактеріологическомъ изслѣдованіи воды еще потому, что условія ея развитія, а также и способы ея опредѣленія почти тождественны съ бациллою тифа (патогенною).

Въ водѣ встрѣчаются весьма разнообразныя виды бактерій, какъ аэробныхъ (нуждающихся въ присутствіи воздуха для своего существованія), такъ и анаэробныхъ, живущихъ въ мѣстахъ, куда свѣжій воздухъ не имѣетъ доступа.

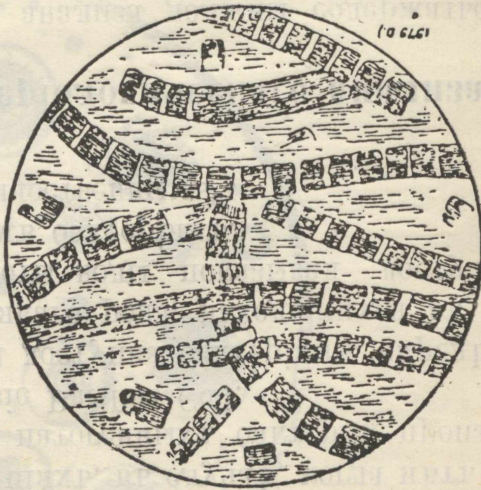
При изслѣдованіи воды опредѣленіе всѣхъ видовъ бактерій, находящихся въ ней, было бы чрезчуръ сложно, и въ немъ нѣтъ необходимости. На практикѣ при бактеріологическомъ анализѣ воды ставятъ два требованія:

1) Опредѣлить, не содержатся ли въ водѣ патогенныя или подозрительныя бактеріи, присутствіе которыхъ дѣлаетъ воду прямо и непосредственно опасною для употребленія. Анализъ этотъ, по аналогіи съ терминами химіи, называютъ „качественнымъ“.

²⁰⁾ См. прибавленіе къ предлагаемой работѣ „Біологія питьевыхъ и сточныхъ водъ“.

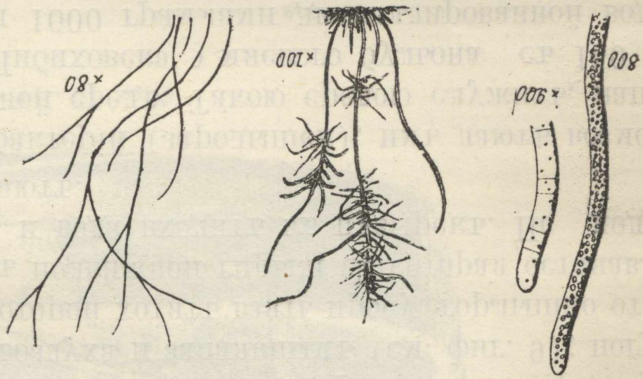


FRAGILLARIA

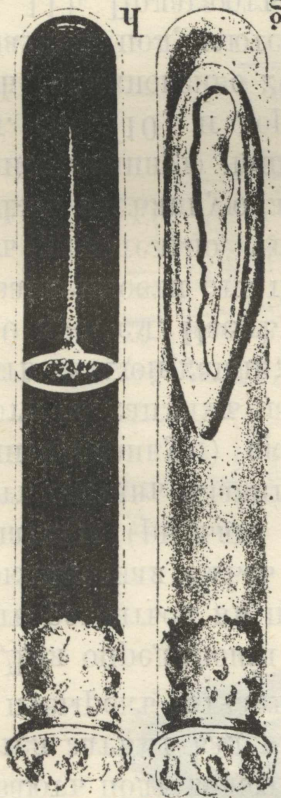


MELOSIRA

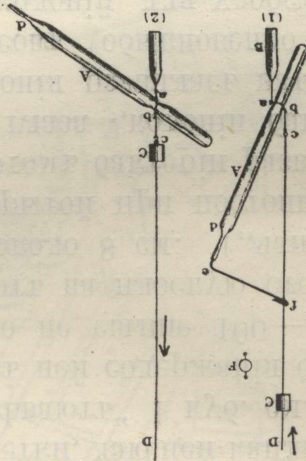
Фиг. 4.



Фиг. 5-7.



Фиг. 8.



Фиг. 9.

На практикѣ при постоянныхъ контрольныхъ анализахъ питьевой воды въ существующихъ водоснабженіяхъ, въ случаѣ, когда нѣтъ основаній опасаться появленія въ водѣ патогенныхъ бактерій, производится изслѣдованіе воды на присутствіе *Bacillus Coli*.

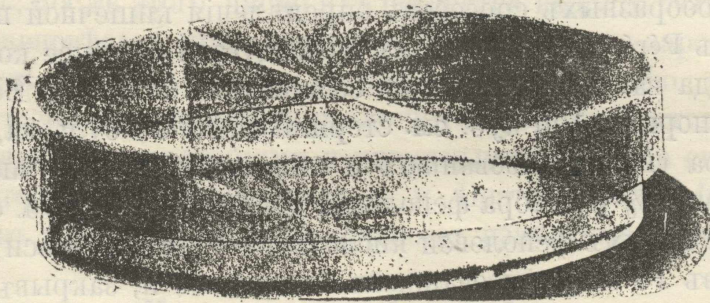
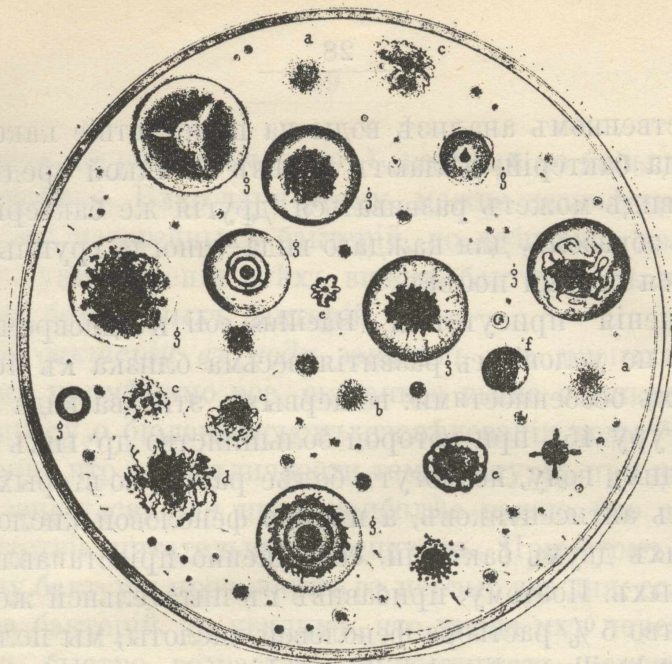
2) Выяснить, въ какой степени вода доступна бактеріямъ, опредѣливъ для этого общее число бактерій всякаго рода, находящихся въ водѣ; это число служить мѣриломъ чистоты воды, показывая доступность ея, въ числѣ прочихъ, и патогеннымъ бактеріямъ.

Этотъ анализъ называютъ „количественнымъ“.

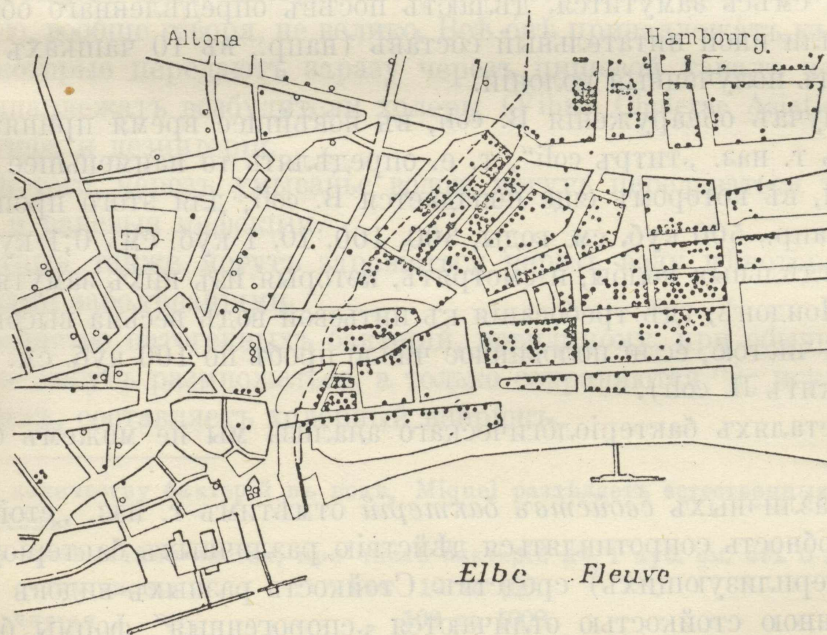
Понятіе о методахъ бактеріологическаго анализа.

Пробы для бактеріологическаго анализа должны содержаться въ герметически закрытыхъ сосудахъ. Для взятія пробъ служить стерилизованный сосудъ, снабженный герметическою пробкою, которую можно открыть и вновь закрыть на опредѣленной глубинѣ. Нерѣдко пользуются стекляннымъ пузырькомъ съ узкимъ горлышкомъ, предварительно освобожденнымъ отъ воздуха и запаяннымъ (см. фиг. 9); погруживъ его на ту глубину, съ которой хотятъ взять пробу, горлышко отламываютъ подъ водою ударомъ подвижной гирьки С, которая останавливается затѣмъ задержкою с, и вода входитъ въ пузырекъ. По поднятіи пузырекъ тотчасъ запаиваютъ.

Для опредѣленія числа бактерій (зародышей), имъ даютъ возможность развиваться въ питательной средѣ. Такою средою служитъ, напр., прокипяченная смѣсь 6 гр. Либиховскаго мясного бульона съ 150 гр. желатины (рыбьяго клея) и 1000 граммами дистиллированной воды. Этотъ составъ плавится при 30—40°. Взявъ въ трубочку (конечно, стерилизованную) около 20 куб. см. питательной желатины, прибавляютъ по каплямъ изслѣдуемую воду, тщательно взбалтывая желатину послѣ каждой капли; капаютъ изъ пипетки, дающей капли объемомъ въ $\frac{1}{20}$ куб. см. Изслѣдуемой воды „засѣваютъ“ 1 куб. см. или меньше, въ зависимости отъ предполагаемаго въ ней содержанія бактерій, такъ какъ желательно, чтобы было засѣяно не свыше 100—200 бактерій. Затѣмъ засѣянную желатину выливаютъ на плоскую стеклянную стерилизованную чашку діаметромъ около 8 см. („чашки Петри“) (см. фиг. 10) и держатъ чашку закрытой при постоянной температурѣ (обыкновенно 20°—22° С). При этомъ бактеріи развиваются, и въ желатинѣ получаютъ замѣтныя для глаза „колоніи бактерій“ (см. фиг. 11). Полагаютъ, что каждая колонія развилась изъ одного зародыша. Черезъ опредѣленное число часовъ (обыкновенно 48 час) подсчитываютъ при помощи лупы число колоній, для удобства счета подкладывая подъ дно чашки черную пластинку, разграфленную на секторы.



Фиг. 10—11.



Фиг. 12.

При качественномъ анализѣ воды на присутствіе какого-либо опредѣленнаго вида бактерій, дѣлають посѣвъ въ такой средѣ, въ которой только этотъ видъ можетъ развиваться, другія же бактеріи не развиваются. Такимъ образомъ, для каждаго вида (иногда группы видовъ) бактерій требуется особый посѣвъ.

Для выясненія присутствія *Bacillus coli* и одновременно *Bacillus typhi*, которая по условіямъ развитія весьма близка къ первой, пользуются двумя ихъ особенностями: во-первыхъ, эти два вида легко переносятъ температуру 45°, при которой большинство другихъ видовъ бактерій, населяющихъ воду, не могутъ болѣе расти; во-вторыхъ, слабыя дозы нѣкоторыхъ антисептиковъ, а именно феноловой кислоты, не мѣшаютъ росту этихъ двухъ бактерій, совершенно приостанавливая развитіе всѣхъ остальныхъ. Поэтому, прибавивъ къ питательной желатинѣ нѣкоторое количество 5% раствора феноловой кислоты, мы получимъ въ ней только колоніи *bacillus coli* и *bacillus typhi*.

Изъ разнообразныхъ способовъ опредѣленія кишечной палочки укажемъ способъ Péré²¹⁾, въ которомъ изслѣдуется большое количество воды, что иногда важно при маломъ содержаніи бактерій. Берутъ смѣсь въ такой пропорціи: 100 куб. см. стерилизованнаго бульона, 50 куб. см. 10% раствора (нейтрализованнаго и стерилизованнаго) чистаго пептона, 20 куб. см. 5% раствора феноловой кислоты и 830 куб. см. изслѣдуемой воды (1 граммъ феноловой кислоты на 1 литръ смѣси). Жидкость разливають въ 10 стерилизованныхъ баллоновъ, и, закрывъ ватой, держать при 34°; если есть *B. coli* или *B. typhi*, растворъ замутится, и тѣмъ скорѣе, чѣмъ больше бациллъ.

Когда смѣсь замутится, дѣлають посѣвъ опредѣленнаго объема ея на тотъ или иной питательный составъ (напр., въ 10 чашкахъ Петри) и считаютъ полученныя колоніи.

Въ случаѣ обнаруженія *B. coli*, въ новѣйшее время принято устанавливать т. наз. „титръ *coli*“, т. е. опредѣлять то наименьшее количество воды, въ которомъ еще попадаетъ *B. coli*; для этого производять посѣвъ, напр., 500 куб. см. воды, 300, 100, 10, 1 куб. см., 0;1 куб. см. и т. д. въ отдѣльныя колбы, и смотрять, которыя изъ нихъ замутятся.

(Въ Лондонѣ, гдѣ требованія къ питьевой водѣ весьма высоки, вода считается чистою, если половинное число пробъ по 100 куб. см. каждая не содержитъ *B. coli*).

На деталяхъ бактериологическаго анализа мы не можемъ останавливаться.

Изъ различныхъ свойствъ бактерій отмѣтимъ т. наз. „стойкость“, т. е. способность сопротивляться дѣйствию различныхъ бактериоубивающихъ (стерилизующихъ) средствъ. Стойкость разныхъ видовъ различна; особенною стойкостью отличаются „спорогенныя“ формы бактерій

²¹⁾ „Annales de l'Institut Pasteur“, V, 1891.

(размножающіяся посредствомъ споръ), которыя по большей части безвредны для человѣка. Благодаря этому, можно дезинфицировать воду, т. е. убиѣть въ ней патогенныхъ бактерій, но добиваясь полной стерилизаціи ея, т. е. уничтоженія всѣхъ видовъ бактерій, въ томъ числѣ и стойкихъ видовъ безвредныхъ бактерій.

Количество бактерій въ водѣ зависитъ отъ многихъ обстоятельствъ, и къ нимъ примѣнимо все, сказанное выше о микроорганизмахъ вообще (по вопросу о біологическомъ изслѣдованіи воды ²²).

Добавимъ еще, что при наличности температуры, при которой бактеріи могутъ развиваться, для нихъ наиболѣе важно (по опытамъ Rubner'a ²³) присутствіе питательныхъ веществъ. При этомъ наибольшую жизненную силу бактеріи проявляютъ въ первыя два дня; если наблюдать развитіе посѣва бактерій, то увидимъ, что число ихъ черезъ нѣсколько часовъ начнетъ быстро возрастать и достигнетъ максимума черезъ 24—48 часовъ; послѣ этого, число ихъ останется надолго безъ перемѣнъ: наступитъ равновѣсіе, при которомъ число вновь зарождающихся бактерій будетъ равно числу умирающихъ. Развитію бактерій въ водѣ мѣшаютъ еще борьба между различными видами бактерій, пожираніе бактерій низшими растеніями и животными, дѣйствіе свѣта, умертвляющее бактерій, осажденіе ихъ и т. п. Поэтому бактеріи живутъ и развиваются въ естественной водѣ только въ извѣстные периоды.

Патогенныя бактеріи.

Число видовъ патогенныхъ бактерій, которыя на практикѣ передаются водою, вообще говоря, не велико. Всѣ онѣ принадлежатъ къ такимъ видамъ, которые передаютъ заразу черезъ пищевой каналъ человѣка. Сюда принадлежатъ возбудители холеры (*Vibrio Cholerae Asiaticae*), тифа, паратифа и дезинтеріи.

Кромѣ того, черезъ умыванье водою могутъ передаваться трахома, гоноррея и раневыя инфекціи.

Животныя также могутъ заражаться черезъ воду нѣкоторыми инфекціонными заболѣваніями.

Большинство патогенныхъ бактерій, повидимому, при обычныхъ условіяхъ не могутъ размножаться, а только сохраняются ²⁴); исключеніе, быть можетъ, составляетъ холерный вибрионъ.

²²) По количеству бактерій въ водѣ, Miquel раздѣляетъ естественныя воды на шесть классовъ:

- 1) вода чрезвычайно чистая, при числѣ бактерій въ 1 куб. см. отъ 0 до 10.
- 2) „ очень чистая отъ 10 до 100.
- 3) „ чистая „ 100 до 1000.
- 4) „ посредственная „ 1000 до 10000.
- 5) „ нечистая „ 10000 до 100000.
- 6) „ весьма загрязненная . . свыше 100000.

²³) Rubner. Archif für Hygiene. 1906, 57, стр. 161.

По изслѣдованіямъ Gotschlich ²⁵⁾, холерные вибріоны сохраняются въ водѣ до 3 мѣсяцевъ, а бациллы тифа—до 4 недѣль; въ холодной водѣ и во льду послѣднія сохраняются до 100 дней.

Вліяніе питьевой воды на распространение эпидемій и на смертность населенія.

Главными эпидемическими болѣзнями, распространяемыми недоброкачественною питьевою водою, являются холера и тифъ (брюшной).

Вліяніе воды на холерныя заболѣванія легче установить, чѣмъ вліяніе ея на зараженіе тифомъ, такъ какъ характерные признаки холеры проявляются уже на третій день послѣ зараженія, и анализъ источника воды, употреблявшейся для питья, обнаружить, есть ли въ ней вибріоны; тифъ же проявляется обыкновенно лишь черезъ 14—21 дней, и за этотъ срокъ тифозныя бациллы, если онѣ случайно попали въ воду (вмѣстѣ съ испраженіями какого-либо больного), могутъ уже исчезнуть изъ воды даннаго источника.

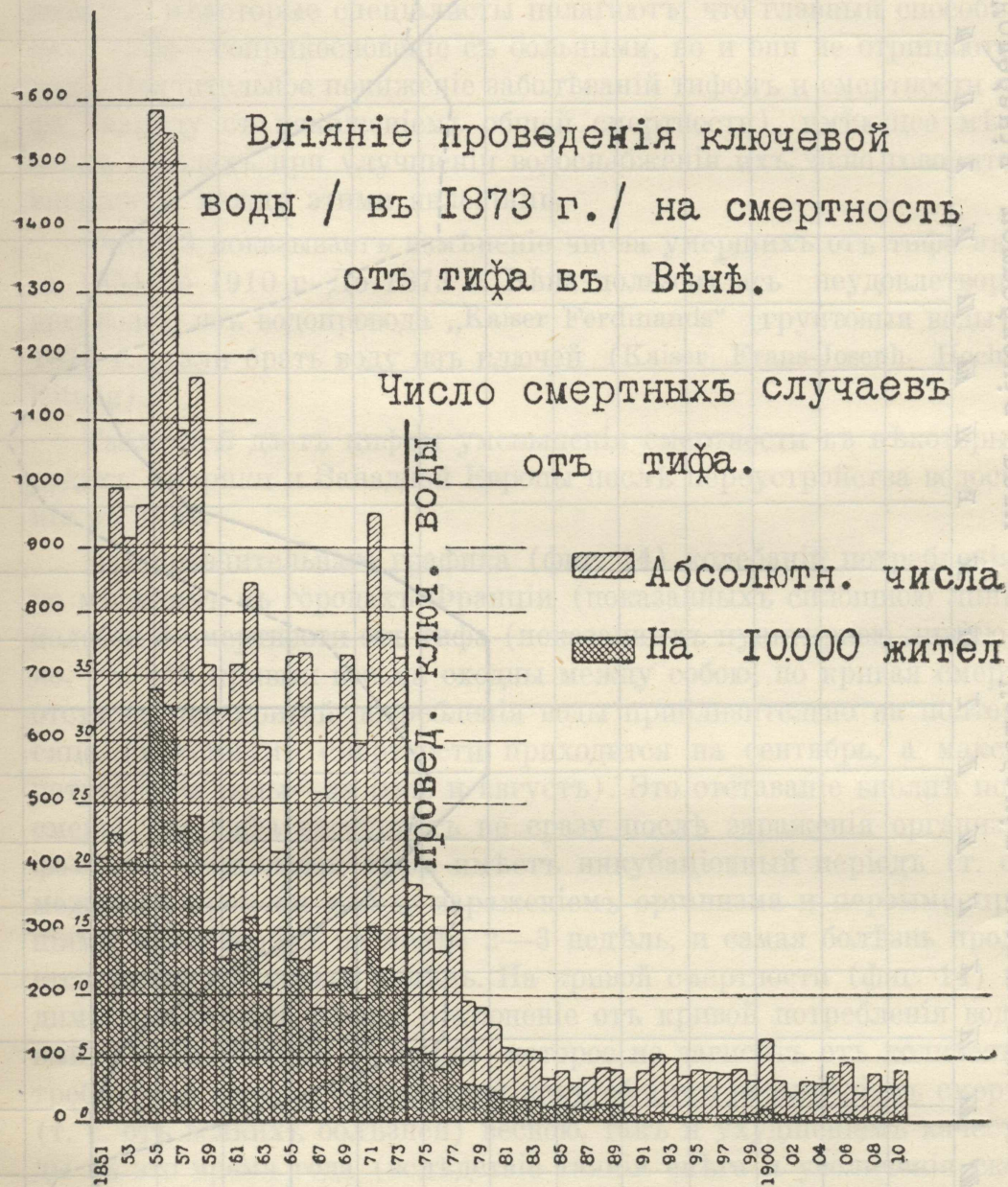
Холерныя эпидеміи, возникшія вслѣдствіе зараженія вибріонами источника центрального водоснабженія, имѣютъ характеръ вспышки, т. е. внезапно появляются сразу во всѣхъ мѣстахъ, пользующихся водою этого источника. Холерныя эпидеміи бываютъ главнымъ образомъ при употребленіи для питья недостаточно очищенной рѣчной воды.

Классическій примѣръ холерной эпидеміи, вызванной питьевой водою, представляетъ эпидемія 1892 года въ Гамбургѣ, гдѣ въ теченіе лѣта 1892 г. было 18.000 заболѣваній и 8.200 смертныхъ случаевъ (14, 22 смертныхъ случая на 1000 жителей). Гамбургъ пользовался нефилтрованою водою рѣки Эльбы (отстоявшеюся только въ осадочныхъ бассейнахъ); хотя воду брали выше города, однако вліяніе приливовъ простирается выше мѣста взятія воды, такъ что городъ самъ заражалъ своими водостоками свою питьевую воду. Въ то же время городъ Альтона, примыкающій къ Гамбургу и лежащій ниже его стоковъ по теченію Эльбы, пострадалъ лишь незначительно (2,42 смертныхъ случая на 1000), такъ какъ пилъ фильтрованную воду. На фиг. 12 точками обозначены дома, гдѣ были случаи холеры: группа домовъ въ Гамбургѣ, пощаженныхъ холерою, пользовалась водою изъ водопровода Альтоны.

Намъ не приходится много говорить о холерной эпидеміи 1908—9 гг. въ С.-Петербургѣ, гдѣ водопріемныя трубы городского водопровода расположены рядомъ съ мѣстомъ выпуска въ Неву водостоконъ, отъ нѣкоторыхъ домовъ напр., отъ городской богадѣльни, въ которой было нѣсколько десятковъ заболѣваній холерою.

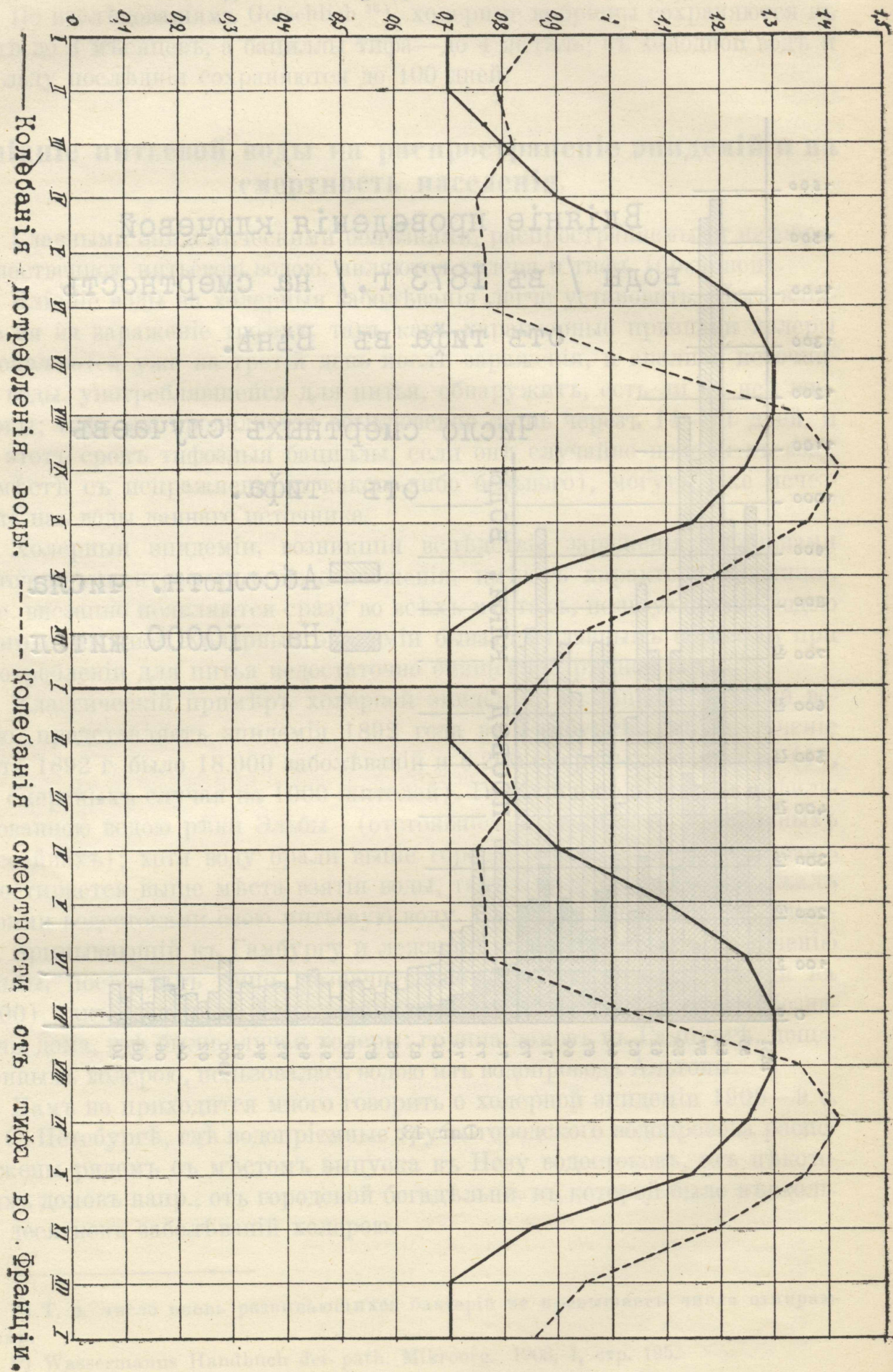
²⁴⁾ Т. е. число вновь развивающихся бактерій не превышаетъ числа отмирающихъ.

²⁵⁾ Wassermanns Handbuch der path. Mikroorg., 1903, 1, стр. 195.



Фиг. 13.

Въ доляхъ средней мѣсячной величины.



Фиг. 14.

Въ общемъ, число заболѣваній въ 1908 г. (съ августа по декабрь включительно) было около 9000, а смертныхъ случаевъ—4000.

Все изслѣдователи холеры согласны, что главная роль въ передачѣ ея принадлежитъ водѣ. Относительно распространенія тифа мнѣнія расходятся: нѣкоторые спеціалисты полагаютъ, что главный способъ передачи тифа—соприкосновеніе съ больными, но и они не отрицаютъ роли воды. Значительное пониженіе заболѣваній тифомъ и смертности отъ тифа (наряду съ пониженіемъ общей смертности), имѣющее мѣсто во всѣхъ городахъ при улучшеніи водоснабженія ихъ, ясно говоритъ о зависимости между этими явленіями.

Фиг. 13 показываетъ измѣненіе числа умершихъ отъ тифа въ Вѣнѣ съ 1851 по 1910 г. До 1873 г. Вѣна пользовалась неудовлетворительною водою изъ водопровода „Kaiser Ferdinands“ (грунтовая вода), а въ 1874 г. стали брать воду изъ ключей (Kaiser Franz-Joseph. Hochquellenleitung).

Табл. № 5 даетъ цифры уменьшенія смертности въ нѣкоторыхъ городахъ Америки и Западной Европы послѣ переустройства водоснабженія въ нихъ.

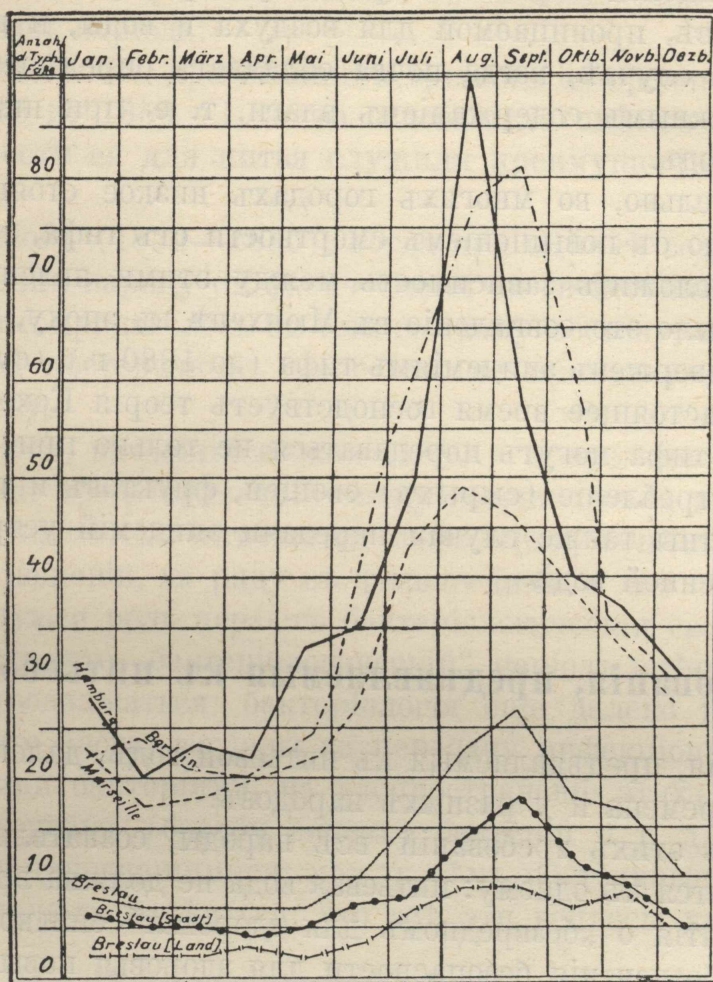
Изъ сравнительнаго графика (фиг. 14) колебаній потребленія воды по мѣсяцамъ въ городахъ Франціи (показанныхъ сплошною линіею) и колебаній смертности отъ тифа (показанныхъ пунктирною линіею), видно, что обѣ кривыя весьма сходны между собою, но кривая смертности отстаетъ отъ кривой потребленія воды приблизительно на полтора мѣсяца (максимумъ смертности приходится на сентябрь, а максимумъ потребленія воды—на июль и августъ). Это отставаніе вполне понятно: смерть отъ тифа наступаетъ не сразу послѣ зараженія организма тифозными бактеріями; тифъ имѣетъ инкубаціонный періодъ (т. е. промежутокъ времени между зараженіемъ организма и первыми проявленіями заболѣванія) не менѣе 2—3 недѣль, и самая болѣзнь продолжается также нѣсколько недѣль. На кривой смертности (фиг. 14) мы видимъ только одно рѣзкое отклоненіе отъ кривой потребленія воды: повышеніе смертности въ мартѣ, которое не зависитъ отъ количества потребляемой воды, а объясняется какъ общимъ повышеніемъ смертности (т. е. отъ всякихъ болѣзней) весною, такъ и ухудшеніемъ качества воды въ это время года (вслѣдствіе таянія снѣга и увеличенія скорости теченія рѣкъ, при которой вода взмучиваетъ илъ со дна рѣкъ, содержащій много бактерій).

Графикъ фиг. 14 составленъ по среднимъ цифрамъ для 50 городовъ Франціи за 5 лѣтъ (1899—1903).

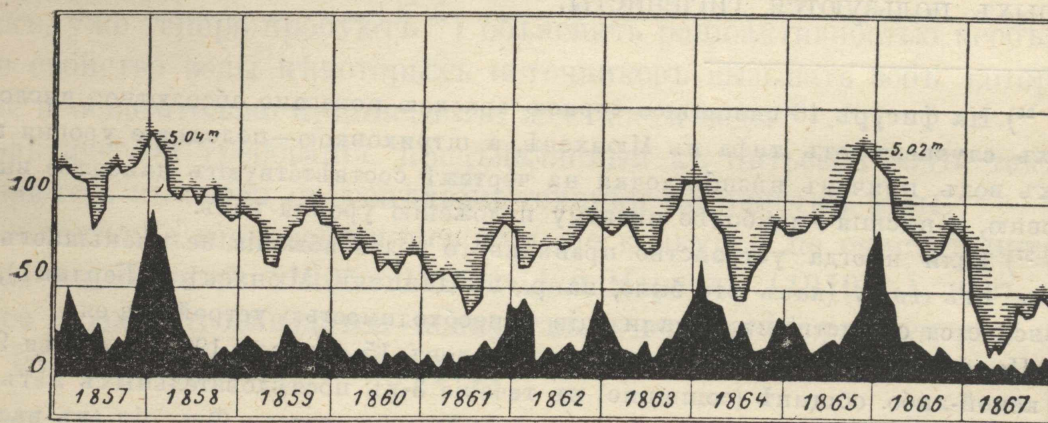
Колебанія числа заболѣваній тифомъ въ отдѣльныхъ городахъ—Бреславль, Берлинъ, Гамбургъ и Марсель, представленные на фиг. 15, сходны съ колебаніями графика фиг. 14. Все это подтверждаетъ теорію распространенія тифа питьевою водою („теорія Коха“).

Таблица V.

Названіе города.	Переустройство водоснабженія (взамѣнъ снабженія нефилтр- ованною рѣчною или колодезною водою).	Время переустрой- ства.	Смертность отъ тифа на 1000 жителей (среднее за 5 лѣтъ)		Общая смертность на 1000 жителей (среднее за 5 лѣтъ)	
			до пере- устройства.	послѣ пере- устройства.	до пере- устройства.	послѣ пере- устройства.
Lawrence	Фильтрованіе.	1893	1,21	0,26	24,4	20,0
Albany	—	1899	1,04	0,28	22,4	18,4
Lowell	Подземные источники.	1896	0,97	0,21	25,1	20,5
Newark	Горные ключи.	1892	0,70	0,16	25,1	22,1
Вѣна	Горные ключи.	1873	1,05	0,52	39,4	30,6
Цюрихъ	Фильтрованная озерная вода.	1885	0,76	0,10	—	—
Гамбургъ	Фильтрованіе водъ р. Эльбы.	1893	0,47	0,07	24,0	17,7
Нанси	Фильтрующая водосборная галлерей.	1882	1,06	0,72	25,8	23,6



Фиг. 15.



Фиг. 16.

По другой теоріи, принадлежащей Петтенкоферу и развитой Эмериномъ, эпидеміи тифа и холеры могутъ распространяться лишь на пористой почвѣ, проницаемой для воздуха и воды, и главнымъ образомъ въ томъ случаѣ, когда почва обладаетъ опредѣленнымъ, относительно ничтожнымъ содержаніемъ влаги, т. е. при низкомъ стояніи грунтовыхъ водъ.

Дѣйствительно, во многихъ городахъ низкое стояніе грунтовыхъ водъ совпадало съ повышеніемъ смертности отъ тифа, такъ что отсюда можно предположить зависимость между этими явленіями. Особенно характерно было это совпаденіе въ Мюнхенѣ въ эпоху, когда Мюнхенъ былъ еще подверженъ эпидеміямъ тифа (до 1880 г.) (см. фиг. 16; ²⁶). Однако, въ настоящее время господствуетъ теорія Коха ²⁷).

Бациллы тифа могутъ передаваться не только при питьѣ воды, но и черезъ употребленіе (сырыхъ) овощей, фруктовъ и т. п., вымытыхъ водою; извѣстны также случаи передачи эпидемій устрицами, росшими въ зараженной водѣ.

Требованія, предъявляемыя къ питьевой водѣ.

Требованія, предъявляемыя къ питьевой водѣ, далеко не одинаковы въ разные времена и у разныхъ народовъ.

Сущность этихъ требованій всѣ народы, сознательно или инстинктивно, сводятъ къ одному: питьевая вода не должна вредить здоровью. Однако понятія о „безвредномъ для здоровья“ сильно измѣняются, и требованія обезпеченія безопасности для здоровья повышаются вмѣстѣ съ развитіемъ гигиены и повышеніемъ ея требованій. Кромѣ того, пониманіе различныхъ процессовъ совершающихся въ водѣ, и роли различныхъ ея примѣсей, органическихъ и неорганическихъ, также развивается и иногда измѣняется кореннымъ образомъ, въ связи съ успѣхами химіи, бактеріологіи и другихъ отраслей знанія, выводами которыхъ пользуются гигиенисты.

²⁶) На фигурѣ 16 сплошною черною краскою показано абсолютное число смертныхъ случаевъ отъ тифа въ Мюнхенѣ, а штриховкою—положеніе уровня грунтовыхъ водъ, причемъ низшія точки на чертежѣ соотвѣтствуютъ наиболѣе высокому уровню, а высшія—наиболѣе низкому положенію уровня водъ.

²⁷) Если иногда устройство правильнаго водоснабженія не уменьшаетъ смертности отъ тифа (какъ это было, напр., въ Данцигѣ, Мюнхенѣ и Берлинѣ), то это объясняется отсутствіемъ канализаціи и необходимостью устройства ея.

По французскому законодательству (законъ 15 февраля 1902 г., статья 9), если въ какой-либо общинѣ (commune) въ теченіе 3-хъ послѣдовательныхъ лѣтъ цифра смертности будетъ превышать среднюю цифру смертности Франціи (въ настоящее время около 22 человекъ), то должны быть приняты мѣры для оздоровленія этой общины, съ устройствомъ, въ случаѣ надобности, правильныхъ водоснабженія и канализаціи, если таковыхъ еще не имѣлось.

Воззрѣнія на питьевую воду можно, съ гигиенической точки зрѣнія, раздѣлить на три періода:

Первый періодъ отъ древнѣйшихъ временъ до середины XIX вѣка (приблизительно до 1850 г.), когда основаніемъ оцѣнки воды по отношенію пригодности ея для питья служили преимущественно ея физическія свойства.

Второй періодъ (1850—1880), когда при оцѣнкѣ воды въ гигиеническомъ отношеніи, наряду съ физическими ея свойствами, главное рѣшающее значеніе придавалось ея химическому составу, а именно присутствію въ ней постороннихъ веществъ, не принадлежащихъ къ ея обычному составу.

Третій періодъ, начавшійся около 1880 г. и продолжающійся и въ настоящее время, представляющій эпоху возникновенія и развитія новой науки—бактеріологіи, отличается тѣмъ, что при оцѣнкѣ воды въ гигиеническомъ отношеніи, на ряду съ физическими и химическими свойствами, выдающуюся роль играютъ бактеріологическія свойства воды.

Надо полагать, что „бактеріологическій“ періодъ оцѣнки воды еще долго будетъ продолжаться: бактеріологія еще далеко не высказала своего послѣдняго слова; взгляды на передачу инфекціонныхъ заболеваний патогенными бактеріями, на распространеніе этихъ бактерій въ землѣ, на антагонизмъ (борьбу видовъ) бактерій и т. д. еще нельзя считать твердо установившимися; между тѣмъ постоянные успѣхи бактеріологіи позволяютъ надѣяться, что всѣ эти вопросы найдутъ ясное разрѣшеніе.

Трудно сказать, какіе новые пути откроетъ наука о здоровьѣ человека, и настанетъ ли четвертый періодъ воззрѣній на свойства воды, когда къ требованіямъ чистоты физической, химической и бактеріологической прибавятся еще какія либо новыя требованія. Быть можетъ, новый періодъ возникнетъ современемъ въ связи съ развитіемъ изученія радіоактивныхъ свойствъ разныхъ тѣлъ.

Такъ, уже теперь пробуютъ ²⁸⁾ объяснить радіоактивностью необъясненное свойство воды нѣкоторыхъ источниковъ вызывать зобъ, которое прежде неосновательно приписывали жесткости воды ²⁹⁾.

Практическія требованія, предъявляемыя къ питьевой водѣ, также повышаются, въ связи съ успѣхами техники по очисткѣ воды.

Въ послѣдніе годы состоялись большіе конкурсы по очисткѣ питьевой воды въ Парижѣ (1905—1908 гг.) и Марселѣ (1910 г.), и въ настоящее время производятся конкурсныя испытанія различныхъ системъ очистки воды въ С.-Петербургѣ.

²⁸⁾ Repin. Comptes rendus des séances de l'Academie des sciences, 1908, 147, стр. 387.

²⁹⁾ Какъ ведущія къ развитію зоба, извѣстны на примѣръ воды ключей Willard-Clement и St. Rancrase около St. Jean de Maurienne въ Савойѣ.

Успѣхи техники по очисткѣ питьевой воды, обнаружившіеся на указанныхъ конкурсахъ, даютъ возможность повысить санитарныя требованія, предъявляемыя къ питьевой водѣ, доставляемой центральными водоснабженіями, безъ значительнаго повышенія при этомъ платы за воду. Новѣйшія требованія можно принять въ слѣдующемъ видѣ ³⁰⁾:

1) *Физическія и химическія свойства.*

а) Вода должна быть всегда прозрачна, и по возможности безцвѣтна, безъ всякаго посторонняго запаха и вкуса;

б) вода не должна содержать никакихъ веществъ, неприсущихъ ея нормальному составу, которыя могли бы имѣть хотя малѣйшее дурное вліяніе на здоровье населенія, или же мѣшать употребленію воды для кухни, въ домашнемъ обиходѣ или въ промышленности, или, наконецъ, вести къ разрушенію или засоренію сѣти, резервуаровъ и водомѣровъ.

2) *Бактеріологическія свойства.*

с) Очищенная вода должна быть освобождена отъ болѣзнетворныхъ микрорганізмовъ, какъ напримѣръ: отъ бактерій тифа и паратифа, туберкулеза, холерныхъ вибрионовъ и гнилостныхъ бактерій (*Bacterium putrescens*, *staphylococcus*, *streptococcus* и др.).

Въ настоящее время признается, что вода не содержащая кишечной палочки (*B. Coli*) въ пробахъ достаточныхъ размѣровъ (100—400 куб. см.), взятыхъ у выхода изъ очистительныхъ приспособленій, въ достаточной мѣрѣ гарантирована отъ присутствія въ ней патогенныхъ микроорганизмовъ.

д) Въ очищенной водѣ при выходѣ изъ фильтровъ можетъ быть допущено лишь присутствіе въ небольшомъ количествѣ (не болѣе 100 бактерій въ 1 куб. см.) безвредныхъ формъ, особенно устойчивыхъ, напр., спороносныхъ формъ: (*B. subtilis*, *B. mesentericus*), или плѣсневыхъ и дрожжевыхъ грибковъ. При этомъ подсчетъ долженъ дѣлаться на посѣвѣ не менѣе 1 куб. см. изслѣдуемой воды.

3) *Микрографическія свойства.*

е) Очищенная вода должна быть освобождена отъ живыхъ организмовъ, а также отъ яицъ, личинокъ и зародышей животныхъ паразитовъ.

Современные методы очистки и обезвреживанія воды вполне позволяютъ выполнить приведенныя требованія.

³⁰⁾ E. Bonjean. Rapport de l'Enquête effectuée à Marseille sur les installations d'essais pour l'épuration des eaux. 1911.

Г л а в а II.

Классификація способів очистки воды.

Способы очистки воды и улучшения ее качества могут преслѣдовать слѣдующія цѣли:

1) Удаленіе, или уменьшеніе содержанія, плавающихъ нерастворенныхъ („взвѣшенныхъ“) частицъ.

2) Измѣненіе содержанія въ водѣ нѣкоторыхъ растворенныхъ веществъ, т. е. улучшение химическихъ свойствъ воды.

3) Уничтоженіе находящихся въ водѣ живыхъ организмовъ, всѣхъ (стерилизація воды) или однихъ только опасныхъ для здоровья (дезинфекція воды).

4) Улучшеніе температуры воды.

По приемамъ, примѣняемымъ для улучшения воды, способы очистки воды бываютъ: механическіе, физическіе, химическіе и смѣшанные.

Для удаленія взвѣшенныхъ веществъ примѣняютъ обыкновенно механическіе процессы: процеживаніе черезъ сѣтку для освобожденія отъ крупныхъ примѣсей, отстаиваніе для осажденія веществъ, болѣе тяжелыхъ, чѣмъ вода, и фильтрованіе, т. е. пропусканіе черезъ различные пористыя вещества (песокъ, искусственные пористые камни и др.), задерживающія большую часть взвѣшенныхъ примѣсей, въ томъ числѣ и микроорганизмы. Какъ увидимъ ниже, фильтрованіе нельзя считать чисто-механическимъ процессомъ, въ немъ принимаютъ участіе и біологическіе факторы.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ, для лучшаго удаленія взвѣшенныхъ веществъ, къ водѣ прибавляютъ химическіе реактивы („коагулянты“), позволяющіе вести процессъ фильтрованія значительно быстрее, чѣмъ безъ добавленія реактивовъ; на этомъ основано дѣйствіе быстрыхъ (американскихъ) песочныхъ фильтровъ.

Изъ числа растворенныхъ веществъ особенно важно удалить изъ воды известъ („смягченіе“ воды), желѣзо и марганецъ, уменьшить содержаніе кислотъ, разѣдающихъ свинцовыя трубы, и опрѣснить соленую воду.

Наконецъ, для дезинфекціи воды въ настоящее время примѣняютъ способы какъ физическіе (кипяченіе и перегонку воды, воздѣйствіе ультра-фіолетовыхъ лучей), такъ и химическіе (обработку воды соединеніями хлора и другими реактивами, и озонированіе воды).

Мы не упоминали еще улучшенія физическихъ свойствъ воды, кромѣ температуры. Улучшеніе физическихъ свойствъ достигается тѣми способами, которые уже перечислены нами.

Для улучшенія *вкуса* воды нѣтъ необходимости принимать особыя мѣры; если непріятный привкусъ зависитъ отъ химическихъ примѣсей (соленый вкусъ, привкусъ ржавчины), то онъ будетъ удаленъ при опрѣсненіи или обезжелезиваніи воды, другіе же привкусы исчезнутъ при общей очисткѣ воды.

Запахъ воды вызывается или содержащимися въ ней газами, которые удаляются путемъ вывѣтриванія (при аэраціи воды), или микроорганизмами, живыми или мертвыми (главнымъ образомъ водорослями), размножающимися въ озерахъ и водоемахъ и на песочныхъ фильтрахъ; для удаленія такого запаха необходимо бороться съ развитіемъ этихъ микроорганизмовъ. Мѣрами противъ развитія водорослей служатъ защита бассейновъ отъ доступа свѣта, при отсутствіи котораго большинство водорослей не могутъ развиваться, и добавленіе въ бассейны, содержащія воду, небольшого количества мѣднаго купороса (отъ $\frac{1}{10.000.000}$ до $\frac{1}{100.000}$): столь ничтожное содержаніе мѣди безвредно для здоровья человѣка, но дѣйствуетъ губительно на водоросли ¹⁾).

Мутность воды исчезаетъ при удаленіи взвѣшенныхъ веществъ, окраска же, присущая самой водѣ, зависитъ отъ ея химическаго состава и происходитъ обыкновенно отъ органическихъ веществъ, долгое время соприкасавшихся съ водою; окраскою чаще всего обладаетъ рѣчная вода. Для устраненія или ослабленія окрашиванія воды слѣдуетъ прочистить русло рѣки (если, конечно, окрашиваніе не вызывается свойствами самого грунта, напр., торфянистаго); обезцвѣчиваніе же воды достигается удаленіемъ окрашивающихъ ее примѣсей (аэраціею или отстаиваніемъ и фильтрованіемъ съ добавленіемъ сѣрпюкислаго глинозема).

Улучшеніе температуры воды не примѣнимо въ большомъ масштабѣ, и никогда не производится при центральныхъ водоснабженіяхъ; единственная мѣра, которую слѣдуетъ имѣть въ виду при проектированіи всякаго рода водопроводныхъ сооружений, состоитъ въ сохраненіи той температуры, которую имѣетъ вода, поступающая изъ источника водоснабженія; эта цѣль чаще всего достигается погруженіемъ на достаточную глубину въ землю резервуаровъ, трубной сѣти и т. д.

Охлажденіе воды въ небольшихъ количествахъ, при отсутствіи льда, проще всего производится посредствомъ испаренія, при которомъ поглощается теплота; въ теплыхъ странахъ воду держать съ этою цѣлью въ сосудахъ изъ слабо обожженной неглазурованной глины; часть воды просачивается черезъ стѣнки и испаряется съ наружной поверхности

¹⁾ Подробности см. въ главѣ „химическіе способы дезинфекціи воды“.

ихъ. Необходимымъ условіемъ успѣшнаго охлажденія является малая относительная влажность воздуха и достаточное движеніе ея.

При разсмотрѣніи разныхъ способовъ очистки воды мы постараемся цавать указанія относительно выбора того или другого способа очистки въ каждомъ частномъ случаѣ.

УДАЛЕНІЕ ВЗВѢШЕННЫХЪ ВЕЩЕСТВЪ.

Процѣживаніе воды.

Передъ поступленіемъ въ трубы, забирающія воду изъ источника водоснабженія, вода обыкновенно пропускается черезъ рѣшетки или сѣтки различнаго устройства, задерживающія крупные предметы, плавающіе въ водѣ.

Однако, иногда воду процѣживаютъ черезъ сѣтки и передъ самымъ фильтрованіемъ (или отстаиваніемъ), съ цѣлью задержать тѣ взвѣшенные и плавающіе предметы, которые еще находятся въ водѣ, и облегчить послѣдующую очистку воды.

Сооруженія, въ которыхъ помѣщаются приспособленія для процѣживанія воды, называются „сѣточными зданіями“.

Обыкновенно, въ случаѣ примѣненія процѣживанія воды передъ ея дальнѣйшею очисткою, оно устраивается совмѣстно съ „аэраціею“ (обвоздушиваніемъ) воды, т. е. смѣшеніемъ ея съ воздухомъ.

Примѣромъ такого устройства служитъ сѣточное зданіе въ С.-Петербургѣ (фиг. 17). Вода по напорной трубѣ поступаетъ въ желобъ *C*, прямоугольнаго сѣченія, склепанный изъ желѣза. Въ продольныхъ стѣнкахъ желоба устроены узкія щели *e*, закрываемыя особыми задвижками, снабженными для этой цѣли стержнями съ винтовой нарѣзкой; ручки стержней расположены надъ помостомъ, которымъ покрытъ желобъ. Вдоль боковыхъ стѣнокъ желоба подъ отверстіями *e* расположены наклонно мѣдныя сѣтки *f*, имѣющія 600—900 отверстій въ 1 кв. дюймъ; сѣтки натянуты на желѣзные рамки и опираются на стѣнки бетонныхъ желобовъ *g*, *g*. Вода, выливаясь плоскою струею на сѣтки, раздробляется на мелкія струйки, имѣющія большую поверхность соприкосновенія съ воздухомъ, причемъ происходитъ выдѣленіе газовъ, заключающихся въ водѣ, и насыщеніе воды кислородомъ воздуха. Одновременно на сѣткахъ задерживаются крупныя примѣси¹⁾, которыя удаляются частью силою струи воды, частью особыми скребками, въ желоба *k*, *k*, а изъ нихъ отвозятся на свалку.

Сѣтки *f*, *f* располагаются наклонно къ горизонту подъ угломъ 10—25°, съ цѣлью заставить воду, разливаясь по сѣткѣ, разбиваться на большее число струй; въ то же время при большемъ наклонѣ сѣтокъ, задерживающійся на нихъ мусоръ легче смывается въ желоба *k*, *k*.

¹⁾ въ числѣ которыхъ въ Петербургѣ нерѣдко попадаются мелкія рыбы.

Изъ бетонныхъ желобовъ *g, g* вода поступаетъ въ резервуаръ, изъ котораго по трубамъ отводится къ мѣсту дальнѣйшей очистки (на филь-тры).

Отстаиваніе воды.

Частицы тѣхъ тѣлъ, удѣльный вѣсъ которыхъ болѣе удѣльнаго вѣса воды, могутъ все-таки не тонуть въ водѣ, а плавать (находиться во взвѣшенномъ состояніи), если вода находится въ движеніи; при этомъ чѣмъ больше скорость движенія воды, тѣмъ крупнѣе могутъ быть плавающія частицы даннаго вещества. По мѣрѣ уменьшенія скорости потока воды, взвѣшенные въ ней примѣси осаждаются: сначала выпадаютъ на дно болѣе крупныя и тяжелыя частицы, затѣмъ, при дальнѣйшемъ уменьшеніи скорости, болѣе мелкія и легкія. Такимъ образомъ, можно достигнуть осажденія мути изъ воды, оставляя воду на нѣкоторое время въ состояніи покоя, или заставляя двигаться съ опредѣленною весьма малою скоростью.

Въ природѣ мы видимъ процессъ отстаиванія въ озерахъ.

Резервуары, въ которыхъ производится отстаиваніе воды въ состояніи покоя, называются отстойными резервуарами перемежающагося дѣйствія; вода выпускается въ такой резервуаръ, остается въ немъ въ полномъ покоѣ опредѣленный промежутокъ времени, и затѣмъ верхніе, освѣтленные слои воды выпускаются изъ резервуара.

Въ отстойныхъ резервуарахъ другого типа, „непрерывно-дѣйствующихъ“, вода очень медленно, но непрерывно передвигается по резервуару, такъ что каждая вновь поступившая частица воды проходитъ въ резервуарѣ путь опредѣленной длины и съ опредѣленною скоростью (слѣдовательно, остается въ резервуарѣ опредѣленный промежутокъ времени). Осажденіе мути также происходитъ непрерывно и, при постоянномъ составѣ воды, равномерно.

Въ настоящее время устраиваютъ почти исключительно отстойные резервуары непрерывнаго дѣйствія; главное ихъ преимущество—простота надзора за ними, такъ какъ не требуется постоянного наблюденія за напускомъ и выпускомъ воды; кромѣ того, при перемежающемся отстаиваніи время напуска и выпуска воды теряется для процесса отстаиванія, и, наконецъ, въ это время часть отстоявшагося ранѣе осадка приходится въ нихъ въ движеніе.

Для опредѣленія размѣровъ отстойныхъ резервуаровъ важно выяснить опытами, при какой скорости муть въ освѣтляемой водѣ осаждается наилучшимъ образомъ, и какая длина пути достаточна для освѣтленія воды.

Процессъ осажденія взвѣшенныхъ веществъ былъ весьма подробно изученъ Штейернагелемъ ²⁾ (въ Кёльнѣ) для сточныхъ водъ; общіе вы-

²⁾ Steuernagel. Mitteilungen a. d. K. Prüfungsanstalt für Wasserversorgung. 1904 IV, стр. 45.

воды его могутъ быть приложены и къ отстаиванію питьевой воды, хотя конечно, цифры измѣнятся. Опыты производились со скоростями отъ 4 до 77 миллиметровъ въ секунду, и показали, прежде всего, что при малыхъ скоростяхъ протеканія освѣтляемой воды, болѣе большая часть взвѣшенныхъ веществъ осаждаются ближе къ началу резервуара, (т. е. къ мѣсту поступленія въ него воды), при увеличеніи же скорости осадки распредѣляются по всему дну резервуара болѣе равномерно³⁾. Отсюда Штейернагель выводитъ заключеніе, что при малыхъ скоростяхъ достаточно короткихъ бассейновъ, а большія скорости вызываютъ необходимость устройства болѣе длинныхъ бассейновъ.

Далѣе, при отстаиваніи въ покоѣ, послѣ 1-часового отстаиванія осаждалось около 65% взвѣшенныхъ веществъ, послѣ 3-часового пребыванія воды въ отстойникѣ это количество возросло до 70%, и послѣ 12-часового пребыванія—приблизительно до 80%⁴⁾. „Кривая отстаиванія“ приведена на фиг. 18.

Такимъ образомъ, отстаиваніе происходитъ наиболѣе энергично въ первые часы пребыванія воды въ бассейнѣ, и для дальнѣйшаго увеличенія количества осѣвшихъ веществъ требуется непропорціонально-большое увеличеніе емкости отстойниковъ.

Вода, содержащая землистыя или глинистыя частицы мути, часто требуетъ для освѣтленія отстаиванія въ теченіе нѣсколькихъ дней. Процессы, происходящіе при этомъ, болѣе сложны, и въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ требуются спеціальныя опыты. Съ особенною трудностью отстаиваются коллоидальныя вещества.

Продолжительныя опыты съ отстаиваніемъ питьевсой воды были произведены Линдлеемъ во Франкфуртѣ-на-Майнѣ⁵⁾, и привели его къ слѣдующимъ выводамъ:

1) Въ широкихъ бассейнахъ осадки располагаются неправильно, и занимаютъ лишь часть полной ширины бассейна.

2) При весьма медленномъ движеніи воды, достаточно малѣйшихъ силъ, чтобы вызвать мѣстныя теченія между точкою поступленія освѣтляемой воды и точкою выпуска освѣтленной.

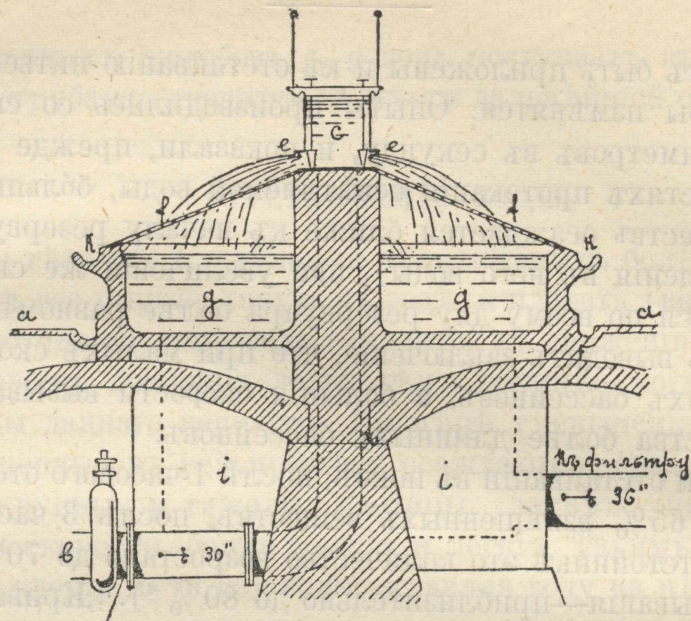
3) Вода протекаетъ по кратчайшему пути; поэтому въ широкихъ бассейнахъ вода у боковыхъ стѣнъ остается безъ движенія (заставается)

4) Лѣтомъ, когда вновь поступающая вода теплѣе воды въ отстойникѣ, она стремится протекать по поверхности бассейна, и вода близъ дна бассейна застаивается; это явленіе замѣчается при малѣйшей разности температуръ.

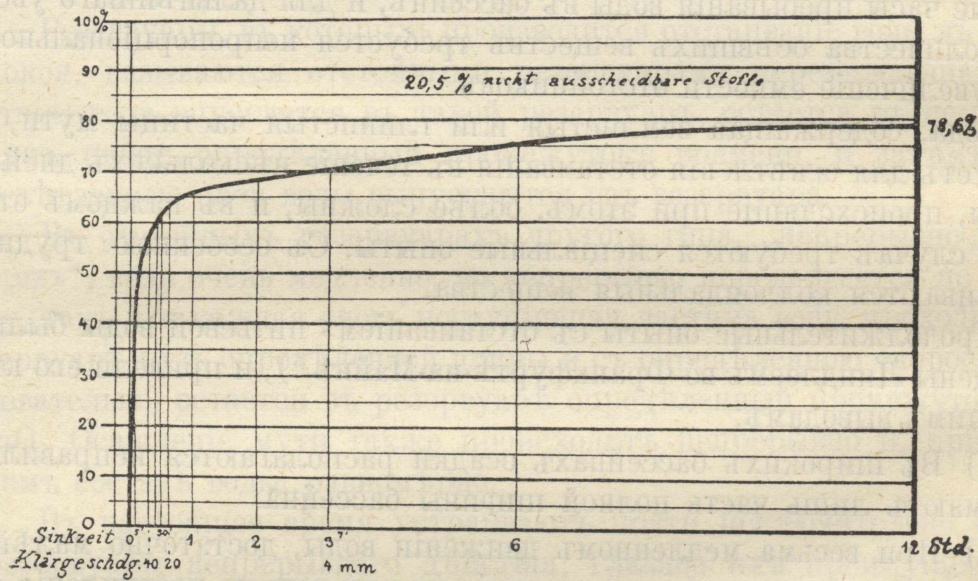
³⁾ Дно резервуара въ Кельнѣ имѣло подѣмъ по направленію движенія воды; кромѣ того, близъ мѣста впуска воды было сдѣлано углубленіе (яма) въ днѣ.

⁴⁾ Цифры эти, какъ уже указано, относятся къ отстаиванію сточныхъ водъ.

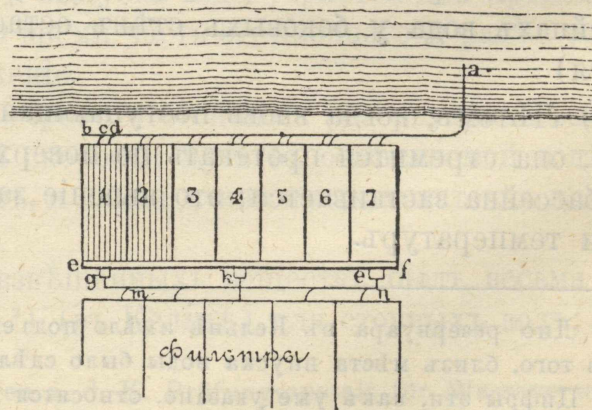
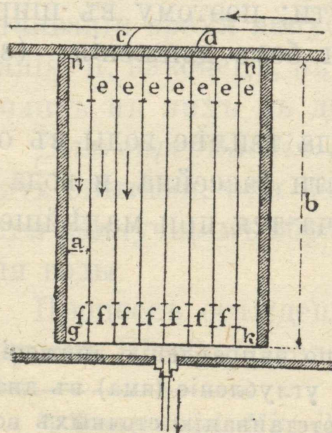
⁵⁾ Около 1880—84 г.г.



Фиг. 17.



Фиг. 18.



Фиг. 19.

На основаніи этихъ опытовъ Линдлея, были устроены отстойные бассейны во Франкфуртѣ-на-Майнѣ для воды изъ р. Майна, предназначенной для употребленія въ промышленности и поливки улицъ. Бассейны эти состоятъ изъ отдѣльныхъ галлерей, 5—6 метр. шириною, 2—3 метр. глубиною и 80—120 метр. длиною. Эти отстойные бассейны выдѣляютъ изъ воды, въ теченіе 6-часового прохожденія ея по бассейну съ скоростью 4 миллиметра въ секунду, около 90% взвѣшенныхъ веществъ.

Въ настоящее время обыкновенно задаются временемъ прохожденія воды по отстойнику отъ 6 до 36 часовъ⁶⁾, при скорости теченія ея 2—4 мм. въ секунду, въ зависимости отъ степени мутности воды. Въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ, прежде устройства отстойниковъ, необходимо произвести опыты съ освѣтляемою водою и установить наивыгоднѣйшія для нея скорость и время пребыванія въ отстойникѣ.

Этими данными опредѣляется потребная длина L пути проходимаго водою въ отстойникѣ:

$$L=3600 tv,$$

гдѣ t —число часовъ пребыванія воды въ отстойникѣ;

v —скорость теченія въ метрахъ въ секунду;

L выражено въ метрахъ.

Линдлей рекомендовалъ давать L значеніе 260'—400'.

При проектированіи отстойныхъ резервуаровъ слѣдуетъ еще имѣть въ виду, что количество осаждающейся мути увеличивается съ уменьшеніемъ глубины слоя воды, т. е. уменьшеніемъ того пути, который взвѣшенные частицы, при осажденіи, должны пройти до дна. Но съ другой стороны, при чрезмѣрно малой глубинѣ воды въ отстойникѣ можно опасаться ея нагрѣванія лѣтомъ и охлажденія зимою, въ особенности въ открытыхъ отстойникахъ, что нежелательно.

Поэтому обыкновенно глубина воды въ отстойникахъ колеблется между 10'—15' (3—4,5 метр.)⁷⁾.

⁶⁾ Если вода, послѣ отстаиванія, подвергается фильтрованію, то рѣдко бываетъ целесообразно отстаивать ее дольше 12 часовъ; если 12 часовъ недостаточно для отстаиванія, выгоднѣе примѣнять коагулянты, чѣмъ удлинять время отстаиванія.

⁷⁾ Линдлей рекомендовалъ придавать глубину слоя воды при входѣ въ отстойникъ—около 6½', при выходѣ изъ него—около 10'; однако новѣйшіе опыты (Steuerpogel и другихъ) показали, что осажденіе улучшается при приданіи дну отстойника уклона, обратнаго указанному, т. е. при постепенномъ уменьшеніи глубины потока. Въ самомъ дѣлѣ, при общепринятыхъ нынѣ малыхъ скоростяхъ теченія воды въ отстойникѣ, количество осадковъ больше въ той части резервуара, которая ближе къ впуску воды, и для того, чтобы не потревожить и не взмутить вновь этихъ осадковъ, слѣдуетъ уменьшить скорость протеканія воды вблизи нихъ, т. е. увеличить сѣченіе резервуара вблизи входа, придавъ ему большую глубину.

На практикѣ чаще всего дно отстойниковъ дѣлаютъ близкимъ къ горизонтальному, приводя ему иногда только небольшой уклонъ $\left(\frac{1}{400}-\frac{1}{200}\right)$ къ мѣстамъ выпуска отстоявшихся осадковъ.

Зная суточное количество потребляемой воды Q куб. метр., найдемъ полную емкость всѣхъ отстойныхъ резервуаровъ V куб. метр., которая должна быть достаточна, чтобы пропустить полный суточный расходъ воды при выбранной ранѣ продолжительности ея пребыванія въ отстойникѣ.

Обозначая черезъ B полную ширину всѣхъ отдѣленій отстойника и черезъ h —глубину воды въ отстойникѣ (въ метрахъ), находимъ:

$$V = BhL = \frac{1}{n} \frac{Q}{24} t,$$

гдѣ n —коэффициентъ, выражающій вліяніе уменьшенія емкости отстойника отложившимися въ немъ осадками; $n=0,50—0,75$. Задавшійся глубиною h , по этой формулѣ опредѣляемъ B .

Вычисленную полную емкость отстойника раздѣляютъ между нѣсколькими его отдѣленіями, имѣющими каждое длину L , причемъ ширина каждого отдѣленія, согласно вышеуказанныхъ опытовъ Линдлея, не должна превосходить нѣкоторой опредѣленной величины; по Линдлею $b=16'—30'$.

Опредѣленное такимъ образомъ число отдѣленій отстойника увеличиваютъ (на 15—30%), предназначая эти добавочные резервуары для дѣйствія во время чистки отдѣленій отстойника (очищаемыхъ поочередно).

Въ нѣкоторыхъ установкахъ, если требуется осадить весьма тонкую муть, значительно увеличиваютъ длину отстойныхъ резервуаровъ, а также время пребыванія въ нихъ воды (т. е. ихъ объемъ). Однако, обыкновенно выгоднѣе удалять тонкую муть фильтрованіемъ воды, чѣмъ отстаиваніемъ. При предварительномъ отстаиваніи воды передъ фильтрованіемъ ея (для облегченія работы фильтровъ), въ случаѣ присутствія въ водѣ весьма тонкой мути, также выгоднѣе добавлять къ водѣ передъ отстойникомъ химическіе реактивы („коагулянты“), чѣмъ увеличивать продолжительность отстаиванія (и, слѣдовательно, емкость отстойниковъ).

Объемъ отстойныхъ резервуаровъ увеличиваютъ въ тѣхъ случаяхъ, когда они служатъ вмѣстѣ и запасными резервуарами; тогда емкость ихъ, опредѣляемая на основаніи требованій, предъявляемыхъ къ запаснымъ резервуарамъ, бываетъ обыкновенно больше, чѣмъ необходимо для отстаиванія.

Не слѣдуетъ устраивать впускъ воды въ отстойный резервуаръ, а равно и выпускъ воды изъ него, непосредственно черезъ трубы: при большомъ, по сравненію съ шириною резервуара, діаметрѣ трубъ, вода не станетъ двигаться равномерно по всей площади живого сѣченія отстойника, и потечетъ (съ большею, чѣмъ желательно, скоростью) сравнительно узкою струею по прямой линіи отъ входной трубы къ выходной, у боковыхъ же стѣнокъ отстойника останутся неподвижныя массы воды.

Въ виду этого, вода изъ подводящихъ къ отстойнику трубъ нерѣдко выпускается сначала въ галлерею, длина которой равна ширинѣ отстойника (см. схему фиг. 19), и изъ нея переливается поверхъ перегородки, отдѣляющей галлерею отъ отстойника, и такимъ образомъ поступаетъ въ отстойникъ ровнымъ слоемъ по всей ширинѣ его. Выпускъ воды устраивается подобнымъ же образомъ.

Перегородки, отдѣляющія распределительную и сборную галлереи отъ отстойника, иногда замѣняются щитами, передвигающимися въ вертикальныхъ пазахъ, что даетъ возможность измѣнять положеніе водовпускного и водовыпускного отверстій, помѣщая ихъ по желанію выше или ниже щита.

Каждый отстойный резервуаръ долженъ быть снабженъ спускною трубою для выпуска всей воды изъ него при очисткѣ резервуара.

Переходя къ разсмотрѣнію *устройства* различныхъ *отстойныхъ резервуаровъ*, укажемъ, что простѣйшимъ является устройство каждаго отдѣленія резервуара въ видѣ прямоугольника, по которому вода протекаетъ отъ одного конца къ другому.

Хорошимъ примѣромъ отстойныхъ бассейновъ наиболѣе распространеннаго типа служатъ бассейны г. Варшавы ⁷⁾ (см. фиг. 20—22).

Каждый отстойный бассейнъ состоитъ изъ восьми отдѣльныхъ галлерей, длиною 100 м. и шириною по 5 метровъ. Галлереи покрыты цилиндрическими сводами (радіуса кривизны 3 м.). Дно галлерей, построенное въ видѣ обратныхъ сводовъ, имѣетъ уклонъ по направленію теченія въ $\frac{1}{263}$. Вода въ бассейнѣ удерживается на постоянной высотѣ; глубина воды у входа 2,84 м., у выхода—3,22 м.

У верхняго конца бассейна по его оси симметріи къ нему примыкаетъ камера, имѣющая ширину 3,10 м. и длину 10,25 м., при глубинѣ 2,70 м. Камера раздѣляется горизонтальнымъ настиломъ (поломъ) на двѣ части, изъ которыхъ верхняя служитъ входомъ въ бассейнъ, нижняя же—для задерживанія болѣе крупныхъ осадковъ (песка и т. п.), которые могутъ быть удаляемы помощью ручныхъ черпаковъ безъ пріостановки притока воды и дѣйствія бассейна. Устья трубопроводовъ, питающихъ бассейнъ водою, помѣщаются въ нижней камерѣ.

Вода подается въ бассейны по отвѣтвленіямъ ($d=500$ м.м.) отъ главнаго трубопровода сырой (т. е. еще не подвергавшейся никакой очисткѣ) воды; отвѣтвленіе проходитъ во-внутрь камеры, гдѣ оканчивается двумя вертикальными устьями, діаметромъ 500 мм. каждое, верхній край которыхъ находится на 15 см. выше уровня воды въ бассейнѣ. Переходомъ отъ одной трубы діаметра 500 мм. къ двумъ устьямъ того же діаметра достигается спокойное поступленіе воды въ бассейнъ, не производящее волненія воды въ камерѣ.

⁷⁾ „Описаніе канализаціонно-водопроводныхъ сооружений г. Варшавы, исполненныхъ по проекту и подъ руководствомъ инж. В. Г. Линдлея“. Варшава, 1911 г.

Для регулированія притока воды въ бассейнѣ, на отвѣтвленіи къ нему установлена задвижка.

Кромѣ двухъ указанныхъ устьевъ, въ камерѣ имѣется еще третье отвѣтвленіе, край открытаго конца котораго, введеннаго въ самый бассейнѣ, лежитъ на 1,85 м. ниже уровня воды въ бассейнѣ. Это устье закрывается особою задвижкою, расположенною въ камерѣ, и служитъ для промывки (въ случаѣ надобности) главныхъ проводовъ сырой воды обратную струею воды изъ осадочныхъ бассейновъ, спускаемою въ рѣку Вислу.

Изъ распределительной камеры вода поступаетъ въ двѣ среднія галлерей отстойника, и оттуда распределяется по всѣмъ остальнымъ отдѣленіямъ бассейна черезъ отверстія, устроенныя въ раздѣлительныхъ стѣнахъ у верхняго конца бассейна; отверстія эти эллиптической формы, вышиною 1,97 м. и шириною—1,18 м.

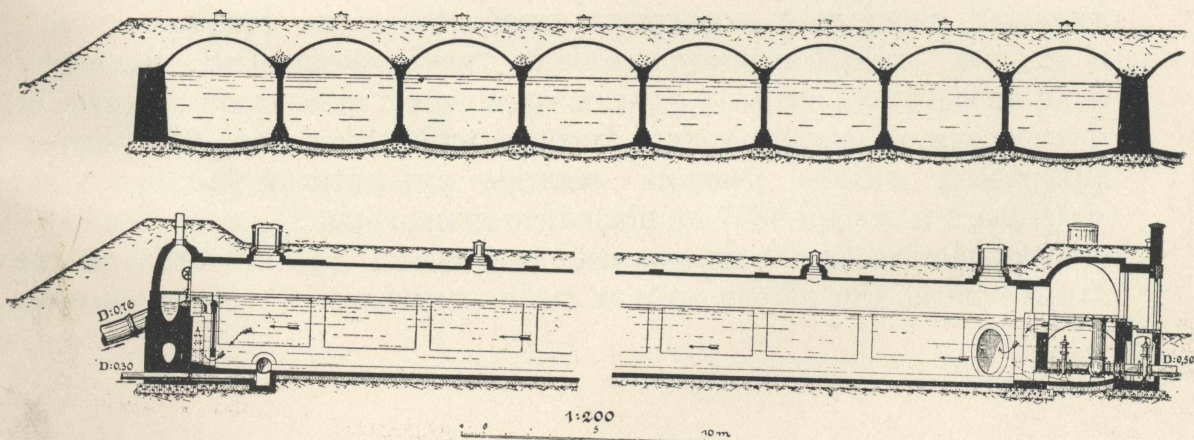
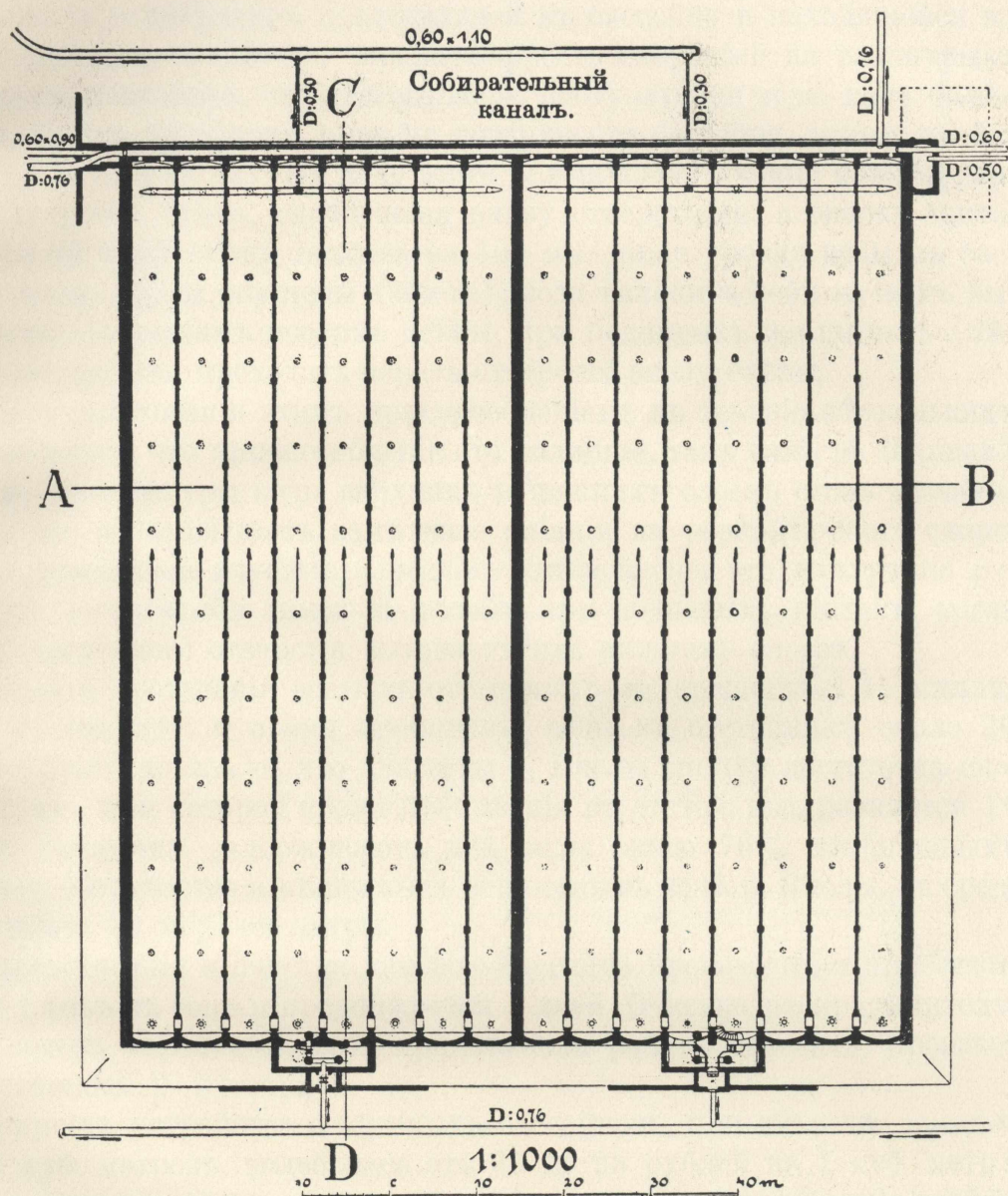
По всей остальной длинѣ галлерей болѣе не сообщаются между собою, и раздѣляющія ихъ стѣны въ нижнемъ концѣ бассейна примыкаютъ къ собирательному каналу.

Въ выпускномъ концѣ бассейна устроены внизу въ раздѣлительныхъ стѣнахъ небольшія отверстія для спуска всей воды изъ бассейна въ сточный каналъ (при чисткѣ бассейна), но во время дѣйствія бассейна эти отверстія закрыты задвижками.

Отстоявшаяся вода изъ галлерей переливается въ собирательный каналъ черезъ прямоугольныя отверстія въ стѣнѣ. Отверстія эти, вышиною 50 мм. и длиною 250 мм., расположены такъ, что верхніе края ихъ лежатъ на 100 мм. ниже самаго высокаго уровня воды въ бассейнѣ, а нижніе—на 150 мм. выше уровня въ собирательномъ каналѣ. Такихъ отверстій 2 въ каждой галлерей, т. е. 16 въ бассейнѣ; они закрываются горизонтально передвигающимися щитами, позволяющими регулировать величину отверстія. Всѣ 16 задвижекъ одного бассейна соединены между собою посредствомъ зубчатки съ червячной нарѣзкой на одномъ горизонтальномъ валѣ. При вращеніи вала регулируется величина отверстій одновременно во всѣхъ 8 галлерейхъ одного бассейна, и такимъ образомъ, при одинаковомъ уровнѣ воды во всѣхъ галлерейхъ (представляющихъ собою сообщающіеся сосуды), достигается равномерность истеканія воды изъ нихъ.

Дно собирательнаго канала имѣетъ уклонъ ($1/450$) по направленію къ трубѣ ($d=0,76$ мм.), по которой вода поступаетъ самотекомъ на фильтры.

Каналъ, расположенный подъ собирательнымъ, служитъ для сообщенія отдѣльныхъ бассейновъ между собою; передъ прочисткою какого-либо бассейна, его сообщаютъ, посредствомъ этого уравнительнаго канала, съ другимъ бассейномъ, только что вычищеннымъ, и вода устанавливается въ нихъ на одинаковыхъ уровняхъ: такимъ путемъ сберегается часть воды, которую иначе пришлось бы спустить въ сточный каналъ.



Фиг. 20—22 (къ стр. 47).

При проектированіи осадочныхъ бассейновъ г. Варшавы полагали, что разность температуръ притекающей къ бассейну и находящейся въ немъ воды можетъ вызвать неравномѣрность скоростей на различныхъ глубинахъ: опасались, что лѣтомъ вновь поступающая вода, какъ болѣе теплая, будетъ протекать лишь по поверхности бассейна, зимою же будетъ стремиться ко дну. Въ виду этого, у выпускного конца каждой галереи устроена стѣна, снабженная внизу отверстіями, а сверху щитами; верхній край стѣны лежитъ на 300 мм. ниже уровня воды въ бассейнѣ. Когда щиты опущены (зимою), вода находитъ себѣ путь къ выпускнымъ отверстіямъ поверхъ стѣны, при поднятыхъ же щитахъ (лѣтомъ) она должна проходить черезъ отверстія внизу стѣны.

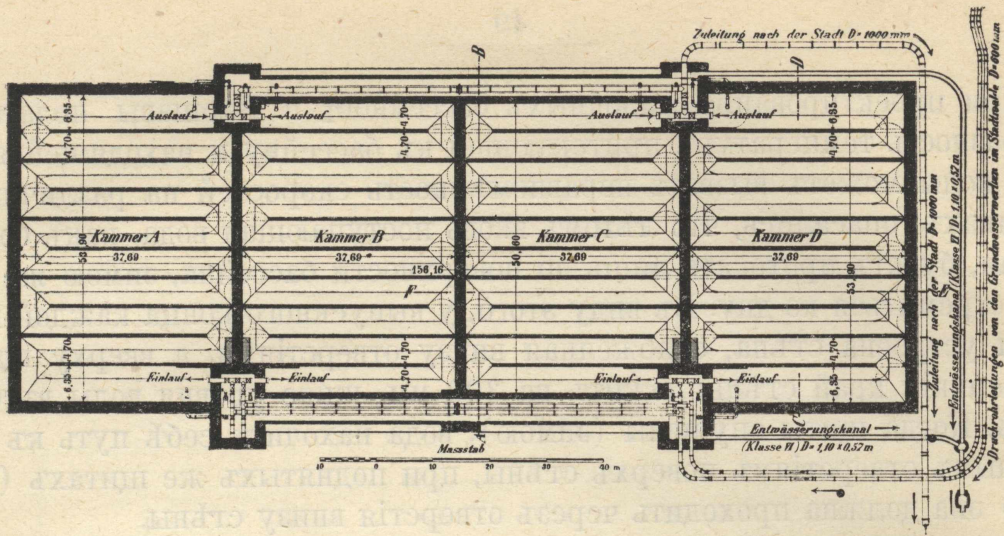
Опытъ пользованія этимъ приспособленіемъ въ теченіе нѣсколькихъ лѣтъ показалъ, что приспособленіе это излишне, такъ какъ въ Варшавѣ разница температуры воды верхнихъ и нижнихъ слоевъ столь незначительна, что не оказываетъ замѣтнаго вліянія на равномерность скоростей на различной глубинѣ. Опытомъ установлено, что наилучшіе результаты достигаются зимою и лѣтомъ при поднятыхъ щитахъ, когда вода у выпускного отверстія вытекаетъ изъ нижнихъ слоевъ.

Скорость протеканія воды въ отстойникѣ, въ среднемъ 1,45 миллиметра въ секунду, и время пребыванія воды въ отстойникѣ около 20 часовъ. Опытъ показалъ, что для воды р. Вислы вполне достаточна скорость 2 мм., при которой время пребыванія въ отстойникѣ равняется 14 часамъ. Бассейны задерживаютъ изъ воды около 76% взвѣшенныхъ веществъ. Количество взвѣшенныхъ веществъ въ водѣ р. Вислы, въ среднемъ, около 90 мгр. въ литрѣ.

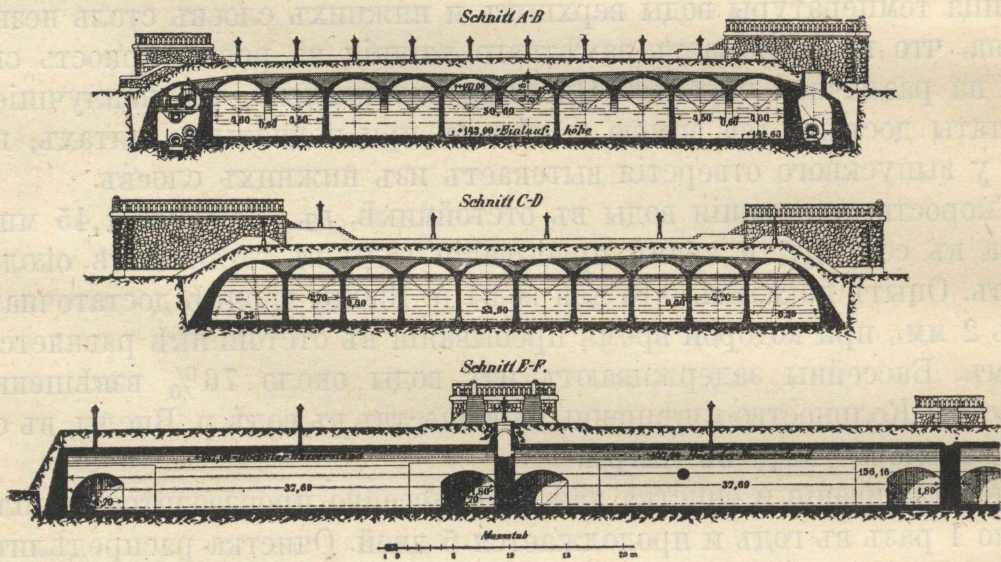
Опоражниваніе и очистка каждого бассейна производится приблизительно 1 разъ въ годъ и продолжается 5 дней. Очистка распределительныхъ камеръ черпаками, безъ пріостановки работы бассейна, производится каждые 2 мѣсяца.

Стоимость устройства осадочныхъ бассейновъ, при емкости ~~миллионовъ~~ 12.000 куб. метровъ, колебалась отъ 35 до 25 рублей на 1 куб. метръ емкости (или отъ 13,5 р. до 9,6 руб. на 1 кв. метръ поверхности); новѣйшія постройки обошлись дешевле первыхъ по времени устройства, что объясняется какъ колебаніями цѣнъ на матеріалы, такъ и большей опытностью рабочихъ и технического персонала.

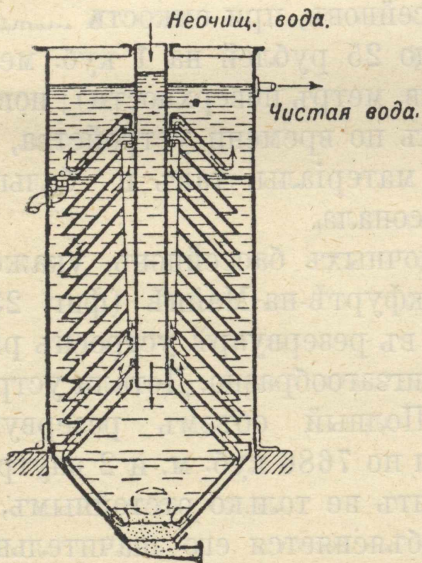
Какъ примѣръ иного устройства осадочныхъ бассейновъ, укажемъ резервуаръ „Sachsenhäuser-Berg“ во Франкфуртѣ-на-Майнѣ (фиг. 23 и 24), гдѣ для увеличенія длины пути воды въ резервуарѣ устроенъ рядъ перегородокъ, расположенныхъ въ планѣ зигзагообразно. Детали устройства резервуара понятны изъ чертежа. Полный объемъ резервуара 29,948 куб. метр. (2 наружныхъ отдѣленія по 7686 куб. м. и 2 внутреннихъ по 7288 куб. м.). Резервуаръ служитъ не только отстойнымъ, но главнымъ образомъ запаснымъ, чѣмъ и объясняется его значительный объемъ.



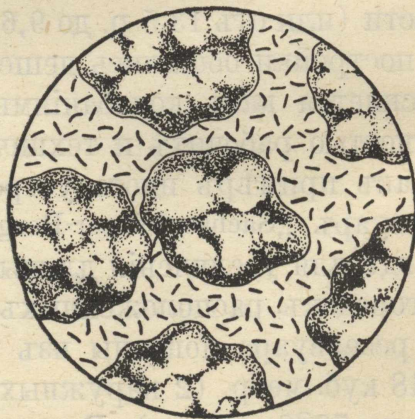
Фиг. 23.



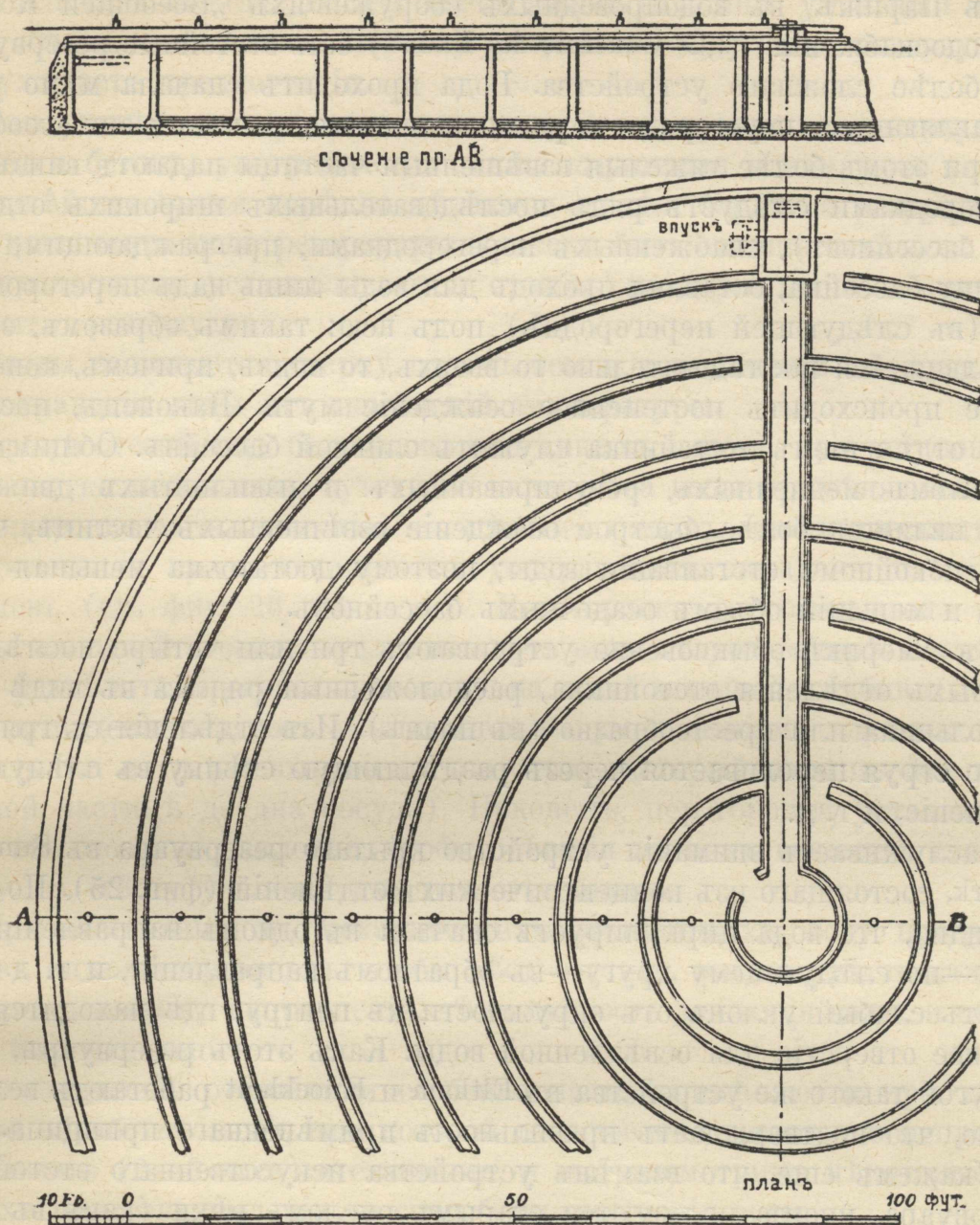
Фиг. 24.



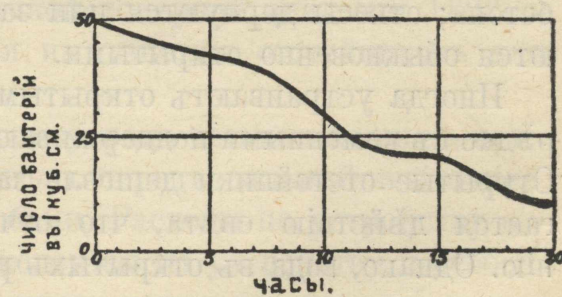
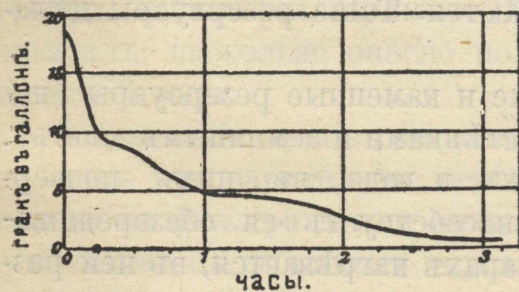
Фиг. 26.



Фиг. 27.



Фиг. 25.



Фиг. 28 и 29.

Въ Парижѣ, въ водопроводныхъ сооруже́ніяхъ „Всеобщей Компаніи Водоснабженія“ („S^c Générale des Eaux“) есть отстойные резервуары еще болѣе сложнаго устройства. Вода проходитъ сначала мимо ряда направляющихъ перегородокъ, расположенныхъ въ планѣ зигзагообразно; при этомъ болѣе тяжелыя взвѣшенныя частицы падаютъ внизъ. За перегородками слѣдуетъ рядъ послѣдовательныхъ широкихъ отдѣленій (бассейновъ), снабженныхъ перегородками, преграждающими всю ширину бассейна, оставляя проходъ для воды лишь надъ перегородкою или (въ слѣдующей перегородкѣ) подъ нею: такимъ образомъ, здѣсь вода движется послѣдовательно то вверхъ, то внизъ, причемъ, конечно, также происходитъ постепенное осажденіе мути. Наконецъ, послѣднимъ отдѣленіемъ отстойника служитъ сливной бассейнъ. Общимъ результатомъ медленныхъ, регулированныхъ и извилистыхъ движеній воды является болѣе быстрое осажденіе взвѣшенныхъ частицъ, чѣмъ при спокойномъ отстаиваніи воды; поэтому достаточна меньшая площадь и меньшій объемъ осадочныхъ бассейновъ.

Въ Америкѣ обыкновенно устраиваютъ три или четыре послѣдовательныхъ отдѣленія отстойника, расположенныя рядомъ въ видѣ прямоугольника или крестообразно (въ планѣ). Изъ отдѣленія съ грязною водою струя переливается черезъ раздѣляющую стѣнку въ слѣдующее отдѣленіе, и т. д.

Заслуживаетъ вниманія устройство крытаго резервуара въ Sundridge-park, состоящаго изъ концентрическихъ отдѣленій (фиг. 25). По плану видно, что вода циркулируетъ сначала въ одномъ направленіи, затѣмъ—по слѣдующему кругу—въ обратномъ направленіи, и т. д. Дно имѣетъ слабый уклонъ отъ окружности къ центру, гдѣ находится выпускное отверстіе для освѣтленной воды. Какъ этотъ резервуаръ, такъ и другой такого же устройства въ Eltham и Knockholt работаютъ великолепно, что подтверждаетъ правильность примѣненнаго принципа.

Укажемъ еще, что взаимныя устройства искусственнаго отстойнаго резервуара, иногда пользуются старымъ русломъ рѣки (какъ въ Бриславлѣ), или излучиною ея, и т. под., гдѣ скорость теченія пропускаемой воды дѣлаютъ близкою къ нулю. Устраиваютъ иногда и искусственные отстойные земляные бассейны съ откосами; дно и бока, для достиженія водонепроницаемости, должны быть выложены слоемъ глины или бетона; откосы дернуются или замачиваются. Такіе резервуары дѣлаются обыкновенно открытыми.

Иногда устраиваютъ открытыми также и каменные резервуары (нерѣдко съ каменными поддерживающими стѣнками и землянымъ дномъ). Открытые отстойники дешевле закрытыхъ, и вода въ нихъ подвергается дѣйствію свѣта, что отчасти способствуетъ ея обезвреживанію. Однако, вода въ открытыхъ резервуарахъ нагрѣвается, въ ней разводятся водоросли, попадаетъ пыль, личинки насѣкомыхъ и пр.; наконецъ, зимою вода покрывается въ нихъ слоемъ льда, который при суро-

вомъ климатъ можетъ достигъ значительной толщины, уменьшая полезный объемъ отстойника. Поэтому устройство крытыхъ резервуаровъ заслуживаетъ предпочтенія.

Наилучшимъ матеріаломъ для устройства крытыхъ резервуаровъ является бетонъ; употребляется также кирпичная и каменная кладка. Въ новѣйшее время нерѣдко дѣлаются желѣзо-бетонные резервуары.

Фундаментъ подъ резервуары долженъ быть сплошнымъ, и на немъ непосредственно устанавливаются столбы, поддерживающіе сводчатое покрытие резервуара.

Своды засыпаются сверху слоемъ земли толщиной 2—3 фута, для предохраненія воды отъ измѣненій температуры.

Кромѣ отстойныхъ бассейновъ описанныхъ типовъ, при установкахъ для очистки небольшого суточного количества воды примѣняются баки (обыкновенно металлическіе) съ цѣлымъ рядомъ металлическихъ перегородокъ въ нихъ, механически ускоряющихъ выпаденіе изъ воды осадковъ (см. фиг. 26, 84). Перегородки располагаются такъ, чтобы, съ одной стороны, удлинить путь воды въ резервуарѣ, а съ другой—раздѣлить протекающую воду на слои меньшей глубины, такъ какъ выпаденіе осадковъ усиливается съ уменьшеніемъ глубины потока воды (т. е. съ уменьшеніемъ того пути, который надо пройти взвѣшенной частицѣ до дна сосуда). Наконецъ, перегородки устанавливаются обыкновенно наклонно, чтобы освѣщенія на нихъ вещества стекали книзу, къ мѣсту удаленія ихъ изъ отстойника.

При отстаиваніи въ механическихъ отстойникахъ, воду пропускаютъ въ нихъ снизу вверхъ, чтобы всѣ частицы осадка дѣйствовали въ противоположномъ направленіи, чѣмъ скорость движенія воды, и облегчали ихъ выпаденіе.

Механическіе отстойники особенно часто примѣняются при химической обработкѣ воды, при которой обыкновенно достаточно непродолжительнаго (2—3 часа) отстаиванія, и мы рассмотримъ нѣкоторые типы ихъ при ознакомленіи со способами смягченія воды.

Съ гигиенической точки зрѣнія, отстаиваніемъ поверхностныхъ водъ безъ дальнѣйшей очистки ихъ можно ограничиться для питьевой воды лишь въ исключительныхъ случаяхъ, хотя при отстаиваніи воды, вмѣстѣ съ удаленіемъ взвѣшенныхъ примѣсей, изъ нея осаждаются отчасти и бактеріи. Примѣръ Гамбургской холерной эпидеміи 1892 г. показалъ, насколько опасно полагаться на дѣйствіе отстойниковъ для питьевой воды.

Отстаиваніе воды въ осадочныхъ резервуарахъ весьма полезно и важно, какъ предварительное освѣтленіе воды передъ дальнѣйшею очисткою ея на фильтрахъ или иными способами. Расходы по устройству отстойниковъ съ избыткомъ окупаются экономіею по устройству и особенно эксплуатаціи фильтровъ, такъ какъ предварительное удаленіе части взвѣшенныхъ веществъ позволяетъ увеличивать скорость фильтрова-

нія (т. е. уменьшить площадь фильтровъ, необходимую для очистки даннаго количества воды въ сутки), и уменьшаетъ засореніе (заиливаніе) фильтровъ, такъ что даетъ возможность рѣже чистить фильтры.

При примѣненіи отстаиванія съ цѣлью предварительнаго освѣтленія воды, нѣтъ необходимости добиваться отъ отстойниковъ наибольшей степени очистки воды, какую только отстойники способны дать, такъ какъ для этого пришлось бы чрезмѣрно увеличивать объемъ ихъ (далеко непропорціонально увеличенію степени очистки); мелкую муть, остающуюся въ небольшомъ количествѣ (около 10—20% всего количества мути, находившагося въ водѣ до отстаиванія), выгодно удалять очисткою на фильтрахъ или на такъ называемыхъ „префильтрахъ“ (предварительныхъ фильтрахъ изъ крупнаго песка или гравія), съ которыми мы ознакомимся ниже.

Укажемъ въ заключеніе, что особенно трудно отстаиваются мелкія глинистыя частицы, обыкновенно находящіяся въ водѣ рѣкъ и озеръ во время половодья (нерѣдко въ коллоидальномъ состояніи). Для выдѣленія ихъ приходится прибѣгать къ химическому освѣтленію воды, добавляя къ водѣ химическіе реактивы, которые образуютъ въ водѣ хлопьевидныя соединенія, при осажденіи увлекающія за собою и глинистыя частицы („коагуляція“).

ГЛАВА III.

Фильтрованіе воды.

Подъ фильтрованіемъ воды подразумѣваютъ очистку ея путемъ пропуска ея черезъ различныя пористыя вещества.

Въ природѣ весьма широко распространено *естественное фильтрованіе*: вода, просачиваясь сквозь землю, освобождается отъ взвѣшенныхъ частицъ, а вмѣстѣ и отъ микроорганизмовъ, и благодаря этому, воды подземныя (грунтовыя и ключевыя), вообще говоря, несравненно чище, чѣмъ воды поверхностныя. При этомъ качество очистки просачивающейся воды, и количество воды, которое можетъ быть очищено даннымъ объемомъ грунта, зависятъ отъ свойствъ грунта и скорости просачиванія. Средняя скорость естественнаго просачиванія воды черезъ землю въ вертикальномъ направленіи равна 0,3—0,5 сантиметра въ сутки¹⁾. При хорошемъ мелкозернистомъ песчаномъ грунтѣ, воды, добываемыя на глубинѣ 4 метровъ или болѣе отъ поверхности земли, обыкновенно почти не содержатъ бактерій²⁾.

Первые искусственныя песчаные фильтры для очистки воды городского водоснабженія были устроены въ 1829 г. въ Лондонѣ Джемсомъ Симпсономъ. Такимъ образомъ, этотъ способъ очистки воды, какъ и многія другія санитарныя мѣропріятія, возникъ въ Англіи. Поэтому песочные фильтры для очистки воды, пропускаемой черезъ нихъ съ небольшою скоростью, называются „англійскими фильтрами“.

Эти фильтры до сихъ поръ съ успѣхомъ примѣняются, въ существенныхъ своихъ чертахъ, въ томъ самомъ видѣ, какъ они были изобрѣтены, и продолжаютъ совершенствоваться въ различныхъ деталяхъ.

На ряду съ ними распространяется цѣлый рядъ другихъ способовъ фильтрованія, возникшихъ изъ англійскаго способа: двойное или многократное фильтрованіе воды черезъ нѣсколько послѣдовательныхъ фильтровъ, фильтрованіе съ предварительнымъ добавленіемъ къ водѣ химическихъ реактивовъ и со значительною скоростью просачиванія черезъ песокъ („американскіе фильтры“) и, наконецъ, фильтрованіе черезъ искусственныя пористыя пластины различнаго состава. Всѣ эти способы, по существу, представляютъ лишь видоизмѣненіе англійскаго способа фильтрованія, являющагося родоначальникомъ искусственнаго фильтрованія воды.

¹⁾ Hofmann. „Archiv für Hygiene“ 1884.

²⁾ Fraenkel. „Zeitschrift für Hygiene“ 1889.

Англійскіе песочные фильтры.

Общее описаніе устройства.

Англійскіе фильтры представляют собою бассейнъ (см. фиг. 34 и 35) съ водонепроницаемыми стѣнами и дномъ (обыкновенно изъ камня или бегона), закрытый или открытый, заполненный слоями гравія и песка различной крупности, причемъ самый мелкій песокъ находится вверху. Вода, поступающая въ бассейнъ выше песка, просачивается черезъ него и собирается дренажными трубами (или каналами), расположенными на днѣ бассейна, подъ слоемъ гравія.

Составъ фильтрующихъ слоевъ нѣсколько измѣняется въ различныхъ установкахъ. Глубина слоя воды выше поверхности песка также измѣняется отъ 0,50 до 1,30 метр. (желательна глубина 0,90—1,0 м.).

При просачиваніи черезъ песокъ съ достаточно малою скоростью, вода оставляетъ въ немъ взвѣшенные вещества, а также бактерій, и поступаетъ въ дренажныя трубы уже очищенною.

Въ началѣ работы cadaго фильтра (когда фильтръ вновь устроенъ, или же только что промытъ), вода очищается имъ весьма неудовлетворительно; при дальнѣйшей работѣ фильтра, качества фильтрата (т. е. профильтрованной воды) улучшаются, и послѣ нѣкотораго времени работы фильтра, очищаемая имъ вода становится годною для водоснабженія; говорятъ, что фильтръ „созрѣлъ“.

Англійскіе фильтры могутъ задерживать изъ фильтруемой воды до 90—98% содержащихся въ ней взвѣшенныхъ примѣсей и бактерій.

Послѣ нѣкотораго времени дѣйствія фильтра (около 2—6 недѣль) фильтрующий матеріалъ (песокъ) засоряется, и перестаетъ хорошо очищать воду; вмѣстѣ съ тѣмъ, водопроницаемость фильтра уменьшается, и для пропуска воды съ такою же скоростью, какъ въ началѣ работы фильтра, требуется значительный напоръ воды, (т. е. разность уровней воды надъ поверхностью песка и въ водосборной камерѣ чистой воды, выходящей изъ дренажа фильтра).

Фильтръ загрязнился и требуетъ очистки: надо приостановить работу фильтра, спустить воду и удалить верхній слой песка, особенно сильно загрязненный (1—3 см.).

Затѣмъ начинается новый періодъ работы фильтра; онъ долженъ снова созрѣвать (причемъ воду во время созрѣванія слѣдуетъ удалять въ водостокъ, какъ неудовлетворительно очищенную), и такъ далѣе.

Когда, послѣ нѣсколькихъ очистокъ, толщина слоя песка уменьшится до нѣкотораго предѣла, то его дополняютъ новымъ, чистымъ пескомъ.

Теорія дѣйствія песочныхъ фильтровъ.

Основаніе выясненію дѣйствія песочныхъ фильтровъ положено изслѣдованіями Piefke (около 1886 г.), который приложилъ методы бакте-

ріологическаго анализа къ систематическому изученію процесса фільтраціи ³⁾.

Интересъ бактериологовъ къ процессамъ, происходящимъ въ англійскихъ фільтрахъ, вполне понятенъ, такъ какъ результатомъ этихъ процессовъ является значительное уменьшеніе числа бактерій въ фильтрованной водѣ, доходящее до 90—98% ихъ первоначальнаго количества.

Задерживаніе бактерій ни въ какомъ случаѣ не можетъ быть вызвано физическими свойствами самого песка ⁴⁾.

Прилежащая одна къ другой песчинки, даже въ весьма мелкомъ и плотномъ пескѣ, сами по себѣ не могутъ задерживать бактерій изъ пропускаемой черезъ песокъ воды, такъ какъ промежутки между песчинками всегда чрезмѣрно велики по сравненію съ величиною бактерій; это легко видѣть, рассматривая песокъ черезъ микроскопъ. Если, напримѣръ, смочить водою песчинки не крупнѣе 0,3 мм. ⁵⁾ и примѣшать къ нимъ чистой культуры *Bacillus megatherium*, которая извѣстна, какъ одна изъ самыхъ крупныхъ бактерій (длин. до 5 микроновъ, т. е. тысячныхъ миллим.), то подъ микроскопомъ получимъ изображеніе, схематически представленное на фиг. 27; относительные размѣры вполне сохраниены на схемѣ. По снимку ясно видно, насколько малы по сравненію съ песчинками палочки *B. megatherium*, которые легко могутъ проскользнуть между песчинками, всегда не вполне прилегающими одна къ другой.

Всѣ изслѣдованія надъ затопляемыми англійскими фільтрами показали, что въ началѣ работы фільтръ не задерживаетъ вовсе микроскопическихъ зародышей, и лишь небольшую часть болѣе крупныхъ организмовъ и взвѣшенныхъ веществъ. При дальнѣйшей работѣ фільтра, отношеніе количества взвѣшенныхъ веществъ, проходящихъ (ускользающихъ) черезъ фільтръ, къ количеству задержанныхъ, постепенно уменьшается, пока, по истеченіи извѣстнаго промежутка времени, не станетъ ничтожно малымъ. Фиг. 28 даетъ діаграмму взвѣшенныхъ веществъ, пропускаемыхъ фільтромъ, для фільтра, очищавшаго рѣчную воду. Уменьшеніе числа бактерій въ профильтрованной водѣ въ первые часы работы фільтра показано на фиг. 29.

Постепенное улучшеніе профильтрованной воды объясняется скопленіемъ на поверхности песка осадка изъ отложившихся и задержанныхъ веществъ (органическихъ остатковъ, ила и др.), который облѣпляетъ песчинки верхняго слоя и закрываетъ промежуточные каналы, образуя мягкую перепонку (пленку), не сильно натянутую, но весьма упругую.

На образующейся пленкѣ развиваются многочисленные микроскопическіе виды—водоросли (алги), колоніи бактерій и т. п. Поверх-

³⁾ Piefke. Die Prinzipien der Reinwassergeminnung vermittelt Filtration. Berlin, 1887.

⁴⁾ Köhler. Physikalische Eigenschaften des Sandes. (Dissertation). Karlsruhe 1906.

⁵⁾ Наименьшій размѣръ зеренъ песка, примѣняемаго въ фільтрахъ.

ность песка образуетъ сплошную, болѣе или менѣе проницаемую тканьъ изъ растительныхъ волоконъ, по большей части лежащихъ на самой поверхности и проникающихъ въ слой песка лишь на глубину нѣсколькихъ сантиметровъ. Именно эта „фильтрующая пленка“ и составляетъ ту часть фильтра, которая собственно обладаетъ фильтрующею способностью, особенно по отношенію къ задержанію бактерій.

Только послѣ того, какъ рыхлая ткань пленки достигнетъ извѣстной консистенціи, вода, проходящая черезъ ея поры, освобождается отъ осадковъ и даже въ значительной степени отъ бактерій, и фильтръ можетъ считаться „созрѣвшимъ“, и будетъ работать удовлетворительно, пока пленка останется непрерывною и неповрежденною.

Многочисленными изслѣдованіями установлено, что образованіе фильтрующей пленки, обладающей способностью задерживать бактерій, совершается на англійскихъ фильтрахъ при участіи біологическихъ процессовъ (т. е. является результатомъ жизнедѣятельности микроорганизмовъ). Что же касается процесса задержанія бактерій изъ фильтруемой воды готовою, уже созрѣвшею пленкою, то въ настоящее время можно считать этотъ процессъ совершающимся *главнымъ образомъ* механическимъ путемъ, хотя, несомнѣнно, имѣетъ мѣсто также біологическое воздѣйствіе готовой пленки на находящіяся въ фильтруемой водѣ и задерживаемыя изъ нея вещества.

Значеніе водорослей для работы фильтра изучалъ (въ Гамбургѣ) Штроемeyer⁶⁾, который въ теченіе цѣлаго года изслѣдовалъ пленки очищаемыхъ фильтровъ и опредѣлялъ виды водорослей (algae); ихъ оказалось болѣе 160. Штроемeyer доказалъ значеніе водорослей (особенно семейства bacillariacea) для заполнения промежутковъ между песчинками и для ускоренія образованія пленки. Далѣе, онъ доказалъ, что зеленныя водоросли (содержащія хлорофиллы), развиваясь, энергично разрушаютъ бактерій и мѣшаютъ ихъ размноженію, дѣйствуя на нихъ, по всей вѣроятности, вырабатываемыхъ водорослями кислородомъ въ состояніи возникновенія, который производитъ сильное окисляющее дѣйствіе также на органическія вещества.

Два наиболѣе распространенныхъ вида водорослей показаны на фиг. 4.

Водоросли развиваются сильнѣе при дѣйствіи свѣта; вслѣдствіе этого, открытые фильтры быстрѣе созрѣваютъ, но и загрязняются быстрѣе, чѣмъ закрытые.

Далѣе, біологію песочныхъ фильтровъ изучалъ д-ръ Кемна въ Антверпенѣ⁷⁾. Какъ и Штроемeyer, онъ подмѣтилъ появленіе разныхъ видовъ алгъ въ разное время года. Онъ указалъ также, что плавающія водоросли на поверхности воды на фильтрѣ обыкновенно служатъ при-

⁶⁾ Strohmeier. Die Algenflora des Hamburger Wasserwerkes. 1897.

⁷⁾ Kemna. Biologie du filtrage au sable. „Bulletin de la Société belge de géologie“, 1900, mars.

накомъ отставанія въ нѣкоторыхъ мѣстахъ фильтрующей пленки отъ песка, т. е. прорывовъ пленки, при которыхъ бактеріи проходятъ черезъ фильтръ.

По выраженію Кемна, рыхлый слой, образуемый проросшими водорослями и сплетающимися волокнами ихъ, ловитъ бактерій, какъ паутина насѣкомыхъ.

Наконецъ, по опытамъ Кемна, однимъ изъ средствъ задержанія бактерій является клейкая грязевая пленка, состоящая отчасти изъ мергваго, отчасти изъ живого матеріала; частицы грязи, а равно и зародыши, прилипаютъ къ песчинкамъ.

Такимъ образомъ, мы видимъ три способа фильтрующаго дѣйствія пленки: задержаніе бактерій коркою изъ сплетающихся водорослей и волоконъ; прилипаніе бактерій къ липкой грязевой пленкѣ, выросшей на пескѣ⁸⁾, и, наконецъ, окисленіе бактерій кислородомъ, выделяемымъ водорослями.

Роль песка. Фильтрующая пленка не является все-таки единственнымъ фильтрующимъ элементомъ песочныхъ фильтровъ; это видно изъ того факта, что результаты фильтрованія улучшаются съ увеличеніемъ толщины песочнаго слоя, какъ показали, на примѣръ, опыты въ Lawrence (Америка), при которыхъ получали чистую воду фильтрованіемъ черезъ слой песка толщиною 1,20 метр. при крупности зеренъ его 0,15 мм. при отсутствіи на пескѣ фильтрующей пленки.

Еще Piefke показалъ, что бактеріи задерживаются не только пленкою, но и всею толщею фильтрующаго слоя. На фиг. 30 длины черныхъ горизонтальныхъ линій представляютъ относительныя количества бактерій, остающихся въ пескѣ фильтра на различныхъ глубинахъ.

Слѣдуетъ замѣтить, что для опредѣленія количества бактерій, задерживаемыхъ отдѣльными слоями песка изъ фильтруемой воды, необходимо производить опыты со специфическими бактеріями (Piefke пользовался культурами *Bacillus violaceus*, въ Lawrence примѣняли *B. prodigiosus*), такъ какъ бактеріи изъ числа видовъ, обычно населяющихъ воду, могутъ быть задержаны изъ фильтруемой воды верхними слоями песка или пленкою, и вновь попасть въ фильтратъ изъ нижнихъ слоевъ фильтра: бактеріи могутъ размножаться въ самомъ пескѣ фильтра, переплывъ туда изъ ранѣе фильтрованной воды, и проникать оттуда въ новую порцію фильтруемой воды, что постоянно и происходитъ⁹⁾.

⁸⁾ Стремленіе бактерій осѣсть на имѣющуюся липкую поверхность видно, на примѣръ, изъ того факта, что въ водостокахъ г. Парижа воздухъ содержитъ меньше бактерій, чѣмъ уличный воздухъ, и бактеріи оказываются прилипшими (осѣвшими) къ влажной поверхности стѣнъ водосточнаго канала. (См. Bechmann. „Les eaux et l'assainissement de Paris“. 1900. Стр. 301).

⁹⁾ Это явленіе наблюдалось, между прочимъ, на песочныхъ фильтрахъ г. С.-Петербургъ въ холерную эпидемію 1908 г., когда бывали случаи находженія въ профильтрованной водѣ бѣльшаго количества бактерій, чѣмъ въ водѣ, поступающей на фильтры.

Отмѣтимъ, что изъ всѣхъ слоевъ песка и гравія различной крупности, заполняющихъ фильтрующій бассейнъ, только верхній, мелкозернистый слой песка играетъ роль въ процессѣ фильтраціи и носитъ названіе „фильтрующаго слоя“, остальные же слои песка большей крупности и гравія укладываются лишь съ цѣлью поддерживать верхній слой и мѣшать вымыванію профильтрованной водою песчинокъ въ дренажные каналы; слои эти называются „поддерживающими“.

Опыты фильтрованія черезъ стерилизованный песокъ, производившіеся Piefke, показали, что процессъ фильтрованія идетъ хуже, чѣмъ при нестерилизованномъ пескѣ, и „созрѣваніе“ фильтра существенно необходимо. Однако, большинство изслѣдователей въ настоящее время придерживаются мнѣнія, что хотя въ процессѣ фильтрованія и участвуютъ микроорганизмы, но главную роль играетъ все-таки механическое задержаніе бактерій (а также, конечно, и иныхъ взвѣшенныхъ веществъ), и что „созрѣваніе“ фильтра сводится, въ сущности, къ уплотненію песка, заполненію промежутка между песчинками и образованію пленки. Такимъ образомъ, „созрѣваніе“ песочнаго фильтра не можетъ быть приравнено къ созрѣванію біологическихъ фильтровъ—окислителей для очистки сточныхъ водъ, представляющему собою размноженіе аэробныхъ микроорганизмовъ, окисляющихъ и минерализующихъ продукты разложенія¹⁰⁾. Наконецъ, роль пленки также сводится, главнымъ образомъ, къ механическимъ воздѣйствіямъ на бактерій (за исключеніемъ окисленія ихъ альгами).

Все вышесказанное даетъ возможность при процессѣ фильтраціи разсматривать бактеріи какъ одинъ изъ видовъ взвѣшенныхъ веществъ (правда, обладающій нѣкоторыми особыми свойствами), а не какъ живые организмы, въ противоположность процессамъ стерилизаціи и дезинфекціи воды, при которыхъ стремятся умертвить бактерій, а не выловить ихъ.

Механическая теорія дѣйствія фильтровъ. На основаніи продолжительныхъ наблюденій надъ работою фильтровъ г. Варшавы, инженеромъ Л. К. Багинскимъ¹¹⁾ была предложена механическая теорія дѣйствія песочныхъ фильтровъ, относящаяся къ задержанію ими всякаго рода взвѣшенныхъ веществъ (въ томъ числѣ и бактерій). Теорія эта весьма интересна, какъ одна изъ попытокъ подвести сложный процессъ фильтраціи подъ математическія формулы.

Л. К. Багинскій разсматриваетъ какъ песокъ, такъ и пленку, состоящими изъ ряда горизонтальныхъ слоевъ, различающихся крупностью

¹⁰⁾ Для искусственнаго ускоренія созрѣванія песочнаго фильтра прибавляютъ, какъ увидимъ ниже, химическіе реактивы, способствующие образованію слизистой пленки на поверхности песка (въ американскихъ фильтрахъ). Для ускоренія же созрѣванія біологическихъ (коксовыхъ или шлаковыхъ) окислителей для очистки сточныхъ водъ, прибѣгаютъ изрѣдка къ добавленію (или развигію) искусственныхъ культуръ аэробныхъ бактерій.

¹¹⁾ Докладъ Л. К. Багинскаго III-му Русскому Водопроводному Съѣзду (1897 г.).

частицъ; между частицами песка (или пленки) находятся капиллярные каналы, имѣющіе рядъ суженій и расширеній. При прохожденіи по капиллярнымъ каналамъ фильтруемой воды, суженія и расширенія ихъ вызываютъ измѣненія скорости прохожденія воды и потерю живой силы воды, которая, въ свою очередь, влечетъ осажденіе взвѣшенныхъ въ водѣ веществъ. Чѣмъ мельче частицы слоя песка, тѣмъ уже капиллярные каналы между ними, и тѣмъ лучше слой задерживаетъ несомыя водою примѣси. Съ точки зрѣнія этой теоріи, пленка отличается отъ фильтрующаго песка лишь размѣромъ частицъ и каналовъ между ними.

Если x есть полное содержаніе взвѣшенныхъ примѣсей въ водѣ, поступающей на фильтръ, то на поверхности пленки задерживается нѣкоторая доля примѣсей ax , и въ толщу пленки проникаетъ содержаніе примѣсей:

$$y = x(1 - a).$$

При толщинѣ пленки δ_1 и среднемъ измѣреніи составляющихъ ее мельчайшихъ частицъ d_1 , и при полной толщинѣ фильтрующаго слоя песка δ_2 и среднемъ размѣрѣ зеренъ его d_2 , вода проходитъ въ толщѣ пленки $\frac{\delta_1}{d_1}$ слоевъ, а въ толщѣ песка $\frac{\delta_2}{d_2}$ слоевъ, и въ каждомъ слоеъ вода будетъ оставлять нѣкоторую долю a_1 тѣхъ примѣсей, которыя содержались въ ней при вступленіи въ этотъ слой. При этомъ относительное количество a_1 примѣсей, задерживаемыхъ каждымъ слоемъ пленки, больше относительнаго количества a_2 примѣсей, задерживаемыхъ каждымъ слоемъ песка (вслѣдствіе того, что частицы пленки мельче зеренъ песка).

Такимъ образомъ, въ первомъ слоеъ пленки задержится $a_1 y$ примѣсей, и во второй слой ея пройдетъ:

$$y - a_1 y = y(1 - a_1) = y_1$$

Подобнымъ образомъ, во второмъ слоеъ задержится $a_1 y_1$, и въ третій слой поступитъ

$$y_1(1 - a_1) = y(1 - a_1)^2$$

По проходѣ $\frac{\delta_1}{d_1}$ слоевъ пленки, въ верхній слой фильтрующаго песка поступитъ

$$y_2 = y(1 - a_1)^{\frac{\delta_1}{d_1}} \text{ примѣсей.}$$

Аналогично, по проходѣ перваго слоя песка вода будетъ содержать $y_2(1 - a_2)$ примѣсей, и по проходѣ всей толщи его, т. е. всѣхъ $\frac{\delta_2}{d_2}$ слоевъ его, въ водѣ останется примѣсей:

$$z = y_2(1 - a_2)^{\frac{\delta_2}{d_2}} = y(1 - a_1)^{\frac{\delta_1}{d_1}}(1 - a_2)^{\frac{\delta_2}{d_2}} = x(1 - a)(1 - a_1)^{\frac{\delta_1}{d_1}}(1 - a_2)^{\frac{\delta_2}{d_2}}$$

Эта формула указываетъ, что количество примѣсей, остающееся въ фильтрованной водѣ, тѣмъ меньше (т. е. очистка лучше), чѣмъ больше показатели степени $\frac{\delta_2}{d_2}$ и $\frac{\delta_1}{d_1}$, т. е. чѣмъ мельче песокъ и чѣмъ толще фильтрующий слой песка и пленка. Выводы эти вполне согласуются съ практикою.

Такимъ образомъ, по этой теоріи фильтрующая пленка разсматривается, какъ слой мелкозернистаго матеріала (ила), совершенно не касающаяся ея специфическихъ свойствъ; понятно, что эти свойства не поддаются математическому учету и не могутъ быть выражены формулою.

Заканчивая разсмотрѣніе теоріи дѣйствія фильтровъ, отмѣтимъ, что даже растворенныя вещества, особенно коллоидальныя, отчасти выдѣляются изъ воды при прохожденіи ея черезъ англійскіе фильтры ¹²⁾. Замѣтное уменьшеніе содержанія органическихъ примѣсей, достигаемое нѣкоторыми фильтрами при очисткѣ рѣчной воды, также съ большою вѣроятностью можно приписать выдѣленію растворенныхъ коллоидовъ.

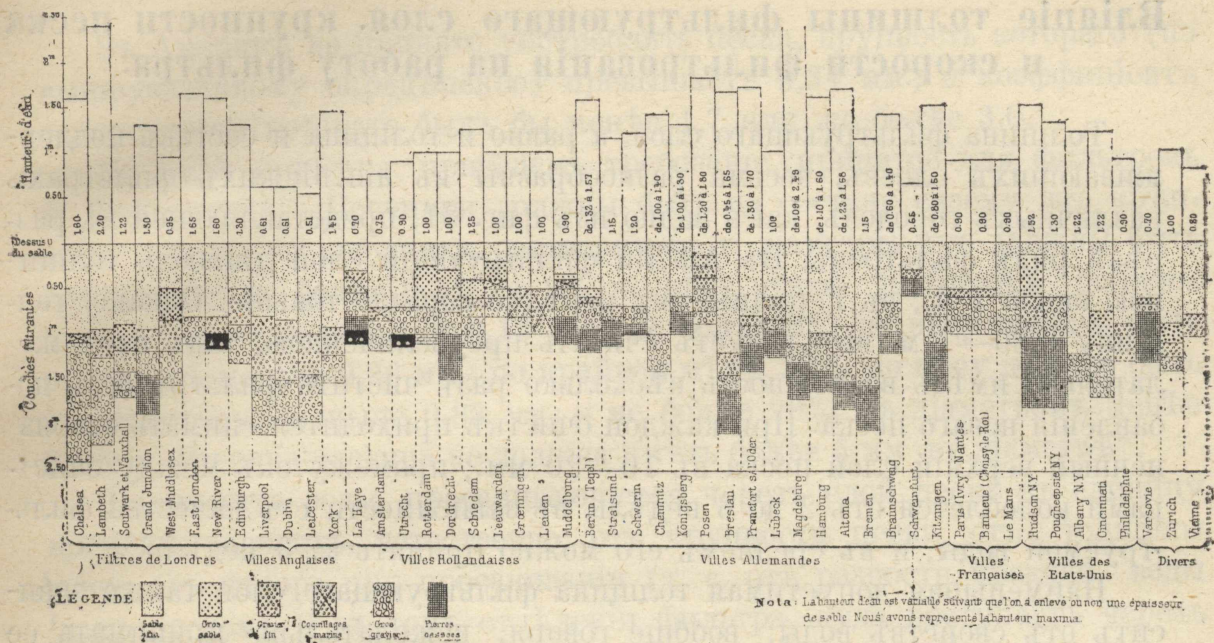
Грязевая оболочка песчинокъ фильтра имѣетъ способность поглощать (втягивать въ себя) растворенные коллоиды и задерживать часть ихъ. По мнѣнію изслѣдователей Kamman и Cornwath, фильтрующая пленка не осаждаетъ коллоидовъ изъ раствора, но вызываетъ въ нихъ биологическія измѣненія (броженіе, окисленіе, разложеніе), слѣдствіемъ которыхъ является позднѣйшее выдѣленіе коллоидовъ.

Измѣненіе химическаго состава воды при фильтрованіи выражается въ уменьшеніи содержанія органическихъ веществъ, амміака и желѣза и въ нѣкоторомъ увеличеніи нитратовъ. Это видно какъ изъ діаграммы работы Цюрихскихъ фильтровъ (фиг. 58), такъ и изъ слѣдующихъ данныхъ, полученныхъ при опытахъ въ Lawrence.

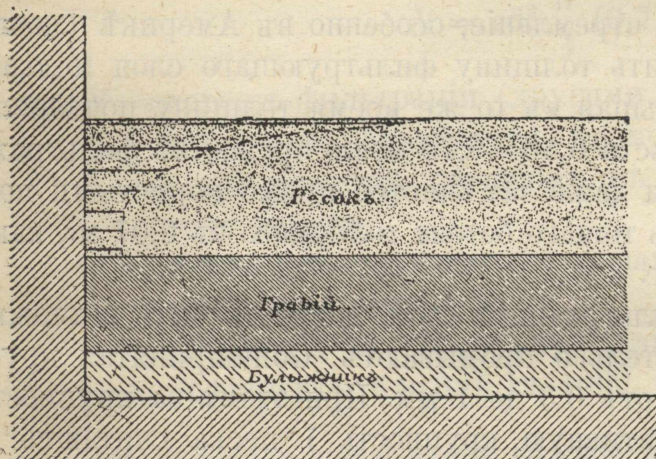
НАИМЕНОВАНИЕ.	Содержаніе въ водѣ въ mgr. на литрѣ.		Уменьшеніе въ 0/0.
	До фильтров.	Послѣ фильтров.	
Органическія вещества (по поглощаемому кислороду)	3,0	2,8	28,2
Свободный амміакъ	0,084	0,068	19,0
Альбуминоидный амміакъ	0,202	0,109	46,0
Нитратовъ (по содерж. азота)	0,14	0,31	—
Нитритовъ (по содерж. азота)	0,003	0,005	—
Число бактерій въ 1 куб. см.	14000	258	98,16

Такимъ образомъ, англійскіе фильтры производятъ окисляющее дѣйствіе на фильтруемую воду. Въ остальномъ они не измѣняютъ ея химическаго состава.

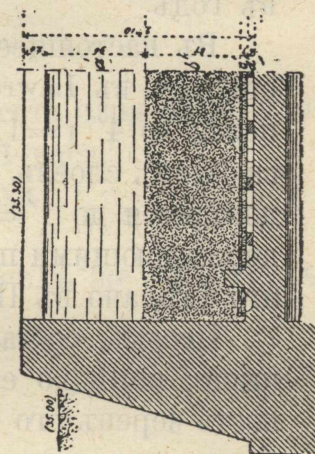
¹²⁾ По изслѣдованіямъ Zigmondy, Burton, Dunbar и другихъ.



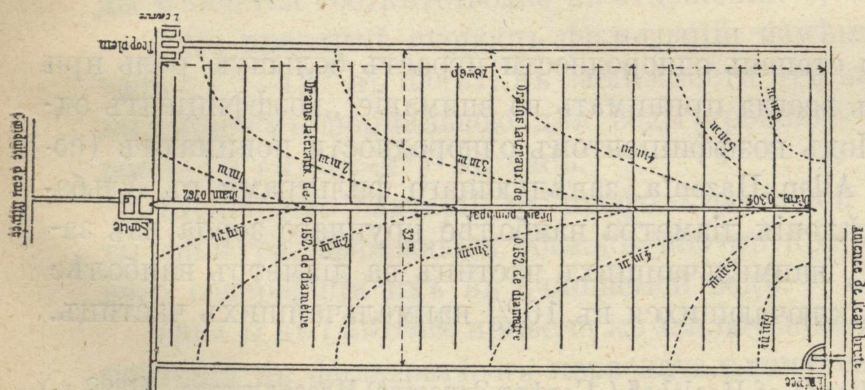
Фиг. 31.



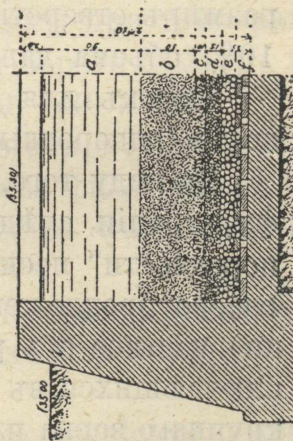
Фиг. 30.



Фиг. 32.



Фиг. 33.



Вліяніє толщини фільтруючого слоя, крупности песка и скорости фільтрованія на работу фільтра.

Толщина фільтруючого слоя, а равно и толщина и составъ поддерживающихъ слоевъ, весьма разнообразны въ англійскихъ фільтрахъ различныхъ городовъ, какъ видно изъ фиг. 31, представляющей въ разрѣзѣ рядъ фільтровъ. Въ Англіи фільтрующій слой дѣлають толщиною около 1 м.; въ Германіи онъ нерѣдко гораздо товѣше. Однако, толщину 0,80—1 м. не слѣдуетъ считать преувеличенною, такъ какъ желательнo имѣть возможность нѣсколько разъ чистить фільтръ безъ добавленія новаго песка. При каждой очисткѣ приходится снимать загрязненный верхній слой песка въ 10—20 мм.; промежутокъ между очистками колеблется отъ 2 до 6 недѣль, въ зависимости отъ качества фільтруемой воды, и въ среднемъ его можно принять за 3 недѣли.

Наименьшая допустимая толщина фільтруючого слоя также зависитъ отъ свойствъ воды; вообще говоря, нежелательно принимать ее меньше 0,40—0,50 м. Первоначальную толщину слоя слѣдуетъ назначать такъ, чтобы можно было добавлять новаго песка не чаще 1 раза въ годъ.

Въ настоящее время есть стремленіе, особенно въ Америкѣ (послѣ опытовъ въ Lawrence), доводить толщину фільтруючого слоя мелкаго песка до 4' (=1,22 м.), уменьшая въ то же время толщину поддерживающихъ слоевъ, которая вмѣсто 0,50—0,70 м. въ прежнихъ фільтрахъ доводится до 1' = 0,30 м., или даже замѣняется прямо пористыми поддерживающими плитками изъ тощаго бетона толщиною въ 0,07 м., какъ это сдѣлано въ Парижѣ (фиг. 32).

Песокъ, составляющій фільтрующій слой, долженъ быть возможно чище; нерѣдко его предварительно промываютъ. Общепринятая крупность зеренъ его измѣняется отъ 0,3 до 1 мм. При этомъ за крупность (или, какъ говорятъ, „эффективную крупность“) песка считают¹³⁾ размѣръ отверстій такой сѣтки, черезъ которую проходитъ не болѣе 10% объема даннаго песка.

Песокъ для фільтра слѣдуетъ употреблять равномерной крупности (однородный).

Въ виду того, что степень однородности играетъ большую роль при фільтраціи, слѣдуетъ всегда принимать во вниманіе „коэффициентъ однородности“ песка. Подъ коэффициентомъ однородности понимаютъ (согласно предложенію Allen Hazen'a, завѣдующаго фільтрами въ Альбани) частное отъ раздѣленія діаметра наиболѣе крупнаго зерна изъ заключающихся въ 60% наимельчайшихъ частицъ на діаметръ наиболѣе крупнаго зерна изъ заключающихся въ 10% наимельчайшихъ частицъ.

¹³⁾ По предложенію „Board of Healths“ („Совѣта Здравія“) Массачузетса. (1892 г.) Эффективную крупность песка называютъ еще иногда „продуктивною величиною“ песка.

Въ Америкѣ не принято употреблять песка, крупность котораго (по вышеуказанному опредѣленію) превышаетъ 0,34 мм., и коэффициентъ однородности котораго былъ бы менѣе 1,7 или же болѣе 3,0.

Въ видѣ примѣра, приведемъ требованіе, принятое для фильтровъ г. Вашингтона: „Песчинки должны быть по составу своему изъ крѣпкихъ породъ, не могущихъ растворяться, и діаметры ихъ должны быть слѣдующіе: не болѣе 0,5% и 1% по вѣсу этихъ песчинокъ должны имѣть діаметръ менѣе 0,13 мм.; не болѣе 8% по вѣсу должно быть песчинокъ мельче 0,26 мм.; по крайней мѣрѣ 70% по вѣсу должно быть съ діаметромъ менѣе 0,83 мм. и не болѣе 90% съ діаметромъ менѣе 2,1 мм.. Ни одна частица не должна имѣть болѣе 5 мм. въ діаметрѣ“.

Количество воды, просачивающееся черезъ слой песка въ единицу времени, зависитъ, естественно, отъ крупности песка, отъ толщины слоя, отъ напора при просачиваніи (т. е. отъ разности уровней воды надъ пескомъ и въ томъ отдѣленіи фильтра, куда поступаетъ черезъ дренажные каналы очищенная вода) и отъ температуры.

Для выраженія скорости просачиванія предложена¹⁴⁾ формула:

$$V = cd^2 \frac{h}{l} (0,7 + 0,03 t)$$

гдѣ V—скорость фильтраціи (другими словами, высота слоя воды, пропускаемаго фильтромъ), въ метрахъ въ 24 часа,

d—средній діаметръ песчинокъ, въ миллиметрахъ,

h—потеря напора,

l—толщина фильтрующаго песчаного слоя, въ тѣхъ же единицахъ, какъ потеря напора h,

t—температура въ градусахъ Цельзія,

c—коэффициентъ, близкій къ 1000.

Эта формула указываетъ важное вліяніе температуры на производительность фильтра: при равныхъ прочихъ условіяхъ, при температурѣ: 0°; 10°; 20 и 30°, количество просачивающейся черезъ фильтръ воды мѣняется соотвѣтственно въ отношеніи: 0,70; 1,0; 1,30 и 1,60.

На практикѣ скорость фильтраціи измѣняютъ отъ 5 до 30 см. въ часъ (2"—12" въ часъ), въ зависимости отъ качества фильтруемой воды, причѣмъ нормальною для воды средняго качества считается скорость 10 см. (=4") въ часъ.

Количество бактерій въ профильтрованной водѣ, для оцѣнки работы фильтра, выражаютъ обыкновенно въ процентахъ отъ первоначальнаго содержанія ихъ въ очищаемой водѣ.

Опыты въ Lawrence привели къ заключенію, что отношеніе содержанія бактерій въ фильтратѣ къ первоначальному содержанію ихъ въ сырой

¹⁴⁾ Allen Hazen'омъ. Этою формулою пользуются для опредѣленія потери напора h.

водѣ, выраженное въ процентахъ, зависитъ исключительно отъ фильтра и скорости фильтраціи и можетъ быть представлено формулою:

$$N\% = \frac{1}{2} \frac{q^2 d}{\sqrt{l}}$$

гдѣ d —средній діаметръ песчинокъ,

l —толщина фильтрующаго слоя,

q —количество воды, проходящее черезъ фильтръ въ сутки, въ милліонахъ галлоновъ на акръ фильтрующей поверхности (1 милліонъ галлоновъ на акръ=0,93 куб. м. на 1 кв. м.). На практикѣ существующихъ фильтровъ содержаніе бактерій въ фильтратѣ обыкновенно больше, чѣмъ вычисленное по этой формулѣ.

Въ этой формулѣ процентное отношеніе N принято независимымъ отъ содержанія бактерій въ сырой водѣ, подаваемой на фильтръ. Между тѣмъ, бактеріи, находямыя въ фильтрованной водѣ, принадлежатъ только частью къ числу бактерій, бывшихъ въ этой водѣ передъ фильтрованіемъ, частью же попадаютъ въ воду изъ фильтрующаго песка¹⁵⁾; поэтому при пропусканіи черезъ фильтръ воды, содержащей очень мало бактерій, число по прохожденіи черезъ песокъ фильтра можетъ даже возрасти. Отсюда понятно, что прямая зависимость между числомъ бактерій въ водѣ до и послѣ фильтраціи далеко не всегда можетъ имѣть мѣсто, и приходится присоединиться къ мнѣнію нѣкоторыхъ изслѣдователей¹⁶⁾, полагающихъ, что, при одинаковыхъ прочихъ условіяхъ, содержаніе бактерій въ сырой водѣ вліяетъ на содержаніе ихъ въ фильтратѣ только въ случаѣ высокаго первоначальнаго содержанія ихъ (свыше 100.000—200.000 въ 1 куб. см.); въ случаѣ же меньшаго количества бактерій въ сырой водѣ, прямой зависимости между этими величинами не существуетъ.

Конструкція и расчетъ англійскихъ фильтровъ.

Прежде описанія устройства англійскихъ фильтровъ, приведемъ *общія указанія*, изложенныя въ инструкціи Германскаго Императорскаго Санитарнаго Управленія (Kaiserlicher Gesundheitsamt), обязательной для городскихъ водопроводовъ¹⁷⁾.

1) Устройство песочныхъ фильтровъ цѣлесообразно лишь при обезпеченіи надлежащей умѣренной скорости фильтрованія, соотвѣтствующей

¹⁵⁾ При бактериологическомъ анализѣ слѣдуетъ обращать вниманіе, принадлежатъ ли бактеріи, находямыя въ разное время въ фильтратѣ, къ одному и тому же виду, или къ разнымъ; въ первомъ случаѣ бактеріи попадаютъ въ воду изъ песчаного слоя фильтра, а во второмъ—онѣ содержались въ сырой водѣ.

¹⁶⁾ Reinsch. „Zentralblatt für Bacteriologie“ 1894.

¹⁷⁾ Инструкція эта („Grundsätze für die Reinigung von Oberflächenwasser durch Sandfiltration“) издана была первоначально въ 1893 г., а затѣмъ, въ измѣненной редакціи, въ 1898 г. Мы приводимъ лишь нѣкоторые параграфы ея.

щей свойствамъ фильтруемой воды; поэтому необходимо, чтобы площадь фильтровъ была вполне достаточною.

Каждое отдѣленіе фильтра должно имѣть приспособленія, позволяющія разобщить его отъ провода чистой профильтрованной воды и спустить фильтратъ изъ него въ сточныя трубы, если этотъ фильтратъ окажется плохого качества.

3) Каждое отдѣленіе фильтра должно быть устроено такъ, чтобы имъ можно было управлять независимо отъ другихъ отдѣленій, а равно чтобы была возможна самостоятельная провѣрка притока воды къ нему, напора и состава воды. Должны быть также приспособленія для полнаго опоражниванія каждаго отдѣленія, независимо отъ другихъ, и для наполненія водою (послѣ каждой очистки) снизу вверхъ до поверхности песка.

4) Надо, чтобы скорость фильтрованія въ каждомъ отдѣленіи фильтра могла быть приведена къ условіямъ, наиболѣе благопріятнымъ для процесса фильтрованія, была возможно равномерна и обезпечена отъ быстрыхъ колебаній. Для этого нормальныя колебанія, вызываемыя измѣненіями расхода воды въ теченіе дня, должны быть по возможности уравнены запаснымъ водоемомъ (резервуаромъ)¹⁸⁾.

5) Фильтры должны быть такъ устроены, чтобы на ихъ дѣйствіе не вліялъ переменный горизонтъ воды въ резервуарѣ чистой воды.

6) Напоръ воды на фильтръ никогда не долженъ быть столь великъ, чтобы могли произойти прорывы фильтрующей пленки. Предѣлъ, до котораго можно доводить напоръ безъ вреда для фильтра, долженъ быть опредѣленъ для каждаго сооруженія бактериологическимъ изслѣдованіемъ.

7) Фильтры должны быть такъ устроены, чтобы всѣ части поверхности каждаго фильтра дѣйствовали возможно равномерно.

8) Стѣны и полъ фильтра должны быть водонепроницаемы, и въ частности должна быть исключена возможность прониканія нефильтрованной воды въ каналы фильтрованной воды. Для этой послѣдней цѣли необходимо устроить и поддерживать водонепроницаемыми воздушные колодцы каналовъ чистой воды.

9) Толщина песчаного слоя должна быть достаточна для того, чтобы ни при какихъ обстоятельствахъ не быть уменьшенной очистками болѣе, чѣмъ до 30 сантиметровъ, причемъ рекомендуется всегда, когда позволяютъ условія эксплуатаціи фильтра, не доходить до этого предѣла и держаться минимума толщины песчаного слоя въ 40 сантиметровъ.

10) Для непрерывнаго контроля надъ водопроводомъ въ гигиеническомъ отношеніи рекомендуется вездѣ, гдѣ позволяютъ имѣющіяся налицо силы, изслѣдовать ежедневно фильтратъ каждаго отдѣленія фильтра. Это особенно важно:

¹⁸⁾ Объемъ этого резервуара рассчитывается, какъ объемъ всякаго запаснаго резервуара, по колебаніямъ потребленія воды въ различные часы сутокъ.

а) послѣ постройки новаго фильтра, пока не установится вполне нормальная работа его;

б) при каждомъ наполненіи фильтра водою послѣ его очистки,—по крайней мѣрѣ на два дня дольше срока, нужнаго для полученія фильтрата удовлетворительнаго состава;

в) послѣ того, какъ давленіе на фильтръ достигаетъ болѣе двухъ третей установленнаго максимума давленія;

г) когда давленіе надъ фильтромъ вдругъ упадетъ;

е) при всякихъ исключительныхъ обстоятельствахъ, напримѣръ, во время паводковъ и наводненій.

11) Для возможности производства бактериологическихъ изслѣдованій, указанныхъ въ предыдущемъ пунктѣ, нужно, чтобы фильтратъ каждаго отдѣленія фильтра былъ доступенъ для взятія пробъ воды во всякое время.

Приступая къ проектированію англійскихъ фильтровъ, прежде всего опредѣляютъ фильтрующую площадь ихъ S . Если Q —количество фильтруемой воды въ сутки, и V —выбранная скорость фильтраціи въ часъ, то общая работающая поверхность фильтровъ должна равняться

$$S = \frac{Q}{24 V}$$

Обыкновенно принимаютъ V не болѣе 0,10 м. въ часъ; желательны предварительные опыты фильтрованія той воды, для очистки которой проектируются фильтры.

Общую поверхность S распредѣляютъ между нѣсколькими отдѣльными бассейнами фильтра, площадь каждаго изъ которыхъ дѣлаютъ около 2000—2500 кв. м. при крытыхъ фильтрахъ и 3300—4300 кв. м. при открытых¹⁹⁾. Называя площадь одного бассейна черезъ s , получимъ число отдѣленій $N_1 = \frac{S}{s}$.

Полученное число N_1 отдѣленій должно работать въ каждый данный моментъ; но такъ какъ каждое отдѣленіе фильтра время отъ времени подвергается очисткѣ, то необходимо устроить не N_1 отдѣленій, а больше (N). Если фильтръ (постепенно, по отдѣленіямъ) подвергается очисткѣ n разъ въ году²⁰⁾, и каждая очистка занимаетъ t ²¹⁾ сутокъ, то каждое отдѣленіе фильтра работаетъ только $(365 - nt)$ дней въ году,

¹⁹⁾ Эти размѣры указываются, какъ наиболѣе выгодныя, въ сочиненіи Aller Hazen'a: „The filtration of Public Water Supplies“.

²⁰⁾ Въ среднемъ около 20.

²¹⁾ Въ этотъ промежутокъ t входитъ время, необходимое для спуска воды, снятія верхняго загрязненнаго слоя песка, напуска воды и образованія фильтрующей пленки (созрѣванія фильтра). Въ среднемъ, t равно приблизительно 2—4 суткамъ.

т. е. въ теченіе

$$\frac{1}{m} = \frac{365 - nt}{365}$$

части года, и всѣ N_1 отдѣленій вмѣстѣ очистятъ въ теченіе года только $\frac{1}{m}$ часть всего потребнаго количества воды. Поэтому для очистки полнаго годоваго расхода воды слѣдуетъ устроить не N_1 отдѣленій, а въ m разъ больше, т. е. требуется

$$N = \frac{365}{365 - nt} N_1 = \frac{365}{365 - nt} \cdot \frac{S}{s}$$

отдѣленій площадью s каждое.

Найденное такимъ образомъ число N обыкновенно увеличиваютъ на 1 или 2 отдѣленія, на случай ремонта.

Для малыхъ установокъ дѣлаютъ не менѣе 3 или 4 отдѣленій.

Отдѣленіямъ фильтра обыкновенно придаютъ въ планѣ прямоугольную форму, съ отношеніемъ сторонъ отъ 2 : 1 до 3 : 1.

Стѣны и дно фильтра дѣлаются изъ каменной или кирпичной кладки на цементѣ или, чаще всего, изъ бетона. Если фильтры закрытые, то для поддержанія покрытія устанавливаютъ бетонные же (или каменные) столбы, на разстояніи 3—4 м. ось отъ оси и сѣченіемъ около 0,30—0,40 м. въ квадратѣ.

Столбы эти перекрываются сводами, также кирпичными (въ полкирпича) или бетонными; стрѣла подъема сводовъ бываетъ около $\frac{1}{4}$. Иногда примѣняютъ желѣзо-бетонныя покрытія. Въ покрытіи дѣлаютъ свѣтовые колодцы и отверстія для вентиляціи. Сверху покрытіе засыпается землею (слоемъ толщиною въ 3—4 фута).

Внѣшнія стѣны нерѣдко устраиваются въ видѣ ряда цилиндрическихъ сводовъ съ вертикальною осью, обращенныхъ вогнутостью внутрь фильтра; своды эти упираются въ кирпичные или бетонные столбы, воспринимающіе горизонтальную нагрузку стѣнъ (давленіемъ земли). Такимъ устройствомъ достигается экономія въ объемѣ кладки стѣнъ и уменьшеніе образованія мелкихъ трещинъ въ бетонныхъ стѣнкахъ при измѣненіяхъ температуры (какъ показала практика).

Дно фильтра тоже нерѣдко имѣетъ форму обратнаго свода (между продольными рядами) и устраивается на слоѣ мятой глины или глинянаго бетона. Дну придается уклонъ по направленію стока воды.

Высота закрытаго фильтра отъ дна бассейна до потолка дѣлается около 3—3,50 метр.; при этомъ разстояніе отъ поверхности песка до потолка должно быть не меньше 1,70 м., для удобства очистки; высота открытых фильтровъ (до обрѣза стѣнокъ) дѣлается нѣсколько менѣе (2,10—3 м.). Высота бассейна складывается изъ высотъ: дренажнаго канала, поддерживающихъ слоевъ (гравія и крупнаго песка), фильтрующаго слоя песка, слоя воды и запаснаго промежутка надъ нимъ.

Дренажъ. Для собиранія профильтрованной воды на днѣ фильтра укладываютъ дренажныя трубы; чаще всего устраиваютъ по срединѣ отдѣленія фильтра, нормально его длинѣ, главный отводный каналъ, и перпендикулярно къ нему, на разстояніи 2,5—4 метра одну отъ другой, водосборныя дрены (см. фиг. 33). Главный каналъ дѣлается обыкновенно бетоннымъ или кирпичнымъ; иногда размѣры его мѣняютъ по длинѣ, какъ на фильтрахъ въ Альбани (фиг. 33), но чаще придаютъ одинаковое сѣченіе по всей длинѣ. Для образованія канала можетъ служить также гончарная глазурированная труба.

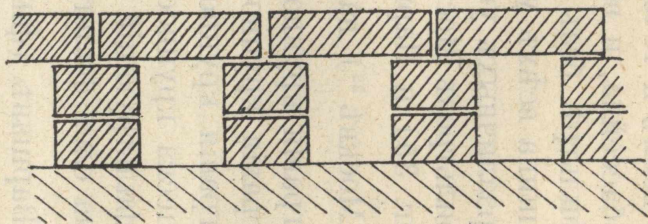
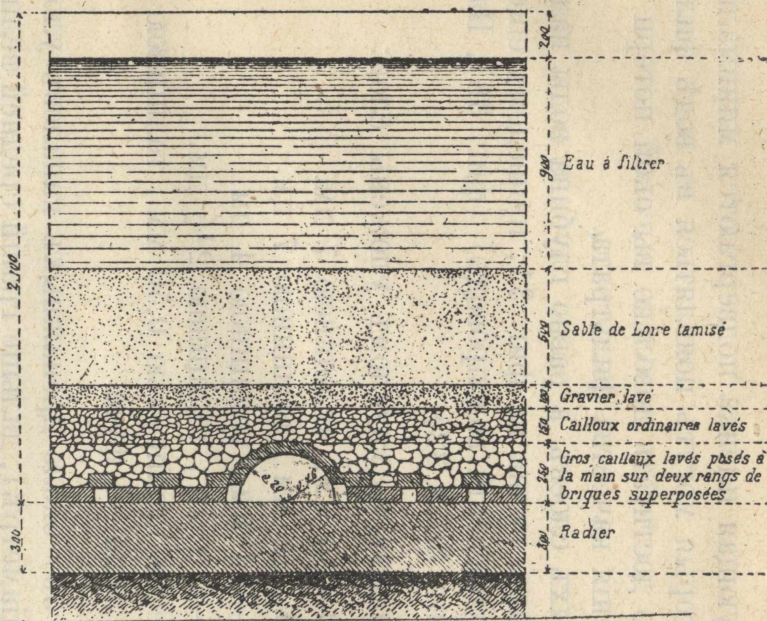
Главный каналъ иногда устраиваютъ въ нижнемъ концѣ фильтра (какъ въ Варшавѣ, см. фиг. 34 и 35), поперекъ его, укладывая водосборныя дрены вдоль отдѣленія фильтра и придавая дну между дренами наклонъ къ нимъ; въ этомъ случаѣ водосборнымъ дренамъ придаютъ большіе размѣры. Въ Варшавѣ дрены имѣютъ ширину 0,50 м. и высоту 0,45 м.; боковыя стѣнки ихъ сдѣланы изъ кирпича, положеннаго ложкомъ; между кирпичинами оставлены вертикальные зазоры въ 5 мм., 1:0 которымъ вода входитъ въ каналъ. Кирпичныя стѣнки перекрыты бетонными плитками.

Встрѣчается еще діагональное расположеніе отводныхъ дренажныхъ каналовъ, если отдѣленіе фильтра имѣетъ въ планѣ форму квадрата (Парижъ, фильтровальная станція Ivry; разрѣзъ этого фильтра см. фиг. 36)

Сборными дренами служатъ дренажныя трубы діаметра 10—15" см., или гончарныя трубы діаметра 10—20 см., снабженныя въ верхней полуокружности отверстіями, или, наконецъ, каналы изъ сплошного или полога кирпича. Весьма удобно и просто устройство сборныхъ дренъ по способу Muir: на днѣ фильтра образованы каналы кирпичами, расположенными рядами, высотой въ полкирпича, съ промежутками между ними, перекрытыми тоже кирпичами плашмя съ открытыми швами (фиг. 36 и 37).

Поддерживающіе слои. Для облегченія притока воды къ сборнымъ дренамъ, а также для воспрепятствованія прониканію въ ихъ отверстія мелкаго песка, составляющаго фильтрующий слой, насыпаютъ около дренъ (сверху и съ боковъ ихъ) слой гравія діаметромъ 2,5—5 см., за тѣмъ слѣдуютъ 3 или 4 слоя болѣе мелкаго гравія, постепенно уменьшающагося діаметра (обыкновенно діаметръ зеренъ верхняго ряда дѣлаютъ вдвое менѣе предшествующаго ряда). Каждый послѣдующій слой долженъ хорошо покрыть предыдущій, для чего достаточна толщина его 4—8 см. Слои эти называются поддерживающими. Крупность песчинокъ верхняго поддерживающаго слоя должна быть такою, чтобы промежутки между песчинками были меньше песчинокъ фильтрующаго слоя.

Глубина воды надъ поверхностью фильтрующаго слоя, какъ показалъ опытъ, должна быть приблизительно 0,90 м.—1,0 м. При такой глубинѣ



Фиг. 36 и 37.

поверхность песка и фильтрующая пленка подвергаются минимальному влиянию волнъ и теченій, которыя могутъ появляться въ водѣ фильтрующаго бассейна, и возможно достигать довольно высокой потери напора въ фильтрѣ. безъ ухудшенія качества фильтрата.

Толщина всѣхъ указанныхъ слоевъ, а равно глубина воды надъ ними въ различныхъ установкахъ, видна на фиг. 31; приведемъ еще разрѣзы фильтровъ Москвы (Рублевскій водопроводъ) (фиг. 38), Варшавы (фиг. 35) и Парижа (фиг. 36 и 32).

Въ Москвѣ ²²⁾ надъ дренажнымъ каналомъ уложены слои:

- 1) гравія крупностью 20—30 мм., толщиной 7 дм.
- 2) гравія крупностью 10—16 мм., толщиной 7 дм.
- 3) гравія крупностью — 4 мм., толщиной 4 дм.
- 4) песка крупностью — 2 мм., толщиной 2½ дм.
- 5) фильтрующий слой песка крупностью 0,50 мм., толщиной 3'5"

Толщина слоя фильтруемой воды—4 фута.

Въ Варшавѣ (фиг. 34 и 35) около дренажныхъ каналовъ уложенъ крупный гравій (35 мм. въ діаметрѣ), дальше гравій средней величины (20 мм.), затѣмъ слой мелкаго гравія (8 мм.), въ общей сложности 0,40 м. толщиной; надъ ними слой крупнаго песка толщиной 0,10 м., и наконецъ фильтрующий слой въ 1,0 м. Наибольшая высота воды надъ пескомъ 0,95 м.

На чертежахъ 32 и 36 имѣемъ разрѣзы открытыхъ фильтровъ г. Парижа (Ivry), старыхъ и новыхъ (1904 г.): при одинаковой глубинѣ бассейна (2,10 м.) и глубинѣ слоя воды (0,90 м.), старые фильтры имѣютъ фильтрующий слой лишь въ 0,50 м., и подъ нимъ (сверху внизъ):

слой крупнозернистаго промытаго песка толщиной 0,10 м.

слой гравія средняго въ 0,15 м.

слой гравія крупнаго около 0,20 м.

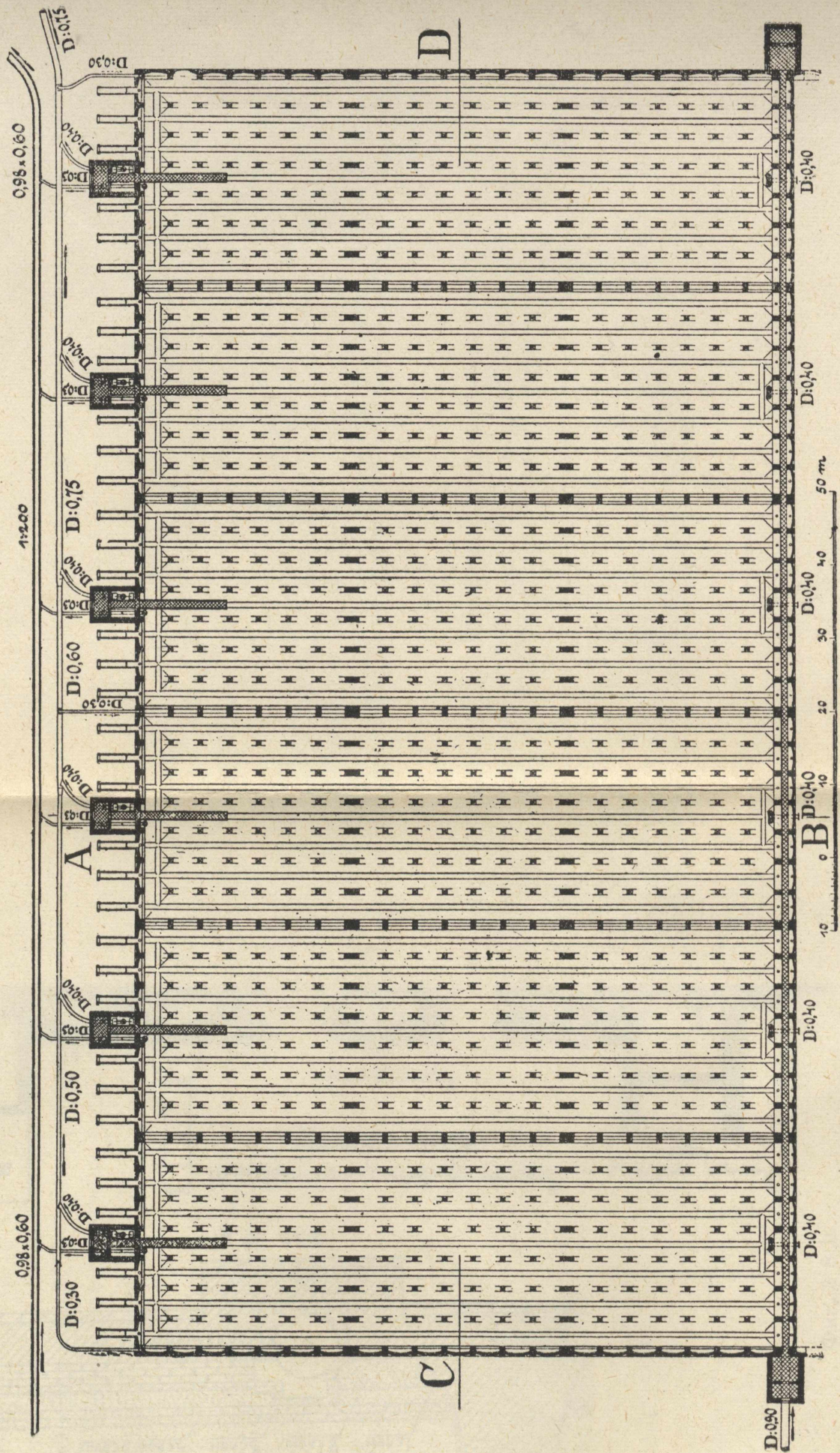
дренажные каналы изъ кирпича, лежащаго плашмя, высотой 0,06 м. (этотъ рядъ кирпича перекрытъ вторымъ рядомъ, между кирпичами котораго насыпанъ вышеуказанный крупный гравій).

Въ новыхъ фильтрахъ весь поддерживающій слой (имѣвшій толщину 0,45 м.) замѣненъ пористыми плитками изъ тощаго бетона, размѣромъ 0,50×0,50×0,07 м., уложенными непосредственно на нижній слой кирпича; общая высота кирпича и плитокъ 0,13 м., что дало возможность увеличить толщину фильтрующаго слоя до 0,87 м.

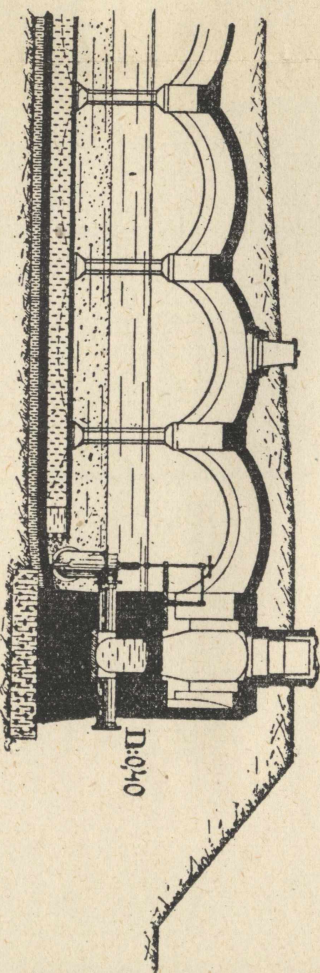
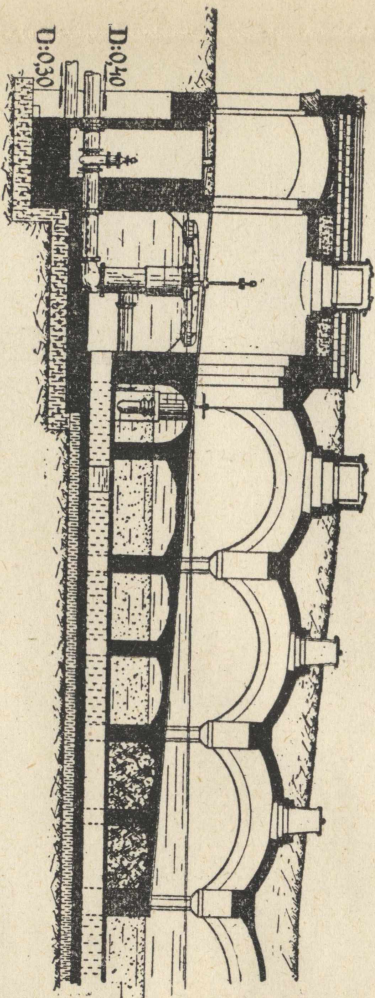
Пористыя плитки, какъ показали опыты ²³⁾, вполне хорошо пропускаютъ воду, задерживая въ то же время мелкій песокъ. Въ плитки при изготовленіи закладываются стержни изъ круглаго желѣза (числомъ

²²⁾ „Краткое описаніе Московскихъ городскихъ водопроводовъ. 1910 г.“.

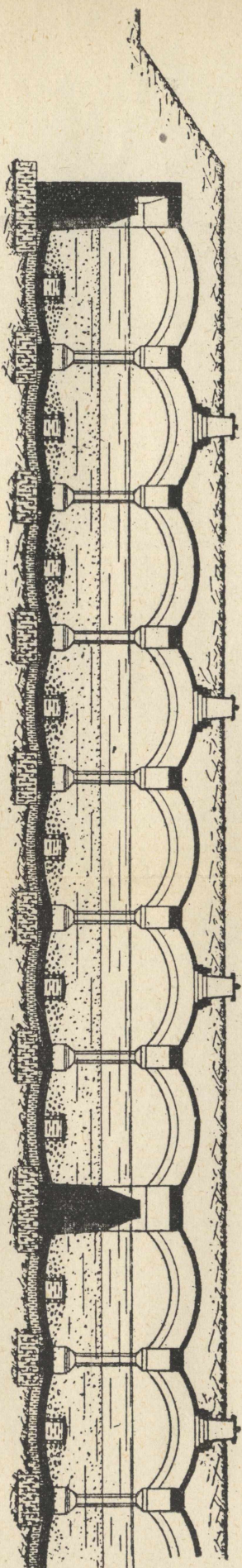
²³⁾ „Notice sur les Procédés d'épuration des eaux de rivière, employés par la Ville de Paris à l'Usine d'Ivry“. Paris, 1908.



Фиг. 34 а.

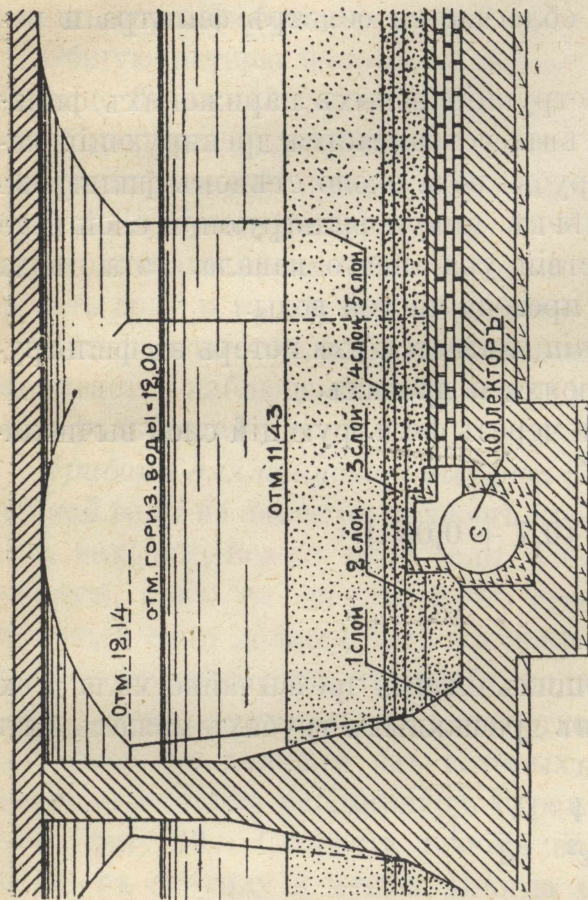


Къ стр. 70.



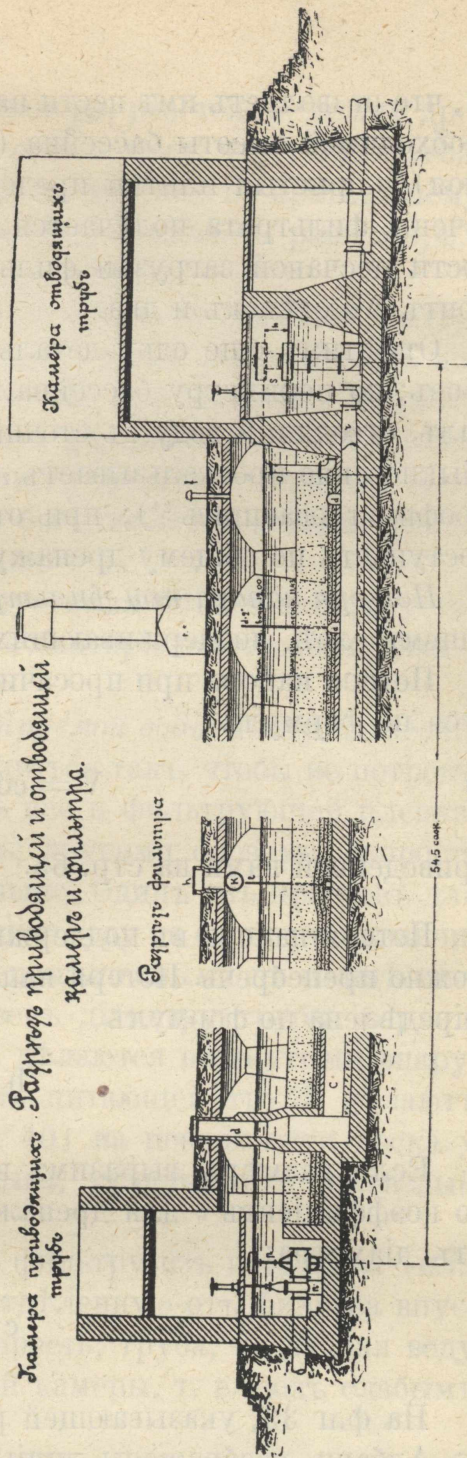
1:200
1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 m

Фиг. 34 б, в.

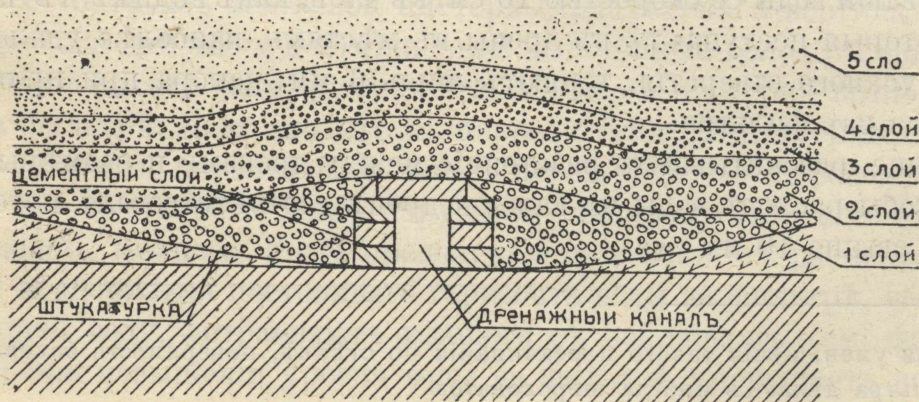


Фиг. 38 а.

Камера приводящая
Разреш приводящий и отводящий
камеры и фильтра.



Фиг. 38 б.



Фиг. 44.

6), что позволяет имъ нести нагрузку слоемъ песка. Кромѣ уменьшенія необходимой высоты бассейна (при постоянной толщинѣ фильтрующаго слоя), пористыя плитки представляютъ еще другія преимущества: истечение фильтрата получается болѣе регулярнымъ; благодаря однородности песчаной загрузки фильтра, облегчается осмотръ фильтра и ремонтъ его стѣнокъ и дна.

Отмѣтимъ еще одну деталь конструкцій новыхъ парижскихъ фильтровъ: по периметру бассейна, у стѣнъ, устраивается дренирующий каналъ, отводящій воду въ сточныя трубы: вода около стѣнокъ фильтровъ обыкновенно проскальзываетъ по стѣнкѣ, минуя фильтрующий слой и не профильтровавшись ²⁴⁾; при отсутствіи указаннаго канала, эта вода поступаетъ по общему дренажу въ прохода чистой воды.

Потеря напора при фильтрованіи складывается изъ потерь въ фильтрующемъ слое, поддерживающихъ слояхъ и дренахъ.

Потеря напора при просачиваніи черезъ фильтрующий слой вычисляется по формулѣ

$$V = cd^2 \frac{h}{l} (0,7 + 0,03 t)$$

приведенной нами на стр. 65.

Потеря напора въ поддерживающихъ слояхъ чрезвычайно мала и ею можно пренебречь. Потеря напора въ дренажныхъ трубахъ можетъ быть предѣлена по формулѣ

$$h = \frac{4}{c^2} \cdot \frac{V^2}{d} \cdot l$$

Если размѣры выразимъ въ метрахъ (v —въ метрахъ въ секунду), то коэффициентъ c для дренажныхъ трубъ вычисляется въ зависимости отъ діаметра:

$$c = \frac{100 \sqrt{d}}{0,7 + \sqrt{d}}$$

На фиг 33, указывающей расположеніе дренажныхъ трубъ фильтра въ Албани, изображены линіи разныхъ потерь напора въ дренахъ при фильтрованіи воды со скоростью 10 см. въ часъ; какъ видимъ, тѣ частицы воды, которыя поступаютъ въ дрена въ мѣстахъ, наиболѣе удаленныхъ отъ выпускнаго отверстія, теряютъ лишь 6 мм. напора при протеканіи до выхода изъ фильтра.

Вообще, рассчитываютъ разстояніе между дренами и размѣры дренъ такъ, чтобы расходъ воды по каждой дрени соответствовалъ потерѣ напора не выше 10 мм.

²⁴⁾ Для уменьшенія такого просачиванія по стѣнкѣ, поверхность боковыхъ стѣнокъ фильтра дѣлаютъ иногда шероховатою.

Независимо отъ соображеній о потерѣ напора, разстояніе между дренами нельзя дѣлать чрезмѣрно большимъ еще потому, что тогда вслѣдствіе стремленія частицъ фильтруемой воды къ дренамъ по кратчайшему разстоянію, не вся масса фильтрующаго песка работала бы равномерно, а лишь воронкообразныя массы песка надъ дренами.

Общую потерю напора на фильтръ желательно не доводить болѣе, чѣмъ до 90 см. (3 фута), такъ какъ болѣе напоръ легко можетъ вызвать прорывы фильтрующей пленки, и вообще при сильномъ заиливаніи фильтрующаго слоя качество фильтрата ухудшается. Въ Америкѣ нерѣдко допускаютъ напоръ до 6' (180 см.), примѣняя толстый слой фильтрующаго песка (4'), который могъ бы удовлетворительно фильтровать воду и въ случаѣ прорывовъ пленки.

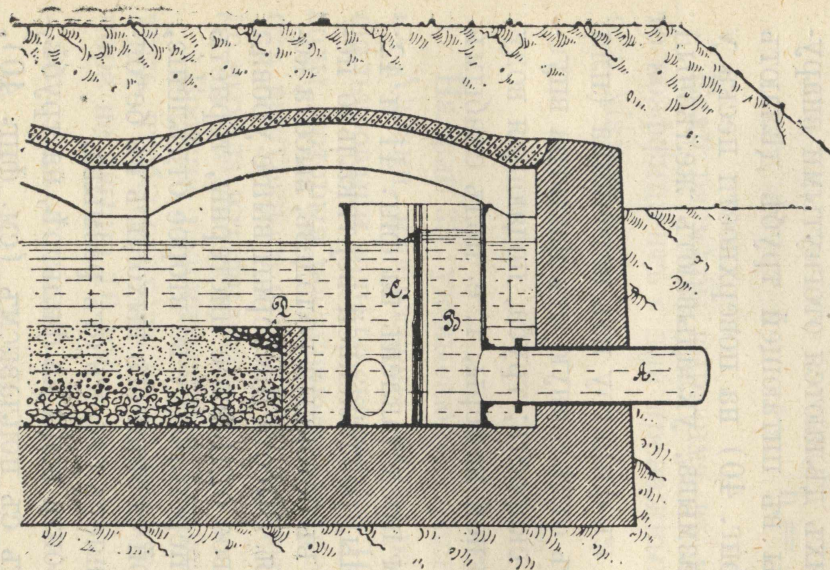
Для каждого фильтра наибольшая допустимая потеря напора устанавливается наблюдениями за его работой и бактериологическими анализами фильтрата.

Приборы для напуска и выпуска фильтруемой воды. Напускъ неочищенной воды на фильтръ долженъ производиться такъ, чтобы не потревожить находящейся въ немъ воды, а черезъ нее и фильтрующей пленки, которую, какъ мы знаемъ, легко прорвать; другими словами, скорость входящей воды должна быть возможно меньше. Одинъ изъ приѣмовъ для этого состоитъ въ томъ, что трубу, подводящую воду на фильтръ, заканчиваютъ двумя вертикальными отростками (помѣщенными въ толщѣ песка), діаметръ каждого изъ которыхъ равенъ діаметру трубы; верхніе концы отростковъ расширяютъ (края ихъ дѣлаются отогнутыми внаружу) (фиг. 39). Скорость теченія воды въ питающей трубѣ дѣлаютъ 30 см. въ секунду и менѣе. Иногда (фиг. 40) на поверхности песка у мѣста выхода трубы, во избѣжаніе размыва, укладываютъ желѣзный листъ, или же слой булыжнаго камня.

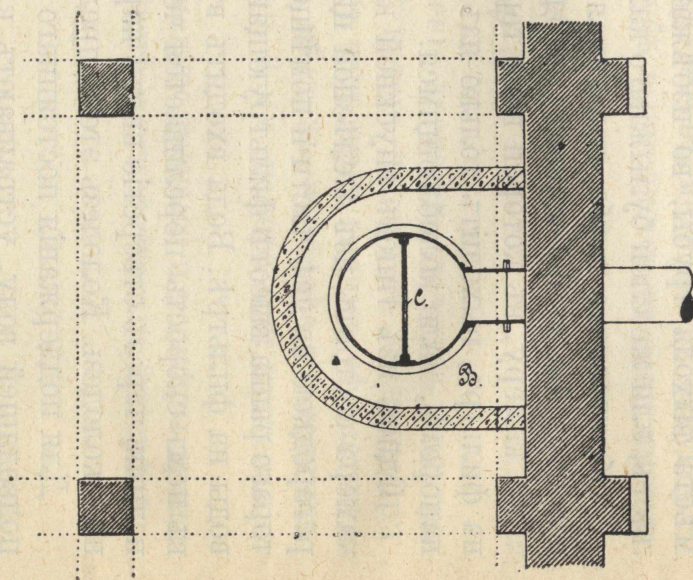
Обыкновенно труба, подающая воду къ фильтру изъ источника (или изъ отстойныхъ бассейновъ), входитъ въ отдѣленную отъ фильтра впускную камеру, въ которой вода теряетъ скорость; труба, подающая воду на фильтръ, выходитъ только изъ впускной камеры, т. е. подъ слабымъ напоромъ, мало колеблющимся.

Одинъ изъ типовъ впускной камеры представленъ на фиг. 41 и 42: камера состоитъ изъ желѣзной цистерны, раздѣленной вертикально перегородкою на двѣ части и помѣщенной въ бетонный колодезь, высота котораго равна высотѣ фильтрующаго слоя. Высота цистерны выше уровня воды на фильтрѣ. Вода входитъ въ первое отдѣленіе цистерны, теряетъ въ немъ скорость, переливается черезъ перегородку во второе отдѣленіе, и лишь черезъ отверстіе внизу наружной стѣнки его выходитъ въ бетонный колодезь. Колодезь этотъ предохраняетъ песокъ отъ размыва.

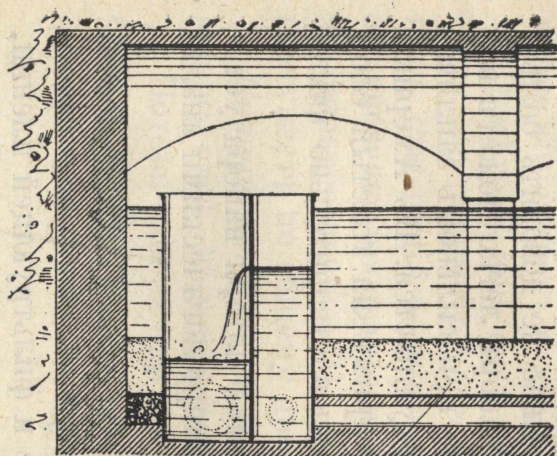
Для поддержанія постояннаго горизонта воды на фильтрѣ, на трубѣ, подводящей воду, устраиваютъ клапанъ съ поплавкомъ (см. фиг. 40), который при повышеніи уровня воды на фильтрѣ уменьшаетъ впускное



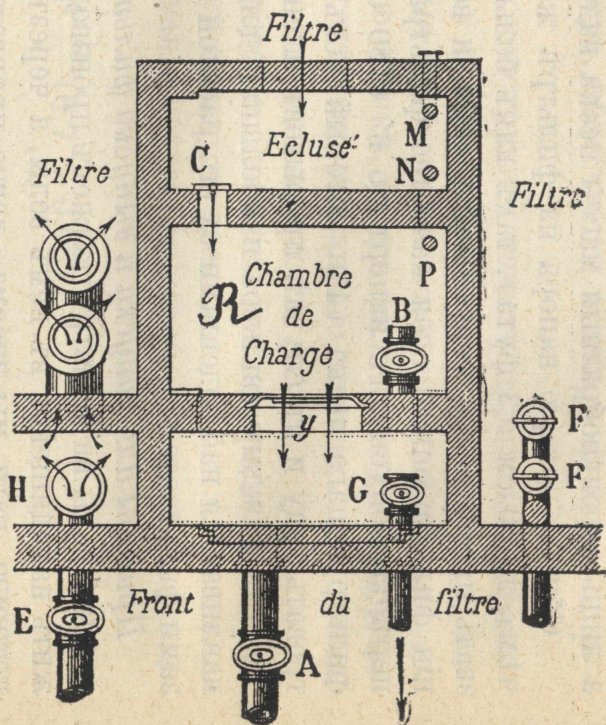
Фиг. 41.



А. Фиг. 42.

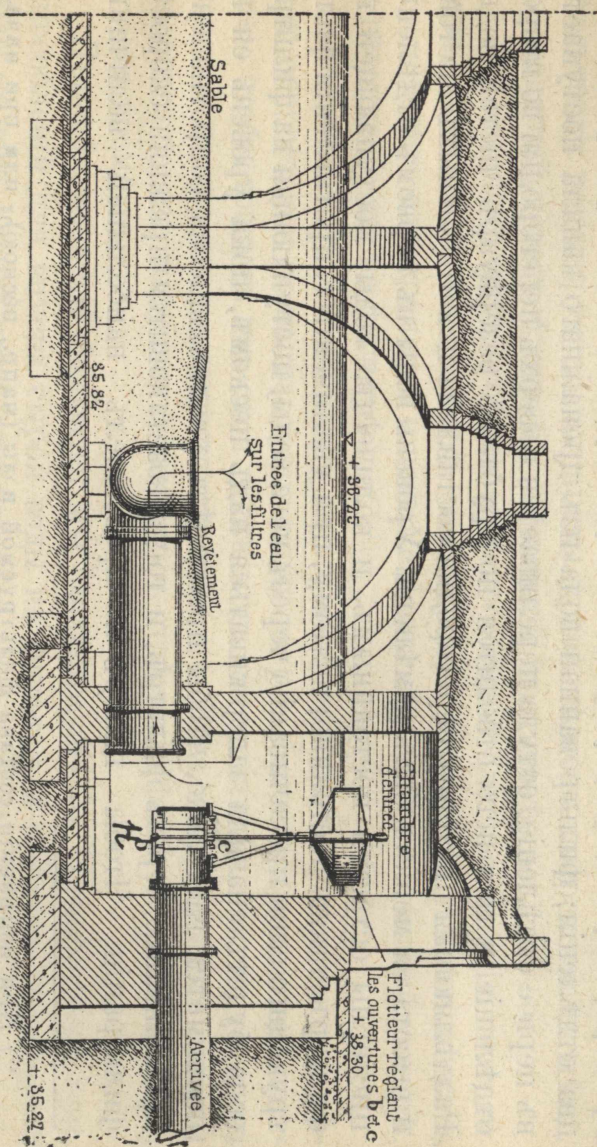


Фиг. 43.

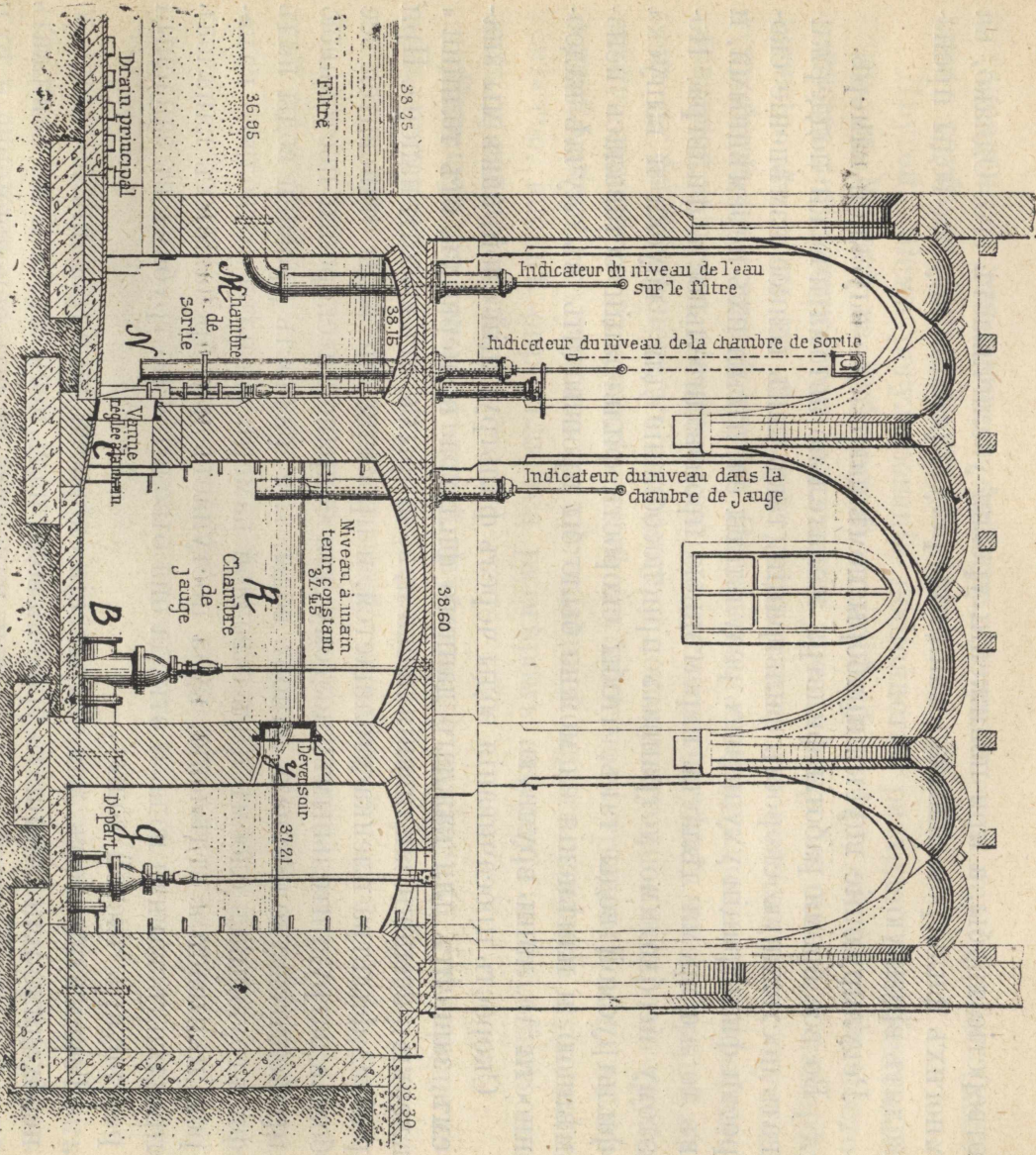


Фиг. 49.

Фиг. 18.



Фиг. 40.



отверстіе трубы, а при пониженіи уровня увеличиваетъ его. Однако, на многихъ фильтровальныхъ станціяхъ регулирование впуска воды производятъ вручную.

Регулирующіе впускъ приборы помѣщаются во впускной камерѣ.

Во все время работы фильтра желательно автоматически поддерживать постоянную скорость фильтраціи, такъ какъ всякое измѣненіе скорости фильтраціи ухудшаетъ результаты ея, дѣлая ихъ переменными, и въ то же время дѣлаетъ переменною производительность фильтра. Поэтому необходимо устраивать приспособленіе для впуска и выпуска фильтруемой воды такъ, чтобы скорость фильтраціи оставалась неизмѣнною, и измѣненія ея можно было бы производить въ случаѣ надобности ²⁵⁾, лишь вручную.

Скорость просачиванія воды черезъ фильтрующий слой, какъ мы знаемъ, зависитъ для каждаго даннаго фильтра, во-первыхъ, отъ толщины пленки и степени заиливанія песка и, во-вторыхъ, отъ высоты напора. При работѣ фильтра пленка утолщается, и просачиваніе воды становится все болѣе затруднительнымъ; поэтому для сохраненія скорости постоянно приходится увеличивать напоръ воды, т. е. разность уровней воды надъ фильтрующимъ слоемъ и въ отводной камерѣ фильтра (отводною камерою называется отдѣленіе, куда поступаетъ изъ дренажныхъ каналовъ профильтрованная вода, и откуда она отводится по трубамъ въ запасный резервуаръ чистой воды).

Такимъ образомъ, для сохраненія скорости фильтрованія постоянно необходимо или повышать уровень воды надъ пескомъ, или же понижать уровень въ отводной камерѣ, или, наконецъ дѣлать одновременно и то и другое.

Въ первомъ случаѣ отводную камеру раздѣляютъ на двѣ части; въ установкѣ фиг. 43 отводная камера представляетъ собою металлическую прямоугольную цистерну, раздѣленную вертикальною перегородкою на два отдѣленія; фильтрованная вода изъ дренажнаго канала поступаетъ въ первое отдѣленіе, оттуда переливается поверхъ перегородки во второе отдѣленіе, а изъ него отводится по трубѣ въ резервуаръ чистой воды. Раздѣляющая цистерну перегородка составлена изъ отдѣльныхъ листовъ и высота ея можетъ быть измѣнена. Уровень воды въ первомъ отдѣленіи цистерны остается постояннымъ, и количество воды, поступающей на фильтръ, также постоянно; поэтому, при увеличеніи сопротивленія фильтрующаго слоя просачиванію черезъ него воды, поступающей на фильтръ вода будетъ сначала задерживаться надъ пескомъ, пока уровень ея не поднимется настолько, чтобы преодолѣть увеличившееся сопротивленіе просачиванію черезъ фильтръ, и тогда возстановится прежняя скорость фильтраціи. Чтобы напоръ не превзошелъ наибольшей величины,

²⁵⁾ При измѣненіи состава фильтруемой воды (напр., весной), или при началѣ работы фильтровъ послѣ очистки ихъ

установленной для данного фильтра, устраивается переливная (холостая) труба на наивысшемъ допускаемомъ уровнѣ.

Другой приемъ регулированія постоянства расхода, примѣняемый, напр., въ Москвѣ на Рублевской станціи (фиг. 44), состоитъ въ постепенномъ автоматическомъ пониженіи уровня воды въ отводной камерѣ; уровень же воды на фильтрѣ устанавливается постояннымъ, путемъ устройства переливной трубы. Постоянная скорость истечения профильтрованной воды изъ отводной камеры достигается тѣмъ, что заборный конецъ трубы подвѣшенъ къ поплавку, и потому выпускное отверстіе трубы всегда находится на опредѣленной глубинѣ подъ уровнемъ воды въ отводной камерѣ; количество же протекающей черезъ отверстіе воды, какъ извѣстно, вполне опредѣляется размѣромъ отверстія и глубиною его подъ уровнемъ воды.

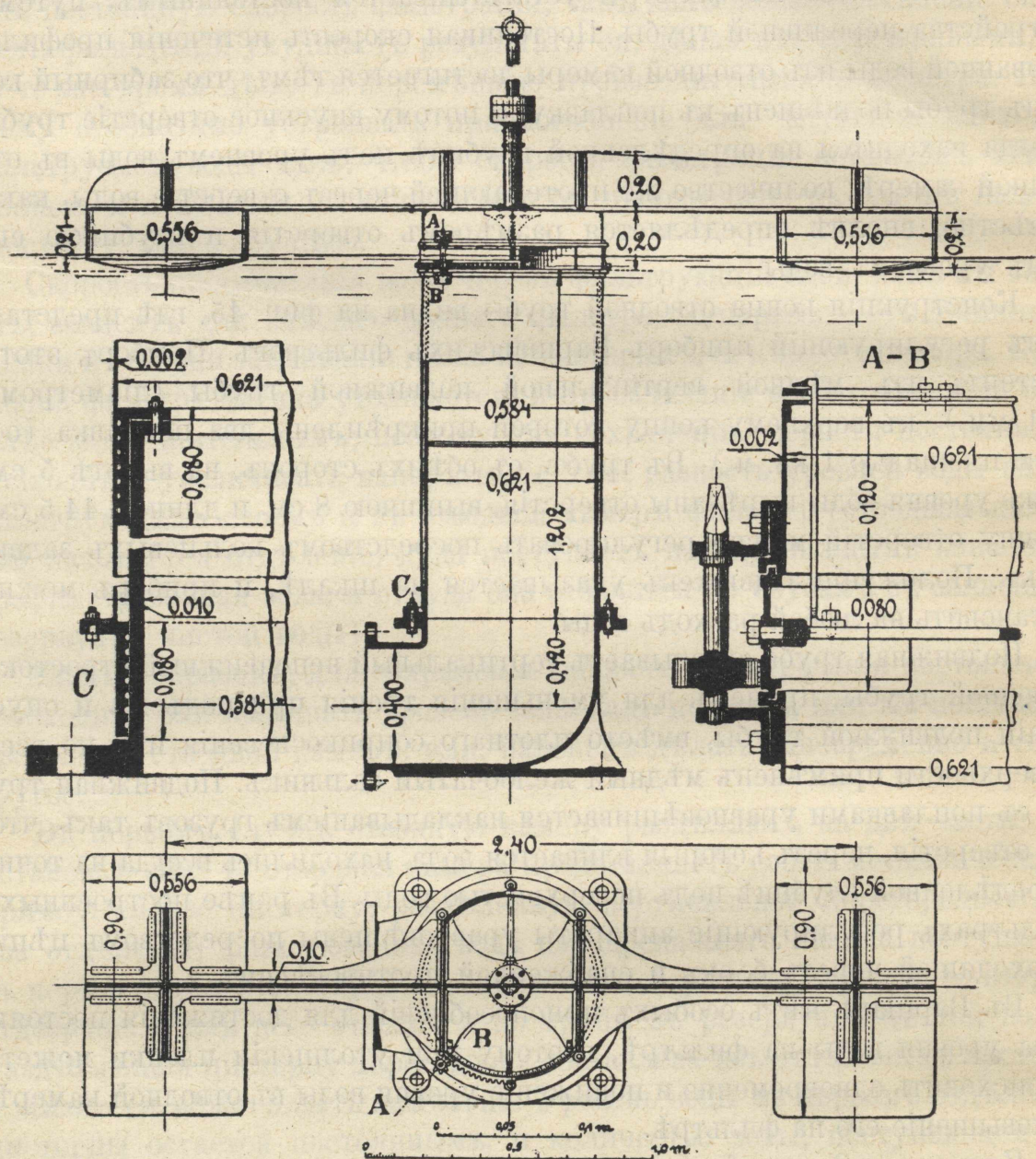
Конструкція конца отводной трубы видна на фиг. 45, гдѣ представленъ регулирующий приборъ Варшавскихъ фильтровъ. Приборъ этотъ состоитъ изъ мѣдной вертикальной подвижной трубы (діаметромъ 621 мм.), къ верхнему концу которой прикрѣплены два поплавка (общею площадью 1 кв. м.). Въ трубѣ, съ обѣихъ сторонъ, на высотѣ 5 см. ниже уровня воды вырѣзаны отверстія, вышиною 8 см. и длиною 44,5 см. Длину отверстій можно регулировать посредствомъ кольцевыхъ задвижекъ. Положеніе задвижекъ указывается на шкалѣ, и приборъ можно установить на любой расходъ воды.

Подвижная труба охватываетъ вертикальный неподвижный отростокъ отводной трубы, причемъ для уменьшенія тренія при подъемѣ и опусканіи подвижной трубы, вмѣсто плотнаго соприкосновенія ихъ по всей поверхности примѣненъ мѣдный желобчатый сальникъ. Подвижная трубы съ поплавками уравнивается накладываніемъ грузовъ такъ, чтобы отверстія, черезъ которыя вливается вода, находились всегда на точно опредѣленной глубинѣ подъ поверхностью воды. Въ ранѣ построенныхъ фильтрахъ регулирующие аппараты уравнивались посредствомъ цѣпи, проходящей черезъ блокъ и снабженной противовѣсомъ.

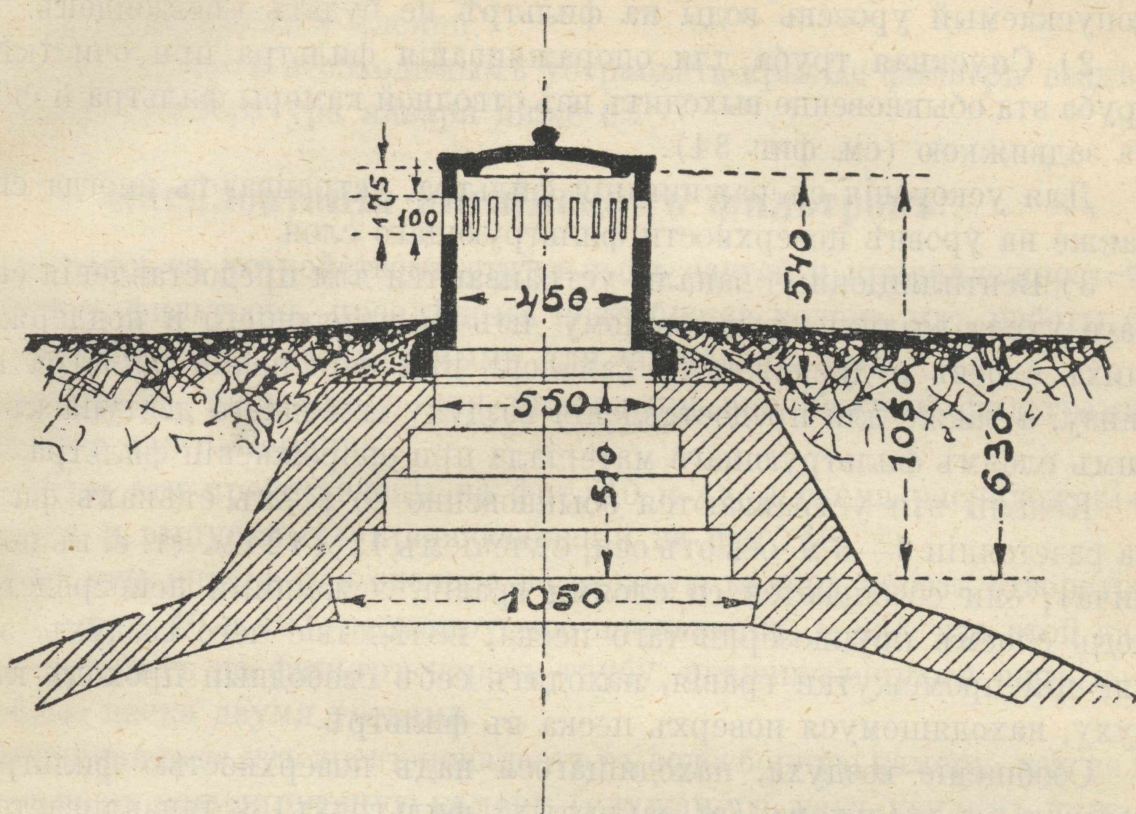
Въ Варшавѣ нѣтъ особыхъ приспособленій для достиженія постоянства уровня воды на фильтрѣ, поэтому при утолщеніи пленки можетъ происходить одновременно и пониженіе уровня воды въ отводной камерѣ, и повышеніе его на фильтрѣ.

Напускъ воды на фильтръ послѣ очистки дѣлается съ весьма малою скоростью и по направленію снизу вверхъ (черезъ дренажные каналы), чтобы воздухъ изъ слоя песка могъ постепенно выйти, не тревожа песка и не нарушая однородности слоя его. Вода въ дренажные каналы подается черезъ выпускную камеру съ отдѣленій фильтра, работающих въ это время.

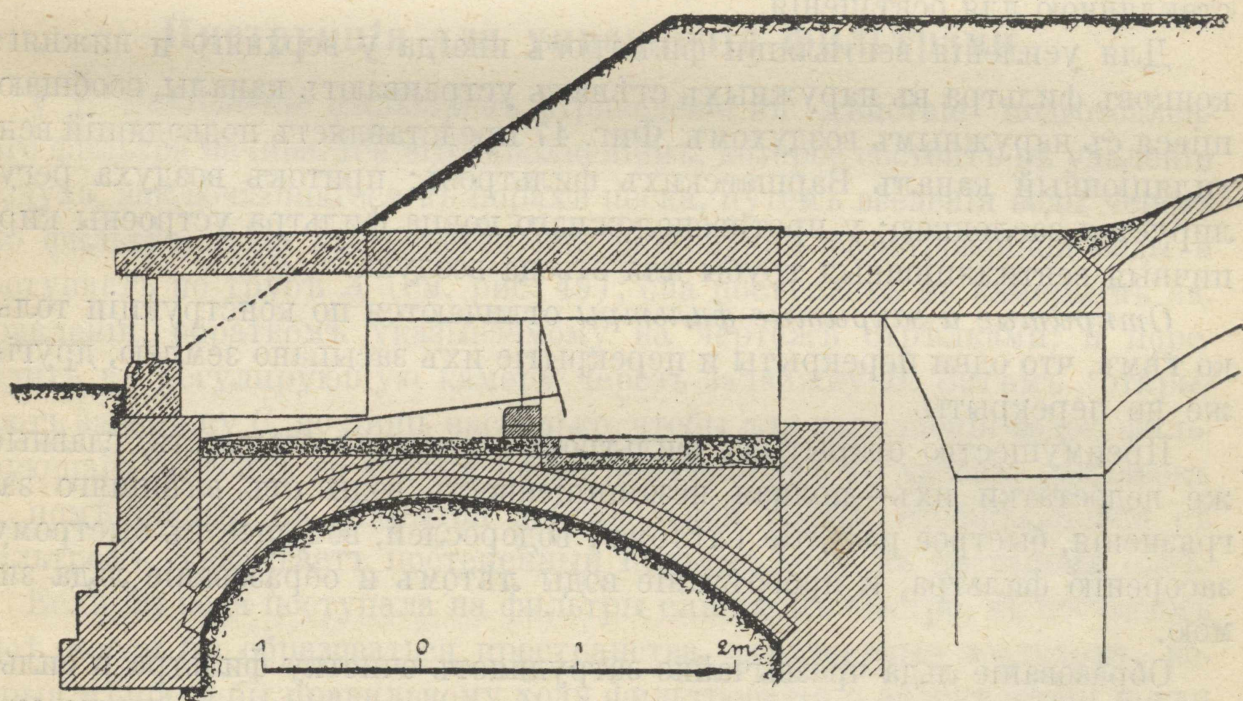
Принадлежности фильтра. Мы ознакомились съ устройствомъ приспособленій для впуска сырой воды на фильтръ и выпуска очищенной воды съ него. Кромѣ нихъ, при каждомъ отдѣленіи фильтра необходимы:



Фиг. 45.



Фиг. 46.



Фиг. 47.

1) Переливная („холостая“) труба, обеспечивающая, что наивысший допускаемый уровень воды на фильтръ не будетъ превзойденъ.

2) Спускная труба для опорожнивания фильтра при очисткѣ его; труба эта обыкновенно выходитъ изъ отводной камеры фильтра и снабжена задвижкой (см. фиг. 34).

Для ускоренія опорожнивания фильтра, устраиваютъ иногда спускъ также на уровнѣ поверхности фильтрующаго слоя.

3) Вентиляціонные каналы устраиваются для предоставленія свободнаго ухода воздуху, выгоняемому изъ фильтрующаго и поддерживающихъ слоевъ и дренажныхъ каналовъ при наполненіи фильтра водою снизу, а также для предоставленія воздуху свободного доступа къ нижнимъ слоямъ фильтрующаго матеріала при опорожненіи фильтра.

Каналы эти устраиваются обыкновенно во всѣхъ стѣнахъ фильтра на разстояніи 3—5 м. ось отъ оси, сѣченіемъ 12×12 см. (т. е. въ полкирпича); они сообщаются со слоями гравія, лежащими непосредственно подъ слоемъ крупнозернистаго песка, вслѣдствіе чего воздухъ, заполняющій промежутки гравія, находитъ себѣ свободный проходъ къ воздуху, находящемуся поверхъ песка въ фильтръ.

Сообщеніе воздуха, находящагося надъ поверхностью фильтра, съ наружнымъ воздухомъ (въ закрытыхъ фильтрахъ) устанавливается черезъ свѣтовые колодцы, устраиваемые надъ перекрытіемъ фильтра (на взаимномъ разстояніи около 10 м. центръ отъ центра) Фиг. 46 представляетъ свѣтовой и вентиляціонный колодезь Варшавскихъ фильтровъ; штейнгутовый колпакъ прикрытъ штейнгутовою же крышкою, поднимаемою для освѣщенія фильтра Крышка колпака чаще устраивается стеклянною для освѣщенія.

Для усиленія вентиляціи фильтровъ иногда у верхняго и нижняго концовъ фильтра въ наружныхъ стѣнахъ устраиваютъ каналы, сообщающіеся съ наружнымъ воздухомъ. Фиг. 47 представляетъ подводящій вентиляціонный каналъ Варшавскихъ фильтровъ; притокъ воздуха регулируется заслонкою; у противоположнаго конца фильтра устроены кирпичныя вентиляціонныя трубы для отвода воздуха.

Открытые и закрытые фильтры отличаются по конструкціи только тѣмъ, что одни перекрыты и перекрытіе ихъ засыпано землею, другіе же не перекрыты.

Преимущество открытыхъ фильтровъ—меньшая стоимость, главные же недостатки ихъ—полная незащищенность воды отъ внѣшняго загрязнения, быстрое развитіе (лѣтомъ) водорослей, ведущее къ быстрому засоренію фильтра, и програваніе воды лѣтомъ и образованіе льда зимою.

Образованіе льда чрезвычайно затрудняетъ очистку фильтра и сильно увеличиваетъ ея стоимость; кромѣ того, песокъ фильтра также можетъ промерзнуть, особенно во время очистки фильтра, что ведетъ къ нарушенію правильности дѣйствія фильтра. При глубокомъ промерзаніи

воды на фильтрѣ, замѣчаемомъ около стѣнъ фильтра, нерѣдки также поврежденія фильтрующей пленки.

А. Hazen считаетъ необходимымъ устраивать крытые фильтры вездѣ, гдѣ средняя температура января ниже 0° .

Эксплоатація англійскихъ фильтровъ.

Ознакомясь съ устройствомъ отдѣльныхъ частей и принадлежностей англійскихъ фильтровъ, прослѣдимъ подробно за ходомъ ихъ работы и за всѣми маневрами, необходимыми для управленія ими.

Разсмотримъ инструкцію для управленія англійскими фильтрами въ Müggelsee для г. Берлина.

Фильтры эти представлены на фиг. 40 и 48, а схема расположенія впускныхъ и выпускныхъ приспособленій на фиг. 49.

Сырая вода впускается сначала во входную камеру черезъ отверстіе трубы *H* (фиг. 40 и 49), регулируемое поплавкомъ, и уже изъ этой камеры переходитъ на фильтръ черезъ трубу, оканчивающуюся надъ поверхностью песка двумя устьями.

Очищенная вода изъ дрена попадетъ въ водосборную камеру, изъ нея переходитъ въ регулирующую камеру (служащую, какъ увидимъ ниже, для регулированія расхода воды и потери напора при фильтрованіи), и лишь оттуда въ выходную камеру, изъ которой идетъ по отводной трубѣ *U* въ резервуаръ чистой воды.

Приведемъ содержаніе инструкціи для управленія фильтрами въ Müggelsee въ Берлинѣ, изданной въ 1895 г.

Инструкція для управленія фильтрами.

§ 1. *Наполненіе фильтровъ.* Приведеніе въ дѣйствіе подготовленнаго фильтра начинается его наполненіемъ, которое состоитъ въ удаленіи воздуха, заключающагося въ порахъ песка, путемъ введенія воды черезъ дно фильтра. Вода эта берется изъ резервуара фильтрованной воды и поступаетъ по трубѣ *A* (см. рис. 49); она поступаетъ въ камеры въ направленіи, обратномъ указываемому на чертежѣ стрѣлками; и переходитъ въ регулирующую камеру черезъ задвижку *B*. Затѣмъ открываютъ задвижку *C*, но лишь настолько, чтобы для наполненія водою фильтрующаго бассейна до уровня песка понадобилось 10 часовъ; поплавокъ *M*, помѣщенный въ открытой вертикальной трубѣ, сообщаемой съ фильтромъ, указываетъ постепенный подъемъ воды въ песчаномъ слоѣ.

Если бы вода поступала на фильтры слишкомъ быстро, въ песчаномъ слоѣ могли бы образоваться пространства, заполненные воздухомъ, которыя мѣшали бы правильному ходу фильтрованія и въ послѣдствіи могли бы вызвать движенія (прорывы) песка.

Когда вода поднимается на 0,10 м. выше уровня песка, закрываютъ задвижки *B* и *C*, и открываютъ задвижку *E*, черезъ которую входитъ пе-

фильтрованная вода; задвижку *E* слѣдуетъ открывать медленно, чтобы сильная струя воды не потревожила поверхности песка; только послѣ подъема воды на 0,50 м. надъ пескомъ, задвижку *E* открываютъ вполнѣ, для ускоренія поступленія воды.

Уровень воды на фильтрѣ никогда не долженъ повышаться быстрѣе, чѣмъ на 0,12 м. въ часъ, чтобы скорость движенія воды не была чрезмерною.

Поступленіе воды регулируютъ до тѣхъ поръ, пока она не достигнетъ уровня переливной трубы. Автоматическій клапанъ *H* регулируетъ наполненіе фильтра.

§ 2. *Ходъ фильтрованія.* Профильтрованную воду пускаютъ для потребления лишь черезъ 24 часа по наполненіи фильтра, когда поры песка успѣютъ заполниться иломъ. Если это невозможно ²⁵⁾, слѣдуетъ, по крайней мѣрѣ, увеличивать расходъ фильтруемой воды весьма медленно. Постепенное увеличеніе расхода достигается медленнымъ подъемомъ задвижки *C*; уровень воды въ регулирующей камерѣ сначала стоитъ не болѣе, какъ на 0,04 м. выше водослива *y*, затѣмъ понемногу поднимается и, наконецъ, достигаетъ нормальной высоты 0,19 м. Въ это время фильтръ достигаетъ своего нормального расхода, равнаго 2,5 куб. метра въ сутки на 1 кв. м. поверхности песка.

Открывъ впускную задвижку *E*, рабочій долженъ слѣдить, чтобы автоматическая задвижка *H* постоянно поддерживала воду въ фильтрѣ на уровнѣ переливной трубы ²⁶⁾; вмѣстѣ съ тѣмъ, опуская или поднимая задвижку *C*, рабочій заставляетъ уровень воды въ регулирующей камерѣ оставаться на 0,19 м. выше водослива.

Измѣненія уровня воды на фильтрѣ, въ водосборной и регулирующей камерахъ указываются посредствомъ поплавковъ *M*, *N* и *P*, на шкалѣ, укрѣпленной на стѣнѣ зданія.

Весьма важно помѣшать всякимъ внезапнымъ измѣненіямъ давленія, которыя, передаваясь на слой ила, постепенно отложившагося на поверхности песка, тотчасъ уменьшаетъ прозрачность профильтрованной воды. Такое же вліяніе оказываетъ всякое внезапное измѣненіе расхода проходящей черезъ фильтръ воды. Чтобы избѣгнуть этой опасности и обезпечить однообразный расходъ, наблюдающій за фильтромъ рабочій долженъ непрерывно слѣдить за поддержаніемъ постоянного уровня въ регулирующей камерѣ.

Когда вода достигла нормального уровня, сопротивленіе просачиванію воды черезъ песокъ правильно и постепенно возрастаетъ съ увеличеніемъ толщины слоя илистыхъ отложений на фильтрѣ; это заставляетъ постепенно и методически поднимать задвижку *C*.

²⁵⁾ Въ случаѣ большой потребности въ водѣ, неудовлетворяемой остальными работающими фильтрами. (Н. К.).

²⁶⁾ Не показанной на чертежахъ.

При нормальной работѣ фильтра, не слѣдуетъ поднимать эту задвижку такъ, чтобы разность уровней воды на фильтрѣ и въ водосборной камерѣ превосходила 0,50 м.; эта разность, вначалѣ равная нулю, постепенно возрастаетъ; когда она достигнетъ 0,50 м., и нормальный расходъ черезъ водосливъ *у* не можетъ быть поддержанъ, надо прекратить работу фильтра и очистить его.

Послѣ нѣсколькихъ недѣль работы фильтра, органическія вещества, задержанныя на его поверхности, могутъ разлагаться и лѣтомъ загнивать. Пропусканіе воды черезъ этотъ гниющій матеріалъ является опаснымъ. Признакомъ начавшагося броженія служатъ губчатые массы, всплывающія на поверхность фильтруемой воды; эти массы поднимаются съ поверхности песка и состоятъ изъ смѣси различныхъ веществъ съ газами. При появленіи ихъ надо останавливать работу фильтра и очищать его.

§ 3. *Опоражниваніе и очистка фильтра.* Сначала закрываютъ впускную задвижку; открываютъ *A* и задвижки *FF*, находящіяся на переливной трубѣ, доходящей до уровня песка въ фильтрѣ. Когда вода понижается до этого уровня, открываютъ *B* и *G*; так. обр. вода, остававшаяся въ слоѣ песка, стекаетъ, и фильтръ опустошается до дна, причемъ ни поверхность, ни масса песка не будутъ затронуты сильными струями воды. При удаленіи воды изъ песка и поддерживающаго гравія, воздухъ заполняетъ пустоты; для облегченія доступа воздуха, вдоль стѣнокъ фильтра расположены вертикальныя трубы. Когда фильтрованіе производится вполне согласно съ указаніями § 2, илистые отложенія не проникаютъ глубоко въ песокъ и остаются почти цѣликомъ на поверхности. Поэтому для очистки фильтра достаточно снять песокъ на глубину 0,01 м.

Очистка поверхности фильтра требуетъ опытныхъ рабочихъ; нужно особенно стараться не снять слишкомъ глубокаго слоя песка; отъ этого зависитъ стоимость очистки. Песокъ, снятый съ каждой части фильтра, перекрытой сводомъ, поверхностью 19 кв. метр., собирается въ кучу въ срединѣ этой части; когда всѣ кучи собраны, ихъ свозятъ на тачкахъ въ специальное мѣсто свалки. Поверхность оставшагося песка выравниваютъ инструментомъ, похожимъ на деревянные грабли безъ зубцовъ, стараясь какъ можно меньше бороздить уплотнившуюся поверхность.

Поверхность песка устроена съ уклономъ 0,06 м. между клапанами *F* и противоположною стѣною, чтобы облегчить удаленіе воды; надо обратить вниманіе на сохраненіе этого уклона. Когда фильтръ опорожненъ, надо, если возможно, оставить его на нѣкоторое время въ соприкосновеніи съ атмосфернымъ воздухомъ; его оставляютъ порожнимъ и, если нѣтъ морозовъ, оставляютъ открытыми освѣтительныя колодцы въ сводахъ, чтобы обезпечить вентиляцію. Зимой же, во избѣжаніе образованія лѣда, стеклянныя крышки этихъ колодцевъ закрываютъ досками, чтобы помѣшать лучеиспусканію теплоты.

Изъ одиннадцати фильтровъ cadaго изъ четырехъ отдѣленій, достаточно восьми, при нормальной ихъ производительности, для питанія водоподъемныхъ насосовъ; такимъ образомъ, при нормальныхъ условіяхъ въ каждомъ отдѣленіи работаютъ 8 фильтровъ, а 3 служатъ запасными.

Чтобы не было напраснаго передвиженія досокъ, по которымъ катаютъ тачки, процессъ очистки долженъ производиться послѣдовательно, въ строгомъ порядкѣ, опредѣленномъ заранѣе.

§ 4. *Возобновленіе песка.* Снятый при очисткѣ песокъ замѣняется новымъ лишь послѣ нѣсколькихъ очистокъ, такъ какъ было бы затруднительно уложить на мѣсто тонкій слой песка и пришлось бы часто прерывать работу фильтровъ на болѣе продолжительное время.

Фильтрующее дѣйствіе слоя песка постепенно ослабѣваетъ по мѣрѣ уменьшенія его толщины, хотя процессъ фильтраціи идетъ удовлетворительно при уменьшеніи первоначальной толщины слоя песка (0,60 м.) даже наполовину. Поэтому замѣна песка производится при уменьшеніи толщины слоя на 0,20 м. Для вывозки песка надо пользоваться небольшою партіею рабочихъ; чѣмъ меньше число рабочихъ, тѣмъ короче остановки cadaго изъ нихъ на пескѣ при приходѣ и уходѣ.

Время отъ времени боковыя стѣнки и колонны, поддерживающія своды бассейны, должны быть очищаемы отъ органическихъ осадковъ на нихъ. Очистку производятъ водою, съ плотовъ или небольшихъ лодокъ. Эти осадки на стѣнахъ способствуютъ развитію микрорганізмовъ, которые могутъ вредить качеству воды; поэтому необходимо ихъ удалять.

§ 5. *Промывка песка.* Удаляемый съ фильтровъ песокъ промывается и можетъ быть снова употребленъ. Промывка должна быть настолько тщательною, чтобы проба промытаго песка, положенная въ сосудъ съ прозрачною водою, вовсе не замутила воду. Для этого слѣдуетъ соблюдать слѣдующія предосторожности:

а) Продолжительность промывки слѣдуетъ регулировать сообразно съ крупностью песка и количествомъ и характеромъ илистыхъ отложений, путемъ уменьшенія числа оборотовъ промывного барабана въ минуту, при постоянномъ расходѣ промывной воды.

в) Въ то же время слѣдуетъ повысить уровень воды въ промывномъ барабанѣ.

Неорганическія загрязненія, составляющія илъ, легко выдѣляются промывкою. Но органическія вещества, какъ напр., водоросли, причиняютъ серьезныя затрудненія, ихъ трудно удалить, если не промывать немедленно влажнаго песка, снимаемаго съ фильтровъ, а оставлять его въ кучахъ при температурѣ, благопріятной для развитія этихъ растений. Такимъ образомъ, слѣдуетъ промывать грязный песокъ, по возможности, тотчасъ по снятіи его съ фильтра.

Очистка фильтровъ.

Когда паръ воды, требуемый для фильтрованія, достигнетъ на какомъ-либо отдѣленіи фильтра того предѣла, который допускается для даннаго фильтра, напускъ воды въ это отдѣленіе прекращаютъ, воду спускаютъ (иногда всю, но обыкновенно лишь до уровня сантиметровъ на 30 ниже поверхности песка), и производится очистка фильтра. Очистка эта состоитъ въ удаленіи загрязненнаго поверхностнаго слоя песка, на глубину 1—2 см., гдѣ собирается наибольшее число бактерій.

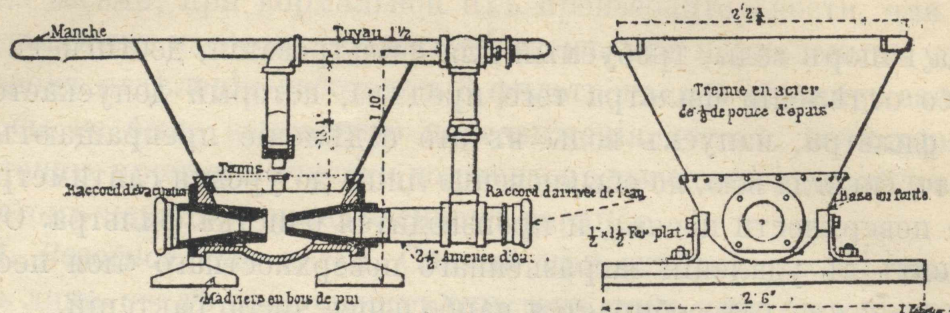
Очистка чаще всего производится руками, посредствомъ лопаты, рабочими, идущими осторожно по песку. Грязный песокъ собираютъ въ кучи и отвозятъ тачками (по катальнымъ доскамъ), или вагонетками, для промывки, или на свалку; послѣднее дѣлается въ мѣстностяхъ, гдѣ песокъ дешевъ.

Техника очистки фильтровъ сдѣлала большіе успѣхи въ Америкѣ въ послѣдніе годы.

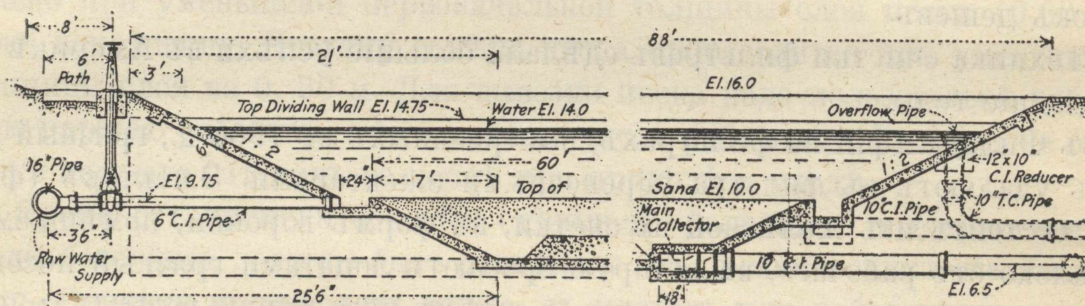
Въ Филадельфіи на фильтрахъ, выстроенныхъ въ 1900 г., грязный песокъ удаляютъ съ фильтра переносными эжекторами. Эжекторъ (фиг. 50) состоитъ изъ желѣзной вагонетки, въ формѣ воронки, помѣщаемой недалеко отъ рабочаго, въ которую бросаютъ лопатами грязный песокъ; песокъ попадаетъ сначала на сито, а затѣмъ подъ струю воды (изъ подводящаго трубопровода), увлекающую его въ отводящій трубопроводъ, идущій къ мѣсту промывки песка. Сито также можетъ быть промыто водою изъ полуторадюймовой трубки, соединенной съ подводящимъ трубопроводомъ. Вдоль всего фильтра укладываются двѣ трубы—подводящая воду подъ напоромъ ($d=2\frac{1}{2}$ ") и отводящая воду съ пескомъ ($d=3$ "); на этихъ трубахъ около мѣстъ установки эжектора устроены отростки, къ которымъ и присоединяется эжекторъ посредствомъ каучуковыхъ трубокъ. Эжекторъ вѣситъ 72 кг. и можетъ отвести 3—4,5 куб. м. песка въ часъ (при обслуживаніи тремя рабочими).

Этотъ способъ далъ весьма хорошіе результаты и примѣняется еще въ Вашингтонѣ, въ которомъ съ 1909 г. для возвращенія промытаго песка съ мѣста на фильтръ пользуются также эжекторами.

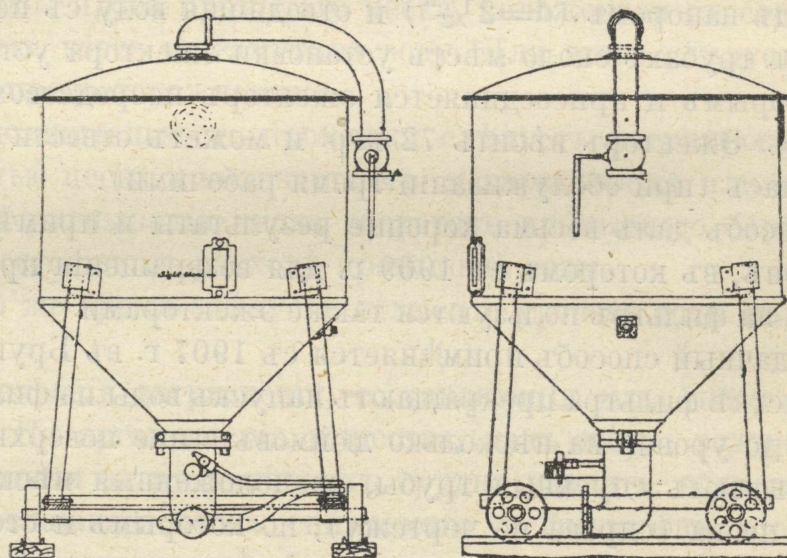
Весьма удачный способъ примѣняется съ 1907 г. въ Бруклинѣ (фиг. 51). При очисткѣ фильтра прекращаютъ напускъ воды на фильтръ и спускаютъ воду до уровня на нѣсколько дюймовъ выше поверхности песка; затѣмъ открываютъ спускныя трубы, расположенныя нѣсколько ниже поверхности песка (справа по чертежу), по которымъ и стекаетъ вода, стоявшая надъ пескомъ. Тогда открываютъ краны промывной трубы (слѣва по чертежу), промывная вода распредѣляется по каналу, идущему вдоль фильтра, переливается сильною струею черезъ его края на поверхность песка и протекаетъ по ней горизонтальнымъ потокомъ. Въ это время рабочіе, стоя на пескѣ, подметаютъ его поверхность метлами; вся грязь уносится водою въ дренажныя трубы.



Фиг. 50.



Фиг. 51.



Фиг. 52.

Наконецъ, въ новѣйшее время примѣняются еще два способа очистки песка на мѣстѣ, безъ перенесенія его далеко отъ фильтра.

По способу Nichols, примѣняемому съ 1909 г. на нѣкоторыхъ фильтрахъ въ Филадельфiи, обыкновенный переносный эжекторъ выбрасываетъ грязный песокъ въ „сепараторъ“, который также передвигается вдоль фильтра. Сепараторъ (фиг. 52) состоитъ изъ закрытаго цилиндра съ коническимъ дномъ, въ которомъ укрѣплена отводная труба (съ краномъ) для выхода изъ сепаратора песка послѣ промывки. Внутри цилиндра имѣется система мѣшалокъ. Песокъ поступаетъ въ сепараторъ сверху и встрѣчается со струею промывной воды, идущею въ сепараторъ снизу вверхъ; количество воды рассчитано такъ, чтобы песокъ не выносился водою въ водосливную трубу, отверстіе которой, сверхъ того, защищено сѣткой. Песокъ выходитъ (внизу цилиндра) совершенно чистымъ. Сепараторъ передвигается на колесахъ по рельсамъ, проложеннымъ вдоль фильтра.

Укажемъ на способъ Blaisdell, который далъ настолько благопріятные результаты на маленькихъ установкахъ, гдѣ онъ примѣнялся, и на опытныхъ установкахъ Нью-Йорка, что теперь его предполагаютъ ввести на фильтрахъ Кротонскаго водопровода въ Нью-Йоркѣ, которые будутъ величайшими въ мірѣ.

Приборъ Blaisdell'я состоитъ изъ опрокинутаго дномъ кверху ящика, который приставляется подъ водою фильтра къ поверхности песка и удерживается въ опредѣленномъ положеніи (а равно и передвигается) при помощи подвижной платформы, опирающейся на каменные продольные стѣнки фильтра. Платформа передвигается вдоль фильтра, а ящикъ — вдоль платформы (т. е. поперекъ фильтра), а также вверхъ и внизъ; всѣ движенія производятся посредствомъ электричества и управляются и контролируются однимъ человѣкомъ. Въ ящикѣ находятся вращающіеся полые горизонтальные стержни, съ полыми же вертикальными зубцами на нихъ, снабженными отверстіями; ось вращенія стержней также полая, и черезъ нее подается вода подъ напоромъ. Такимъ образомъ приспособленія внутри ящика сходны съ приспособленіями для промывки песка въ американскомъ фильтрѣ системы Белля (см. фиг. 70), съ которымъ мы ознакомимся ниже.

Ящикъ передвигается по фильтру, стержни вращаются около оси, и ихъ зубцы, опущенные на нѣкоторую глубину въ песокъ, разрыхляютъ его, промывая въ то же время тонкими, но сильными струйками воды, выходящими изъ отверстій на зубцахъ. Къ ящику присоединенъ (вверху) центробѣжный насосъ, высасывающій загрязненную воду, въ количествѣ немного болѣе, чѣмъ подается въ то же время чистой воды для промывки песка; вода изъ насоса отводится въ сточную трубу.

Промежутокъ времени между послѣдовательными очистками фильтра зависитъ, какъ мы уже упоминали, отъ количества фильтруемой воды и особенно отъ ея качества. Такъ напр., въ Лондонѣ въ 1884 г. при-

ходилось чистить фильтры послѣ пропускания черезъ 1 кв. метръ поверхности песка отъ 40 до 127 куб. метровъ воды, тогда какъ въ 1892 г., послѣ увеличенія объема отстойныхъ бассейновъ, очистка происходила послѣ пропускания 68—147 куб. метровъ. Въ разныхъ городахъ Германіи очистка происходитъ послѣ прохожденія черезъ 1 кв. м. отъ 26 куб. воды (Бременъ) до 66 к. м. (Штутгартъ). При средней скорости фильтраціи 0,10 м. въ часъ, получаемъ промежутокъ времени между очистками въ Германіи 11—28 дней.

Въ Варшавѣ очистка фильтровъ совершается 15—20 разъ въ годъ²⁷⁾.

Созрѣваніе фильтра. Послѣ каждой очистки фильтра приходится, какъ мы уже знаемъ, спускать профильтрованную воду въ водостокъ, въ виду неудовлетворительности очистки, пока фильтръ не созрѣетъ; на созрѣваніе фильтра требуется около 12—24 часовъ. При этомъ, для контроля работы фильтра, необходимо производить анализы воды до возстановленія фильтрующей пленки.

Когда, послѣ нѣсколькихъ очистокъ, толщина песчаного слоя значительно уменьшится и дойдетъ до минимума, установленнаго для данной фильтра (минимумъ устанавливають на основаніи результатовъ бактериологическихъ анализовъ)²⁸⁾, надо добавить новаго песка для возстановленія первоначальной толщины фильтрующаго слоя.

Послѣ этого для созрѣванія фильтра требуется гораздо болѣе времени, чѣмъ послѣ очистки: по Riefke, надо спускать профильтрованную воду въ водостоки въ теченіе первыхъ 6 дней работы фильтра.

Созрѣваніе фильтра идетъ тѣмъ медленнѣе, чѣмъ чище вода; поэтому для искусственнаго ускоренія образованія пленки иногда къ фильтруемой водѣ добавляют сѣрноокислаго глинозема или солей желѣза, которые образуютъ клейкій слой на поверхности песка.

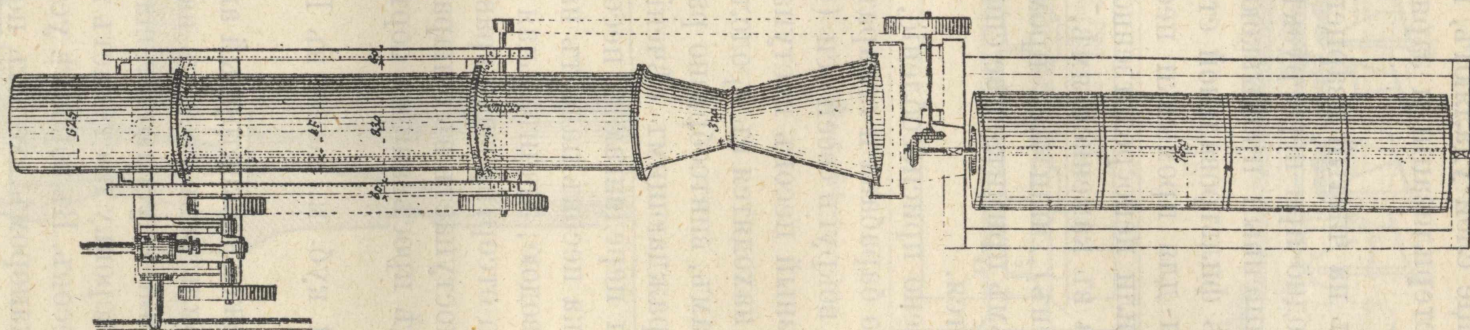
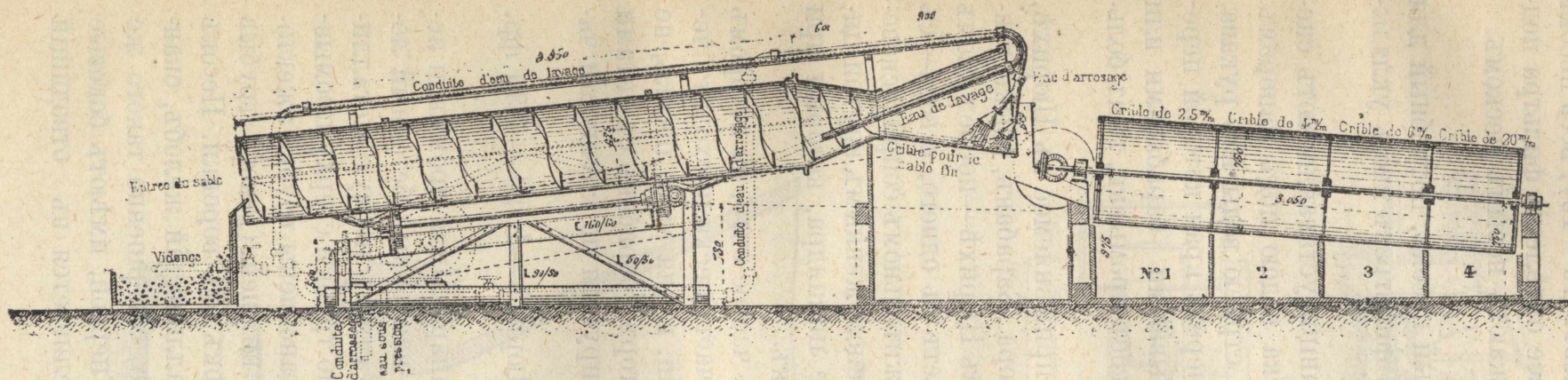
При началѣ или возобновленіи работы фильтра, его наполняютъ водою снизу, черезъ дрена, чтобы воздухъ, заполнявшій промежутки между песчинками, могъ выйти; воду слѣдуетъ впускать медленно, чтобы ударами струи не нарушить равномерности слоя песка.

Для избѣжанія одновременной замѣны песка въ нѣсколькихъ отдѣленіяхъ фильтра, полезно при устройствѣ засыпать песокъ въ различныхъ отдѣленіяхъ на разную глубину. Въ Филадельфіи фильтры Belmont были загружены пескомъ на глубину 28, 31, 34, 37, 40 и 43 дюйма.

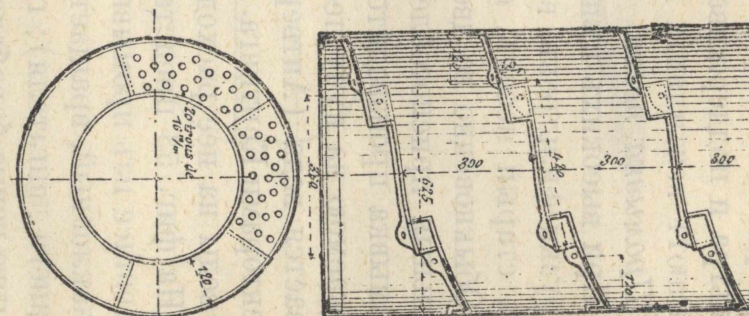
Отмѣтимъ еще, что потеря времени на очистку фильтровъ почти одинакова зимою и лѣтомъ, т. к. зимою фильтрующая пленка образуется медленнѣе, лѣтомъ же, хотя фильтръ быстрѣе созрѣваетъ, но быстрѣе и засоряется, такъ какъ сильнѣе развиваются микроорганизмы и требуется болѣе частая очистка его.

²⁷⁾ Стоимость очистки 1 кв. м. фильтрующей поверхности въ Варшавѣ—95 коп.

²⁸⁾ Въ Берлинѣ—30 см., но эта толщина едва ли достаточна; желательно ограничить минимумъ 40—50 см. и болѣе.



Фиг. 53а



Фиг. 53с.

Черезъ нѣкоторые промежутки времени (лѣтъ 10—15), весь песокъ фильтра и поддерживающіе слои удаляютъ, все отдѣленіе фильтра подвергаютъ вентиляціи и стерилизаціи и заряжаютъ новымъ пескомъ.

Промывка песка.

При высокихъ цѣнахъ на чистый кварцевый песокъ, потребный для загрузки фильтровъ, выгодно при перегрузкѣ фильтровъ вновь укладывать старый песокъ, очищенный промывкою.

Обыкновенно во дворѣ фильтровальной станціи устанавливаютъ спеціальныя приспособленія для промывки песка водою подъ напоромъ. Промывка производится или непосредственно струею воды изъ рукава, пускаемою на кучу песка въ каменной ямѣ, черезъ края которой переливается вода (Антверпенъ), или же промывными барабанами или эжекторами Кертинга. Чѣмъ примитивнѣе способъ промывки, тѣмъ больше воды на нее расходуется.

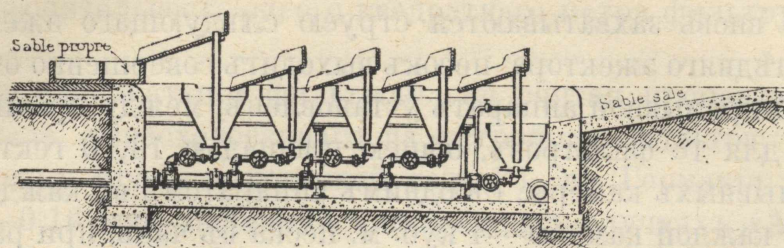
На фиг. 53 представлено приспособленіе, применяемое въ Цюрихѣ, состоящее изъ промывного барабана и сепаратора. Барабанъ, обыкновенно наклонный, вращается вокругъ своей оси (въ Цюрихѣ—посредствомъ водяного двигателя); грязный песокъ поступаетъ съ одного, а вода—съ другого конца барабана и находятся въ продолжительномъ соприкосновеніи благодаря перегородкамъ, винтообразно расположеннымъ внутри цилиндра и неполнѣе преграждающимъ сѣченіе цилиндра, которыя при вращеніи захватываютъ и передвигаютъ песокъ.

По выходѣ изъ барабана песокъ падаетъ на частое сито, на которомъ онъ еще разъ поливается водою; значительная часть песка проходитъ черезъ это сито; желательнѣе отсортировать гравій, и для этого песокъ, не прошедшій черезъ сито, поступаетъ въ сепараторъ (барабанъ съ ситами различной крупности), гдѣ просѣваніемъ сортируется по крупности частицъ.

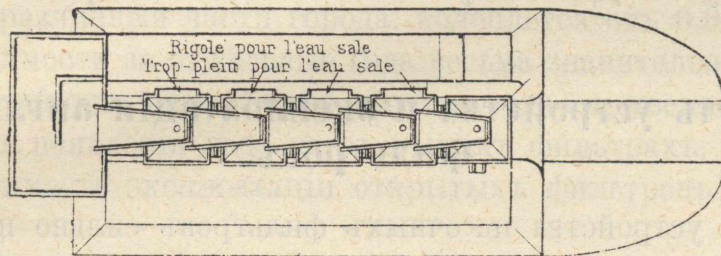
Стоимость промывки 1 куб. м. песка въ Цюрихѣ—1 фр.—1,30 фр. (т. е. 38—50 коп.).

На фиг. 54 и 55 изображенъ эжекторный аппаратъ для промывки песка. Грязный песокъ съ фильтровъ свозятъ на наклонный бетонный лотокъ, съ котораго постепенно спускаютъ лопатами въ первую металлическую воронку; въ ту же воронку поступаетъ по трубкѣ сверху промывная вода, разжижающая песокъ. Въ воронкѣ установлены трубки эжектора (фиг. 55); вода подъ напоромъ входитъ по нижней (узкой) трубкѣ и увлекаетъ за собою въ верхнюю трубку песокъ изъ воронки. Песокъ вмѣстѣ съ водою выносится на наклонный металлическій желобъ, оканчивающійся надъ второю эжекторною воронкою, совершенно такого же устройства, какъ первая. Всѣ воронки, кромѣ первой, имѣютъ боковые водосливы, черезъ которые грязная вода переливается въ отводящій желобъ.

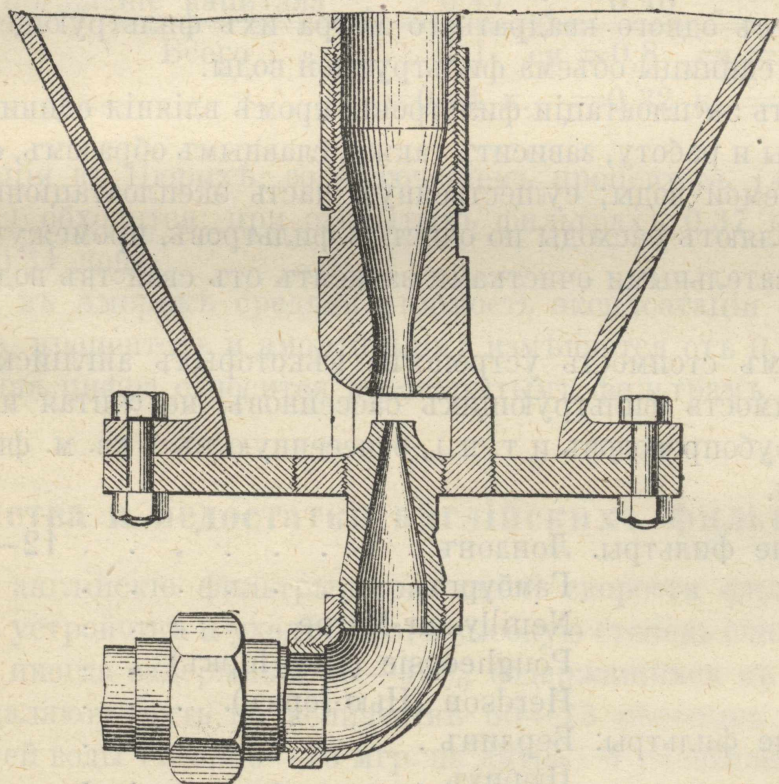
При перемѣщеніяхъ песчинокъ струею эжектора, онѣ энергично обмываются; растворенная грязь, какъ болѣе легкая, всплываетъ и пе-



Plan



Фиг. 54.



Фиг. 55.

реливается через водосливъ, песчинки же осѣдаютъ на днѣ воронки, съ котораго вновь захватываются струею слѣдующаго эжектора.

Изъ послѣдняго эжектора песокъ выходитъ совершенно очищеннымъ. Эжекторный промывной аппаратъ установленъ, между прочимъ, въ Гамбургѣ, гдѣ для 18 фильтровъ, общео площадью 13,70 гектаровъ, имѣются 4 промывныхъ камеры, съ однимъ аппаратомъ въ каждой; производительность каждой камеры—4 куб. м. песка въ часъ, при расходѣ 15—20 куб. м. промывной воды на 1 куб. м. песка; стоимость очистки около 40 коп. на 1 куб. м. Для обслуживанія каждого аппарата требуется трое рабочихъ.

Стоимость устройства и эксплуатаціи англійскихъ фильтровъ.

Стоимость устройства песочныхъ фильтровъ сильно измѣняется въ зависимости отъ количества и свойствъ фильтруемой воды, способа покрытия фильтровъ, отъ цѣнъ на рабочія руки и матеріалы и мѣстныхъ условій.

Отъ качества воды зависитъ допустимая скорость фильтрованія и, слѣдовательно, площадь фильтровъ, требуемая для очистки даннаго объема воды въ сутки. Поэтому стоимость устройства фильтровъ правильнѣе опредѣлять съ одного квадратнаго метра ихъ фильтрующей поверхности, а не съ единицы объема фильтруемой воды.

Стоимость эксплуатаціи фильтровъ, кромѣ вліянія единичныхъ цѣнъ на матеріалы и работу, зависитъ также, главнымъ образомъ, отъ характера фильтруемой воды; существенную часть эксплуатаціонныхъ издержекъ составляютъ расходы по очисткѣ фильтровъ, промежутки же между послѣдовательными очистками зависятъ отъ свойствъ воды и ея примѣсей.

Приведемъ стоимость устройства нѣкоторыхъ англійскихъ фильтровъ (стоимость фильтрующихъ бассейновъ, не считая насосовъ, наружныхъ трубопроводовъ и т. п.), отнесенную къ 1 кв. м. фильтрующей поверхности.

Открытые фильтры:	Лондонъ	12—20 руб.
	Гамбургъ.	16 „
	Neuilly-sur-Marne	23 „
	Poughheepsie (Нью-Йоркъ)	36 „
	Herdson (Нью-Йоркъ).	34 „
Закрытые фильтры:	Берлинъ	32 „
	Цюрихъ	46 „
	Филадельфія (Belmont)	75 „
	Варшава	38—48 „

(Въ Цюрихѣ въ стоимость фильтровъ включена также стоимость предварительныхъ фильтровъ; въ Филадельфіи включена стоимость двухъ

большихъ отстойныхъ резервуаровъ, позволяющихъ значительно увеличить производительность одного квадратнаго метра фильтрующей площади).

Стоимость эксплуатаціи фильтровъ, не считая процентовъ и погашенія капитала, израсходованнаго на устройство фильтра, отнесенная къ 1 куб. метру профильтрованной воды ²⁹⁾, въ Германіи колеблется между 0,08—0,16 коп., поднимаясь въ рѣдкихъ случаяхъ (Альтона) до 0,25 коп.; въ Англіи: въ Ливерпулѣ около 0,06 коп., въ Лондонѣ средняя стоимость за періодъ 1880—1895 гг. для восьми компаній, снабжающихъ водою различныя части города, колеблется отъ 0,04 до 0,08 к.; разниа въ стоимости за отдѣльные года весьма значительна (иногда въ одномъ году стоимость вдвое болѣе другого года) и увеличивается въ особенности отъ появленія льда на открытыхъ фильтрахъ.

Вообще стоимость эксплуатаціи открытыхъ фильтровъ выше, чѣмъ закрытыхъ.

Стоимость эксплуатаціи фильтровъ „Compagnie Générale des Eaux“ во Франціи въ 1897 г. выразилась слѣдующими цифрами (по-прежнему, съ 1 куб. м. профильтрованной воды):

Эксплуатація фильтровъ	0,43 см	0,25 см.	0,15 см.
Обслуживаніе водоподъемн. машинъ .	0,20 „	0,15 „	0,02 „
Проценты и погашеніе капитала . .	0,47 „	0,40 „	0,43 „
Всего	1,1 см	=0,8 см.	=0,6 см.=
	=0,44 к.	=0,32 к.	=0,24 к.

Эксплуатація въ Цюрихѣ, со включеніемъ процентовъ (4%) и погашенія (2%) обходится: при открытыхъ фильтрахъ 0,37 коп. и при закрытыхъ—0,34 коп.

Наконецъ, въ Америкѣ средняя стоимость эксплуатаціи фильтровъ (безъ машинъ, процентовъ и амортизаціи) измѣняется отъ 0,09 до 0,16 коп. (послѣдняя цифра относится къ открытымъ фильтрамъ въ случаѣ морозовъ).

Достоинства и недостатки англійскихъ фильтровъ.

Песочные англійскіе фильтры, при малой скорости фильтрованія, надлежащемъ устройствѣ и уходѣ, даютъ высокую степень очистки воды, достигающую иногда задержанія 98—99% содержащихся въ водѣ бактерій; они удаляютъ муть въ количествѣ 50—75 вѣсовыхъ частей на миллионъ частей воды (т. е. 50—75 мгр. на литръ) и уменьшаютъ окраску воды, вызванную органическими (растительными) примѣсями, на 20—30%. Пока составъ фильтруемой воды не подвергается рѣзкимъ

²⁹⁾ По даннымъ Debaue et Imbeaux („Assainissement des Villes. Distribution des eaux“ I, 595).

измѣненіямъ (обыкновенно появляющимся весной въ рѣчной водѣ), результаты дѣйствія песочныхъ фильтровъ не подвержены замѣтнымъ колебаніямъ, а потому и качество фильтрованной воды можно считать постояннымъ.

Изъ числа недостатковъ, связанныхъ съ дѣйствіемъ песочныхъ фильтровъ ³⁰⁾ укажемъ, какъ существенные, слѣдующіе:

Во-первыхъ, фильтрованіе происходитъ медленно, и вслѣдствіе этого требуется значительная площадь для устройства фильтровъ.

Во-вторыхъ, очистка загрязненнаго фильтра требуетъ много времени и труда, и соприкосновеніе ногъ рабочихъ съ фильтруемымъ матеріаломъ, которое не устранено даже въ усовершенствованныхъ американскихъ способахъ очистки, не можетъ считаться желательнымъ съ санитарной точки зрѣнія.

Въ-третьихъ, при каждой очисткѣ фильтра является значительная потеря времени до возстановленія пленки, вслѣдствіе которой фильтръ оказывается неработающимъ 10—20% всего времени.

Кромѣ потери времени, очистка сопряжена съ нарушеніемъ нормальной работы фильтра и потому требуетъ усиленнаго надзора за нимъ и учащенныхъ бактериологическихъ анализовъ фильтрата. Отсюда понятно стремленіе увеличить промежутки времени между очистками, путемъ предварительнаго грубого освѣтленія воды.

Въ-четвертыхъ, англійскіе фильтры не обладаютъ способностью лишать воду окраски вообще и опалисцированія въ частности, вызывая лишь ослабленіе окраски на 20—30%; между тѣмъ, во многихъ случаяхъ, особенно при водоснабженіи изъ рѣкъ, питаемыхъ солями, въ этомъ является настоящая необходимость.

Въ виду сказаннаго, англійскіе фильтры, безъ какой-либо добавочной обработки воды, примѣнимы специально для очистки водъ, содержащихъ весьма мало растительныхъ примѣсей и окраски и сравнительно немного мути, т. е. для воды почти прозрачной и безцвѣтной на видѣ, которую эти фильтры доводятъ до высокой степени чистоты.

Отмѣтимъ въ заключеніе, что фильтрованіе черезъ англійскіе песочные, какъ и черезъ всякіе другіе фильтры (т. е. пористыя вещества), задерживая бактерій механически, т. е. какъ мельчайшія взвѣшенныя частицы, не можетъ обезпечить отсутствія въ фильтрованной водѣ патогенныхъ бактерій, такъ какъ въ числѣ тѣхъ 5—1% бактерій, которыя остаются въ фильтрованной водѣ, могутъ оказаться и патогенныя. Поэтому въ случаяхъ, когда есть основаніе опасаться присутствія въ водѣ патогенныхъ микроорганизмовъ (напр., во время эпидеміи), приходится воду, хотя бы и хорошо профильтрованную, подвергать еще дезинфекціи, т. е. обработкѣ такими способами, которые воздѣйствуютъ именно на бактерій, какъ на живые организмы, и умерщвляютъ ихъ.

³⁰⁾ а не вызываемыхъ неправильностями устройства или эксплуатаціи фильтровъ.

ГЛАВА IV.

Видоизмѣненія англійскаго способа фильтрованія.

Кромѣ примѣненія медленныхъ песочныхъ фильтровъ въ ихъ первоначальномъ видѣ, нерѣдко пользуются нѣкоторыми видоизмѣненіями ихъ, возникшими, какъ результатъ наблюденій надъ процессомъ ихъ работы.

Видоизмѣненные способы фильтрованія черезъ песокъ могутъ быть подведены подъ три группы:

- а) процессъ фильтрованія раздѣляется на нѣсколько стадій;
- б) въ добавленіе къ механическому дѣйствію фильтра, усиливаютъ участвующій въ немъ біологическій процессъ, подводя кислородъ воздуха въ большемъ количествѣ, чѣмъ на англійскихъ фильтрахъ;
- в) искусственно ускоряютъ образованіе пленки (добавленіемъ химическихъ реактивовъ), и тѣмъ уменьшаютъ потерю времени на очистку фильтра; этотъ процессъ примѣняется въ т. наз. „американскихъ фильтрахъ“.

Фильтрованіе съ префильтраціею.

Мы видѣли, что въ англійскихъ фильтрахъ содержаніе бактерій и взвѣшенныхъ веществъ совершается, главнымъ образомъ, поверхностью фильтра; отсюда возникла мысль дважды пропускать воду черезъ поверхность фильтрующаго матеріала, но съ большею скоростью, т. е. замѣнъ одного фильтра устроить два послѣдовательныхъ фильтра меньшей площади.

При такомъ устройствѣ второй фильтръ долженъ задерживать тѣ частицы, которыя прошли черезъ первый; слѣдовательно, онъ долженъ состоять изъ болѣе мелкаго матеріала, чѣмъ первый.

Первый фильтръ (называемый „предварительнымъ“—prefilter, for-filter, или „грубымъ“—„roughing“) дѣлается изъ песка большей крупности, чѣмъ обыкновенные англійскіе фильтры, а второй („окончательный“) фильтръ устраивается по обычному типу. Префильтръ освобождаетъ воду отъ крупныхъ взвѣшенныхъ частицъ, которыя быстро засорили бы мелкій песокъ фильтра; такимъ образомъ, помимо двукратнаго воздѣйствія поверхностныхъ слоевъ на фильтруемую воду, мы получаемъ возможность рѣже чистить мелкозернистый фильтр. Съ этой послѣдней

стороны своей работы, префильтрація является развитіемъ предварительнаго *отстаиванія*, которое также нерѣдко примѣняется передъ очисткою воды на англійскихъ фильтрахъ или префильтрахъ.

Устройство префильтровъ позволяетъ увеличить скорость фильтрованія на окончательномъ (англійскомъ) фильтрѣ съ 2,4 м. до 5—7 м. въ сутки.

Съ экономической точки зрѣнія, во многихъ случаяхъ (въ зависимости отъ характера воды) оказывается дешевле очищать воду до одинаковой степени чистоты на фильтрахъ съ префильтрами, чѣмъ на однихъ англійскихъ фильтрахъ.

Двойная фильтрація черезъ послѣдовательные фильтры *одинаковой площади* примѣнена, напр., въ Бременѣ¹⁾.

Однако, устройство префильтровъ одинаковой площади съ фильтрами можно рекомендовать лишь какъ временную мѣру на существующей фильтровальной станціи, когда внезапно составъ сырой воды настолько ухудшается, что очистка ея англійскими фильтрами оказывается неудовлетворительною (напр., весною, когда вода несетъ много мути); тогда имѣющіеся фильтры можно раздѣлить на двѣ группы, перекачивая фильтратъ первой группы на фильтры второй группы для окончательной очистки и пропуская воду черезъ каждый фильтръ съ двойною скоростью: такая двойная фильтрація при очень мутной водѣ, вообще говоря, дастъ лучшіе результаты.

Однако, при постоянныхъ устройствахъ слѣдуетъ дѣлать префильтры меньшей площади и съ болѣе крупною загрузкою, чѣмъ окончательные фильтры.

Было не мало случаевъ, когда добавленіе къ существующимъ фильтрамъ префильтровъ сильно повышало ихъ производительность и качество очистки.

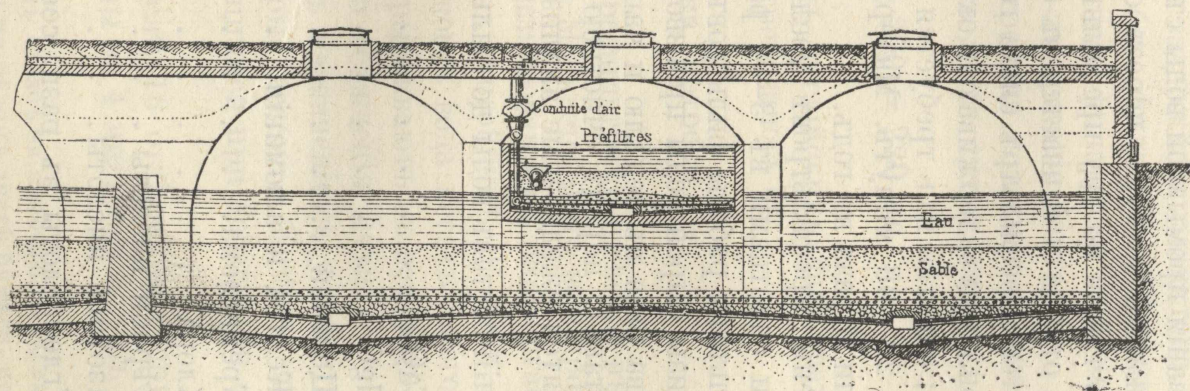
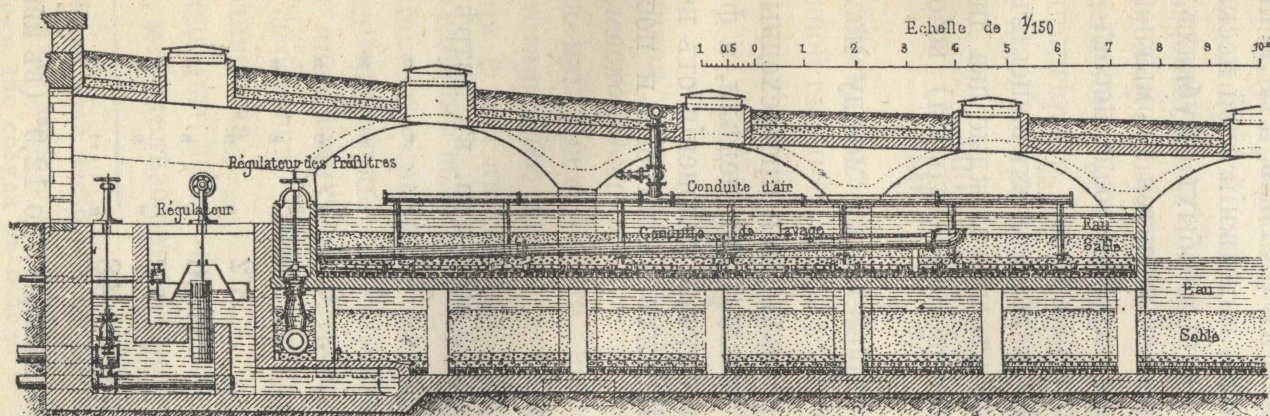
Результаты работы префильтровъ видны изъ примѣра г. Цюриха, на водоснабженіи котораго мы остановимся нѣсколько подробнѣе.

Въ *Цюрихѣ* вода берется изъ озера, на разстояніи 300 м. отъ берега, посредствомъ трубы діаметромъ 0,90 м., которая можетъ подавать 48.000 куб. м. въ сутки; фильтровальная станція находится въ городѣ, въ 2 километрахъ отъ мѣста забора воды.

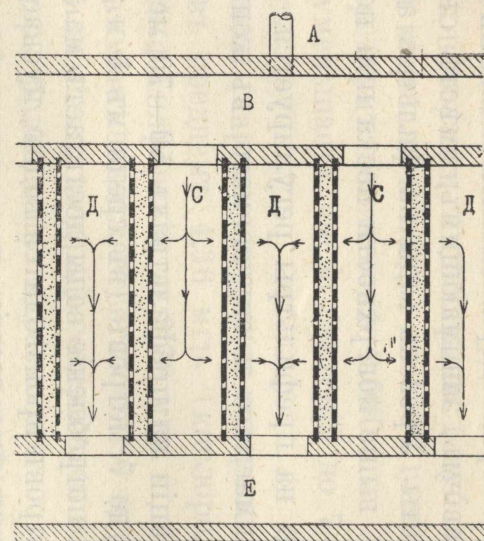
Фильтры (фиг. 56 и 57) закрытые, числомъ 10, каждый по 675 кв. м. полезной площади. Каждое отдѣленіе фильтра имѣетъ особый префильтръ, площадью 70 кв. м. (т. е. около 0,10 площади фильтра), расположенный надъ среднею частью фильтра. Фильтры выстроены изъ бетона; префильтры, выстроенные позже, сдѣланы изъ желѣзо-бетона (система Геннебика).

Префильтры заполнены гравіемъ крупностью 2 мм., при толщинѣ слоя 0,90 м.; поверхъ гравія насыпанъ слой мелкаго песка въ 0,03 м. Глубина воды на префильтрахъ 0,45—0,50 м. надъ пескомъ.

¹⁾ Goetze. „Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung“, 1903.



Фиг. 56 и 57.



Фиг. 59.

Окончательные фильтры содержатъ слой песка въ 0,90 м. толщиною, поддерживаемый гравіемъ, занимающимъ, вмѣстѣ съ дренажными кагалами, 0,50 м. высоты. Уровень воды на фильтрѣ автоматически поддерживается на 1 м. выше поверхности песка при помощи регулятора съ поплавкомъ.

Поступленіе воды на префильтры регулируется руками, посредствомъ диска, поднимаемаго и опускаемаго въ конической впускной трубѣ.

Скорость фильтраціи на префильтрахъ 50—70 метровъ въ сутки, а на фильтрахъ отъ 4 до 7 метровъ (въ среднемъ 5 м.; скорость въ 7 м. имѣетъ мѣсто, когда потребление воды достигаетъ максимума).

Очистка префильтровъ производится водою, пускаемою въ обратномъ направленіи, чѣмъ при фильтраціи, т. е. снизу вверхъ, черезъ особыя трубки, лежащія на днѣ префильтра; вмѣстѣ съ тѣмъ, для лучшаго перемѣшиванія промывной воды съ пескомъ, въ нижній слой песка нагнетаютъ сжатый воздухъ, черезъ отверстія въ особыхъ трубкахъ, проложенныхъ также по дну префильтра. Грязь выносятся промывною водою наверхъ, откуда и сливается въ спускныя трубы; когда песокъ осядетъ и уляжется, префильтръ снова готовъ къ работѣ.

Префильтры задерживаютъ около 90% взвѣшенныхъ веществъ и 50% бактерій; очистка ихъ требуется приблизительно каждые два дня, и занимаетъ 20—30 минутъ. Матеріаль префильтра (гравій) возобновляютъ 1 или 2 раза въ годъ.

Введеніе префильтровъ увеличило промежутки между послѣдовательными очистками въ 3—4 раза.

Результаты работы фильтровъ съ префильтрами превосходны.

Анализы сырой воды производятся каждыя двѣ недѣли, а фильтрованной два раза въ недѣлю и чаще (въ случаѣ отклоненія отъ нормальнаго состава); передъ очисткою англійскихъ фильтровъ и послѣ нея производятся ежедневные анализы.

Средній составъ воды до фильтрованія:

CaO	56,5	мгр.	въ	литрѣ
MgO	9,8	"	"	"
Щелочей	4,5	"	"	"
Желѣза и алюминія.	0,9	"	"	"
Кремнезема.	1,9	"	"	"
Хлора	3,2	"	"	"
Сѣрной кислоты	11,6	"	"	"
Азотной кислоты.	1,8	"	"	"
Углекислоты въ разн. соединеніяхъ	48	"	"	"

Температура измѣняется отъ 3,8° (въ январѣ) до 12,9° (въ августѣ).

Планктонъ, состоящій, главнымъ образомъ, изъ водорослей, вѣситъ въ среднемъ, послѣ просушки, 1.065 гр. на 1 куб. м. воды.

Число бактерій колебалось, напр., въ 1900 г. между 62 и 18.557 въ 1 куб. см., при среднемъ количествѣ 2.000.

Фильтрованіе уменьшаетъ число бактерій до 7—132 (въ среднемъ до 37) въ 1 куб. см.

Окисляемость воды (характеризующая содержаніе органическихъ веществъ), равная въ среднемъ 4,36 mgr. (кислорода на литръ воды), уменьшается послѣ фильтрованія до 2,78 mgr.

Бѣлковистый амміакъ понижается съ 0,080 mgr. до 0,018 mgr.; наконецъ, свободный амміакъ, который содержится въ сырой водѣ въ количествѣ 0,003 mgr., больше не встрѣчается.

Діаграмма фиг. 58 показываетъ составъ воды за 1902 г. передъ обработкою, послѣ префильтровъ и послѣ фильтровъ. Изъ нея видно, что роль префильтровъ особенно важна для задержанія планктона, который безъ префильтраціи быстро засорялъ бы фильтры. Префильтрація, освѣтляя воду, позволяетъ окончательнымъ фильтрамъ особенно интенсивно выполнять ихъ главную задачу—задержаніе бактерій.

Въ примѣрѣ г. Цюриха, общая потребная полезная площадь фильтровъ и префильтровъ на 1000 куб. м. воды въ сутки равна

$$\frac{1000}{50} + \frac{1000}{5} = 20 + 200 = 220 \text{ кв. м.,}$$

между тѣмъ, какъ при обыкновенныхъ англійскихъ фильтрахъ, при нормальной скорости фильтрованія, потребовалось бы

$$\frac{1000}{2,4} = 416,5 \text{ кв. метровъ}$$

Крупная установка фильтровъ съ префильтрами имѣется въ *Москвѣ, на Рублевской водоподъемной станціи* Москворѣцкаго водопровода.

Вода изъ Москвы-рѣки, передъ фильтрованіемъ, подвергается сначала отстаиванію; длина пути воды въ отстойникѣ 25 саж., скорость движенія 2 мм. въ секунду. Весною, когда вода несетъ много мути²⁾, передъ входомъ воды въ отстойникъ впрыскиваютъ въ водоводъ растворъ сѣрнокислаго глинозема, для лучшаго осажденія мути.

Предварительные фильтры имѣютъ назначеніемъ удлинить періодъ работы англійскихъ фильтровъ, которые весьма быстро засоряются мутью, а особенно хлопьями, образующимися при добавленіи сѣрнокислаго глинозема.

Предварительные фильтры, въ числѣ 16 отдѣленій, сооружены въ 1906 г. изъ желѣзо-бетона и рассчитаны на 4 милліона ведеръ въ сутки,

²⁾ Когда вода настолько мутна, что черезъ столбъ ея высотой въ 80 см. не видны черныя точки діаметромъ 1 мм., нанесенныя на бѣломъ листѣ бумаги, подкладываемомъ подъ дно сосуда съ водою.

при наибольшей скорости фильтрации 1,5 м. въ часъ. Размѣры каждого отдѣленія: длина 8,5 саж., ширина 2,5 саж., глубина воды надъ загрузкою 2,13 м. (=1 саж.).

Загрузка префильтровъ состоитъ изъ пяти слоевъ различной крупности, а именно (снизу вверхъ):

- | | | | | | | | |
|----|----------------|------------|------------|-----|---------|------|--------|
| 1) | гравій | крупностью | 16—25 мм., | при | толщинѣ | слоя | 8 см. |
| 2) | " | " | 10—15 мм., | " | " | " | 7 см. |
| 3) | " | " | 6—10 мм., | " | " | " | 10 см. |
| 4) | " | " | 3—6 мм., | " | " | " | 10 см. |
| 5) | крупный песокъ | | 1—3 мм., | " | " | " | 40 см. |

Очистка префильтровъ производится пропусканіемъ снизу вверхъ воды изъ отстойника и продуваніемъ воздуха, сжатого до давленія въ 1,5 м. водяного столба. Количество воздуха, подаваемого компрессоромъ въ минуту, 55 куб. метр. Продуваніе каждого отдѣленія продолжается 30 минутъ. Воздухъ, пронизывая загрузку, взмучиваетъ на поверхности песка осадки, которые и уносятся теченіемъ промырной воды въ водостокъ.

Изъ префильтровъ вода поступаетъ на англійскіе фильтры, состоящіе изъ 10 отдѣленій, общеою площадью 28.820 кв. м., съ нѣкоторыми деталями которыхъ мы уже ознакомились выше (фиг. 38 и 44); проектная скорость фильтрации на нихъ 10 см. въ часъ, хотя въ настоящее время обычная скорость меньше, такъ какъ потребность въ водѣ еще не достигла полной проектной.

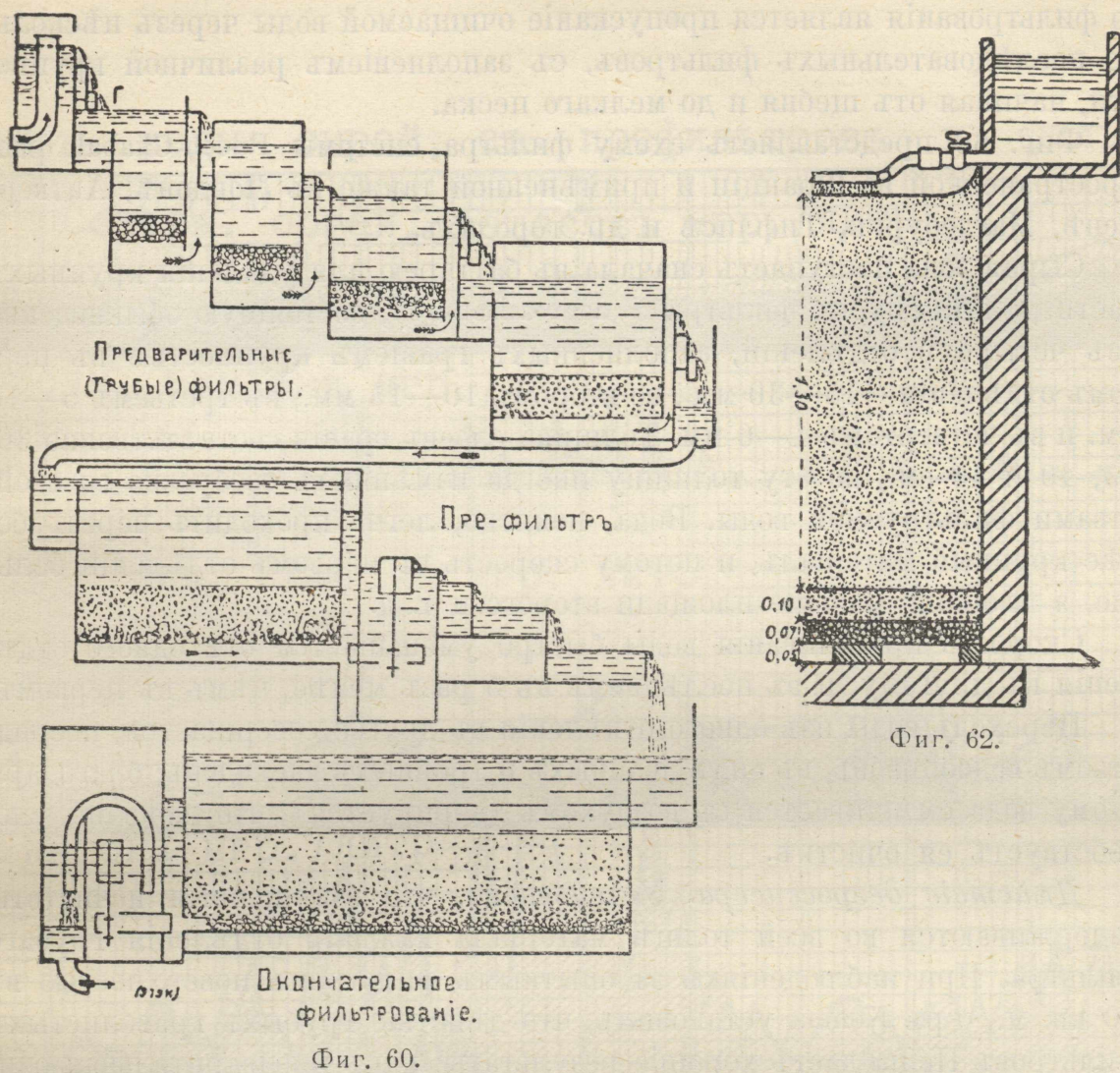
Упомянуъ еще о префильтрахъ въ *Ниццѣ*, гдѣ имъ придана форма, отличающаяся отъ обычной: префильтры (фиг. 59) состоятъ изъ вертикальных элементовъ съ двойными стѣнками (изъ бетона) съ круглыми отверстіями въ нихъ; въ срединѣ стѣнокъ засыпанъ песокъ. Вода поступаетъ (изъ приводящей трубы *A*) по каналу *B* въ промежутки *C*, откуда просачивается (въ горизонтальномъ направленіи) черезъ фильтрующія плитки въ промежутки *D*, изъ которыхъ выходитъ по каналу *E* въ трубопроводъ на фильтръ.

Главное удобство вертикальныхъ фильтрующихъ элементовъ—достиженіе большой фильтрующей поверхности при небольшихъ размѣрахъ бассейновъ въ планѣ, но недостатокъ ихъ—неравномѣрная скорость просачиванія воды черезъ плитки на разныхъ глубинахъ; однако, для префильтрации этотъ недостатокъ не имѣетъ существеннаго значенія. Работа префильтровъ въ *Ниццѣ* вполне удовлетворительна.

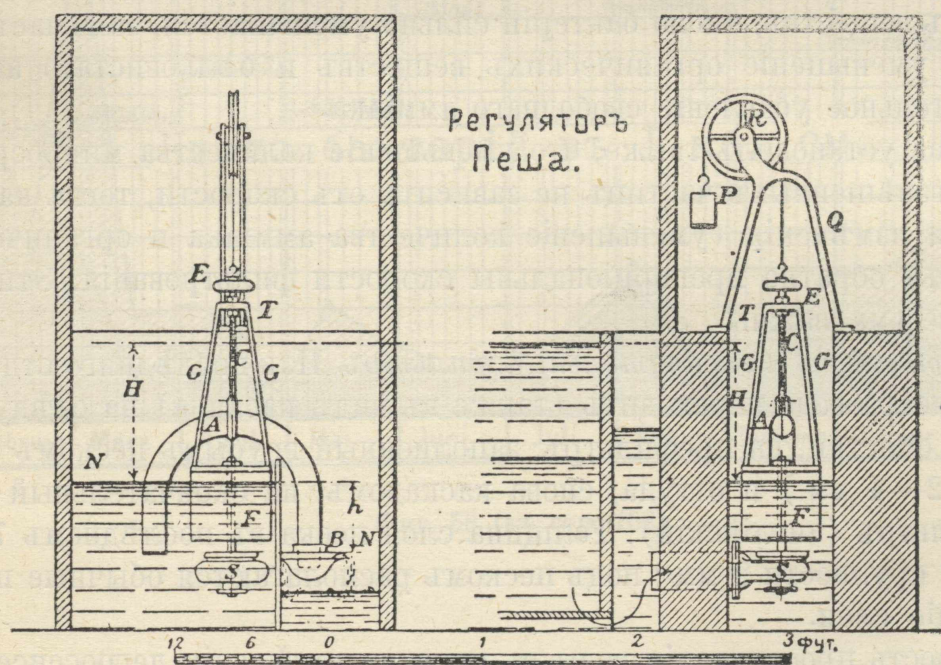
Фильтры Пеша-Шабала (Puesch Chabal)³⁾.

Дальнѣйшимъ развитіемъ принципа разгруженія окончательнаго (англійскаго) фильтра путемъ предварительнаго отстаиванія или груба-

³⁾ Фильтры по идеѣ Puesch'a, примѣняемые къ конструкціи, разработанной инженеромъ Chabal.



Фиг. 62.



го фильтрованія является пропускание очищаемой воды через нѣсколько послѣдовательныхъ фильтровъ, съ заполненіемъ различной крупности, начиная отъ щебня и до мелкаго песка.

Фиг. 60 представляетъ схему фильтра системы Pusch-Chabal, распространенной во Франціи и примѣненной также въ Лондонѣ, Антверпенѣ, Магдебургѣ, Тифлисѣ и др. городахъ.

Сырая вода поступаетъ сначала въ батарею для удаленія крупныхъ частицъ, или грубые фильтры („degrossisseurs“), состоящую обыкновенно изъ четырехъ отдѣленій, заполненныхъ гравіемъ крупностью въ первомъ отдѣленіи—15—30 мм., во второмъ 10—15 мм., въ третьемъ 5—10 мм. и въ четвертомъ 4—6 мм. Толщина слоевъ гравія соотвѣтственно 30, 35, 40 и 45 см., но эту толщину иногда измѣняютъ сообразно со свойствами фильтруемой воды. Вода, понятно, легче проходитъ черезъ болѣе крупный матеріалъ, и потому скорость въ первомъ отдѣленіи больше, а площадь меньше площади второго и т. д.

Скорость просачиванія воды быстро уменьшается отъ одного отдѣленія къ другому, и въ послѣднемъ въ 5 разъ менѣе, чѣмъ въ первомъ.

Переходъ воды изъ одного отдѣленія въ другое совершается, посредствомъ водосливовъ, въ видѣ двойныхъ и тройныхъ каскадовъ; благодаря этому вода смѣшивается съ воздухомъ (аэрируется), что, конечно, способствуетъ ея очисткѣ.

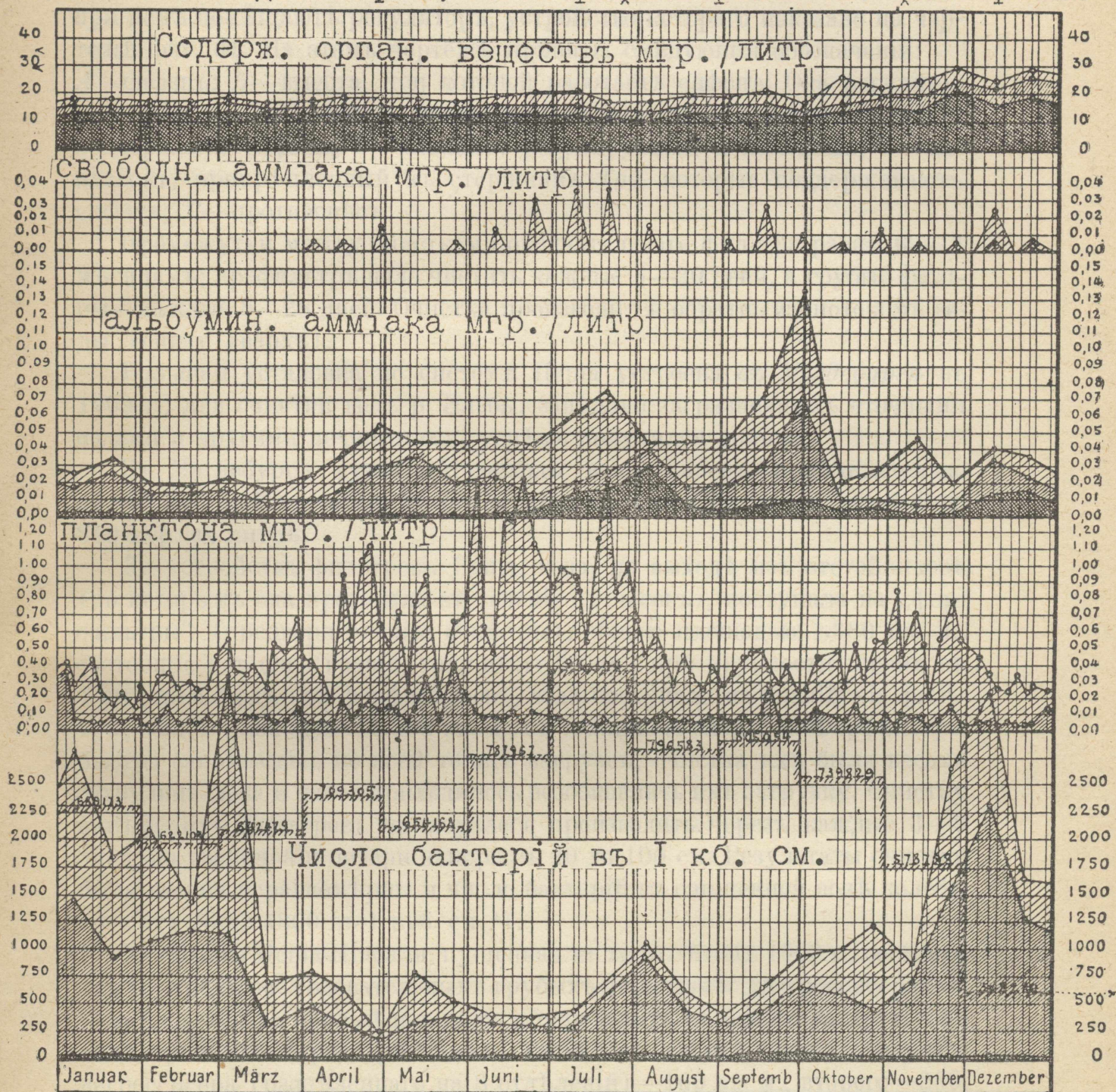
Дѣйствіе дегроссисера. Установлено, что взвѣшенные нечистоты задерживаются во всей толщѣ матеріала каждаго отдѣленія грубаго фильтра. При наблюденіяхъ за опытнымъ фильтромъ поверхностью въ 10 кв. м., д-ръ Кемпа установилъ, что дѣйствіе грубыхъ гравелистыхъ фильтровъ Пеша даетъ хорошіе результаты, какъ предварительная очистка сырой воды. Онъ нашелъ, что задерживается большая часть взвѣшенныхъ веществъ, число бактерій сильно уменьшается, замѣчается нѣкоторое уменьшеніе органическихъ веществъ и бѣлковистаго амміака и значительное убавленіе свободного амміака.

Кемпа установилъ также, что уменьшеніе количества микроорганизмовъ и взвѣшенныхъ частицъ не зависитъ отъ скорости, тогда какъ химическія измѣненія (уменьшеніе количества амміака и органическихъ веществъ) обратно пропорціональны скорости фильтрованія. Эти положенія весьма важны.

Префильтры и окончательный фильтръ. Изъ послѣдняго отдѣленія дегроссисера вода переходитъ (также въ видѣ каскада) на слѣдующую ступень очистки, на префильтръ, заполненный грубымъ пескомъ (крупностью 2—4 мм.) и оттуда, снова каскадомъ, на окончательный песочный фильтръ (англійскій). Толщина слоя песка въ послѣднемъ 70—90 см., при крупности 2 мм.; подъ пескомъ располагаются обычные поддерживающіе слои.

Скорость просачиванія воды въ первомъ отдѣленіи дегроссисера можетъ доходить до 320 метровъ въ сутки, скорость на окончательномъ

Анализы воды: сырой, съ префильтровъ и фильтровъ.



Фиг. 58 (къ стр. 102).

фильтръ—нѣсколько болѣе 3 м. Такимъ образомъ, общая погребная площадь всѣхъ отдѣленій больше, чѣмъ въ одноступенныхъ англійскихъ фильтрахъ.

Для регулированія скорости истеченія изъ окончательнаго фильтра, при немъ помѣщаются регуляторъ, устройство котораго показано на чертежѣ фиг. 61. На этомъ чертежѣ приняты слѣдующія обозначенія:

A—сифонъ; *H*—высота, при которой работает сифонъ. Она регулируется винтомъ *C*; *C*—винтъ, проходящій черезъ гайку *E* и служащій для поддержанія сифона; *S*—клапанъ, регулируемый поплавкомъ; *F*—поплавокъ, прикрѣпленный къ стержнямъ *Tgg*, которые поддерживаютъ сифонъ; *P*—противовѣсъ.

Промежутки между очистками окончательнаго фильтра равны 6—11 мѣсяцамъ; префильтръ надо чистить каждые 5—20 дней, а грубые фильтры—каждые 8—28 дней. Очистка производится обратнымъ потокомъ воды (снизу вверхъ).

Большая установка по системѣ Пеша устроена въ Магдебургѣ въ 1909 г., для очистки водъ р. Эльбы, завѣдомо загрязненныхъ сточными водами и другими нечистотами; успѣхъ получился полный.

Въ Магдебургѣ суточный расходъ воды равенъ приблизительно 45.000 куб. м. Количество сухого остатка въ водѣ колеблется отъ 400 до 800 mgr. въ литрѣ.

До устройства фильтровъ Пеша, вода, по выходѣ изъ отстойниковъ (по которымъ она протекала въ теченіе 12 часовъ), поступала на „фор-фильтры“ (предварительные фильтры), общеою площадью 1.380 кв. м., состоящія изъ слоя гравія, толщиною 60 см., при крупности зеренъ въ 1 см.; по выходѣ изъ форфильтровъ, вода поступала на англійскіе фильтры, общеою площадью 18.330 кв. м., съ толщиною слоя 1 м. Форфильтры быстро заиливались по всей толщѣ загрузки, очистка ихъ была весьма затруднительна и часто приходилось возобновлять ихъ загрузку. Очистку англійскихъ фильтровъ приходилось производить черезъ каждые 3—9 дней, по увеличеніи потери напора съ 20 до 100 см. Результаты очистки были весьма неравномѣрны и число бактерій въ очищенной водѣ колебалось отъ 26 до 5800 въ 1 куб. см.⁴⁾.

Установка Пеша-Шабалы, пущенная въ ходъ лѣтомъ 1909 г., состоитъ изъ четырехъ послѣдовательныхъ грубыхъ фильтровъ (дегрессисеровъ); вода подается на первый изъ нихъ и переходитъ съ одного на другой въ видѣ тройныхъ (трехступенныхъ) каскадовъ. Общая площадь перваго дегрессисера (раздѣленнаго на 8 отдѣленій)—160 кв. м., второго—280, третьяго—512 и четвертаго—1176 кв. м. Гравій, заполняющій дегрессисеры, уложенъ на продырявленные металлическіе листы, черезъ которые (какъ черезъ дренажи) просачивается вода; очистка производится обратною струею воды и продуваніемъ сжатого воздуха.

⁴⁾ Walter Clemence. „Engineering“ 1910.

Послѣ дегрессисеровъ, вода поступаетъ на крупнозернистый песочный (предварительный) фильтръ, полною площадью 4.000 кв. м. (раздѣленный на 25 отдѣленій), откуда выходитъ совершенно освѣтленную. Окончательная очистка производится на прежнихъ англійскихъ фильтрахъ, площадью 18.330 кв. м. Старые отстойники и форфильтры откинуты. При переходѣ воды изъ дегрессисера на предварительный и окончательный фильтры, она опять аэрируется (падая каскадами).

Химическій анализъ аэрированной воды передъ входомъ на любое отдѣленіе дегрессисера и по выходѣ изъ него показалъ, что весь кислородъ, запасенный водою при аэраціи, расходуется въ фильтрующемъ слое на окисленіе органическихъ примѣсей, и по выходѣ съ дегрессисера вода весьма бѣдна кислородомъ.

Система дегрессисеровъ и предварительный фильтръ вмѣстѣ уменьшаютъ содержаніе бактерій сырой воды на 90—95 %, дѣлая число бактерій въ фильтратѣ практически постояннымъ (20—40 въ 1 куб. см.).

Англійскій фильтръ въ этой системѣ работаетъ исключительно для бактеріальной очистки воды, которая поступаетъ на него совершенно освѣтленную. Поэтому не приходится удивляться, что потеря напора на окончательномъ фильтрѣ возрастаетъ въ теченіе мѣсяца только на 1—4 см.

Въ Россіи установка по системѣ Пеша-Шабалы выстроена въ *Тифлисѣ*, для освѣтленія весьма мутной воды р. Куры. Количество сухого остатка въ водѣ 150—230 mgr. въ литрѣ, а во время половодья доходитъ до 1500 mgr. въ литрѣ.

Установка рассчитана на 500.000 ведеръ (=6000 куб. м.) въ сутки и состоитъ изъ трехъ послѣдовательныхъ форфильтровъ, одного предварительнаго фильтра и англійскаго фильтра.

Бетонные прямоугольные форфильтры имѣютъ глубину 2,5 м. каждый; площадь перваго форфильтра 50 кв. м., онъ загруженъ гравіемъ крупностью зеренъ 10—15 мм., при толщинѣ слоя 300 мм.; второй форфильтръ, площадью въ 100 кв. м., загруженъ болѣе мелкимъ гравіемъ съ 5—10 мм., толщина слоя 350 мм.; третій—площадью 150 кв. м. съ зернами отъ 4 до 6 мм., при толщинѣ слоя въ 400 мм. Послѣ форфильтровъ вода поступаетъ на предварительный фильтръ, полною площадью въ 300 кв. м. (раздѣленъ на 4 отдѣленія), загруженный пескомъ (1—2 мм.) слоемъ въ 600 мм.; скорость фильтраціи до 85 см. въ часъ. Англійскіе фильтры загружены слоемъ песка (0,4—0,5 мм.), толщиной въ 700 мм., и двумя поддерживающими слоями гравія по 200 мм.; скорость фильтраціи до 30 см. въ часъ⁵⁾). Промывка форфильтровъ и предварительныхъ фильтровъ производится пропусканіемъ воды снизу вверхъ

⁵⁾ При указанныхъ размѣрахъ общая площадь форфильтровъ и фильтровъ на 1000 куб. м. очищаемой воды въ сутки равна

$$\frac{1000}{0,30 \times 24} + \frac{1000}{0,85 \times 24} \times 2 = 139 + 98 = 237 \text{ кв. м., между тѣмъ какъ}$$

при послѣдовательномъ перелопачиваніи песка. Промывка форфильтровъ производится 1 разъ въ недѣлю, предварительныхъ фильтровъ—1 разъ въ двѣ недѣли и англійскихъ, фильтровъ—разъ въ 1—1½ мѣсяца.

Расходы на содержаніе фильтровъ на каждые 1000 ведеръ фильтрованной воды составляютъ до 2 коп.

Форфильтры и предварительные фильтры удерживаютъ около 50% бактерий, а послѣ англійскихъ фильтровъ въ водѣ еще остается около 20% бактерий, такъ что содержаніе бактерий въ очищенной водѣ колеблется отъ 40 до 540 въ 1 куб. см., что не можетъ быть признано удовлетворительнымъ. Проектныя скорости фильтраціи такъ велики, что при весеннихъ паводкахъ вода не можетъ быть освѣтлена фильтрами; мелкая илистая муть легко проходить не только черезъ гравелистые, но и черезъ песчаные форфильтры, и условія работы англійскаго фильтра крайне неблагоприятны, и фильтры быстро засоряются. Во избѣжаніе этого приходится прибѣгать къ коагуляціи воды (5—8 пудовъ сѣрнокислаго глинозема на 400.000 ведеръ воды) съ отстаиваніемъ ея въ теченіе 5 часовъ въ отстойныхъ бассейнахъ; при наличности же отстойниковъ, гравелистые форфильтры приносятъ мало пользы.

Случаи примѣненія двойной фильтраціи и фильтровъ Пеша. Фильтрованіе на англійскихъ фильтрахъ съ префильтраціей особенно пригодно для очистки водъ, содержащихъ много взвѣшенныхъ (но не коллоидальныхъ) примѣсей и планктона, занимающихъ по качеству среднее мѣсто между прозрачными водами, содержащими мало мути (не свыше 50—75 mgr. на литръ), которыя можно подвергнуть сразу высокой по качеству очисткѣ на медленныхъ песочныхъ фильтрахъ, и водами, загрязненными растворенными или коллоидальными примѣсями, очистка которыхъ возможна только съ добавленіемъ химическихъ реактивовъ (коагулянтовъ).

Перемежающаяся фильтрація и незатопляемые песочные фильтры.

Несомнѣнно, какъ мы уже говорили, что въ процессѣ медленной фильтраціи на англійскихъ фильтрахъ участвуютъ, кромѣ механическихъ, и біологическіе факторы; но для болѣе энергичнаго проявленія ихъ, на обыкновенныхъ фильтрахъ, покрытыхъ слоемъ фильтруемой воды, слишкомъ малъ притокъ воздуха, необходимаго для жизнедѣятельности большинства микроорганизмовъ.

при обыкновенныхъ англійскихъ фильтрахъ равнялась бы

$$\frac{1000}{0,10 \times 24} = 417 \text{ кв. м.}$$

Однако, неудовлетворительные результаты очистки указываютъ на недостаточность принятыхъ площадей.

Установленъ также фактъ, что воздухъ, проникающій на фильтры, способствуетъ окисленію органическихъ веществъ въ водѣ и очисткѣ ея.

Пешъ, пуская фильтруемую воду съ одного отдѣленія своихъ фильтровъ на слѣдующее каскадами, обогащаетъ ее кислородомъ, который, вмѣстѣ съ водою, вводится затѣмъ въ толщу фильтрующаго матеріала; этимъ можно отчасти объяснить бѣольшую степень очистки отъ органическихъ примѣсей, чѣмъ въ иныхъ системахъ фильтрованія.

Наконецъ, при естественной фильтраціи воды черезъ почву, воздухъ несомнѣнно проникаетъ въ поры земли. Процессъ англійскаго фильтрованія отличается отъ естественной фильтраціи, между прочимъ, тѣмъ, что поверхность фильтрующаго песка покрыта слоемъ воды (затоплена).

Въ виду этого явилась мысль, въ подражаніе естественной фильтраціи, давать воздуху доступъ въ поры фильтрующаго слоя, заставляя фильтры работать лишь періодически, или же дѣлая ихъ незатопляемыми.

Фильтры перемежающагося дѣйствія, устроенные для опыта въ Lawrence въ 1893 г., показали, что окисленіе органическихъ веществъ и нитрификація (переходъ амміака въ азотистую и азотную кислоты) происходятъ лучше, чѣмъ въ непрерывно-работающихъ фильтрахъ, но уменьшеніе числа бактерій совершается значительно хуже. Послѣднее объясняется тѣмъ, что для достиженія равной производительности единицы площади фильтра, при перемежающейся фильтраціи приходится увеличивать скорость пропусканія воды; кромѣ того, чередующіяся фильтрованіе и аэрація вредятъ фильтрующей пленкѣ, и очищеніе воды совершается главнымъ образомъ пескомъ, почти безъ участія пленки. Какъ бы то ни было, при хорошемъ качествѣ песка и толстомъ слое его, число бактерій понижалось въ Lawrence съ 2.000—25.000 въ 1 куб. см. сырой воды до 100—400 въ фильтрованной.

Примѣненіе перемежающейся фильтраціи подходитъ для водъ, сильно загрязненныхъ органическими примѣсями, которыя нуждаются въ соприкосновеніи съ кислородомъ воздуха. Пользуясь для нихъ перемежающимися фильтрами, какъ предварительною обработкою, нѣтъ необходимости устраивать резервуары для фильтровъ, а можно ограничиться укладкою дренажныхъ трубъ подъ слоемъ песка требуемаго качества, уложеннаго взамѣнъ вынутаго грунта (если, конечно, позволяютъ климатическія условія). Однако, воды съ большимъ содержаніемъ органическихъ примѣсей лучше, по возможности, вовсе не употреблять для питья.

Незатопляемые песочные фильтры ⁶⁾ (фиг. 62) предложены извѣстнымъ французскимъ бактериологомъ Miquel; ихъ отличіе отъ англійскихъ фильтровъ въ томъ, что вода падаетъ на поверхность фильтрую-

⁶⁾ L. Baudet. Filtres à sable non sur ergé. 1908.

щаго песка въ видѣ дождя изъ трубокъ съ отверстіями, проложенныхъ на нѣкоторой высотѣ надъ пескомъ.

Фильтръ долженъ имѣть слой песка толщиною не менѣе 1,30 м., при крупности песка 0,5 мм.; общая толщина дренажа и поддерживающихъ слоевъ гравія устраивалась въ 0,22 м.

Въ началѣ работы фильтръ весьма мало задерживаетъ бактерій, но приблизительно по истеченіи 16 недѣль устанавливается содержаніе бактерій въ фильтратѣ не выше 100 въ 1 куб. см.

Фильтрующей пленки на поверхности песка вовсе не образуется, фильтрованіе воды производится исключительно слоемъ песка; поэтому работа фильтра весьма равномерна, нѣтъ опасности потревожить или разорвать пленку. Очистка фильтра потребовалась по прошествіи болѣе года.

По изслѣдованіямъ Miquel и Mouchet, въ песокъ до глубины 30 см. находится много бактерій, исчезающихъ на большей глубинѣ.

Слѣдуетъ отмѣтить дѣйствіе фильтра на *V. coli*; когда *V. coli* находилась въ сырой водѣ даже въ значительномъ количествѣ, въ фильтратѣ ея ни разу не удалось найти, даже при пробахъ большого объема. Въ песокъ *V. coli* попадались лишь до глубины 50 см. При добавленіи къ сырой водѣ тифозныхъ бациллъ и холерныхъ вибрионовъ, они также совершенно не пропускались созрѣвшимъ фильтромъ.

Химическія качества воды значительно улучшаются фильтрами этой системы.

Результаты лабораторныхъ опытовъ вполне подтвердились на большой установкѣ въ Châteaudun, работающей подъ постояннымъ контролемъ въ теченіе нѣсколькихъ лѣтъ.

Устройство незатопляемыхъ фильтровъ не должно оказаться значительно дешевле обыкновенныхъ англійскихъ фильтровъ, но уходъ за ними требуетъ меньше надзора.

Скорость фильтраціи не можетъ превосходить опредѣленной величины; однако, судя по имѣющимся опытнымъ даннымъ, послѣ созрѣванія фильтра можно спокойно допустить скорость въ 2—3 раза болѣе, чѣмъ на англійскихъ фильтрахъ (т. е. 4,8—7,2 метра въ сутки).

Сконструировано уже нѣсколько типовъ незатопляемыхъ фильтровъ, и употребленіе ихъ весьма рекомендуется во Франціи⁷⁾. Въ Германіи также считаютъ желательнымъ производство дальнѣйшихъ систематическихъ опытовъ съ ними. Однако, эти фильтры еще не вошли въ практику дѣла.

⁷⁾ „La Technique Sanitaire“, 1910, 27.

ГЛАВА V.

Американскіе (механическіе) фильтры.

Отсутствіе и высокая стоимость въ городахъ большихъ площадей земли, требуемыхъ для устройства англійскихъ фильтровъ, и необходимость удовлетворительной очистки воды при сильныхъ измѣненіяхъ ея качества, имѣющихъ мѣсто весною во время половодья, способствовали значительному успѣху американскихъ („механическихъ“) фильтровъ, съ каждымъ годомъ получающихъ все большее распространеніе.

Въ Америкѣ многія рѣки подвержены очень сильнымъ паводкамъ и въ продолженіе нѣсколькихъ мѣсяцевъ несутъ огромное количество ила, чрезвычайно мелкихъ частицъ котораго часто не могутъ задержать англійскіе фильтры; между тѣмъ нѣкоторыя отрасли промышленности, весьма распространенныя въ Америкѣ (напр., писчебумажное производство), требуютъ воды абсолютно свободной отъ взвѣшенныхъ веществъ. Для удовлетворенія ихъ требованій, возникла мысль добавлять къ водѣ коагулянты, или химическіе реактивы, вызывающіе быстрое осажденіе взвѣшенныхъ веществъ. При послѣдующемъ фильтрованіи воды оказывается возможнымъ пропускать ее черезъ песочный фильтръ со скоростью, значительно (разъ въ 50) превышающею скорость на англійскихъ фильтрахъ, такъ какъ мелкія взвѣшенныя частицы, собранныя коагулятомъ въ хлопья, легко задерживаются фильтромъ. При этомъ на поверхности фильтрующаго матеріала быстро образуется пленка, играющая роль сходную съ фильтрующею пленкою англійскихъ фильтровъ.

Таковъ основной принципъ американскихъ фильтровъ.

Первый фильтръ американской системы изобрѣтенъ Nyatt около 1883 г. и получилъ примѣненіе съ 1887 г.

Коагулированіе.

„Коагулянтами“ называются химическіе реактивы, которые, будучи прибавлены къ водѣ, соединяясь съ находящимися въ водѣ веществами, образуютъ нерастворимый хлопьевидный или студенистый осадокъ, при своемъ осажденіи увлекающій взвѣшенныя въ водѣ частицы, въ томъ числѣ мелкую муть, окрашивающія воду вещества и отчасти бактеріи.

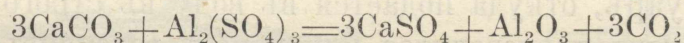
Нѣкоторая часть коагулянта и увлеченныхъ имъ изъ воды веществъ остается въ отстойникѣ, а остальные, болѣе мелкія и легкія, частицы его переходятъ вмѣстѣ съ водою на фильтръ, способствуя быстрому образованію фильтрующей пленки на его поверхности.

Для коагулированія могутъ быть примѣняемы всякаго рода химическіе реактивы, способные производить съ очищаемою водою вышеуказанный осадокъ, лишь бы они удовлетворяли требованію—не быть вредными для здоровья и не вести къ образованію въ водѣ (послѣ реакціи) вредныхъ соединеній.

Наиболѣе часто употребляются для коагулированія сѣрнокислый глиноземъ (сульфатъ алюминія, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), сѣрнокислая окись желѣза ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$), квасцы ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$) и нѣкоторые другіе реактивы. Выборъ коагулянта, наиболѣе подходящаго для очищаемой воды, и опредѣленіе требуемаго количества его производится путемъ лабораторныхъ опытовъ. Добавляемое количество коагулянта бываетъ вообще ничтожно; напр., сѣрнокислаго глинозема обыкновенно приходится добавлять 25—50 гр. на 1 куб. м. воды.

Реакція, происходящая въ водѣ при добавленіи коагулянта, состоитъ въ разложеніи его вслѣдствіе присутствія въ водѣ карбонатовъ извести и магнезій; сѣрная кислота, содержащаяся въ коагулянтѣ, соединяется съ известью или магнезіей, углекислота выдѣляется, а окись алюминія (или желѣза, если примѣняли сульфатъ желѣза), соединяясь съ водою, образуетъ грубый нерастворимый желатинистый гидратъ ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), который составляетъ свертывающее средство и осаждается въ видѣ хлопьевъ, втягивающихъ въ себя и механически увлекающихъ за собою взвѣшенные примѣси.

Реакція разложенія коагулянта, напр., сѣрнокислаго глинозема, происходитъ по уравненію:



Въ случаѣ, если вода слишкомъ мягка и содержаніе въ ней углекислой извести (или магнезій) недостаточно для разложенія такого количества коагулянта, чтобы образующійся хлопьевидный осадокъ увлекъ за собою всю муть,—приходится добавлять къ водѣ раствора извести (въ видѣ известковой воды).

Каждый нѣмецкій градусъ временной жесткости воды способенъ разложить 0,5 гр. сѣрно-глиноземной соли ¹⁾ на 1 ведро воды, или 40 гр. на 1 куб. метръ воды.

Когда количество коагулянта больше, чѣмъ можетъ соединиться съ известью и магнезіей, то онъ остается нераствореннымъ въ водѣ, придавая ей непріятный вкусъ; поэтому количество его должно быть строго рассчитано.

Послѣ коагулированія временная жесткость воды уменьшается, а постоянная (вызываемая сульфатами) увеличивается на столько же гра-

¹⁾ Продажная сѣрно-глиноземная соль содержитъ обыкновенно около 16% окиси алюминія (Al_2O_3), 35% сѣрнаго ангидрида (SO_3) и 49% воды, т. е. около 51% сѣрно-кислаго глинозема ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$).

дусовъ. Прибавленіе 1 грамма продажной сѣрно-глиноземной соли на 1 ведро воды увеличиваетъ постоянную жесткость на 2 нѣмецкихъ градуса.

Для осажденія мелкихъ илистыхъ примѣсей требуется бóльшая доза коагулянта, чѣмъ для крупныхъ.

Роль коагулянта не исчерпывается улавливаніемъ и осажденіемъ изъ воды мути (въ томъ числѣ и бактерій), не поддающейся удаленію простымъ отстаиваніемъ и фильтрованіемъ, но онъ освобождаетъ воду также отъ растворенныхъ въ ней органическихъ веществъ. Въ случаѣ значительнаго содержанія въ водѣ органическихъ веществъ гумусоваго характера (отъ примѣси болотныхъ и луговыхъ водъ), придающихъ ей желтоватый оттѣнокъ, коагулированіе не только рѣзко понижаетъ окисляемость, но также замѣтно ослабляетъ окраску воды.

Смѣшеніе воды съ растворомъ коагулянта производится въ отстойникѣ, емкость котораго бываетъ весьма разнообразна, въ зависимости отъ качества воды; въ Петербургѣ, напр., на фильтроозонной станціи отстойники рассчитаны на двухчасовое пребываніе въ нихъ воды съ коагулянтъ. Схематическій чертежъ отстойника въ Петербургѣ данъ на фиг. 124: вода изъ подводящей трубы проходитъ по лотку, гдѣ въ нее добавляется коагулянтъ, въ вертикальную трубу, стоящую въ центрѣ цилиндрическаго отстойнаго резервуара; изъ этой трубы вода поступаетъ въ резервуаръ близъ дна его, и выходитъ изъ резервуара, переливаясь черезъ верхніе края его, въ круговой каналъ, откуда по трубамъ течетъ на фильтръ.

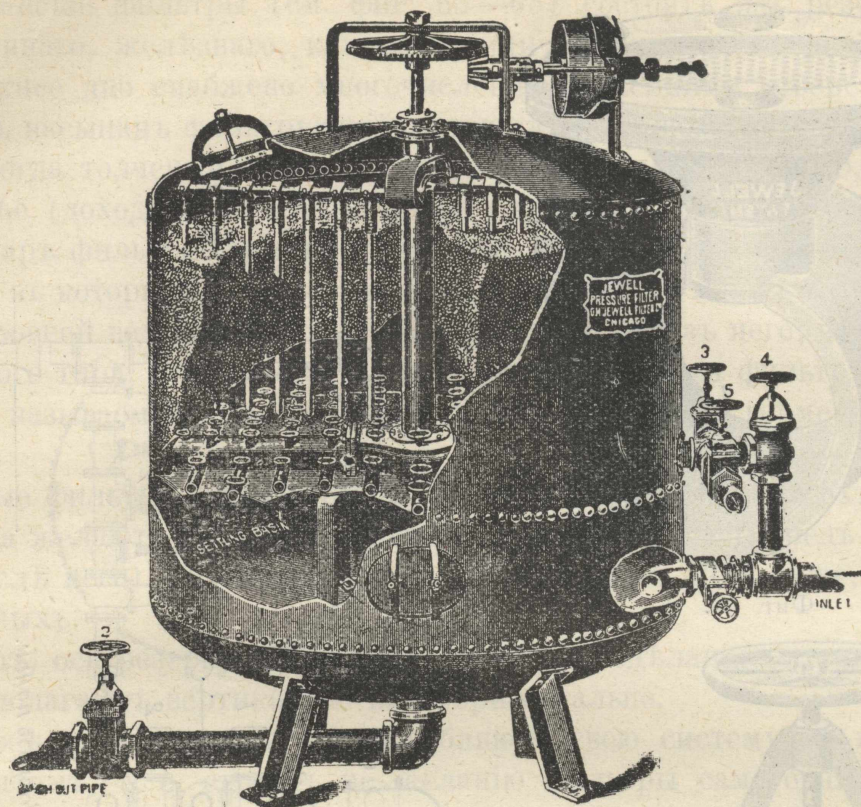
Растворъ коагулянта опредѣленной крѣпости содержится всегда въ особомъ резервуарѣ, откуда подается въ воду въ строго размѣренномъ количествѣ; подача производится или черезъ водосливъ изъ сосуда съ постояннымъ уровнемъ какъ на фиг. 101)²⁾, или черезъ калиброванный кранъ или, наконецъ, въ случаѣ постоянныхъ и значительныхъ колебаній количества воды, поступающаго въ отстойникъ, растворъ подается посредствомъ черпаковъ (захватывающихъ растворъ и вливающихъ его въ воду), приводимыхъ въ движеніе гидравлическимъ колесомъ, которое вращается поступающею въ отстойникъ водою.

Растворъ подаютъ иногда по трубкѣ прямо въ отстойникъ (на высотѣ 1,5—2 фута отъ дна), но лучше впускать его въ каналъ или трубу, подводящую воду въ отстойникъ, такъ какъ при движеніи воды растворъ лучше смѣшивается съ нею; съ тою же цѣлью, растворъ желателенъ наковъ, и они различаются лишь деталями.

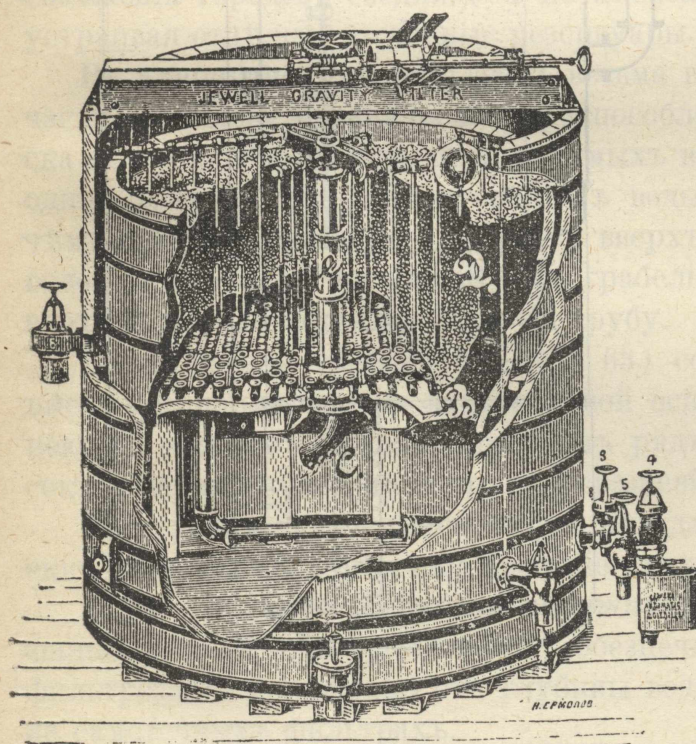
Общее описаніе устройства американскихъ фильтровъ.

Сущность устройства всѣхъ системъ американскихъ фильтровъ одинакова, и они отличаются лишь деталями.

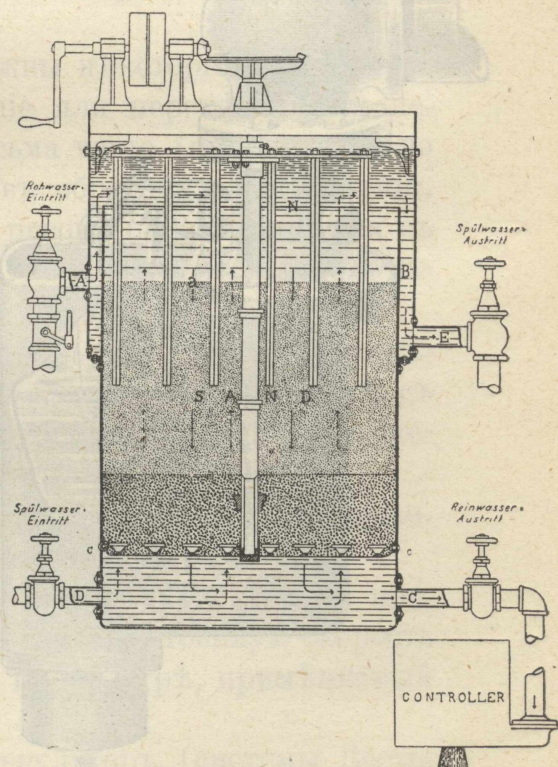
²⁾ Приспособленіе для подачи раствора хлорной извести для дезинфекціи воды.



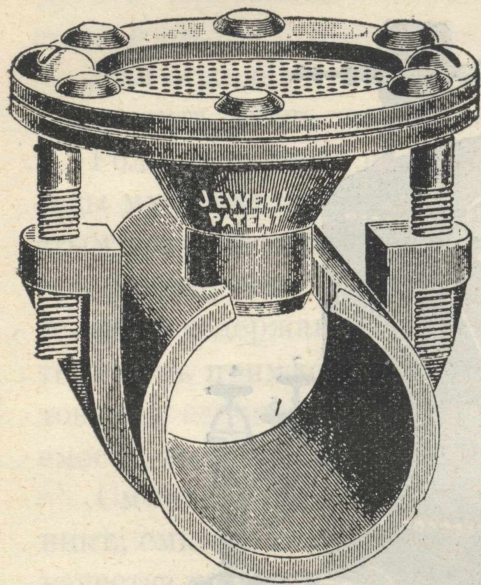
Фиг. 64.



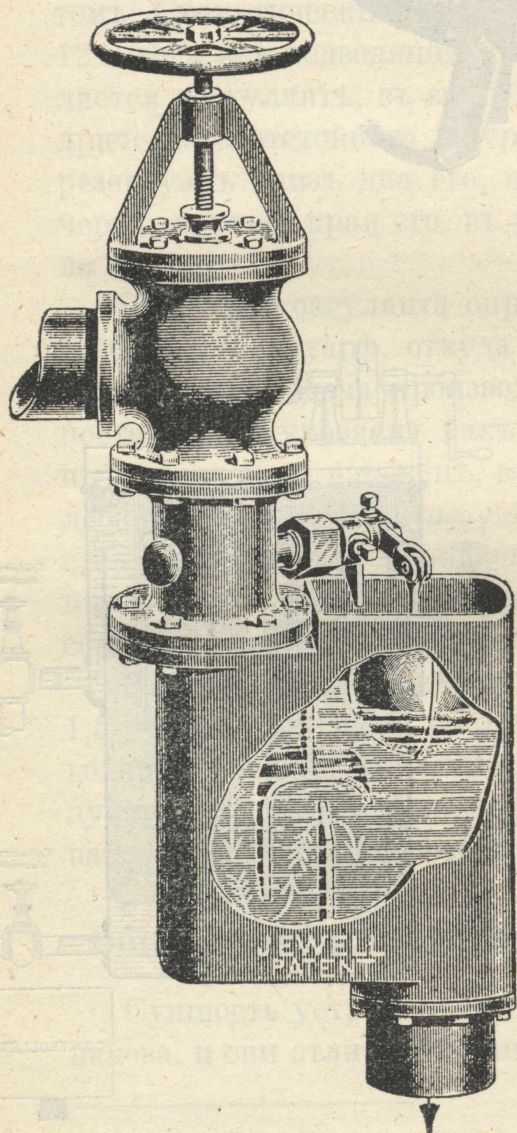
Фиг. 63.



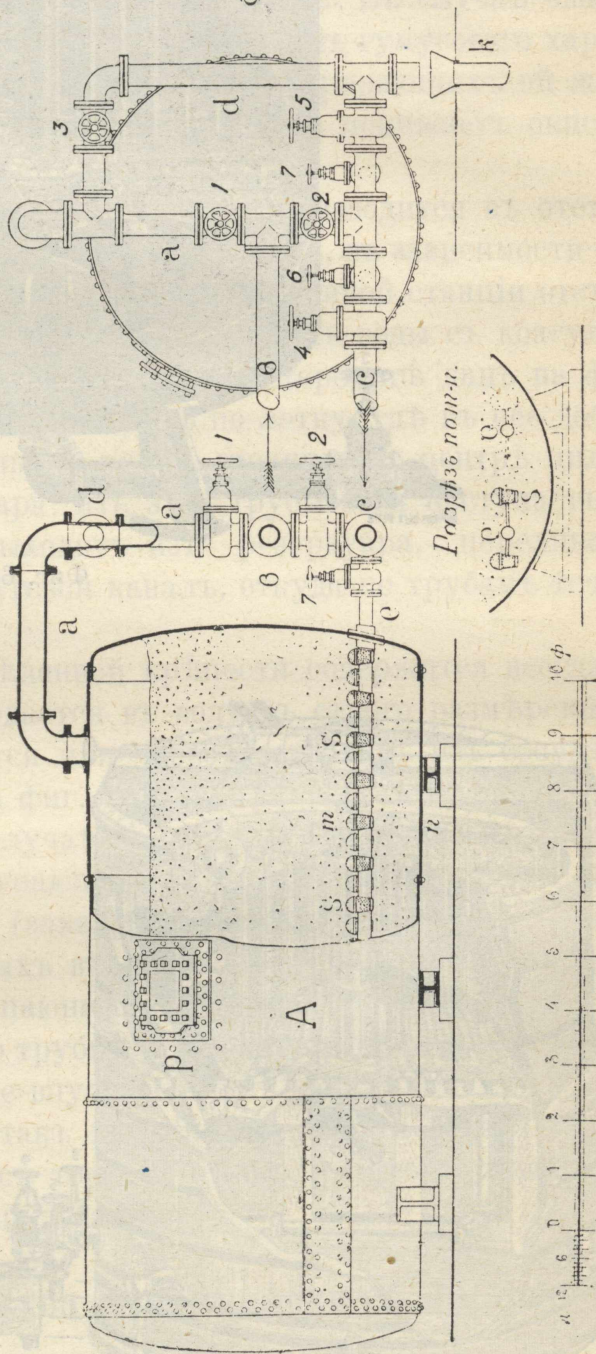
Фиг. 65.



Фиг. 66.



Фиг. 67.



Фиг. 69.

Американскіе фильтры (см. фиг. 63—65) состоятъ изъ резервуара (деревяннаго, желѣзнаго, каменнаго или бетоннаго), съ двойнымъ дномъ; верхнее дно снабжено многочисленными мелкими отверстіями. Надъ дномъ насыпанъ фильтрующий матеріалъ, обыкновенно кварцевый песокъ (иногда толченый кварцъ); толщина слоя песка 0,75—0,90 м., иногда болѣе (доходить до 1,50 м.), при крупности его 0,30—0,50 мм.

Резервуаръ фильтра бываетъ открытымъ въ т.—наз. самотечныхъ фильтрахъ, въ которыхъ фильтрованіе воды происходитъ подъ вліяніемъ разности уровней воды надъ фильтромъ и по выходѣ изъ него; въ фильтрахъ другого типа, работающих водою, нагнетаемою на фильтръ подъ напоромъ и называемыхъ напорными, резервуаръ дѣлаютъ герметически закрытымъ.

Напорные фильтры примѣняются, главнымъ образомъ, въ тѣхъ случаяхъ, когда желаютъ избѣжать двойной перекачки воды (передъ фильтромъ и послѣ него), результаты же очистки воды на нихъ хуже, чѣмъ на самотечныхъ.

Наконецъ, ось резервуара фильтра, если онъ сдѣланъ цилиндрическимъ, располагаютъ вертикально или горизонтально.

Почти всѣ конструкторы приспособляютъ свою систему ко всѣмъ этимъ условіямъ, т. е. строятъ по желанію фильтры самотечные или напорные, вертикальные или горизонтальные; фильтры бываютъ разныхъ размѣровъ, отъ небольшихъ домашнихъ фильтровъ до большихъ резервуаровъ въ нѣсколько метровъ діаметромъ и высотой. Для водоснабженія городовъ соединяютъ по нѣскольку аппаратовъ въ батарею, устраивая отдѣльно отстойные резервуары.

Въ американскихъ фильтрахъ весьма важны нѣкоторыя добавочныя части, особенно механическое приспособленіе для перемѣшиванія песка во время промывокъ, производимыхъ весьма часто (приблизительно одинъ разъ въ день) пропусканіемъ воды въ обратномъ направленіи, чѣмъ при фильтрованіи, т. е. снизу вверхъ; песокъ перемѣшивается съ водою вращеніемъ механическихъ граблей, грязь выносятся водою наверхъ и переливается въ сточную трубу.

Механическія грабли (см. фиг. 63) состоятъ изъ стержней, укрѣпленныхъ нормально къ вертикальной оси и вращающихся вмѣстѣ съ нею; на каждомъ стержнѣ насаженъ рядъ зубцовъ, входящихъ въ песокъ и перемѣшивающихъ его при вращеніи оси.

По механическимъ приспособленіямъ для промывки песка, американскіе, фильтры получили еще названіе „механическихъ“.

Важное значеніе имѣетъ *автоматическій регуляторъ* расхода про-фильтрованной воды („controller“), обеспечивающій постоянную скорость фильтрованія независимо отъ глубины воды на фильтрѣ, примѣняемый на самотечныхъ фильтрахъ.

Въ нѣкоторыхъ системахъ фильтровъ регуляторъ (системы Вестона, фиг. 67) играетъ еще и другую роль: его располагаютъ значительно

ниже дна фильтра (по крайней мѣрѣ фута на 4), чтобы вызвать высасываніе изъ фильтра, благодаря которому песокъ, стремясь опуститься, уплотняется, и фильтрованіе улучшается. Уровень вновь уложеннаго песка подъ вліяніемъ уплотненія понижается на 1 дюймъ и болѣе.

Регуляторъ Вестона (фиг. 67) состоитъ изъ чугунаго ящика съ внутренними перегородками, образующими родъ сифона, и съ шаровымъ мѣднымъ поплавкомъ, который управляетъ клапаномъ для впуска воды изъ фильтра въ регуляторъ, поддерживая постоянный уровень воды въ регуляторѣ. При постоянномъ же уровнѣ истеченіе воды изъ коробки регулятора зависитъ только отъ величины выпускнаго отверстія, которую можно измѣнять, вставляя различныя діафрагмы. Благодаря устройству регулятора въ видѣ сифона, образуется вакуумъ, высасывающій воду изъ фильтра.

Недостаткомъ напорныхъ фильтровъ является отсутствіе приборовъ для регулированія скорости фильтрованія, которая при непосредственномъ нагнетаніи воды насосами въ фильтры измѣняется по мѣрѣ засоренія фильтрующаго матеріала и, такимъ образомъ, качество фильтрата также измѣняется.

Скорость фильтрованія въ американскихъ фильтрахъ равна обыкновенно 4—5 м. въ часъ (иногда и больше, до 8 м.), т. е. въ 40—50 разъ превосходитъ скорость на англійскихъ фильтрахъ и соответствуетъ производительности 1 кв. метра фильтрующей поверхности въ 96—120 куб. м. въ сутки. Потеря напора при фильтрованіи доходитъ до 3 м. (вмѣсто 0,6—1,0 м. на англійскихъ фильтрахъ).

Очистка американскихъ фильтровъ, понятно, производится тѣмъ чаще, чѣмъ больше мути въ фильтруемой водѣ. Какъ мы уже знаемъ, весь песокъ промывается въ самомъ фильтрѣ; на промывку расходуется около 5% фильтруемаго количества воды. Обычная скорость пропуска нія промывной воды около 1 фута въ минуту, т. е. приблизительно въ 4 раза болѣе скорости фильтрованія. Очистка, повторяющаяся около 1 раза въ сутки, занимаетъ 10—20 минутъ, производится гораздо легче и обходится гораздо дешевле, чѣмъ на англійскихъ фильтрахъ. При возобновленіи работы фильтра, сначала получается неудовлетворительно очищенная вода до „возстановленія“ фильтра (пленки), но процессъ возстановленія требуетъ немного времени (около 15 мин.), и количество воды, которую приходится спускать въ водостокъ, не превосходитъ 3% общаго количества.

Промывку фильтра желательно производить фильтрованной водою; въ случаѣ же примѣненія нефилътрированной воды, передъ возобновленіемъ работы фильтра пропускаютъ черезъ него (въ нормальномъ направленіи) нѣкоторое количество чистой воды.

Наконецъ, изрѣдка производятъ стерилизацію фильтровъ (1—2 раза въ годъ, или чаще, если вода содержитъ жировыя или маслянистыя примѣси).

Стерилизацію производять горячимъ паромъ или безъ него; насыпавъ на поверхность фильтрующаго матеріала двууглекислой соды въ количествѣ около 2,5 кгр. на 1 кв. м., впускаютъ воду въ такомъ количествѣ, чтобы образовался слой глубиною въ нѣсколько сантиметровъ надъ поверхностью матеріала; всѣ дренажныя трубы должны быть закрыты. Растворъ оставляютъ часовъ на пятнадцать, затѣмъ промываютъ фильтръ какъ при обыкновенной очисткѣ.

Слѣдуетъ предпочитать стерилизацію при помощи пара; добавивъ соды и воды, какъ указано выше, впускаютъ паръ подъ напоромъ (черезъ дренажныя трубы, если нѣтъ специальныхъ трубокъ для пара); паръ доводитъ растворъ соды до кипѣнія. Черезъ 1 часъ впускъ пара прекращаютъ и промываютъ фильтръ. Послѣ стерилизаціи фильтратъ спускаютъ въ водостокъ въ продолженіи 45 минутъ.

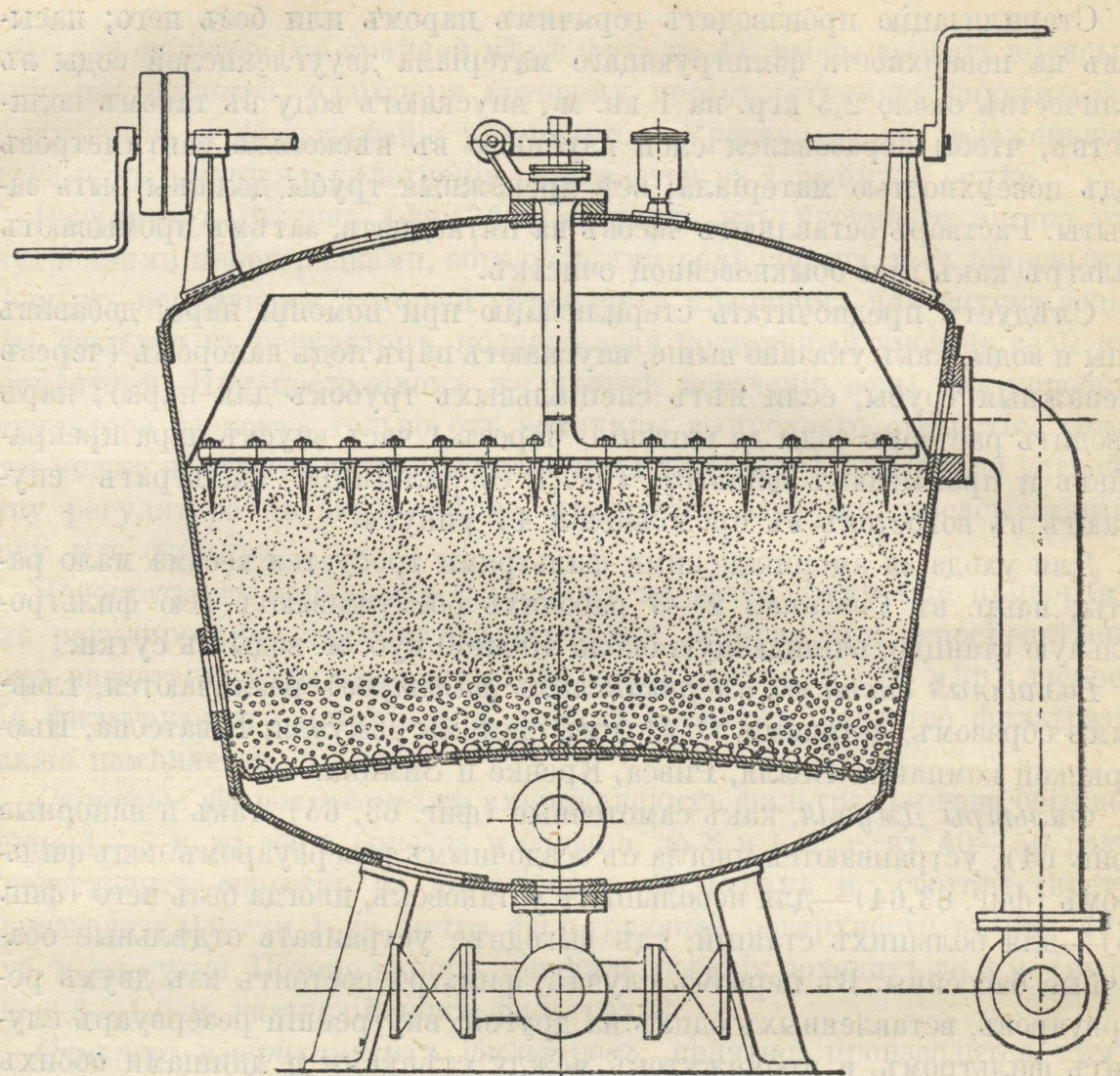
Для ухода за американскими фильтрами требуется весьма мало работы; напр. въ Cincinnati 2—3 рабочихъ обслуживаютъ всю фильтровальную станцію, очищающую около 400.000 куб. м. воды въ сутки.

Различныя системы американскихъ фильтровъ различаются, главнымъ образомъ, деталями. Отмѣтимъ системы Джуэля, Говатсона, Нью-Йоркской компаніи. Белля, Ривса, Кренке и Зимина.

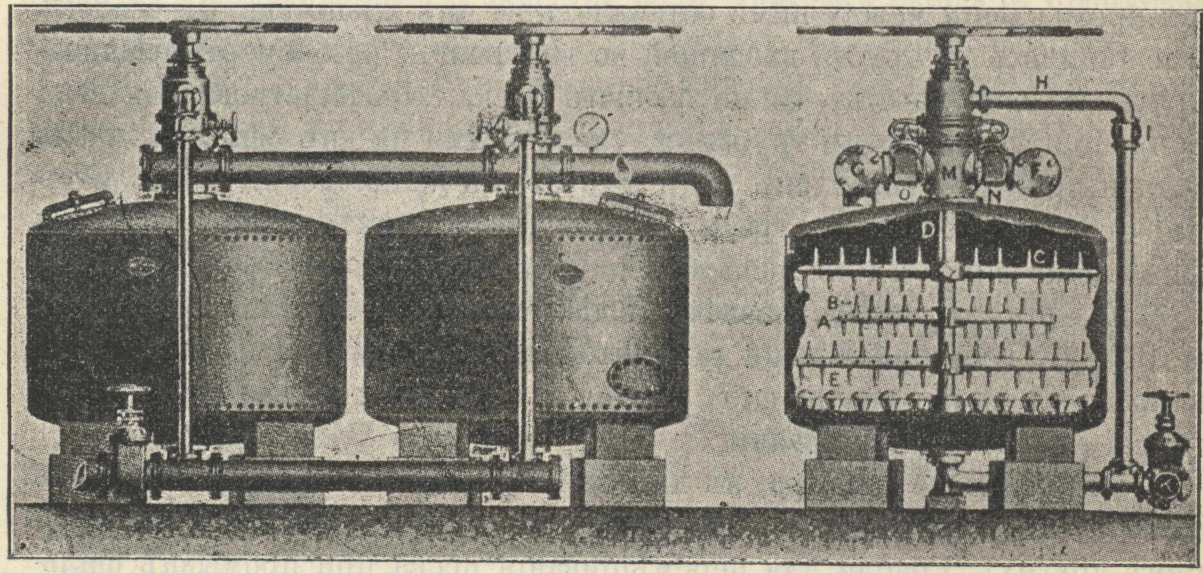
Фильтры Джуэля, какъ самотечные (фиг. 63, 65), такъ и напорные (фиг. 64), устраиваются иногда съ осадочнымъ резервуаромъ подъ фильтромъ (фиг. 63, 64)—для небольшихъ установокъ, иногда безъ него (фиг. 65)—для большихъ станцій, гдѣ выгоднѣе устраивать отдѣльные осадочные бассейны. Въ первомъ случаѣ, фильтръ состоитъ изъ двухъ резервуаровъ, вставленныхъ одинъ на другой; внутренній резервуаръ служитъ фильтромъ, а промежутокъ между стѣнками и днищами обоихъ резервуаровъ—отстойникомъ. Вода съ добавленнымъ къ ней растворомъ коагулянта поступаетъ въ промежутокъ между стѣнками резервуаровъ, при прохожденіи между ними оставляетъ на днѣ хлопьевидный осадокъ и, поднимаясь по трубѣ, входящей во внутренній резервуаръ, разливается надъ поверхностью фильтрующаго песка. Профильтрованная вода собирается дренажными трубками, уложенными на днѣ фильтра; вдоль каждой трубки установленъ рядъ дырчатыхъ колпачковъ, черезъ которые просачивается фильтратъ. Деталь дренажныхъ трубокъ Джуэля показана на фиг. 66. Изъ дренажа вода отводится въ регуляторъ Вестона.

Фильтры Джуэля устраиваются діаметромъ 6—24 фута и высотой до 14 фут. При примѣненіи регуляторовъ Вестона, для фильтрованія достаточенъ напоръ въ 14 фут., считая отъ уровня воды на фильтрѣ до уровня ея послѣ фильтрованія.

Для промывки фильтра, въ дренажъ пускаютъ воду подъ напоромъ около 6 фут.; это дѣлается закрываніемъ однихъ вентилей и открываніемъ другихъ. Грабли для перемѣшиванія песка при промывкѣ фильтра видны на фиг. 63 и 65; онѣ приводятся во вращеніе при посредствѣ коническихъ зубчатыхъ колесъ отъ какого-либо двигателя (обыкновенно ременной передачею).



Фиг. 68.



Фиг. 70.

Загрязненная промывная вода переливается через верхній край фильтровальнаго резервуара и отводится въ водостоки.

Стоимость первоначальнаго устройства и эксплуатаціи фильтровъ Джуэля, а также другихъ системъ фильтровъ, приведены ниже въ сравнительной таблицѣ, составленной по англійскимъ даннымъ.

Общее расположеніе группы фильтровъ видно на фиг. 125, представляющей открытые *фильтры Говатсона* на Петербургской фильтроозонной станціи. Фильтры Говатсона отличаются отъ Джуэлевыхъ болѣе простымъ устройствомъ дренажа (дырчатое двойное дно, безъ дренажныхъ трубокъ) и примѣненіемъ, вмѣсто естественнаго песка, толченаго кварца.

Толченый кварцъ имѣетъ передъ пескомъ то преимущество, что онъ очень твердъ и зерна его не шарообразны, а съ острыми ребрами; благодаря этому, онъ очищается гораздо лучше, чѣмъ естественный песокъ. Кромѣ того, кварцъ абсолютно не поглощаетъ воды; естественный же песокъ обыкновенно содержитъ примѣсь частицъ разныхъ сортовъ песчаника, часто мягкихъ и пористыхъ, и при постоянномъ фильтрованіи воды онѣ поглощаютъ органическія вещества и другія нечистоты. Въ концѣ концовъ частицы эти такъ загрязняются, что становится совершенно невозможнымъ промыть ихъ и приходится смѣнять весь фильтрующий матеріалъ.

Хотя толченый кварцъ гораздо дороже песка, но его преимущества такъ велики, что слѣдуетъ предпочитать его естественному песку, особенно при очисткѣ водъ, содержащихъ много органическихъ примѣсей. Толченый кварцъ почти никогда не требуетъ возобновленія, если благодаря конструкціи аппарата не бываетъ потерь кварца (вымыванія) при его промывкѣ.

Фильтръ Ривса (фиг. 68) имѣетъ форму усѣченнаго конуса, обращеннаго широкимъ основаніемъ кверху; при этой формѣ вода не можетъ скользить внизъ по стѣнкамъ, не профильтровавшись. Фильтрующимъ матеріаломъ служитъ раздробленный кварцъ, крупность котораго постепенно увеличивается книзу. Взамѣнъ дренирующихъ трубокъ, имѣется двойное дно, съ отверстіями въ верхнемъ днѣ. Фильтръ этотъ работаетъ или подъ напоромъ, или при большой разности уровней воды до и послѣ фильтрованія.

Фиг. 69 представляетъ напорный *фильтръ Нью-Йоркской Компаніи*, состоящій изъ закрытаго желѣзнаго горизонтальнаго цилиндра, наполненнаго пескомъ. Главное отличіе его отъ фильтровъ Джуэля—отсутствіе особыхъ приспособленій для перемѣшиванія песка.

Фильтръ Белля (фиг. 70), работающій подъ большимъ напоромъ (отъ 2 до 20 атмосферъ ³⁾), отличается отъ Джуэлевскаго болѣе разработанными приспособленіями для промывки песка. Промывная (филь-

³⁾ Установки въ Bury, Crewe, Polton и Linwood.

трованная) вода направляется не только снизу вверхъ черезъ дренажъ, но и черезъ мѣшалки, составленныя изъ полыхъ трубокъ съ дырчатыми стѣнками; ось вращения мѣшалокъ также полая, и черезъ нее подается вода, которая разбрызгивается черезъ отверстія трубокъ тонкими струйками. На чертежѣ (фиг. 170) приняты слѣдующія обозначенія: *A* — клапаны на полыхъ стержняхъ (мѣшалкахъ); *B* — зубцы на мѣшалкахъ; *C* — полые стержни (мѣшалки), содержащіе воду для промыванія; *D* — полая ось вращения мѣшалокъ; *E* — дырчатые сосуны; *F* — водосливная труба для неочищенной воды; *G* — выпускная труба для очистки фильтра; *H* — главная труба; *J* — вертикальный промывной клапанъ; *K* — выходъ фильтрованной воды; *L* — желѣзная оболочка фильтра; *M* — главный патрубокъ, укрѣпленный на оболочкѣ; *N* — впускной клапанъ для неочищенной воды; *O* — выпускной клапанъ.

Изъ механическихъ фильтровъ, сконструированныхъ въ Европѣ, отмѣтимъ фильтры Кренке и Н. П. Зими́на.

Фильтръ Кренке (фиг. 71) представляетъ горизонтальный цилиндръ съ двойными днищами, причемъ внутреннія днища сдѣланы изъ частой мѣдной сѣтки; посредствомъ такихъ же сѣтокъ выдѣлена средняя (по длинѣ) часть цилиндра. Промежутки между сѣтчатымъ днищемъ и ближайшею къ нему внутреннею сѣткою заполнены фильтрующимъ пескомъ; сырая вода поступаетъ по полой оси цилиндра, лежащей на подшипникѣ и соединенной (сальникомъ) съ неподвижною подводящею трубою, и просачивается черезъ песокъ въ горизонтальномъ направленіи (съ концовъ къ срединѣ цилиндра). Средняя камера служитъ для сбора чистой воды, вытекающей съ фильтра также по трубѣ, совпадающей съ осью цилиндра, но съ другой стороны его, чѣмъ приводная труба. Очистка производится обратною струею чистой воды подъ напоромъ, при вращеніи цилиндра около оси, которое вызываетъ передвиженіе песка и перемѣшиваніе его съ промывною водою.

Вертикальное расположеніе фильтрующихъ поверхностей, принятое Кренке, увеличивая полезную площадь фильтра, сильно ухудшаетъ результаты фильтраціи, такъ какъ при немъ не можетъ быть равномернаго образованія фильтрующей пленки изъ осѣвшаго коагулянта. Поэтому фильтръ Кренке можно примѣнять лишь для удаленія грубыхъ взвѣшенныхъ веществъ, но не для бактеріальной очистки воды.

Напорный фильтръ Н. П. Зими́на (фиг. 72) состоитъ изъ вертикальнаго желѣзнаго цилиндра, наполненнаго пескомъ, въ которомъ по окружности установленъ рядъ трубокъ *nn*, подводящихъ сырую воду, и центральная трубка *C* (большаго діаметра), собирающая очищенную воду. Сырая вода съ добавленнымъ къ ней коагулянтомъ поступаетъ въ трубки *nn* изъ кольцевой коробки *B*, служащей основаніемъ фильтра. Чистая вода отводится изъ центральной трубки *C* сверху ея. Всѣ трубки *n* и *C* желѣзныя съ дырчатыми стѣнками, обтянутыми частою мѣдною сѣткою.

При промывкѣ фильтра, кромѣ обратной струи воды, можно пользоваться струею пара, вводимого по особой трубкѣ вверху цилиндра. Недостаткомъ фильтра Зимина, какъ и Кренке, является вертикальное расположеніе фильтрующихъ поверхностей.

Для уменьшенія площади, занимаемой американскими фильтрами, ихъ располагаютъ одинъ надъ другимъ въ нѣсколько этажей.

Какъ примѣры большихъ установокъ для очистки воды американскими фильтрами укажемъ станцію въ Петербургѣ для очистки 50000 куб. м. воды въ сутки, оборудованную фильтрами Говатсона, съ постѣдующею стерилизаціею воды озономъ (описаніе см. ниже), выстроенную въ 1910 г., и станцію въ Цинциннати, работающую съ 1907 г.⁴⁾

Фильтровальная станція въ Цинциннати выстроена на основаніи продолжительныхъ опытовъ съ американскими фильтрами и рассчитана на очистку 35 милліоновъ ведеръ (=430000 куб. м.) въ сутки.

Въ виду большого размѣра станціи, сдѣланы нѣкоторыя упрощенія конструкціи фильтровъ.

Вода (изъ р. Огіо) берется въ 12 клм. отъ города вверхъ по теченію рѣки и подается по двумъ чугуннымъ трубамъ ($d=60$ дм.) въ отстойники, расположенные на 60 метровъ выше уровня рѣки.

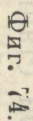
Все задвижки насосной станціи поршневыхъ гидравлическія.

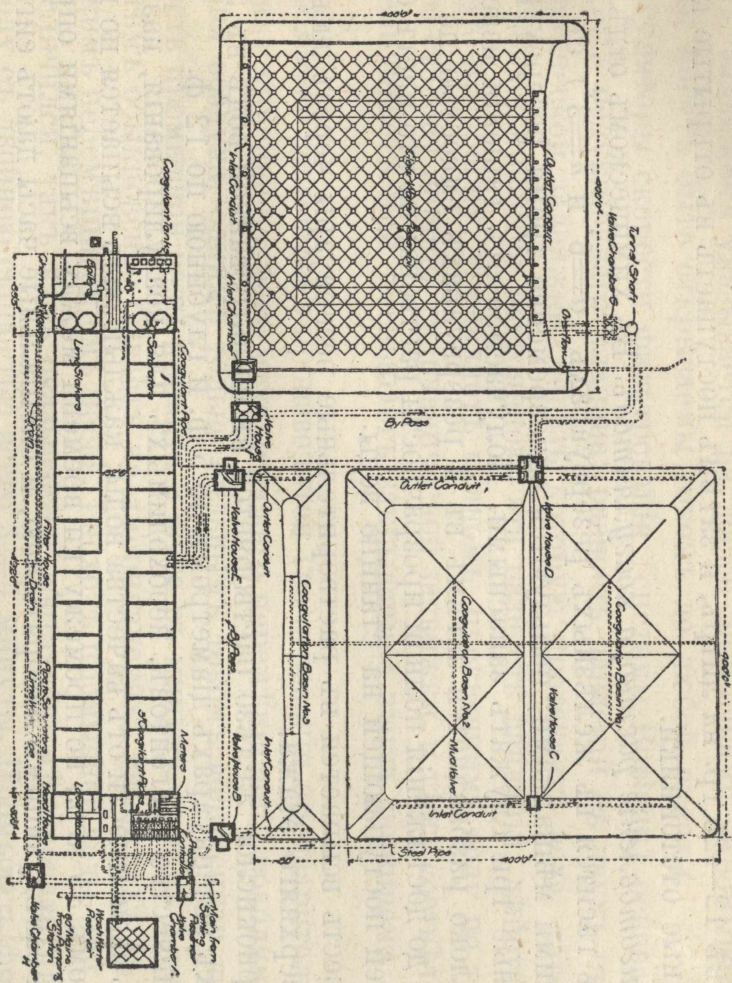
Отстойники, числомъ два, общемою емкостью 100 милліоновъ ведеръ, устроены въ видѣ прудовъ въ долинахъ двухъ небольшихъ притоковъ р. Огіо, прегражденныхъ запрудами; для достиженія непроницаемости дна и наклонныя стѣнки бассейновъ выложены слоемъ глины въ 3 фута, покрытымъ слоемъ щебня и бетона въ 0,5 фута и двойнымъ слоемъ асфальта. Этими отстойными прудами пользуются поочередно; слѣд., отстаиваніе продолжается около 36 часовъ. Вокругъ прудовъ проложены напорныя трубы съ гидрантами для промывки прудовъ посредствомъ рукавовъ.

Коагулированіе. Изъ отстойныхъ прудовъ вода берется съ постоянной глубины 3 фут. отъ поверхности⁵⁾ и по двумъ трубамъ ($d=60''$) направляется къ фильтровальной станціи (фиг. 73); при входѣ на станцію вода поступаетъ въ 6 параллельныхъ трубъ ($d=36$ дм.), снабженныхъ регуляторами давленія (такъ какъ уровень воды въ отстойныхъ прудахъ на 10 м. выше, чѣмъ на фильтрахъ). Въ небольшой камерѣ къ водѣ прибавляется коагулянтъ—сѣрноокислое желѣзо (въ количествѣ 16—40 гр. на литръ), растворъ котораго протекаетъ сюда изъ химическаго отдѣленія по 3-дюймовой трубѣ. Перемѣшиваніе производится небольшими пропеллерными насосами. Далѣе вода проходитъ черезъ водомѣры Вентури въ помещеніе задвижекъ, въ которомъ къ ней

⁴⁾ „Engineering Record“, 1907 (6 апрѣля, 8 апрѣля), 1908 (1 февраля), 1909 (16 января). См. также докладъ Н. П. Зимина 9-му Водопроводному Съѣзду.

⁵⁾ Посредствомъ подвѣшиванія приѣмныхъ концовъ трубъ къ поплавку.





Фиг. 73.

добавляется известковая вода (подаваемая по трубѣ $d=24$ дм.), въ количествѣ 12—25 гр. на литръ, и затѣмъ поступаетъ въ открытые коагуляціонные отстойники.

Приготовление раствора коагулянтовъ. Въ химическомъ отдѣленіи известь гасится въ желѣзныхъ резервуарахъ ($d=6'$ и $h=3'$) съ механическими мѣшалками; пользуются одновременно тремя резервуарами, остальные три служатъ запасными. Получаемое отъ гашенія известковое молоко разбавляется затѣмъ въ 4 резервуарахъ емкостью по 8000 ведеръ до достиженія полной прозрачности раствора; на это идетъ около 5% всей поступающей на станцію воды.

Известь всыпается въ растворительные резервуары черезъ люки въ полу верхняго этажа.

Сѣрнокислое желѣзо растворяется въ фильтрованной водѣ въ 5 желѣзныхъ резервуарахъ діаметромъ по 5 ф. и глубиною по 12 ф.

Количество реагентовъ, необходимыхъ для коагулированія, назначается въ зависимости отъ качества воды; каждый разъ всыпается по мѣшку въсомъ 35 кгр., но промежутки времени между всыпаніями опредѣляются завѣдующимъ лабораторіею, и спеціальныя часы даютъ сигнальные звонки черезъ назначенные равныя промежутки времени. Такимъ образомъ, не требуется развѣшиванія реактивовъ, и они разводятся двумя рабочими, всыпающими по мѣшку при каждомъ звонкѣ часовъ.

Отстойниковъ коагулированной воды устроено 3: два вмѣстимостью по 3 милліона ведеръ и одинъ на $\frac{1}{2}$ милліона; соединяя эти отстойники, можно достигнуть продолжительности отстаиванія отъ 2 до $4\frac{1}{2}$ часовъ. Теченіе воды по отстойникамъ направляется перегородками. Дно отстойниковъ имѣетъ уклонъ; осадки отводятся по дренажнымъ трубамъ. Въ случаѣ надобности можно вводить добавочное количество коагулянтовъ на пути отъ отстойниковъ къ фильтрамъ.

Скорые фильтры устроены въ числѣ 28, каждый на $1\frac{1}{2}$ милліона ведеръ въ сутки, поверхностью по $32' \times 50' = 1600$ кв. ф. Скорость фильтрованія 170 дм. = 430 м. въ часъ. Для удобства ремонта каждый фильтръ раздѣленъ стѣнкою на двѣ независимыхъ половины.

Фильтры расположены въ два ряда по обѣ стороны галлерей распределительныхъ трубъ, въ крытомъ отопляемомъ помѣщеніи. (Фиг. 74). Вся конструкція желѣзо-бетонная.

Толщина фильтрующаго слоя песка—30 дм. = 76 см.; эффективная крупность песка 0,35 мм., коэффициентъ однородности 1,60.

Дренажъ состоитъ изъ вертикальныхъ трубокъ, входящихъ въ желобчатое бетонное дно (фиг. 75), углубленія котораго засыпаны гравіемъ крупностью отъ $\frac{1}{12}$ дм. до 1 дм.; сверхъ гравія положена проводочная латунная сѣтка съ отверстіями въ $\frac{1}{10}$ дм., удерживающая гравій при промывкѣ, сѣтка эта закрѣплена въ бетонѣ болтами.

Всѣ задвижки фильтровальной станціи снабжены электромоторами и управляются съ распределительной доски. Открытое или закрытое по-

ложеіе задвижекъ указывается на доскѣ лампочками. Промывныя задвижки могутъ быть открываемы токомъ до любой высоты.

Регуляторы скорости фильтрованія (системы Вивіани) основаны на принципѣ редукціоннаго клапана: разность давленій съ двухъ сторонъ гидравлической задвижки, черезъ которую протекаетъ вода, автоматически поддерживается постоянною; эта разность давленій, дѣйствуя на упругую діафрагму, управляетъ краномъ, пускающимъ воду по ту или другую сторону поршня гидравлической задвижки, и тѣмъ соотвѣтственно увеличиваетъ или уменьшаетъ закрываемое этимъ поршнемъ отверстіе.

Промывка фильтровъ производится (на основаніи предварительныхъ опытовъ) упрощенно, безъ механическаго перемѣшиванія граблями или вдуванія воздуха, однимъ только сильнымъ токомъ воды снизу вверхъ. Скорость промывной воды принята 2 фута въ минуту, т. е. въ 2 раза болѣе, чѣмъ обыкновенно бываетъ на американскихъ фильтрахъ съ механическимъ перемѣшиваніемъ песка. Расходъ промывной воды при этомъ не увеличился, такъ какъ оказывается достаточнымъ пускать промывную воду съ двойною скоростью всего 3—4 минуты. Промывать фильтръ приходится черезъ 20—30 часовъ; фильтръ выключается изъ работы на 10—15 минутъ.

При началѣ промывки пускаютъ промывную воду тихо; при этомъ загрязненная фильтрующая пленка поднимается цѣликомъ вверхъ и удаляется черезъ сливные желоба, расположенные на 30 дм. надъ поверхностью фильтрующаго песка. Когда такимъ образомъ большая часть веществъ, загрязняющихъ фильтръ, удаляется не смѣшиваясь съ пескомъ, промывная вода пускается сильною струею. Песокъ взмывается водою, поднимается ею и держится въ возвышенномъ положеніи, такъ что поверхность его на 15 дм. выше нормальной. По прекращеніи промывки песокъ осѣдаетъ, хорошо отсортировываясь: крупныя частицы ложатся внизу, мелкія наверху, что весьма благопріятно для фильтрованія.

Промывная вода поступаетъ въ фильтръ снизу черезъ дренажъ (подъ давленіемъ $\frac{1}{2}$ атмосферы) изъ особаго резервуара, расположеннаго на сосѣднемъ холмѣ, емкостью 60000 ведеръ (запасъ, достаточный для промывки двухъ фильтровъ въ теченіе 4 минутъ), изъ котораго вода подводится трубою ($d=36''$, длиною около 120 м.). Для подачи фильтрованной воды въ этотъ резервуаръ, установлены два центробѣжныхъ электронасоса на 45000 ведеръ въ часъ каждый.

Насосы эти приводятся въ дѣйствіе и останавливаются включеніемъ и выключеніемъ электрическаго тока отъ поплавка въ резервуарѣ, такъ что резервуаръ наполняется автоматически.

Резервуаръ очищенной воды. Фильтрованная вода изъ каждаго фильтра выходитъ черезъ регуляторы по 30'' трубамъ въ сборную 60'' трубу и самотекомъ направляется въ резервуаръ чистой воды, расположенный

рядомъ съ фильтровальной станціей; емкость резервуара 6 милліоновъ ведеръ, площадь $400 \times 400 = 160000$ кв. фут. Резервуаръ сдѣланъ открытымъ, но фундаментъ устроенъ такъ, чтобы можно было перекрыть резервуаръ сводами.

Подача воды въ городъ. Вода изъ резервуара идетъ самотекомъ по 7' кирпичному туннелю (длиною около 7 километровъ) къ насосной станціи, расположенной въ городѣ и нагнетающей воду въ сѣть.

Стоимость устройства фильтровальной станціи (не включая стоимости большихъ прудовъ—отстойниковъ и насосныхъ станцій) около $2\frac{1}{2}$ милліоновъ рублей, т. е. по 7 коп. на суточное ведро (или 5 р. 60 к. на 1 куб. м.). Изъ этой суммы, въ круглыхъ числахъ, приходится на стоимость фильтровъ вмѣстѣ со зданіемъ 1 милл. руб., чугунные трубопроводы 0,5 милл. руб., коагуляціонные отстойники съ приспособленіями 0,5 м. р., резервуаръ чистой воды 0,25 м. р. и на лабораторію вмѣстѣ съ химическимъ отдѣленіемъ и ихъ оборудованіемъ 0,25 м. р.

Фильтрованіе воды въ теченіе 1908 г. обошлось 130000 руб., т. е.

$$\frac{130000 \times 100 \times 100}{35000000 \times 360} = 0,103 \text{ коп. за } 100 \text{ ведеръ.}$$

Результаты очистки воды американскими фильтрами.

Для выясненія дѣйствія американскихъ фильтровъ особенно существенны слѣдующіе вопросы:

- 1) Не ухудшаетъ ли качества воды добавленіе къ ней коагулянта.
- 2) Обладаетъ ли искусственная пленка, образующаяся на фильтрѣ вслѣдствіе присутствія коагулянтовъ, одинаковыми свойствами съ пленкою англійскихъ фильтровъ.
- 3) Каковы результаты очистки въ бактериологическомъ отношеніи.
- 4) Всякую ли воду можно и желательно очищать на американскихъ фильтрахъ.

Добавленіе къ очищаемой водѣ коагулянтовъ и въ частности наиболѣе распространеннаго изъ нихъ—сѣрнокислаго глинозема, повидимому, совершенно безразлично съ гигиенической точки зрѣнія, лишь бы реактивъ былъ химически чистымъ; соединенія глинозема попадаютъ и въ естественныхъ водахъ. Помимо этого, искусственно добавленный глиноземъ вполнѣ разлагается при коагуляціи, и получающееся въ водѣ изамѣнъ него небольшое количество гипса (увеличивающее постоянную жесткость воды) съ гигиенической точки зрѣнія не представляетъ неудобствъ. Слѣдуетъ только избѣгать добавленія сѣрнокислаго глинозема въ такомъ количествѣ, чтобы при недостаточномъ содержаніи углекислой извести въ водѣ могла образоваться свободная сѣрная кислота.

Далѣе, сѣрнокислый глиноземъ, имѣющійся въ продажѣ, нерѣдко содержитъ около 1% мышьяка; однако, большая часть этого мышьяка выпадаетъ въ отстойномъ резервуарѣ въ видѣ нерастворимаго мышьяко-

во-кислаго или мышьяковисто-кислаго алюминія. Возраженія противъ обогащенія воды мышьяковистыми соединеніями слѣдуетъ считать скорѣе теоретическими и не имѣющими практическаго значенія, такъ какъ до сихъ поръ въ Америкѣ неизвѣстно ни одного случая разстройства здоровья отъ употребленія воды, очищенной съ добавленіемъ коагулянтовъ.

Многіе изслѣдователи занимались вопросомъ, является ли искусственная пленка американскихъ фильтровъ такимъ же надежнымъ средствомъ задержанія бактерій, какъ пленка, образующаяся естественнымъ путемъ на англійскихъ фильтрахъ. *Bitter* и *Gottschlich* ⁶⁾ нашли у американскихъ фильтровъ черезъ 30 минутъ послѣ начала ихъ работы такую задерживающую способность, что безъ всякихъ опасеній можно было употреблять фильтратъ, какъ питьевую воду. Специфическія бактеріи проходили въ это время въ количествѣ 1 изъ 10000, находившихся въ сырой водѣ; съ нѣкотораго же момента (черезъ 1—2 часа послѣ начала работы фильтра) проходила 1 изъ 15000 бактерій, между тѣмъ какъ въ первые полчаса проходила одна изъ 2000—3000 бактерій.

Число обычныхъ въ водѣ безразличныхъ бактерій, по прошествіи получаса, было во всѣхъ опытахъ ниже 100 въ 1 куб. см. фильтрата, и въ большинствѣ изъ нихъ ниже 50. Эти бактеріи, по большей части, не принадлежали къ числу бактерій сырой воды (т. е. попали въ воду изъ фильтра).

Слѣдуетъ отмѣтить, что при процессѣ отстаиванія съ коагулянтами число бактерій въ сырой водѣ понижалось на 15—75%.

По изслѣдованіямъ *Шрейбера* ⁷⁾ надъ фильтрами Джуэля, скорость фильтрованія можетъ быть значительно повышена противъ общепринятой величины 5 метровъ въ часъ ⁸⁾, причемъ способность ихъ задерживать бактерій остается равною медленнымъ песочнымъ фильтрамъ. Наблюдавшееся имъ уменьшеніе числа бактерій сырой воды равнялось 91,3—99,6%.

Со стороны удаленія мути и окраски американскіе фильтры несравненно превосходятъ англійскіе; какъ разъ то обстоятельство, что въ Америкѣ часто приходится пользоваться для водоснабженія весьма мутною и окрашенною въ зеленый цвѣтъ водою, какъ мы упоминали, привело къ распространенію въ Америкѣ этихъ фильтровъ преимущественно передъ англійскими.

Однако, не при всякой водѣ можно достичь хорошихъ результатовъ на американскихъ фильтрахъ безъ добавочной обработки. Во-первыхъ, при очень мягкой водѣ, какъ мы уже говорили, не можетъ быть образо-

⁶⁾ Bitter und Gottschlich. „Zeitschrift für Hygiene“ 1908, № 59, 379.

⁷⁾ Schreiber. „Mitteilungen aus der Königlichen Prüfungsanstalt für Wasserversorgung und Abwässerbeseitigung“, 1906, VI, 88.

⁸⁾ Въ Америкѣ скорость фильтраціи иногда доводятъ до 8 м. въ часъ.

ванія хлопьевъ коагулянта, и вода можетъ пріобрѣсти нежелательное содержаніе неразложившагося коагулянта. Во избѣжаніе этого, къ мягкой водѣ приходится добавлять извести, а иногда еще добавляютъ небольшое количество соды.

Во-вторыхъ, вода съ высокимъ содержаніемъ мелкихъ илистыхъ частицъ и особенно планктона (послѣднее иногда встрѣчается въ водовмѣстилищахъ со стоячею водою) требуетъ добавленія большого количества коагулянта, при этомъ фильтръ быстро засоряется, требуемое давленіе на фильтръ быстро повышается, качество фильтрата ухудшается, и приходится часто очищать фильтръ. Поэтому при большомъ содержаніи ила и планктона выгоднѣе и лучше удалять часть примѣсей изъ воды передъ фильтрованіемъ, напримѣръ, пропуская воду у водопріемника черезъ мелкія сѣтки или даже черезъ слой матеріи (натянутой на раму, взаимныя сѣтки).

Наконецъ, для воды, характеръ и степень мутности которой сильно и постоянно измѣняются въ теченіе года, при примѣненіи американскихъ фильтровъ пришлось бы постоянно измѣнять количество добавляемыхъ коагулянтовъ, т. е. требовались бы постоянные анализы воды и постоянный тщательный надзоръ за процессомъ фильтрованія. Поэтому такую воду, вообще говоря, предпочтительнѣе фильтровать на англійскихъ медленныхъ фильтрахъ или же, въ случаѣ высокаго содержанія въ ней мути, комбинировать американскіе и англійскіе фильтры, примѣняя первые какъ предварительную обработку воды (для освѣтленія ея) передъ окончательною очисткою ея на англійскихъ фильтрахъ, дающихъ при освѣтленной водѣ фильтратъ болѣе или менѣе постояннаго качества⁹⁾.

Такимъ образомъ, американскіе фильтры, являясь пригодными для очистки почти всѣхъ водъ (при соответственномъ выборѣ и количествѣ коагулянта), оказываются специально примѣнимыми, предпочтительно передъ всѣми другими системами, для водъ съ постояннымъ большимъ количествомъ мути; при постоянствѣ содержанія мути уходъ за американскими фильтрами чрезвычайно простъ, а большое количество мути можетъ быть хорошо удалено только этими фильтрами.

Стоимость устройства американскихъ фильтровъ, вообще говоря, меньше, чѣмъ англійскихъ. Благодаря значительной скорости фильтраціи они занимаютъ весьма малую площадь, что заставляетъ по экономическимъ соображеніямъ отдавать имъ особенное предпочтеніе въ мѣстахъ, гдѣ дорога земля, а также дѣлаетъ ихъ удобными для установки въ отдѣльныхъ домахъ; въ послѣднемъ случаѣ чаще примѣняютъ закрытые фильтры, дѣйствующія подъ напоромъ (пользуясь напоромъ городской водопроводной сѣти).

⁹⁾ „Friedberger „Zeitschrift für Hygiene“, 1908, стр. 379.

ТАБЛИЦА

сравнительной стоимости американскихъ фильтровъ различныхъ системъ.

Отнесено къ расходу воды 1000 куб. метровъ въ сутки.

Цѣны по англійскимъ даннымъ; принято 1 ф. ст.=9 руб. 60 коп. Стоимость запаснаго резервуара чистой воды не включена.

	Д ж у э л ь .	Б е л л ь .	Р и в с ь .	К а н д и .
Фильтрующая площадь	9,3 кв. м.	6,2	20	6,5
Стоимость устройства	9.500 руб.	4.650.	5.300	4.700
Суточная стоимость эксплуатаціи не (включая процентовъ).	1,27 руб.	1,06	Не вполне установле- но. Приблизительно какъ для ф. Белля.	0,21
Какъ часто промывается фильтръ	1 или 2 раза въ день.	Отъ 1 раза въ день до 1 раза въ 3 дня.	Обыкновенно 1 разъ въ день.	Отъ 1 раза въ день до 1 раза въ 3 дня.
Продолжительность полученія негодной для по- требленія воды послѣ промывки фильтра . .	15 минутъ.	При прибавленіи сѣрнокислаго глино- зема, нѣсколько минутъ.	3—5 минутъ.	Нѣсколько минутъ.
Количество промывной воды въ ‰ отъ коли- чества фильтруемой	2 ¹ / ₂ —5‰.	1‰ или менѣе.	Около 2‰.	1 ¹ / ₂ ‰.
Срокъ службы фильтра	50 лѣтъ.	Равенъ сроку службы желѣзн. мостовъ.	Не менѣе 15 лѣтъ.	50 лѣтъ.
Приспособленія для регулированія количества добавляемыхъ реактивовъ (коагулянтовъ) . .	Устроены специаль- ныя регулирующія отверстія.	Придѣланъ автома- тический регуляторъ.	Регуляторъ съ шаро- вымъ клапаномъ, или же небольшой на- сосъ съ водянымъ двигателемъ.	Не требуется.

Стоимость очистки воды на американскихъ фильтрахъ, вслѣдствіе примѣненія коагулянтовъ, нѣсколько выше, чѣмъ на англійскихъ, хотя близка къ ней.

Приведемъ нѣкоторыя цифры сравнительной стоимости эксплуатаціи стнесенныя къ 1 миллиону галлоновъ воды, въ шиллингахъ ¹⁰⁾).

Авторитетъ.	Городъ		Стоимость фильтраціи обыкновенной механической.	
Fuller	Cincinnati		10,35	9,96
Hazen	Pittsburg		10,53	10,78
Miller	Waschington.		8,50	8,76

Въ прилагаемой таблицѣ приведены сравнительныя данныя о фильтрахъ различныхъ системъ (по англійскимъ источникамъ).

Итакъ, главнымъ препятствіемъ къ распространенію американскихъ фильтровъ служитъ чуткость ихъ (въ частности, чуткость процесса коагулированія) къ измѣненіямъ состава воды, а отчасти также меньшая увѣренность европейскихъ изслѣдователей ¹¹⁾ въ обеспеченности бактериальной чистоты фильтрата, которая, однако, не находитъ себѣ основаній въ многолѣтнемъ опытѣ американскихъ городовъ.

¹⁰⁾ Цитируемъ по Черепашинскому, „Водоснабженіе“, стр. 167.

¹¹⁾ Friedberger — вышеуказанная статья.

Hilgermann. — „Vierteljahresschrift für Medizin und öffentliches Sanitätswesen“, 1906, 36.

ГЛАВА VI.

Фильтры особыхъ системъ.

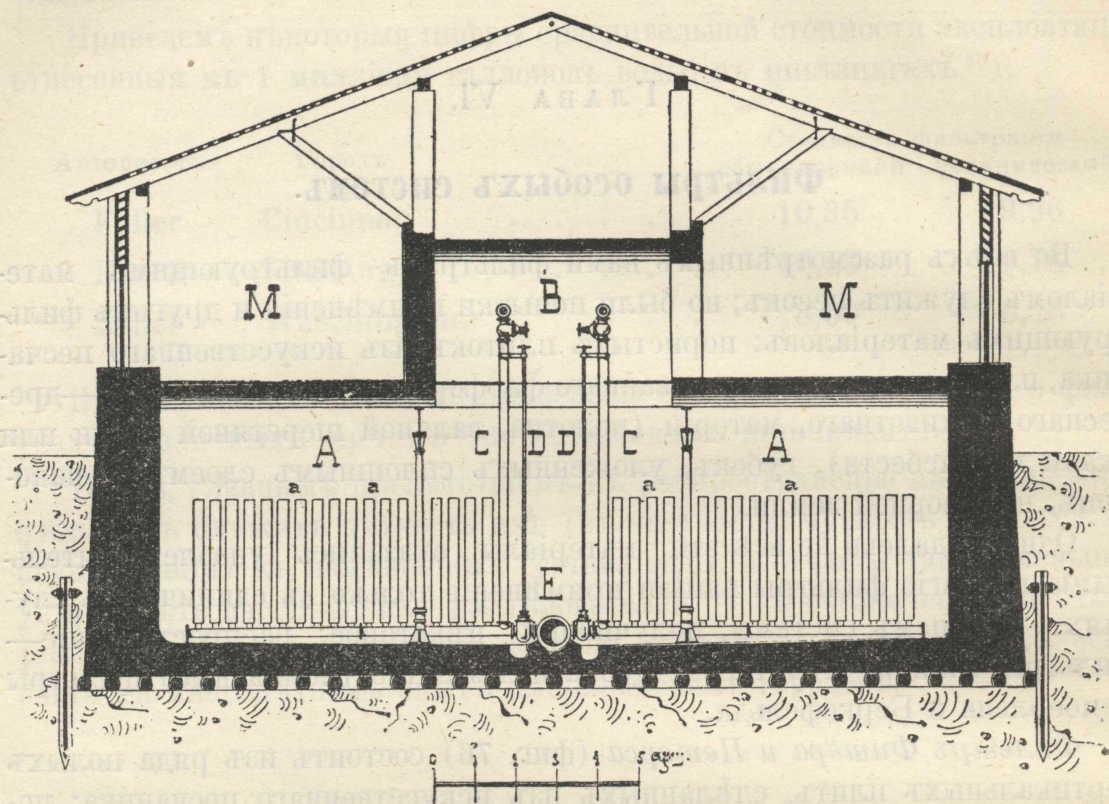
Во всѣхъ разсмотрѣнныхъ нами фильтрахъ фильтрующимъ матеріаломъ служитъ песокъ; но были попытки примѣненія и другихъ фильтрующихъ матеріаловъ: пористыхъ плитокъ изъ искусственнаго песчаника, пластинъ изъ неглазурованнаго фарфора („бисквита“), угля—древеснаго и животнаго, матеріи (полотна, валяной шерстяной ткани или ткани изъ асбеста), губокъ, уложенныхъ сплошнымъ слоемъ и, наконецъ, инфузорной земли.

Однако, далеко не всѣ эти матеріалы оказались удовлетворительными, и многіе фильтры нашли примѣненіе только въ единичныхъ случаяхъ. Опишемъ системы, получившія нѣкоторое распространеніе—фильтры Фишера и Петерса, Курка и домашніе (комнатные) фильтры Чемберлена и Беркефельда.

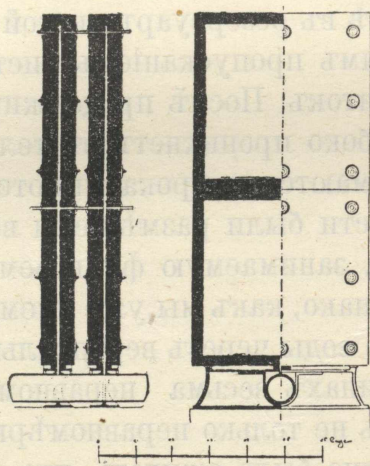
Фильтръ Фишера и Петерса (фиг. 76) состоитъ изъ ряда полыхъ вертикальныхъ плитъ, сдѣланныхъ изъ искусственнаго песчаника; полое пространство внутри плитокъ сообщается съ водосборною трубою, собирающею фильтрованную воду. Плиты устанавливаются въ резервуаръ, въ который напускается сырая вода для фильтрованія; эта вода просачивается черезъ поры плитокъ во внутреннія полости ихъ и отводится оттуда по водосборной трубѣ въ резервуаръ чистой воды. Промывка плитокъ производится обратнымъ пропусканіемъ чистой воды изъ сборной трубы изнутри наружу плитокъ. Послѣ продолжительной работы фильтра, когда загрязненіе глубоко проникнетъ въ толщу плитокъ (плитки „прорастутъ“), плиты снимаются и прокаливаются.

Фильтрующія поверхности были размѣщены вертикально съ цѣлью уменьшить площадь земли, занимаемую фильтромъ со значительною площадью фильтрованія; однако, какъ мы уже упоминали, говоря о фильтрахъ Кренке, просачиваніе воды черезъ вертикальныя поверхности происходитъ на разныхъ глубинахъ весьма неравномѣрно, и образованіе фильтрующей пленки идетъ не только неравномѣрно, но и весьма слабо.

На первый взглядъ можно было ожидать, что мелкія поры искусственнаго песчаника будутъ лучше задерживать нечистоты и бактеріи, чѣмъ поры слоя песка; однако, опытъ показалъ, что пластинчатые фильтры не имѣютъ передъ песочными никакихъ преимуществъ по качеству очистки и обладаютъ, такимъ образомъ, только крупнымъ недостаткомъ—неравномѣрностью работы и качества фильтрата. Промывка ихъ во-



Фиг. 76а.



Фиг. 76б.

дою оказывается весьма несовершенною и плохо поддается контролю, а прокаливание плитъ очень затруднительно; плитки легко ломаются; между тѣмъ примѣсь мути къ водѣ ведетъ къ быстрому загрязненію плитокъ.

Въ виду изложеннаго, фильтры Фишера и Петерса, какъ и вообще фильтры изъ искусственнаго камня, въ настоящее время не примѣняются болѣе въ центральныхъ водоснабженіяхъ городовъ.

Система Курка отличается отъ предыдущей тѣмъ, что искусственный пористый камень выдѣлывается въ видѣ цилиндровъ, длиною 1,20 м. и діаметромъ 0,22 м., соединяемыхъ (квадратными основаніями) въ батареи (изъ 16 цилиндровъ) размѣромъ въ планѣ $1,00 \times 1,00$ метр. Фильтрование происходитъ (снаружи внутрь цилиндра) точно такъ же, какъ въ фильтрахъ Фишера.

Изъ матеріаловъ, употребляемыхъ для изготовленія домашнихъ фильтровъ, только два способны задерживать бактеріи: неглазурованный фарфоръ и инфузорная земля; остальные же лишь задерживаютъ муть (освѣтляютъ воду), хотя, конечно, вмѣстѣ съ мутью задерживается и часть бактерій, прилипшихъ къ ней.

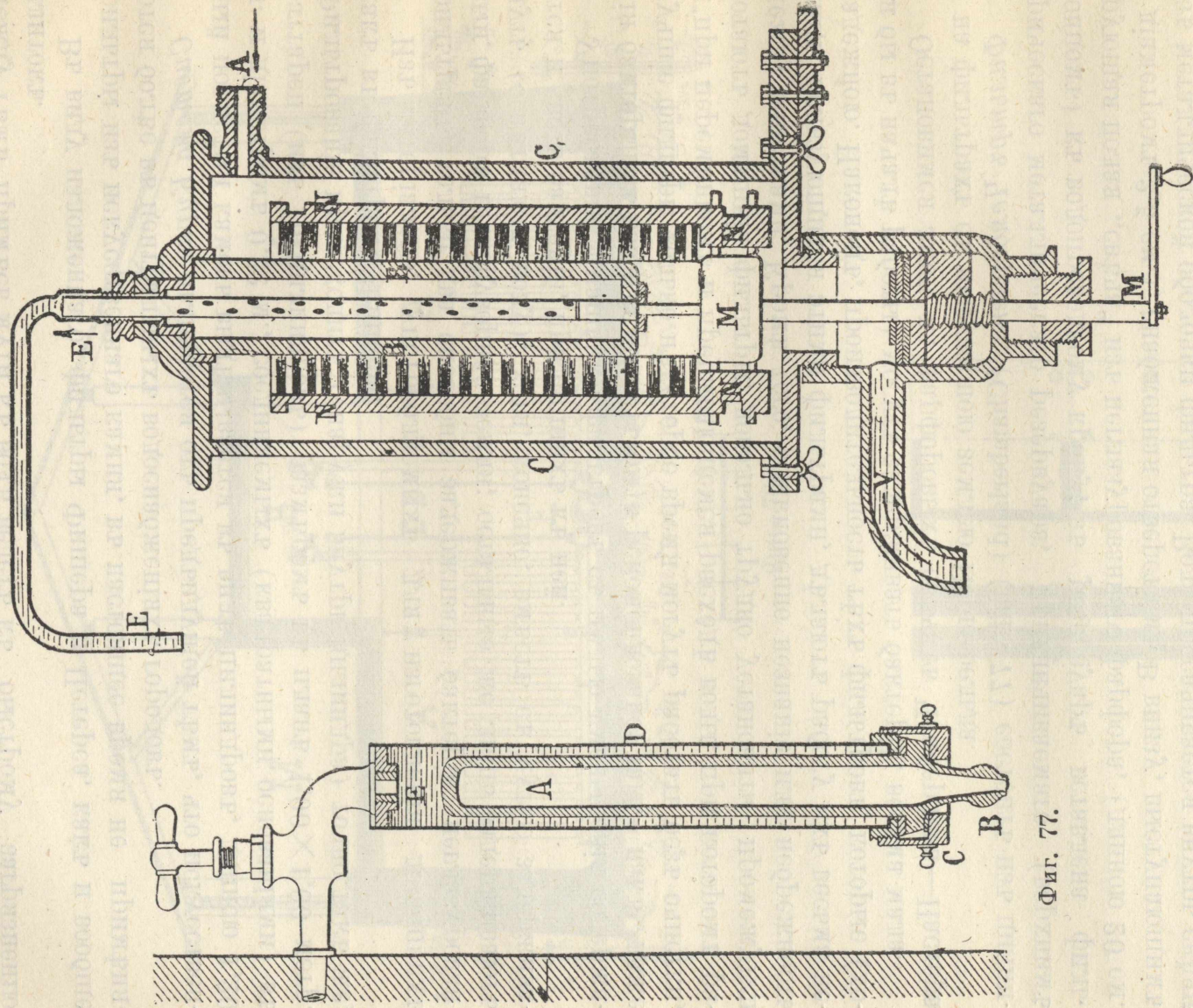
Употребленіе домашнихъ фильтровъ съ цѣлью уменьшенія содержанія бактерій въ водѣ не можетъ быть рекомендовано, такъ какъ даже лучшіе фильтры только нѣкоторое время могутъ работать безъ очистки, и при переменномъ и прерывающемся расходѣ воды, при которомъ работаютъ домашніе фильтры, довольно трудно установить промежутки между очистками. Кромѣ того, обыкновенно незнаніе или небрежность лицъ, пользующихся этими фильтрами, дѣлаютъ работу ихъ весьма ненадежною. Наконецъ, производительность тѣхъ фильтровъ, которые (хотя бы въ началѣ работы) могутъ задерживать бактерій, весьма мала.

Остановимся лишь на фарфоровыхъ свѣчахъ Чемберлена—Пастера и на фильтрахъ съ инфузорною землею Беркефельда.

Фильтръ Чемберлена. (Chamberland) (фиг. 77) состоитъ изъ цилиндрическаго металлическаго резервуара, привинчиваемаго (верхнимъ концомъ) къ водопроводному крану; въ резервуаръ вставлена фильтрующая полая „свѣча“ изъ неглазурованнаго фарфора, (длинною 20 см. и діаметромъ 2,5 см.), снабженная отверстіемъ В внизу, выступающимъ изъ металлической оболочки фильтра. Вода просачивается внутрь свѣчи и выходитъ очищеною изъ нижняго отверстія.

Всѣ изслѣдователи признаютъ удовлетворительное задержаніе свѣчею бактерій изъ воды въ теченіе первыхъ 4—12 дней работы; поэтому желательна очистка и стерилизація свѣчи въ среднемъ одинъ разъ въ недѣлю.

Химическія дезинфецирующія средства не способны стерилизовать свѣчу, и приходится прокаливать ее въ сухомъ воздухѣ (въ специальныхъ печахъ Пастера или въ обыкновенныхъ печахъ для хлѣба) при температурѣ 280° — 300° , въ теченіе полчаса.



Производительность фильтровъ Чемберлена весьма невысока и равна въ новыхъ фильтрахъ около 30 литр. въ сутки; послѣ каждой очистки она понижается и современемъ доходить до 3 литровъ.

Свѣчи Чемберлена иногда соединяють въ батарею изъ нѣсколькихъ свѣчей, помѣщенныхъ въ общій резервуаръ сырой воды и имѣющихъ общій водосборный каналъ чистой воды.

Въ *фильтръ Беркефельда* (фиг. 78) фильтрующая свѣча В сдѣлана изъ инфузорной земли; вода поступаетъ (черезъ А) вверху цилиндра, просачивается внутрь свѣчи и выходитъ вверху черезъ трубку Е. Для очистки фильтра добавленъ цилиндръ N со щетками, касающимися поверхности свѣчи; этотъ цилиндръ приводится во вращеніе ручкою М; загрязненная промывная вода выпускается черезъ кранъ V внизу фильтра. Кромѣ очистки щетками, требуется довольно часто стерилизовать свѣчу въ водѣ, доводимой до кипѣнія.

Изслѣдованія показали, что несмотря на крупность поръ свѣчи Беркефельда, она не пропускаетъ бактерій, но лишь въ теченіе первыхъ 3—5 дней работы; поэтому стерилизація фильтра требуется не рѣже 2 разъ въ недѣлю.

Производительность фильтра Беркефельда около 0,5 литра въ минуту, т. е. значительно выше, чѣмъ Чемберлена.

Перейдемъ теперь къ такимъ фильтрамъ, матеріалъ которыхъ имѣетъ цѣлью не только механически очищать пропускаемую воду, но также способствовать ея очисткѣ путемъ окисленія.

Говатсонъ предложилъ замѣнять въ своемъ американскомъ фильтръ раздробленный кварцъ спеціальнымъ составомъ, „*поляритомъ*“, состоящимъ изъ 54% перекиси желѣза, 25% кремнезема, 2% калція, 6% алюминія, 7% магнезіи и 6% щелочей. Дѣйствіе этого пористаго состава сходно съ дѣйствіемъ губчатой платины, поглощая и сгущая на своей поверхности (абсорбируя) кислородъ воздуха и отдавая его органическимъ примѣсямъ фильтруемой воды. Когда, послѣ работы фильтра (въ теченіе около 6 недѣль), поляритъ (т. е. запасъ кислорода въ немъ) „истощается“, его приводятъ въ соприкосновеніе съ воздухомъ въ теченіе 3—4 дней, и затѣмъ онъ опять готовъ къ работѣ. Толщина слоя полярита около 0,40 м.; подъ нимъ помѣщается слой крупнаго кварцеваго песка въ 0,10 м. Скорость фильтраціи около 6 м. въ сутки, т. е. очень невелика.

Значительно большею производительностью обладаетъ фильтръ Канди, весьма быстро распространяющійся въ Англіи.

Фильтры Канди (Candy) устраиваются какъ напорными (фиг. 79), такъ и самотечными. При поступленіи на фильтръ, вода разбрызгивается мелкими струйками; для улучшенія аэраціи при разбрызгиваньи въ напорныхъ фильтрахъ верхняя камера фильтра содержитъ сжатый воздухъ. Вода просачивается черезъ слой крупнаго толченаго кварца, тол-