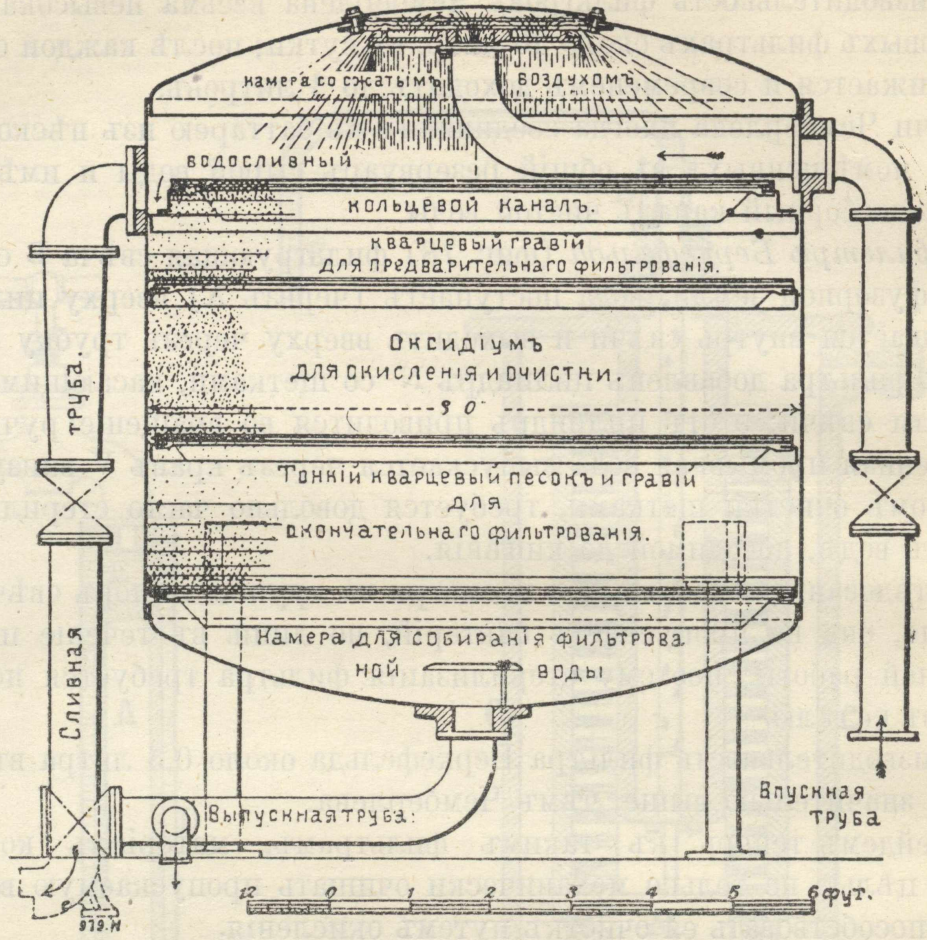
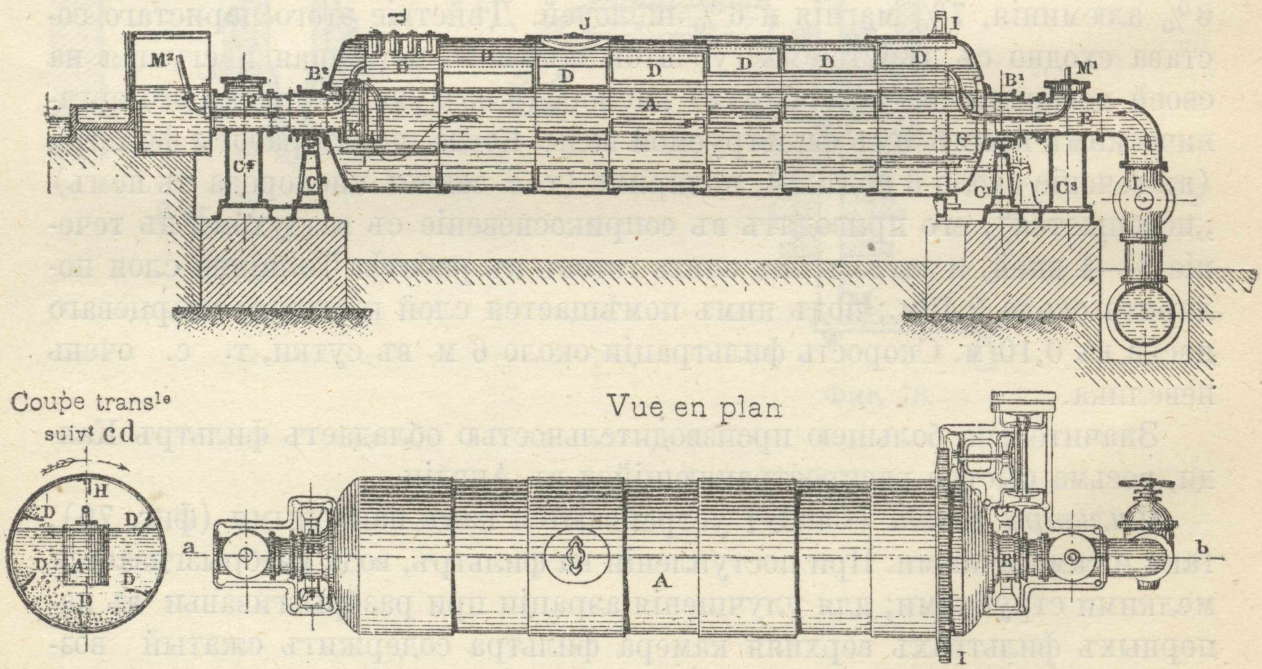

Камера со сжатымъ воздухомъ.
водосливный
кольцевой каналъ.
кварцевый гравій
для предварительнаго фильтрованія.
Оксидіумъ
для окисленія и очистки.
Тонкій кварцевый песокъ и гравій
для
окончательнаго фильтрованія.
Камера для собиранія фильтрова
ной воды
труба.
Сливная
Выпускная труба.
Впускная
труба
12 0 1 2 3 4 5 6 фут.

Фиг. 79.


Coupe transle
suivt cd
Vue en plan
a
b

Фиг. 80.

щиною въ 1 футъ, для задержанія взвѣшенныхъ веществъ, затѣмъ черезъ окисляющій матеріалъ, толщиною 2—4 фута, и черезъ слой кварцеваго песка, поддерживаемаго гравіемъ, общею толщиною 2 фута.

Окисляющимъ матеріаломъ служитъ „оксидіумъ“ или „карбоферритъ“, пористая масса, получаемая обжиганіемъ; анализъ этой массы указываетъ на составъ, весьма близкій къ составу „поляритa“ [1]).

Скорость фильтрованія воды около 6—6,5 м. въ часъ. Карбоферритъ, какъ и поляритъ, абсорбируетъ кислородъ воздуха и отдаетъ его органическимъ веществамъ, взвѣшеннымъ или растворенным въ водѣ, а также уничтожаетъ этимъ кислородомъ бактерій. По опытамъ д-ра Thresch, результаты очистки воды фильтрами Канди весьма хороши; фильтръ не пропускаетъ патогенныхъ бактерій; бѣлковистый амміакъ доводится до ничтожнаго содержанія; нитрификація сильно развивается. Растворенныя соли желѣза удаляются изъ воды.

Очистка фильтра производится обратнымъ теченіемъ воды, которая вымываетъ грязь. Возобновленіе запаса кислорода достигается простымъ доступомъ воздуха въ резервуаръ фильтра, по выпускѣ изъ него воды.

Фильтры Канди, какъ и американскіе фильтры, примѣняются обыкновенно съ коагулянтами.

Укажемъ еще систему *Андерсона*, стоящую въ сторонѣ отъ предъидущихъ системъ; ея особенность—образованіе коагулянта (водной окиси желѣза) непосредственно въ очищаемой водѣ, путемъ соприкосновенія ея съ мелкими кусочками желѣза. Дальнѣйшая очистка коагулированной воды состоитъ въ фильтраніи черезъ песокъ, какъ и въ англійскихъ фильтрахъ; отмѣтимъ, что способъ Андерсона былъ предложенъ ранѣе возникновенія американской фильтраціи съ коагулированіемъ и примѣненъ въ Choisy-le-Roi.

Приборъ Андерсона состоитъ изъ горизонтальнаго цилиндра („револьвера“) (фиг. 80), вращающагося (на водонепроницаемыхъ сальникахъ) около полой оси; вода поступаетъ черезъ ось вращенія съ одного и выходитъ съ другого конца цилиндра. Черезъ эти же оси пропущены трубки для сообщенія внутренней части цилиндра съ атмосфернымъ воздухомъ. Внутри цилиндра, на его стѣнкахъ, придѣланы въ нѣсколько рядовъ полочки изъ листового желѣза, параллельныя оси цилиндра; въ цилиндръ помѣщаютъ мелкіе кусочки разломаннаго (новаго) чугуна. При медленномъ вращеніи цилиндра (со скоростью одного оборота въ 2—3 минуты), чугунъ падаетъ съ вышележащихъ полокъ на нижележащія, приходя въ соприкосновеніе съ водою, и сперва растворяется въ ней (въ видѣ закиси желѣза), а затѣмъ, благодаря присутствію воздуха въ цилиндрѣ, закись переходитъ въ гидратъ окиси желѣза (коагулянтъ).

---

[1]) Свойства подобныхъ составовъ зависятъ не только отъ элементовъ, ихъ составляющихъ и обнаруживаемыхъ химическимъ анализомъ, но и отъ способа приготовленія, который является секретомъ фирмы или предметомъ патента.

Цилиндру придаютъ такой объемъ, чтобы вода находилась въ немъ около 3,5 минутъ; въ это время растворяется около 3 гр. желѣза въ 1 куб. м. воды: Этого количества желѣза достаточно для коагулированія органическихъ веществъ, взвѣшенныхъ въ водѣ. Установлено, что количество растворенныхъ органическихъ веществъ также уменьшается съ момента вытеканія воды изъ цилиндра. Наконецъ, выяснено, что коллоидальный глиноземъ (алюминатъ) въ фильтруемой водѣ коагулируется солями желѣза при переходѣ ихъ въ нерастворимое состояніе.

По выходѣ изъ вращающихся цилиндровъ вода отстаивается въ осадочныхъ бассейнахъ и затѣмъ поступаетъ на англійскіе фильтры, гдѣ остаточная окись желѣза помогаетъ образованію фильтрующей пленки. Скорость фильтрованія на англійскихъ фильтрахъ въ Choisy-le-Roi 0,20 м. въ часъ. Въ результатѣ процесса, изъ водъ р. Сены, весьма загрязненныхъ, удаляется 99,8% бактерій.

Стоимость очистки, включая проценты на капиталъ (но безъ стоимости земли), около 0,20 коп. на 1 куб. м.

## Глава VII.

# Измѣненіе содержанія въ водѣ нѣкоторыхъ растворенныхъ веществъ.

Растворенныя въ водѣ вещества могутъ вызывать нежелательную окраску воды, непріятный запахъ или вкусъ, или же, выдѣляясь изъ воды, ухудшать ея свойства. Поэтому нерѣдко требуется удалять изъ воды нѣкоторыя растворенныя вещества или, по крайней мѣрѣ, уменьшать ихъ содержаніе въ водѣ. Къ такимъ веществамъ относятся соли кальція и магнія, желѣза и марганца; иногда требуется также уменьшеніе кислотности воды (главнымъ образомъ, содержанія въ ней углекислоты), и, наконецъ, опрѣсненіе соленой воды.

Съ другой стороны, иногда бываетъ желательно увеличеніе содержанія въ водѣ нѣкоторыхъ веществъ, чаще всего—воздуха, кислородъ котораго служитъ для окисленія нѣкоторыхъ примѣсей въ водѣ, напр., желѣза, и улучшаетъ ея вкусъ.

Удаленіе растворенныхъ веществъ обыкновенно бываетъ затруднительнѣе, чѣмъ веществъ взвѣшенныхъ.

## Аэрація воды.

Для выдѣленія изъ воды растворенныхъ въ ней газовъ, а также для увеличенія содержанія въ ней воздуха (и, слѣдовательно, кислорода), примѣняется аэрація воды, т. е. приведеніе ея въ соприкосновеніе съ воздухомъ на возможно большей поверхности.

Для развитія большой поверхности соприкосновенія съ воздухомъ, воду приходится раздроблять на мелкія струи. О техническихъ способахъ такого раздробленія не приходится много говорить, въ виду ихъ крайней простоты. Вода можетъ аэрироваться, переливаясь поверхъ водослива тонкими плоскими струями въ видѣ каскада (какъ въ фильтрахъ Пеша), или же выходя изъ узкой горизонтальной щели (какъ на фиг. 18); воду можно также выпускать въ видѣ дождя изъ ряда мелкихъ отверстій въ днѣ или стѣнкахъ резервуара. Примѣромъ послѣдняго устройства служитъ приборъ Остена (фиг. 81), предназначенный для выдѣленія изъ воды солей желѣза путемъ окисленія ихъ [1]).

---

[1]) Растворимыя соли закиси желѣза FeO окисляются въ нерастворимыя соли окиси $Fe_2O_3$, выпадающія изъ воды.

Вода подается по трубѣ въ плоскіе резервуары съ дырчатымъ днемъ, черезъ которое она падаетъ затѣмъ въ видѣ дождя на фильтръ; скорость пропусканія воды зависитъ отъ количества кислорода, которое требуется ввести въ воду.

Аэрація воды обыкновенно служитъ лишь одною изъ ступеней обработки ея и рѣдко примѣняется самостоятельно. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ обработка воды заканчивается аэраціею (напр., при озонированіи воды—для выдѣленія излишка озона, или при употребленіи въ питье дестиллированной воды, напр., на судахъ, для улучшенія ея освѣжающаго дѣйствія и вкуса).

## Смягченіе воды.

Слишкомъ жесткая вода хотя обыкновенно не приноситъ вреда здоровью, но весьма неудобна для хозяйственныхъ и промышленныхъ надобностей; поэтому часто приходится прибѣгать къ смягченію воды, чтобы уменьшить расходъ мыла и реактивовъ, примѣняемыхъ въ промышленности, увеличить срокъ службы паровыхъ котловъ и безопасность ихъ работы, облегчить уходъ за котлами и т. д. Обыкновенно считаютъ необходимымъ смягчать воду, жесткость которой превышетъ 20 нѣмецкихъ (т. е. 35,8 французскихъ) градусовъ.

### Основанія способовъ смягченія воды.

Смягченіе достигается аэраціею воды, нагрѣваніемъ ея, или, всего чаще химическою обработкою воды.

Смягченіе воды аэраціею является подражаніемъ естественнымъ процессамъ: извѣстно, что известковые источники при выходѣ изъ земли отлагаютъ вокругъ мѣста истока углекислый кальцій ($CaCO_3$). Это объясняется выдѣленіемъ углекислоты, улетучивающейся въ воздухѣ, присутствіе которой въ водѣ удерживало въ растворѣ углекислый кальцій: этотъ послѣдній растворяется въ водѣ лишь въ количествѣ 34—36 мгр. на литръ, и весь излишекъ его растворяется только въ присутствіи углекислоты (переходя въ двууглекислый кальцій, $CaH_2(CO_3)_2$, и при выдѣленіи углекислоты или насыщеніи ея известью, содой и т. д. излишекъ долженъ выдѣлиться изъ воды.

Реакція выдѣленія при аэраціи происходитъ по уравненію

$$CaH_2(CO_3)_2 = CaCO_3 + CO_2 + H_2O$$

(осадокъ).

Заставляя воду падать каскадомъ или тонкими струйками, мы выдѣлимъ изъ нея углекислоту, и двууглекислый кальцій, переходя въ углекислый, выпадаетъ изъ раствора; „временная“ жесткость воды такимъ образомъ понижается.

Однако, степень жесткости „постоянной“, зависящей отъ сѣрнокислыхъ солей кальція и натрія, не измѣняется аэраціею

Нагрѣваніе воды, кипяченіе или смѣшеніе ея съ горячимъ паромъ дѣйствуютъ двояко: съ одной стороны, выдѣляя углекислоту, они ведутъ къ выпаденію углекислыхъ соединеній кальція и натрія, какъ было разъяснено выше; съ другой, вызывая теченія и водовороты въ массѣ жидкости, они обезпечиваютъ выпаденіе взвѣшенныхъ частицъ въ одну изъ частей кипятильника (въ отдѣленіе близъ дна его), устраиваемую такъ, чтобы оставаться въ сторонѣ отъ внутреннихъ движеній въ водѣ.

Этимъ способомъ также нельзя освободиться вполнѣ отъ сѣрнокислыхъ кальція и натрія и нагрѣваніе приходится примѣнять совмѣстно съ химическою обработкою воды. При этомъ повышеніе температуры воды способствуетъ реакціямъ, происходящимъ въ водѣ при добавленіи въ нее химическихъ реактивовъ.

Нагрѣваніе примѣняется при смягченіи воды, подаваемой въ котлы; при этомъ для нагрѣванія обыкновенно пользуются отработавшимъ паромъ изъ машинъ. Для питьевой воды нагрѣваніе мало примѣнимо, давая горячую воду.

## Химическая обработка жесткой воды.

Химическіе способы смягченія воды обыкновенно основываются на слѣдующихъ реакціяхъ.

a) Выпаденіе двууглекислаго кальція ($CaH_2(CO_3)_2$) и магнія вызывается прибавленіемъ окиси какого-либо щелочнаго или щелочно-земельнаго металла (напр. окиси кальція CaO, т. е. извести). Обозначая этотъ металлъ черезъ M (полагая его бивалентнымъ), напишемъ уравненіе реакціи:

(a) . . . . . $CO_2CaCO_3 + MO = CaCO_3 + MCO_3$

(растворимо) (осадокъ).

Зная вѣсъ углекислаго кальція ($Ca\ CO_3$), содержащагося въ водѣ, найдемъ нужное для реакціи количество окиси металла (предполагаемой безводною), умножая вѣсъ $Ca\ CO_3$ на слѣдующіе коэффиціенты:

| | |
|---|---|
| для ѣдкаго калія (KOH) . . . . . | 0,94 |
| ѣдкаго натра (каустической соды, NaOH) . . . | 0,62 |
| окиси магнія (MgO) . . . . . | 0,40 |
| извести (CaO) . . . . . | 0,56 |
| гидравлической (гашеной) извести $Ca(OH)_2$ . . | 0,74 |

Всего чаще примѣняется известь (CaO).

b) Сѣрнокислый кальцій ($Sa\ SO_4$) ли магній выдѣляютъ добавленіемъ какого-либо растворимаго щелочнаго карбоната (чаще всего

углекислой соды—$Na_2\ CO_3$):

(b) . . . . . $CaSO_4 + MCO_3 = CaCO_3 + MSO_4$

(растворимо) (осадокъ).

Здѣсь слѣдуетъ различать два случая:

1) Если углекислый кальцій предварительно выдѣленъ известью, не дѣйствующею на сѣрнокислый кальцій, то требуется воздѣйствовать на сѣрнокислый кальцій, содержащійся въ водѣ; для выдѣленія добавляютъ одно изъ нижеприведенныхъ веществъ въ количествѣ (по вѣсу), равномъ вѣсу сѣрнокислаго кальція, умноженному на соотвѣтственный коэффиціентъ:

| | |
|---|---|
| сода (углекислый натръ) ($Na_2CO_3$) . . . . . | 0,779 |
| поташъ (углекислый калій) ($K_2CO_3$) . . . . . | 1,001 |
| хлористый барій ($BaCl_2$). . . . . | 1,529 |

2) Если для выдѣленія углекислаго кальція пользовались содою, поташомъ или магнезіею, то при этой реакціи образовалось нѣкоторое количество углекислой соли $MCO_3$, зависящее отъ содержавшагося въ водѣ количества углекислаго кальція, и эта соль будетъ дѣйствовать (по уравненію b) на часть сѣрнокислаго кальція. Если p вѣсъ углекислаго кальція, содержавшагося въ водѣ и $\pi$—вѣсъ сѣрнокислаго, то легко вычислить, что выдѣленіе углекислаго кальція привело къ выдѣленію 1,36 p. сѣрнокислаго; слѣдовательно, если $\pi < 1{,}36$ p. или $\pi = 1{,}36$ p., то весь сѣрнокислый кальцій уже выдѣлился, если же $\pi > 1{,}36$ p. то надо выдѣлить его въ количествѣ $\pi - 1{,}36$ p., и для этого слѣдуетъ добавить углекислой щелочи $MCO_3$ въ количествѣ $\alpha(\pi - 1{,}36$ p.) гдѣ $\alpha$ соотвѣтствующій изъ вышеприведенныхъ коэффиціентовъ.

Изъ всѣхъ реактивовъ на практикѣ чаще всего пользуются известью и углекислою содою.

*Опредѣленіе количества реактивовъ* легко можетъ быть сдѣлано, пользуясь указанными коэффиціентами, если имѣется химическій анализъ воды.

Если же опредѣлена только жесткость воды (общая, временная и постоянная), можно сдѣлать приблизительный расчетъ: число французскихъ градусовъ постоянной жесткости, уменьшенное на 3° и умноженное на 0,013, выражаетъ въ граммахъ вѣсъ сѣрнокислыхъ и хлористыхъ соединеній въ 1 литрѣ, а число градусовъ временной жесткости приблизительно равно вѣсу углекислыхъ соединеній въ граммахъ въ 1 литрѣ воды.

При добавленіи извести и соды требуется около 7,5 гр. гашеной извести на 1 куб. м. воды на каждый французскій градусъ временной жесткости, или 5,5 литровъ известковой воды (содержащей 1,3 гр. гашеной извести въ литрѣ). При примѣненіи известковаго молока, требуется

теоретически 5,6 гр. негашеной извести (CaO) на 1 градусъ жесткости на 1 куб. м. воды, практически же слѣдуетъ брать CaO на 30% больше, т. е. 7,5 гр. (вслѣдствіе неполнаго гашенія); известковое молоко содержитъ до 10% извести, но требуетъ постояннаго перемѣшиванія.

На каждый французскій градусъ постоянной жесткости требуется 10,6 гр. углекислой соды; если же вмѣсто сухой соли (ангидрида) пользуются кристаллами гидрата, то ихъ требуется по вѣсу вдвое больше т. е. 21 гр.

Наконецъ, если вовсе не имѣется никакого анализа воды, можно непосредственно опредѣлить требуемое количество реактивовъ, напр., по способу *Meunier* и *Vignon*.

Сначала опредѣляютъ общее количество углекислоты въ водѣ (какъ свободной, такъ и входящей въ двууглекислыя соединенія) посредствомъ алкогольнаго раствора фенолъ-фталеина ($C_{20}$ $H_{14}$ $O_4$), который, въ присутствіи избытка известковой воды, обезцвѣчивается углекислотою: сколько окажется эквивалентовъ $CO_2$, столько потребуется эквивалентовъ извести.

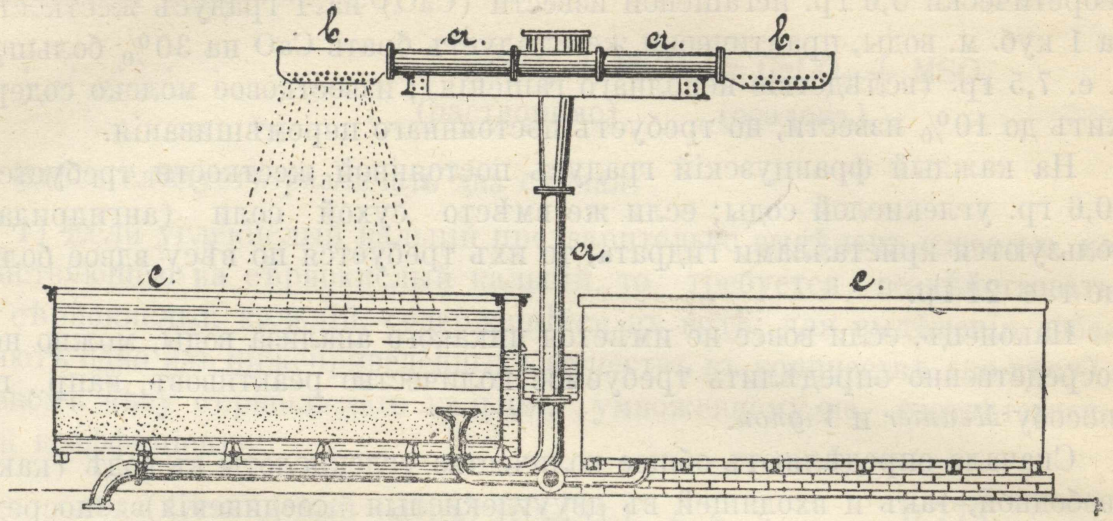
Затѣмъ опредѣляютъ количество углекислой соды, требуемое для выдѣленія сѣрнокислыхъ и хлористыхъ кальція и магнія, прибавляя постепенно по каплямъ титрованный растворъ углекислой соды (1 гр. на литръ раствора) къ опредѣленному объему предварительно прокипяченной воды, до тѣхъ поръ, пока избытокъ соды заставитъ вновь проявиться оттѣнокъ алкогольнаго раствора фенолфталеина, исчезнувшій отъ присутствія сѣрнокислыхъ и хлористыхъ кальція и магнія.

При этихъ изслѣдованіяхъ къ водѣ слѣдуетъ прибавить алкоголя въ равномъ объемѣ; полезно, кромѣ того, сравнивать получаемую окраску съ окраской, производимою опредѣленною дозою добавленнаго раствора.

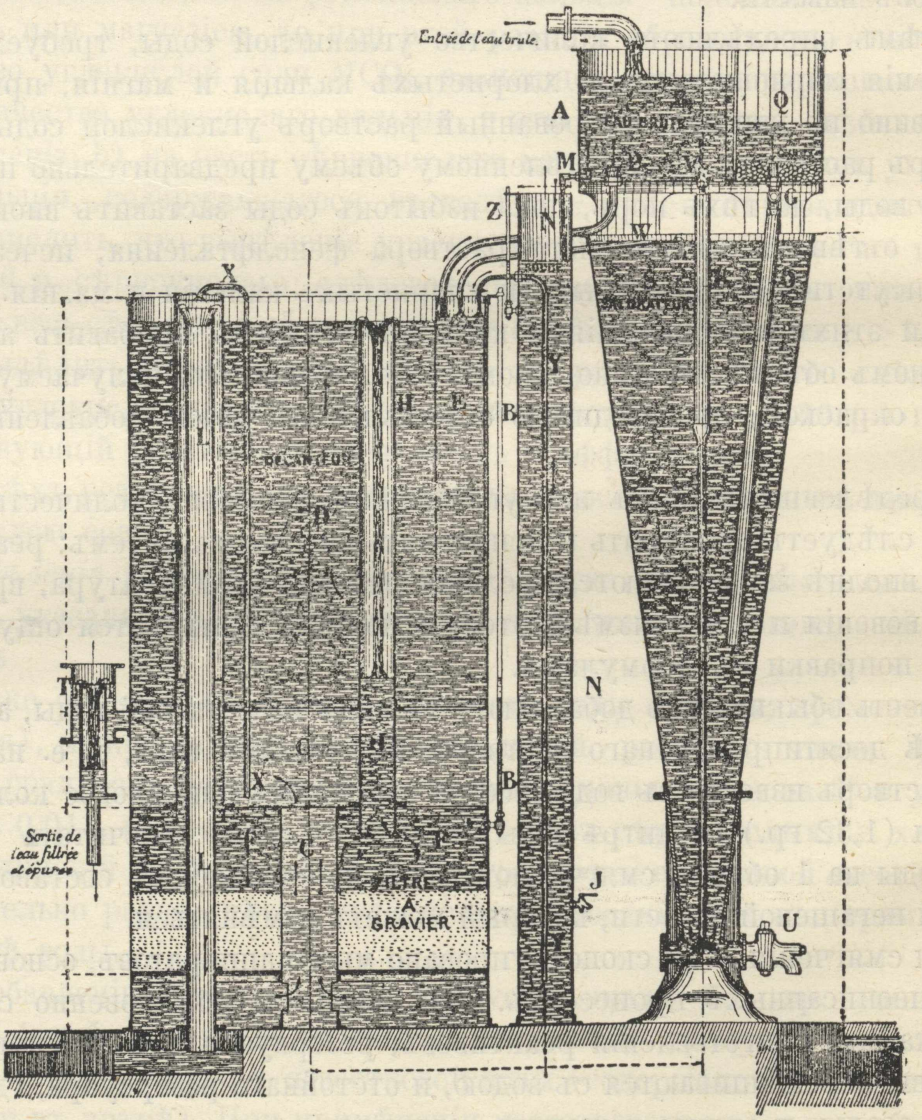
Опредѣленныя однимъ изъ указанныхъ способовъ количества реактивовъ слѣдуетъ провѣрять и исправлять опытнымъ путемъ: реакція не всегда вполнѣ заканчиваются, условія реакціи (температура, время соприкосновенія и т. п.) измѣняются, и поэтому приходится ощупью находить поправки къ формуламъ.

Известь обыкновенно добавляютъ въ видѣ известковой воды, а соду—въ видѣ десятипроцентнаго раствора. Известковая вода, т. е. насыщенный растворъ извести въ водѣ, всегда содержитъ одинаковое количество извести (1,32 гр.) на литръ воды, и потому легко расчитать объемъ этой воды на 1 объемъ смягчаемой воды, не считаясь съ составомъ продажной негашеной извести, который можетъ измѣняться.

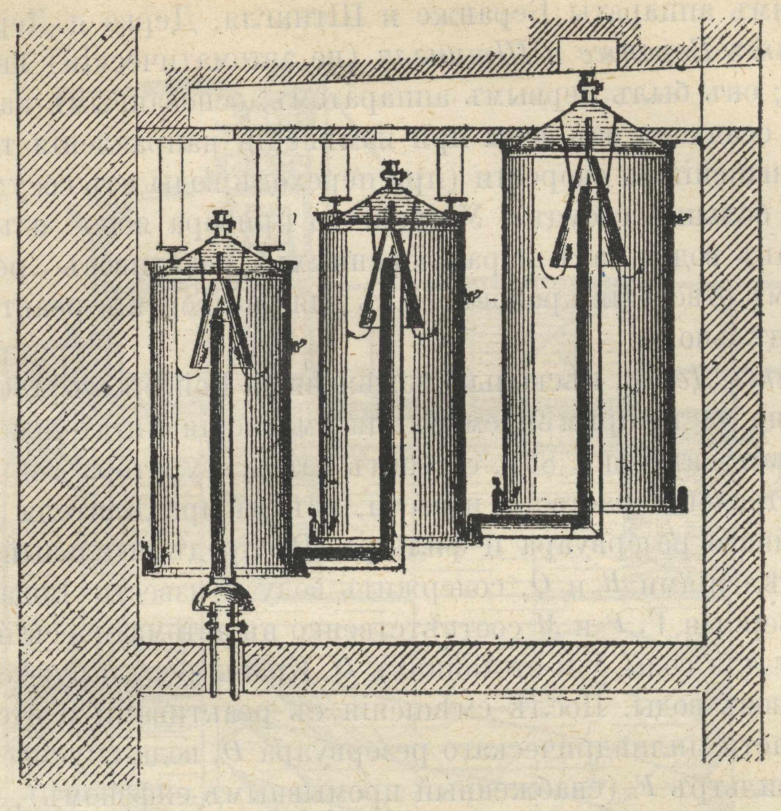
Для смягченія воды сконструировано много аппаратовъ, основанныхъ на вышеописанныхъ процессахъ. Эти аппараты обыкновенно состоятъ изъ бака для приготовленія реактивовъ, резервуара для смѣшенія, гдѣ реактивы перемѣшиваются съ водою, и отстойнаго резервуара, гдѣ отлагаются осадки и откуда выходитъ смягченная вода.


b.
a.
a.
b.
a.
c.
c.

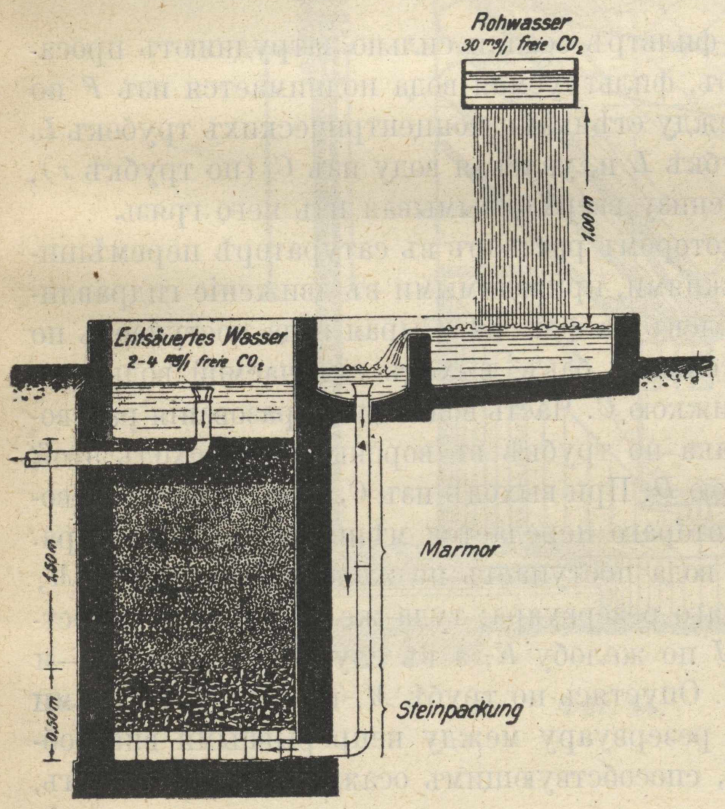
Фиг. 81.


Entrée de l'eau brute.
A
EAU BRUTE
M
Z
N
V
W
G
Q
R
D
Y
H
E
B
L
DÉCANTEUR
D
T
X
C
J
K
N
Sortie de l'eau filtrée et épurée
FILTRE À GRAVIER
U

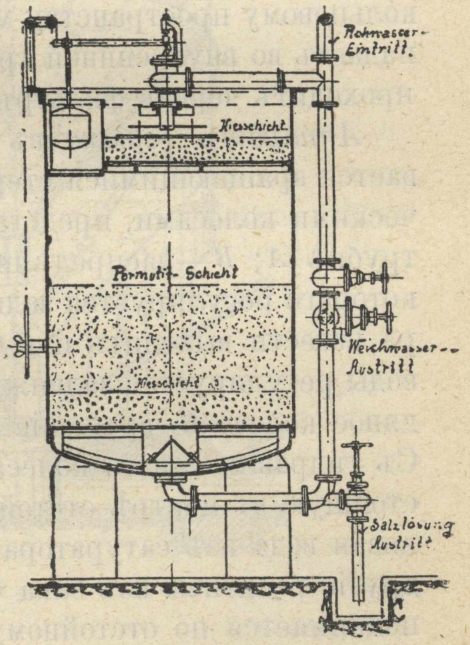
Фиг. 83.



Фиг. 82.




Фиг. 86.




Фиг. 85.

Отмѣтимъ аппараты Беранже и Штингля, Дерво и Дерюмо.

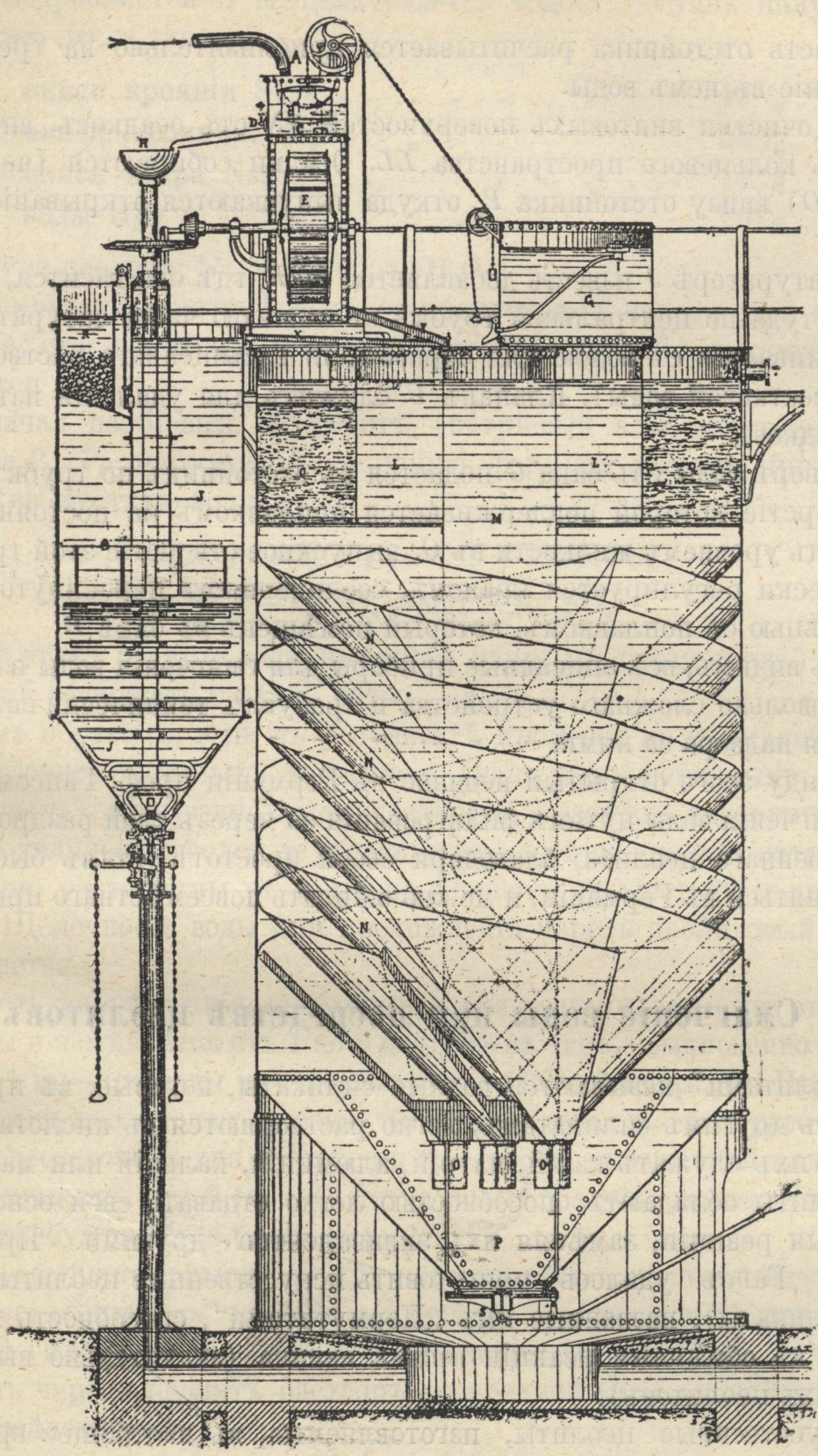
*Аппаратъ Беранже и Штингля* (не автоматическій) является простѣйшимъ; онъ былъ первымъ аппаратомъ, основаннымъ на улучшеніи выпаденія осадковъ изъ воды при измѣненіи направленія теченія воды и при уменьшеніи ея скорости (при переходѣ воды изъ сосуда меньшаго объема въ большій сосудъ). Устройство прибора ясно изъ фиг. 82; впускъ, какъ воды, такъ и растворенныхъ реактивовъ регулируется измѣненіемъ отверстія кранов. Бакъ для растворенія реактивовъ помѣщается отдѣльно.

*Аппаратъ Дерво*, нѣсколько измѣненный Рейсеромъ [2]) (Dervaux-Reisert), особено часто примѣняемый для смягченія питательной воды для паровыхъ котловъ (фиг. 83), состоитъ изъ „сатуратора". или отдѣленія для приготовленія раствора извести, изъ распредѣлителя раствора соды, отстойнаго резервуара и фильтра. Распредѣлительный бакъ $A$, съ двумя отдѣленіями $R$ и $Q$, содержитъ воду и известь. Вода поступаетъ черезъ отверстія $V$, $P$ и $M$ соотвѣтственно въ автоматическій сатураторъ $S$, колонну для соды $N$ и отстойникъ $D$. Краны регулируются на основаніи анализовъ воды. Послѣ смѣшенія съ реактивами и отстаиванія въ верхней части цилиндрическаго резервуара $D$, вода спускается по трубкѣ $H$ въ фильтръ $F$ (снабженный промывнымъ сифономъ), черезъ который просачивается сверху внизъ, и затѣмъ собирается въ камерѣ $C$, откуда выходитъ черезъ водосливъ $T$; уровень воды надъ фильтромъ выше, чѣмъ въ камерѣ $C$.

Когда отложившіяся на фильтрѣ осадки сильно затрудняютъ просачиваніе воды черезъ фильтръ, фильтруемая вода поднимается изъ $F$ по кольцевому пространству между стѣнками концентрическихъ трубокъ $L$, падаетъ во внутреннней трубкѣ $L$ и, увлекая воду изъ $C$ (по трубкѣ $x$), проходитъ черезъ фильтръ снизу вверхъ, вымывая изъ него грязь.

*Аппаратъ Дерюмо*, въ которомъ растворъ въ сатураторѣ перемѣшивается вращающимися стержнями, приводимыми въ движеніе гидравлическими колесами, представленъ на фиг. 84. Сырая вода поступаетъ по трубкѣ $A$; $B$—распредѣлительный бакъ, выходъ смягчаемой воды изъ котораго регулируется задвижкою $C$. Часть воды для образованія раствора извести выходитъ изъ бака по трубкѣ въ воронку $H$; расходъ этой воды регулируется задвижкою $D$. При выходѣ изъ $C$, вода падаетъ на водяное колесо $E$, вращеніе котораго передается мѣшалкамъ сатуратора. Съ гидравлическаго колеса вода поступаетъ по желобу $F$ въ трубу $M$, стоящую въ центрѣ отстойнаго резервуара; туда же поступаетъ известковая вода изъ сатуратора $J$ по желобу $K$, а въ случаѣ надобности—и другіе реактивы изъ бака $G$. Опустясь по трубѣ $M$, вода съ реактивами поднимается по отстойному резервуару между непрерывными винтообразными поверхностями $NN$, способствующимъ осажденію, и затѣмъ,

[2]) Примѣняются и другія видоизмѣненія аппарата Дерве.




Фиг. 84.

пройдя черезъ фильтръ $Q$ (снизу вверхъ), выходитъ очищенною по трубѣ $T$.

Емкость отстойника расчитывается приблизительно на трехчасовое пребываніе въ немъ воды.

Для очистки винтовыхъ поверхностей $NN$ отъ осадковъ. впускается вода изъ кольцевого пространства $LL$. Осадки собираются (черезъ цилиндръ $O$) внизу отстойника $P$, откуда выпускаются открываніемъ клапана $S$.

Въ сатураторѣ $J$ известь добавляется въ $R$, гдѣ она гасится, и поступаетъ оттуда по центральной трубкѣ въ нижнюю часть сатуратора, гдѣ перемѣшивается съ водою для образованія насыщеннаго раствора извести (известковой воды). Клапанъ $U$ служитъ для удаленія изъ сатуратора осадковъ.

Растворъ соды изъ бака $G$ подается въ отстойникъ по трубкѣ, пріемное отверстіе которой поддерживается поплавкомъ на постоянной глубинѣ подъ уровнемъ жидкости въ $G$; выпускное отверстіе этой трубки автоматически регулируется краномъ, соединеннымъ перекинутой черезъ блокъ цѣпью съ поплавкомъ, который помѣщенъ въ бакѣ $B$.

Какъ видимъ, всѣ описанные приборы для смягченія воды известью и содою довольно сложнаго устройства и требуютъ технически-свѣдущихъ лицъ для надзора за ними.

Въ виду этого открытый недавно въ Германіи проф. Гансомъ [3]) способъ смягченія воды путемъ фильтрованія ея черезъ слой раздробленнаго искусственнаго цеолита, благодаря своей простотѣ, сталъ быстро распространяться въ Германіи, и можно ожидать повсемѣстнаго примѣненія его.

## Смягченіе воды при посредствѣ цеолитовъ.

„Цеолитами“ называются водные силикаты, которые, въ противоположность другимъ силикатамъ, легко растворяются въ кислотахъ; основаніями ихъ служатъ калій, натрій, алюминій, кальцій или магній.

Цеолиты обладаютъ способностью легко отдавать свои основанія въ обмѣнныя реакціи, замѣняя ихъ эквивалентно другими. Профессору Роберту Гансъ удалось приготовить искусственные цеолиты (алюминатъ-силикаты), названные имъ „Пермутитами“, способность которыхъ входить въ обмѣнныя реакціи весьма велика (значительно выше естественныхъ цеолитовъ).

Искусственные цеолиты, изготовляемые въ настоящее время для продажи (фирмою Riedel въ Берлинѣ), получаются сплавленіемъ 3 частей каолина, 3 частей кварцеваго песка и 12 частей соды; полученный

---

[3]) Gans. Reinigung des Trinkwassers durch Aluminat-Silicate. 1907. Wittels und Welwart. „Gesundheits-Ingenieur“. 1908, 795.

сплавъ раздробляется и выщелачивается водою. Составъ полученнаго цеолитоваго песка таковъ:

| | |
|---|---|
| окиси кремнія $SiO_2$ . . . . . | 43% |
| окиси алюминія $Al_2O_3$ . . . . . | 23% |
| окиси натра $Na_2O$ . . . . . | 14% |
| воды $H_2O$ . . . . . | 20% |

Формула цеолита: $Na_2Al_2\ Si_4O_{12}+6H_2O$

Для смягченія жесткой воды, ее пропускаютъ черезъ слой цеолитоваго песка; при достаточно малой скорости пропусканія, жесткость воды понижается до 0°.

Обозначая натріевый пермутитъ (натріевый алюминатъ-силикатъ) черезъ $Na_2P$ (P=пермутитъ), получимъ формулу реакціи при воздѣйствіи его на жесткую воду [4]):

$$Na_2P+Ca(HCO_3)_2=CaP+2NaHCO_3$$

или

$$Na_2P+MgSO_4=MgP+Na_2SO_4$$

Послѣ этихъ реакцій вода, имѣвшая, напр. 10° (нѣмецкихъ) жесткости, будетъ содержать 0,019% соды.

Такимъ образомъ, вода въ результатѣ процесса не содержитъ вовсе солей щелочно-земельныхъ металловъ (какъ двууглекислыхъ, такъ и сѣрнокислыхъ), вызывавшихъ ея жесткость, а взамѣнъ содержитъ эквивалентное количество солей двууглекислаго и сѣрнокислаго натра, которыя хорошо растворимы въ водѣ, не дѣлаютъ ея жесткой и не даютъ накипей. Щелочность воды при прохожденіи черезъ цеолитовый песокъ не измѣняется.

Скорость фильтрованія, необходимая для реакціи, зависитъ отъ жесткости воды и измѣняется отъ 1 до 8 метровъ въ часъ, обыкновенно 3—4 м. въ часъ. (1 м.—для воды жесткостью около 100° нѣмецкихъ). При этомъ 1 килограммъ цеолитоваго песка (вѣсъ 1 куб. м. котораго 700—900 кгр.) достаточенъ для пониженія жесткости, вызываемой кальціемъ, на 10° нѣмецкихъ для 0,16 куб. метра воды; градусы жесткости магнезіальные требуютъ вдвое болѣе пермутита.

Послѣ обмѣнной реакціи между пермутитомъ и жесткою водою, требуется „регенерировать“ цеолитовый песокъ, т. е. вновь выдѣлить изъ него кальцій (или магній), замѣнивъ ихъ натріемъ. Для этого достаточно пропустить черезъ цеолитъ растворъ поваренной соли (хлористаго натра): произойдетъ реакція.

$$CaP+2NaCl=CaCl_2+Na_2P$$

Полученный хлористый кальцій вмѣстѣ съ промывною водою удаляется изъ цеолитоваго фильтра.

---

[4]) „Erfahrungen über die künstlichen Zeolithe (Permutite)“. Riedels Berichte. Berlin, 1910.

Фильтръ для смягченія воды пермутитомъ представленъ на фиг. 85[5]); онъ состоитъ изъ вертикальнаго желѣзнаго цилиндра, имѣющаго, кромѣ нижняго сплошного днища, еще двѣ дырчатыхъ горизонтальныхъ перегородки; надъ верхнею насыпанъ слой песка, служащій для предварительнаго фильтрованія воды передъ пропускомъ черезъ цеолитъ; на нижней перегородкѣ расположенъ слой песка и надъ нимъ—слой цеолитоваго песка. Смягчаемая вода поступаетъ вверху цилиндра, проходитъ черезъ песокъ и выходитъ черезъ трубу въ днѣ цилиндра. Растворъ соли пропускается точно такимъ же путемъ, но отводится въ сточную трубу.

Толщину слоя цеолитоваго песка желательно дѣлать не менѣе 0,65 м. (для успѣшности реакціи). Количество цеолитоваго песка въ фильтрѣ расчитываютъ такъ, чтобы регенерація его требовалась во всякомъ случаѣ не чаще 1 раза въ сутки.

На станціяхъ, гдѣ имѣется техническій персоналъ, который можетъ опредѣлять жесткость выходящей съ фильтра воды, обыкновенно къ регенераціи пермутита приступаютъ лишь по достиженіи фильтратомъ 2—3° жесткости.

Количество соли, требуемое для регенераціи, теоретически можетъ быть подсчитано по количеству натра, эквивалентнаго кальцію и магнію, отданнымъ водою пермутиту (считая извѣстными объемъ пропущенной воды и ея жесткость); это теоретическое количество соли должно быть увеличено въ 3—4 раза, такъ какъ не вся соль принимаетъ участіе въ реакціи возстановленія пермутита. Проще можно сказать, что слѣдуетъ брать приблизительно въ 6—8 разъ болѣе (по вѣсу) соли, чѣмъ было отдано пермутиту окиси кальція (CaO), или пересчитанныхъ на CaO солей магнія. Соль пропускаютъ въ видѣ 10% раствора, лучше подогрѣтаго (до 40—50°); для полноты регенераціи, желательно оставить растворъ соли въ соприкосновеніи съ пермутитомъ 4—5 часовъ. Послѣ регенераціи, фильтръ промываютъ чистою водою, чтобы удалить остатки соли; количество промывной воды 1,8—2,5 куб. м. на каждые 100 кгр. соли.

Стоимость аппарата, напр., для смягченія воды жесткостью 10° въ количествѣ 5 куб. м. въ часъ, при регенераціи черезъ 12 часовъ, въ Германіи равна 2500 марокъ (около 1250 руб.) [6]).

Стоимость самого пермутитоваго песка въ Россіи около 18 руб. за пудъ (въ этой суммѣ—около 4 руб. пошлины).

Продолжительность службы этого песка чрезвычайно велика, такъ какъ умягчительныя свойства его съ теченіемъ времени, повидимому, не уменьшаются [7]).

---

[5]) „Erfahrungen über das Permutit-Wasserreinigungs-Verfahren für Enthärtung, Enteiserung und Entmanganung". Berlin. 1911.

[6]) По каталогу фирмы Riedel 1911 г.

[7]) Свѣжій цеолитовый песокъ, до первой регенераціи, обладаетъ болѣе сильными умягчительными свойствами (на 20—25%), чѣмъ было указано выше; послѣдующія регенераціи не уменьшаютъ болѣе этихъ свойствъ.

Если сравнить расходъ на поваренную соль для регенераціи цеолитовъ и расходовъ на соду въ случаѣ смягченія воды содою, то окажется, что количество натра въ единицѣ вѣса какъ того, такъ и другого реактива одинаково, но соли, какъ мы говорили, требуется брать въ 4 раза болѣе теоретическаго количества, сода же, при смягченіи, вся участвуетъ въ реакціи, и потому на одинаковый объемъ данной воды потребуется для смягченія въ 4 раза меньше соды, чѣмъ соли для регенераціи цеолитоваго песка, черезъ который была пропущена эта вода. Однако, стоимость соды около 1 р. 20 к. за пудъ, а соли—15—30 к., поэтому расходы на соль во всякомъ случаѣ не больше, а чаще меньше, чѣмъ на соду.

Для успѣшности регенераціи необходимо, чтобы частицы цеолитоваго песка не были покрыты какою бы то ни было грязью; поэтому въ случаѣ смягченія мутной воды необходимо предварительно пропускать ее черезъ песочный фильтръ, какъ это и выполняется въ аппаратахъ фиг. 85.

## Уменьшеніе кислотности воды.

Нѣкоторыя воды обладаютъ свойствомъ весьма нежелательнымъ, какъ съ технической, такъ и съ гигіенической стороны, растворять матеріалы водосборныхъ и водопроводныхъ сооруженій, а именно свинецъ, желѣзо, бетонъ и цементъ; это свойство вызывается главнымъ образомъ, высокою „кислотностью“ воды.

Наиболѣе распространенною причиною кислотности воды бываетъ присутствіе свободной углекислоты.

Свободная углекислота въ присутствіи кислорода воздуха вызываетъ раствореніе свинца, часть котораго переходитъ въ воду (вѣроятно, въ видѣ двууглекислаго свинца), а часть образуетъ на поверхности свинца отложенія гидрокарбоната извести $Pb(OH)_2 2PbCO_3$. Напротивъ, присутствіе въ водѣ связанной углекислоты (въ видѣ карбонатовъ извести, т. е. временной жестокости воды) лишаетъ воду способности растворять свинецъ; при ней можетъ произойти только образованіе нерастворимаго гидрокарбоната извести, который, покрывая стѣнки, предохраняетъ ихъ отъ дальнѣйшаго разъѣданія.

Вода, не содержащая избытка растворенаго воздуха, но содержащая свободную углекислоту, растворяетъ желѣзо, при выдѣленіи водорода, и переводитъ его въ карбонатъ желѣза, который при доступѣ воздуха выпадаетъ изъ раствора въ видѣ водной окиси желѣза.

Другою причиною кислотности воды служитъ присутствіе въ ней органическихъ кислотъ, происходящихъ отъ разложенія растеній (перегнойныя или торфяныя кислоты, гуминовая и ульминовая), которыя попадаютъ въ воду при протеканіи ея среди болотъ и пространствъ, покрытыхъ мхомъ. Такая вода чрезвычайно мягка и весьма сильно дѣйствуетъ на свинецъ, растворяя 15—30 гр. его на 1 куб. м. воды въ 12 часовъ.

Иногда болотная вода, кромѣ того, разъѣдаетъ бетонъ, благодаря содержанію въ ней сѣрной кислоты, выдѣленной изъ сѣрнаго колчедана.

Мѣры для уменьшенія кислотности воды сводятся или къ удаленію торфянистыхъ веществъ сѣрнокислымъ глиноземомъ и другими коагулянтами, или связыванію свободной углекислоты добавленіемъ извести (увеличеніемъ жесткости воды).

Во Франкфуртѣ-на-Майнѣ (фиг. 86) углекислоту сначала отчасти вывѣтриваютъ (аэраціею воды), а затѣмъ удаляютъ оставшуюся углекислоту фильтрованіемъ черезъ толченый мраморъ, причемъ образуется двууглекислый кальцій; содержаніе свободной углекислоты понижается съ 30 мгр. до 2—4 мгр. въ литрѣ воды, но жесткость воды повышается съ 1,5 до 5 нѣмецкихъ градусовъ; стоимость обработки—около 0,2 пфенига (=0,1 коп.) на 1 куб. м. воды [8]).

Въ Векфильдѣ вода растворяетъ въ среднемъ 16—17 гр. свинца на 1 куб. м. воды въ 12 часовъ; при фильтрованіи воды на песочныхъ фильтрахъ, это количество понижается, но недостаточно (до 2—3 гр.). Для 1 куб. м. воды въ 12 часовъ; при фильтрованіи воды на песочныхъ фильтровъ) добавляли къ водѣ соды, но 50 гр. на 1 куб: м:, что давало хорошіе результаты, но обходилось около 0,24 коп. на 1 куб. м. Послѣ лабораторныхъ опытовъ (въ 1902 г.) стали прибавлять передъ фильтрованіемъ по 14,2 гр. чистаго кальція (имѣла) и по 28,4 гр. углекислаго кальція на 1 куб. м. воды но при этомъ отложенія извести, образующіяся на фильтрѣ, быстро засоряли его. Тогда стали добавлять 14,2 гр. углекислаго кальція до фильтрованія, а остальное количество послѣ фильтрования. Растворение свинца понизилось до 0,29 гр. на 1 куб. м. воды въ 12 часовъ; стоимость обработки воды (не считая фильтрованія) около 0,05 коп. на 1 куб. м.

Наконецъ, для удаленія свободной углекислоты предложено [9]) пропускать воду мелкими струйками въ резервуарѣ съ пониженнымъ давленіемъ, что должно способствовать вывѣтриванію углекислоты и выходу ея изъ воды. Такая установка сдѣлана во Фрейбергѣ.

## Удаленіе изъ воды солей желѣза („обезжелѣзиваніе воды“).

Многія грунтовыя воды, особенно происходящія съ большой глубины, содержатъ значительное количество растворимыхъ солей желѣза, главнымъ образомъ въ коллоидальномъ состояніи.

Желѣзо встрѣчается въ водѣ въ разнообразныхъ видахъ. Чаще всего оно бываетъ связано съ углекислотою; нерѣдко желѣзо попадается также въ видѣ органическихъ соединеній—въ водахъ, прошедшихъ черезъ

---

[8]) „Die Wasserversorgung von Francfurt a. M. Herausgegeben von Städtischen Tiefbauamt“. 1909.

[9]) Wehner. Die Sauerkeit der Gebruachwässer und die Vakuumrieselung. 1904. „Gesundheit“, 1908, 747.

торфяные и болотистые грунты, которые также содержатъ весьма много желѣза.

Во всякомъ случаѣ желѣзо легко выдѣляется изъ воды, хотя и различными способами, въ зависимости отъ происхожденія желѣзистыхъ примѣсей въ водѣ. Вообще говоря, желѣзо, связанное съ углекислотою, легче, быстрѣе и полнѣе переводится въ нерастворимое состояніе, чѣмъ желѣзо, связанное съ гуминовыми веществами или сѣрною кислотою.

Жесткую воду легче обезжелѣзить, чѣмъ мягкую. Выпаденіе изъ раствора желѣза, связаннаго съ углекислотою ($Fe(HCO_3)_2$), обыкновенно происходитъ послѣ болѣе или менѣе продолжительнаго соприкосновенія воды съ съ атмосфернымъ воздухомъ. При этомъ вода мутнѣетъ и пріобрѣтаетъ сѣроватый оттѣнокъ отъ присутствія нерастворимыхъ солей желѣза (гидрата окиси желѣза), которыя образуютъ черныя хлопья и со временемъ осаждаются. Процессъ выдѣленія желѣза происходитъ по уравненію

$$2Fe(HCO_3)_2 + O + H_2O = Fe_2(OH)_6 + 4CO_2$$

Сѣроводородъ, а равно и амміакъ, образуются въ водѣ, съ одной стороны, изъ солей желѣза, находящихся въ почвѣ (сѣрный колчеданъ и др.) и изъ углекислоты, растворенной въ грунтовыхъ водахъ, а съ другой стороны—изъ попадающагося на пути потока воды свободнаго сѣроводорода и находящихся въ водѣ нитратовъ и нитритовъ.

Klut [10]) показалъ, что эти процессы происходятъ также и въ лабораторной обстановкѣ (въ пробиркѣ) и совершаются чисто химическимъ путемъ, безъ участія микроорганизмовъ, а поэтому получающіеся при этомъ продукты въ санитарномъ отношеніи не являются дурными показателями.

Реакціи происходятъ по слѣдующимъ уравненіямъ:

$$FeS_2 + 2CO_2 + 2H_2O = H_2S + S + Fe(HCO_3)_2$$

или

$$N_2O_5 + 8H_2S = 2NH_3 + 8S + 5H_2O$$

Содержаніе желѣза въ водѣ измѣняется въ широкихъ предѣлахъ, отъ слѣдовъ до 30—70 мгр. и болѣе въ литрѣ. Присутствіе желѣза можетъ вызвать неудобства лишь при содержаніи его свыше 0,1 мгр., обыкновенно даже свыше 0,2—0,3 мгр. желѣза (Fe) въ литрѣ воды.

Неудобства, вызываемыя присутствіемъ желѣза въ водѣ, извѣстны: при выпаденіи желѣза изъ раствора вода мутнѣетъ, принимаетъ непріятный видъ и дурной вкусъ и запахъ („желѣзистый"), затрудняетъ стирку бѣлья и дѣлаетъ воду непригодною для многихъ отраслей промышленности.

---

[10]) Klut. „Mitteilungen a. d. K. Prüfungsanstalt für Wasserversorgung", 1909 № 12.

Отложенія желѣза, какъ непосредственныя, такъ и вызываемыя жизнедѣятельностью желѣзобактерій (Crenothrix, Gallionella и др.), въ большомъ количествѣ развивающихся въ желѣзистой водѣ, ведутъ къ уменьшенію сѣченія трубъ и даже закупоркѣ ихъ. Фиг. 87 представляетъ водопроводныя трубы Франкфурта-на-Майнѣ, съ отложеніями въ нихъ окиси желѣза.

Въ жесткой водѣ Crenothrix можетъ развиваться при самой ничтожной примѣси желѣза. Для роста Gallionella достаточно содержаніе 0,3 мгр. желѣза въ литрѣ воды. Изъ за развитія желѣзоорганизмовъ иногда приходилось въ прежнее время отказываться отъ водоснабженія грунтовою водою.

Вліяніе неудобства желѣзистой воды далеко не одинаково для крупныхъ городскихъ водоснабженій и для мелкихъ установокъ (особенно изъ отдѣльныхъ колодцевъ). Въ послѣднемъ случаѣ даже значительное содержаніе желѣза (до 0,7 мгр. въ литрѣ) нерѣдко вполнѣ допустимо, и требуется только періодически прочищать трубы для удаленія отложеній; при крупныхъ же центральныхъ водоснабженіяхъ необходимо удалять желѣзо, допуская содержаніе его не свыше 0,1 мгр. въ литрѣ.

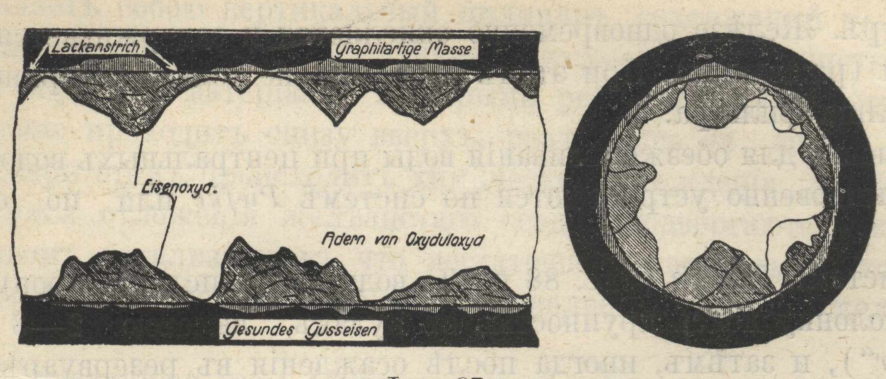
Такъ какъ достаточная аэрація воды съ послѣдующимъ фильтрованіемъ ея (американскими фильтрами) въ большинствѣ случаевъ вполнѣ пригодна для уменьшенія присутствія желѣза до допускамыхъ предѣловъ, теперь явилась возможность при выборѣ источниковъ водоснабженія всегда отдавать предпочтеніе ключевой водѣ, какъ наилучшей въ гигіеническомъ отношеніи.

Работы Дарапскаго [11]) установили основанія для удаленія желѣза изъ воды; онъ доказалъ, что для выдѣленія желѣза требуется избытокъ воздуха, а именно кислорода, который, однако, только тогда оказываетъ сильное дѣйствіе, когда вода послѣ тѣснаго смѣшенія съ нимъ тотчасъ проходитъ черезъ фильтръ, каталитически задерживающій желѣзо. При одинаковомъ содержаніи желѣза, необходимая скорость фильтраціи обратно пропорціальна количеству смѣшаннаго съ водою воздуха.

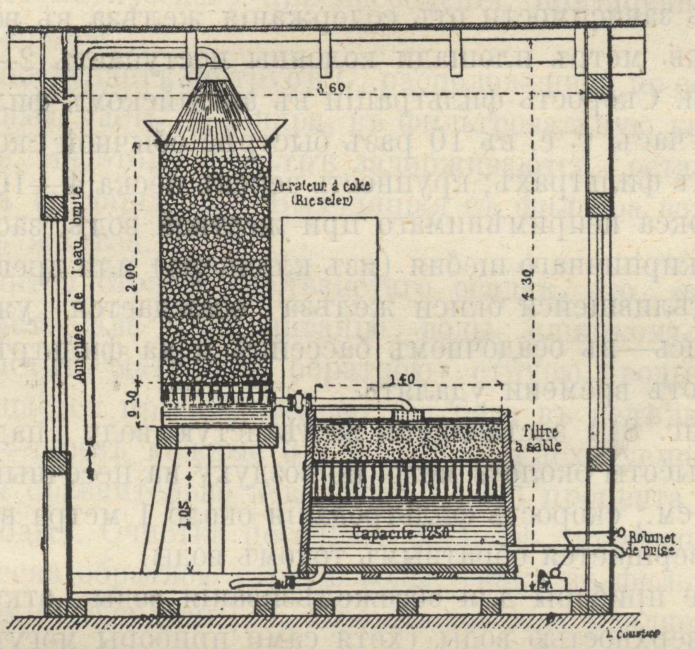
На основаніи этихъ опытовъ фирма Deseniss und Jacobi устраиваетъ приборы для обезжелѣзиванія воды.

Прежде полагали, что для выдѣленія желѣза требуется только смѣшать съ водою количество кислорода, достаточное для окисленія находящагося въ водѣ желѣза, и производили процессъ обезжелѣзиванія въ двухъ совершенно отдѣльныхъ помѣщеніяхъ (въ окислительной, или аэраціонной, камерѣ и въ фильтровальной камерѣ): при способѣ Десениссa и Якоби, струя воздуха (расчитанная въ количествѣ большемъ, чѣмъ необходимо для реакціи), въ среднемъ въ объемѣ равномъ объему воды, смѣшивается съ водою непосредственно передъ поступленіемъ ея

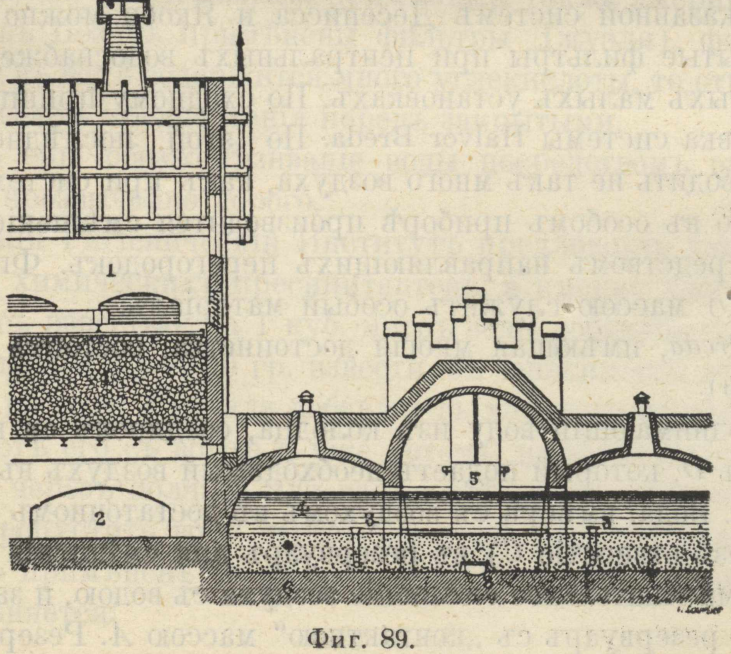
[11]) Darapsky. Enteisenung von Grundwasser. 1905.
Его же статьи въ Gesundheit 1906, стр. 385 и 417.




Фиг. 87.




Фиг. 88.




Фиг. 89.

на фильтръ. Желѣзо одновременно окисляется и задерживается въ видѣ окиси (ржавчины). При этомъ работаетъ не только поверхность, но и вся толща фильтра.

Установки для обезжелѣзиванія воды при центральныхъ водоснабженіяхъ обыкновенно устраиваются по системѣ *Piefke* или по системѣ *Oesten*.

Въ системѣ *Пифке* (рис. 88 и 89) воду для окисленія пропускаютъ черезъ колонну кокса крупностью съ кулакъ, высотою 2—3 метра („*Reiseler*"), и затѣмъ, иногда послѣ осажденія въ резервуарѣ черезъ обыкновенный песочный фильтръ. Высоту колонны кокса и площадь ея выбираютъ въ зависимости отъ содержанія желѣза въ водѣ: приблизительно на 1 кв. метръ площади колонны поступаетъ 2—4 куб. метра воды въ сутки. Скорость фильтраціи въ англійскомъ фильтрѣ дѣлаютъ около 1 м. въ часъ, т. е. въ 10 разъ быстрѣе обычной скорости очистки на англійскихъ фильтрахъ; крупность зеренъ песка 4—10 мм.

Вмѣсто кокса непримѣнимаго при жесткой водѣ, засыпку колонны дѣлаютъ изъ кирпичнаго щебня (изъ клинкера) или древеснаго угля.

Часть выдѣлившейся окиси желѣза осаждается уже на коксѣ, остальная окись—въ осадочномъ бассейнѣ и на фильтрѣ. Осадки слѣдуетъ время отъ времени удалять.

*Oesten* (фиг. 81) заставляетъ желѣзистую воду падать мелкимъ дождемъ съ высоты около 2 метр. по воздуху на песочный фильтръ толщиною въ 30 см.; скорость фильтрованія около 1 метра въ часъ. Удаленіе осадка совершается обратнымъ токомъ воды.

Описанные приборы для обезжелѣзиванія воды—открытые, т. е. со свободною поверхностью воды (хотя сами приборы могутъ помѣщаться и въ закрытомъ зданіи): поэтому вода можетъ подвергнуться загрязненію. Съ точки зрѣнія гигіены, закрытые установки предпочтительнѣе.

По вышеуказанной системѣ Десенисса и Якоби можно устраивать также и закрытые фильтры при центральныхъ водоснабженіяхъ, какъ и при отдѣльныхъ малыхъ установкахъ. По сходному принципу устраиваются установка системы Halvor Breda. По этой послѣдней системѣ требуется подводить не такъ много воздуха, какъ при системѣ Десенисса и Якоби, но въ особомъ приборѣ производится смѣшеніе воды съ воздухомъ посредствомъ направляющихъ перегородокъ. Фильтрующею („контактною") массою служитъ особый матеріалъ.

Система *Breda*, имѣющая многія достоинства, состоитъ въ слѣдующемъ (рис. 90).

Насосъ, поднимающій воду изъ колодца, соединенъ съ воздушнымъ компрессоромъ *D*, который подаетъ необходимый воздухъ въ трубу, подводящую воду. Вода, вмѣстѣ съ воздухомъ въ достаточномъ количествѣ, входитъ (черезъ отверстіе *C*) въ резервуаръ для смѣшенія *B*, гдѣ происходитъ весьма тщательное смѣшеніе воздуха съ водою, и затѣмъ смѣсь поступаетъ въ резервуаръ съ „контактною" массою *A*. Резервуаръ этотъ

представляетъ собою вертикальный цилиндръ, содержащій въ верхней части такъ называемую „контактную“ массу—крупнозернистый минеральный пористый матеріалъ съ острыми ребрами, черезъ который вода медленно проходитъ снизу вверхъ, раздѣляясь на весьма тонкія струйки; при этомъ происходитъ химическое осажденіе желѣза; накопляющіяся отложенія желѣзистаго осадка подвергаются окисленію посредствомъ катализа, такъ что достаточно сравнительно короткаго промежутка времени, чтобы произошло полное выдѣленіе желѣза изъ воды.

Освобождающіеся газы (углекислота и сѣроводородъ) удаляются посредствомъ автоматическаго приспособленія, помѣщеннаго въ верхнемъ концѣ цилиндра.

Далѣе вода поступаетъ по трубѣ *C*, расположенной по оси цилиндра, обратно въ нижнюю часть цилиндра, въ фильтровальную камеру, на песочный фильтръ. На этомъ фильтрѣ задерживаются оставшіяся еще частицы желѣза (и марганца). Выходящая съ фильтра вода прозрачна и не содержитъ желѣза.

Когда накопится столько желѣзистаго осадка, что сопротивленіе заполняющаго матеріала просачиванію воды слишкомъ возрастетъ, слѣдуетъ прочистить матеріалъ обратною струею воды. Песочный фильтръ прочищается приблизительно два раза въ недѣлю, а контактный матеріалъ—черезъ каждые 3—6 недѣль. Расходуемое количество промывной воды сравнительно невелико (1—1,3 процента фильтруемаго количества воды). Очистка песочнаго фильтра производится перемѣшиваніемъ песка обратною струею воды, (какъ въ фильтрахъ Джуэля) и мѣшалками (граблями) *K*. Промывная вода удаляется черезъ *f* и *g*, а грязь черезъ *c*.

Въ случаѣ устройства отдѣльныхъ приспособленій для аэраціи воды, для осажденія окиси желѣза примѣнимы также американскіе фильтры (напр., въ Позенѣ примѣнены фильтры Джуэля), фильтры Кренке и др. Если въ водѣ содержится много углекислоты, то открытые фильтры заслуживаютъ предпочтенія передъ закрытыми.

Возможно еще обезжелѣзиваніе воды посредствомъ озона, однако, оно было бы чрезвычайно дорого.

Гамбургскій Гигіеническій Институтъ предложилъ удалять желѣзо добавленіемъ химическихъ пресипитантовъ, а именно хлорнаго желѣза, смѣшаннаго съ известью; на 1 куб. метръ воды добавляютъ около 10 гр. хлорнаго желѣза и 50—100 гр. извести, въ зависимости отъ количества углекислоты въ водѣ. Сначала добавляютъ хлорнаго желѣза, тщательно перемѣшиваютъ его съ водою и уже потомъ добавляютъ известь, также размѣшивая: черезъ полчаса или часъ выдѣляется обильный осадокъ, и остается пропустить воду черезъ фильтръ (Кренке или др.). Этотъ способъ былъ примѣненъ въ казармахъ въ Cuxhaven, и, вообще говоря, рѣдко примѣняется.

Слѣдуетъ остановиться еще на обезжелѣзиваніи воды изъ отдѣльныхъ колодцевъ (при водоснабженіи отдѣльныхъ зданій и т. под.), когда считаютъ необходимымъ выдѣленіе желѣза обыкновенно при содержаніи его свыше 0,7 мгр. въ литрѣ воды, если вода употребляется для питья и хозяйства. При этомъ удаленіе желѣза производится, главнымъ образомъ, для приданія водѣ пріятнаго вида: само по себѣ желѣзо безвредно для здоровья, но дѣлаетъ воду (при соприкосновеніи ея съ воздухомъ) мутною и отталкивающею на видъ; если не освѣтлить здоровую воду глубокихъ колодцевъ, многіе будутъ предпочитать ей прозрачную, хотя и изобилующую бактеріями, воду иныхъ источниковъ (рѣкъ, неглубокихъ колодцевъ и т. п.).

Дунбаръ [12]) указалъ простой и дешевый способъ обезжелѣзиванія воды отдѣльныхъ колодцевъ; предложенный имъ приборъ носитъ названіе *„бочки Дунбара“* (фиг. 91). Приборъ состоитъ изъ бочки емкостью въ 30—40 литровъ, въ которой помѣщенъ двойной металлическій цилиндръ *dd* и *cc;* пространство снаружи цилиндра заполнено по срединѣ высоты мелкимъ (1—1,5 мм.) пескомъ *e*, а по концамъ—гравіемъ *f*. Бочку опускаютъ на дно колодца; вода, просачивающаяся изъ колодца въ бочку (при откачкѣ воды изъ цилиндра по трубкѣ *g*), фильтруется черезъ песочный слой, поступаетъ въ наружный цилиндръ черезъ отверстія близъ его дна и затѣмъ переливается во внутренній цилиндръ поверхъ его стѣнокъ (не доходящихъ до верха бочки). Всасывающая труба *g* доходитъ до дна внутренняго цилиндра, а вентиляціонная трубка *h* оканчивается выше уровня воды; воздухъ поступаетъ по *h* при каждой откачкѣ воды, одновременно съ поступленіемъ въ цилиндръ новой порціи воды изъ колодца, и смѣшивается съ этою водою.

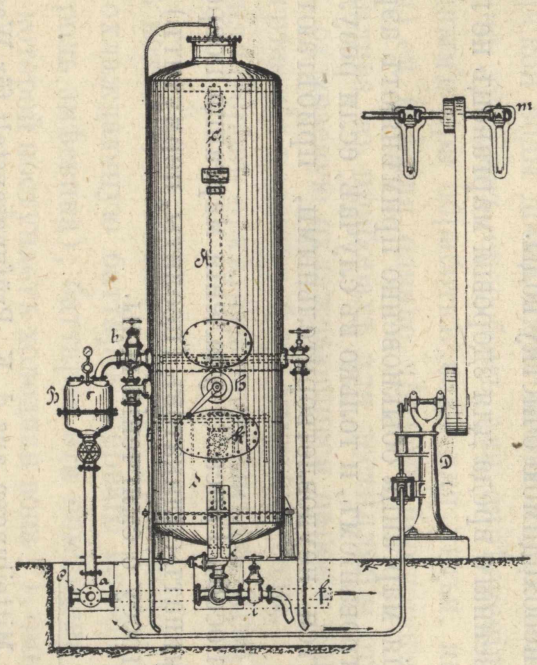
Объемъ воды, очищаемой въ сутки „Бочкою Дунбара“, равенъ при весьма значительномъ содержаніи желѣза восьмикратному объему бочки, а при меньшемъ содержаніи желѣза, конечно, можетъ быть увеличенъ.

Фильтръ въ бочкѣ, подобно всѣмъ песочнымъ фильтрамъ, требуетъ времени на „созрѣваніе“—отъ 1 до 7 дней. Когда песокъ загрязнится (черезъ 2—4 мѣсяца), его прочищаютъ промывкою (до тѣхъ поръ, пока промывная вода не будетъ выходить совершенно чистою).

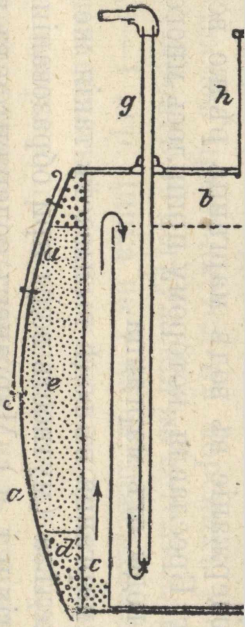
Весьма удобно и дешево обезжелѣзиваніе воды посредствомъ фильтрующаго насоса для отдѣльныхъ колодцевъ фирмы Deseniss und Jacobi, называемаго *Bastard-Pumpe* (фиг. 92).

Приборъ этотъ состоитъ изъ насоса и закрытаго (напорнаго) песочнаго фильтра, помѣщеннаго въ той же насосной шахтѣ. Насосъ отличается отъ обыкновеннаго колодезнаго тѣмъ, что надъ водянымъ цилиндромъ (содержащимъ всасывающій и нагнетательный клапаны и присоединеннымъ ко всасывающей трубѣ) помѣщенъ еще воздушный

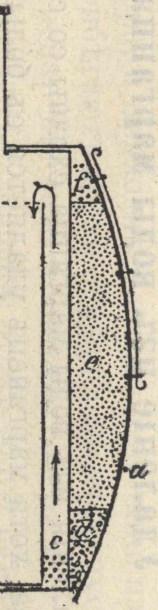
[12]) Dunbar. „Zeitschrift für Hygiene“, 1896.

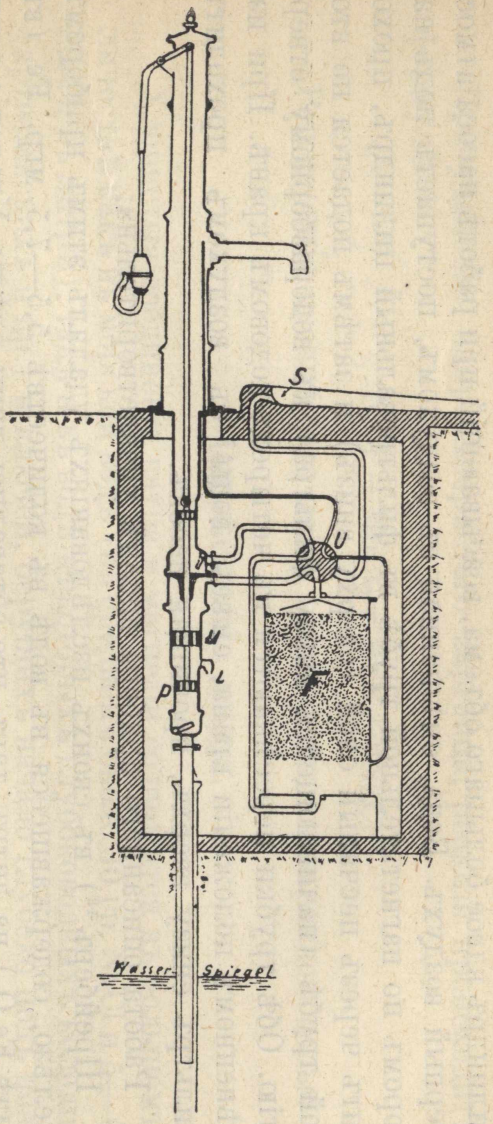


Фиг. 90.




Фиг. 91.




Фиг. 92.

цилиндръ вдвое большаго объема, всасывающій при работѣ насоса атмосферный воздухъ. Вода, смѣшанная съ воздухомъ, поступаетъ подъ напоромъ по нагнетательной трубѣ въ фильтровальный цилиндръ, проходитъ черезъ песчаный слой (сверху внизъ) и затѣмъ подается по второй трубѣ (начинающейся внизу фильтра) къ водоразборному отверстію. Обѣ трубки пересѣкаются въ четырехъ-ходовомъ кранѣ. При измѣненномъ положеніи крана, смѣсь воды съ воздухомъ проходитъ фильтръ снизу вверхъ, прочищая песокъ.

Работа описаннаго прибора вполнѣ удовлетворительна.

Шрейберъ [13]) въ своихъ изслѣдованіяхъ удалялъ этимъ приборомъ желѣзо, содержавшееся въ водѣ въ количествѣ 5,5—7,5 мгр. Fe (въ видѣ $Fe_2O_3$) на литръ, такъ, что оставались лишь слѣды. Удаленіе осадка обратною промывкою фильтра требовало нѣсколько минутъ.

## Удаленіе изъ воды марганца.

Способы удаленія изъ воды марганца сходны со способами удаленія изъ воды желѣза, хотя марганецъ удаляется съ бо́льшимъ трудомъ. Однако, высокое содержаніе въ водѣ марганца рѣдко встрѣчается; извѣстенъ примѣръ г. Бреславля, которому пришлось много поработать надъ освобожденіемъ воды отъ марганца.

Присутствіе марганца въ водѣ вызываетъ такія же неудобства, какъ и присутствіе желѣза (мутность воды при образованіи окиси марганца, развитіе Crenothrix и т. д.). Марганецъ содержится въ водѣ въ видѣ двууглекислаго и сѣрнокислаго марганца, въ весьма разнообразномъ количествѣ. Въ водѣ Бреславля содержаніе сѣрнокислаго марганца доходитъ до 100 мгр. въ литрѣ; между тѣмъ даже нѣсколько миллиграммовъ марганца дѣлаютъ необходимою очистку воды.

Непосредственнаго вреда для здоровья марганецъ не приноситъ, какъ и желѣзо.

Для удаленія марганца обыкновенно примѣняютъ аэрацію съ послѣдующимъ фильтрованіемъ, и только въ случаѣ, если результаты такой обработки окажутся неудовлетворительными, прибѣгаютъ къ другимъ средствамъ.

Отмѣтимъ способъ Ганса [14]) удаленія марганца посредствомъ искусственныхъ алюминатъ-силикатовъ (цеолиты, пермутитъ), о которыхъ мы говорили по вопросу о смягченіи воды.

---

[13]) Schreiber. „Mitteilungen aus d. K. Prüfungsanstalt für Wasserversorgung und Abwässerbeseitigung“, 1906, № 6.

[14]) Gans. „Deutsche Uierteljahrschrift f. off. Ges.—pflege“, 1910.

При удаленіи, напр., хлористаго марганца, реакція происходитъ по формулѣ

$$Na_2P + MnCl_2 = MnP + 2NaCl$$

Регенерація цеолитоваго песка производится поваренною солью.

## Опрѣсненіе воды.

Хлористыя соединенія натра и магнезіи содержатся въ большомъ количествѣ какъ въ морской водѣ (въ среднемъ около 30 гр. NaCl и 5—6 гр. $MgCl_2$ въ литрѣ), такъ и въ водѣ нѣкоторыхъ глубоководныхъ колодцевъ, (артезіанскихъ и др.) и ключей, берущихъ начало глубоко подъ поверхностью земли. Хлористыя соли, даже при маломъ содержаніи, придаютъ водѣ соленый вкусъ; при питаніи котловъ соли эти повышаютъ температуру кипѣнія и весьма сильно разъѣдаютъ желѣзо.

Однако, нѣтъ никакого химическаго способа для выдѣленія этихъ солей изъ раствора, и приходится примѣнять лишь палліативы: при питаніи котловъ прибѣгаютъ время отъ времени къ выпуску изъ котла воды, въ которой, при испареніи воды въ котлѣ, содержаніе солей повысилось, и тѣмъ предупреждаютъ осажденіе этихъ солей изъ раствора на стѣнки котла (этотъ способъ примѣняется въ морскихъ котлахъ на судахъ). Другой пріемъ состоитъ въ погруженіи въ котелъ пластины цинка (приблизительно 0,5—1 кгр. цинка на 1 кв. м. поверхности нагрѣва котла); возникаетъ гальваническій токъ, вызывающій осажденіе на желѣзныхъ стѣнкахъ котла водорода, предохраняющаго ихъ отъ разъѣданія, и только цинкъ разъѣдается; время отъ времени надъ счищать съ поверхности цинка образовавшуюся окись цинка.

Иногда добавляютъ къ соленой водѣ извести, которая препятствуетъ разъѣданію стѣнокъ котловъ, но увеличиваетъ накипь на нихъ. (На 1 куб. м. морской воды добавляютъ около 1 кгр. извести).

Несомнѣнно лучшимъ способомъ для опрѣсненія воды, единственнымъ пригоднымъ при обработкѣ воды для питья, является перегонка (дестилляція) ея, которая, однако, чрезвычайно дорога. Для уменьшенія расходовъ топлива, въ приборахъ для дестилляціи стараются использовать теплоту, отдаваевую охлаждающимся паромъ при переходѣ его въ воду, для нагрѣванія подаваевой въ аппаратъ воды.

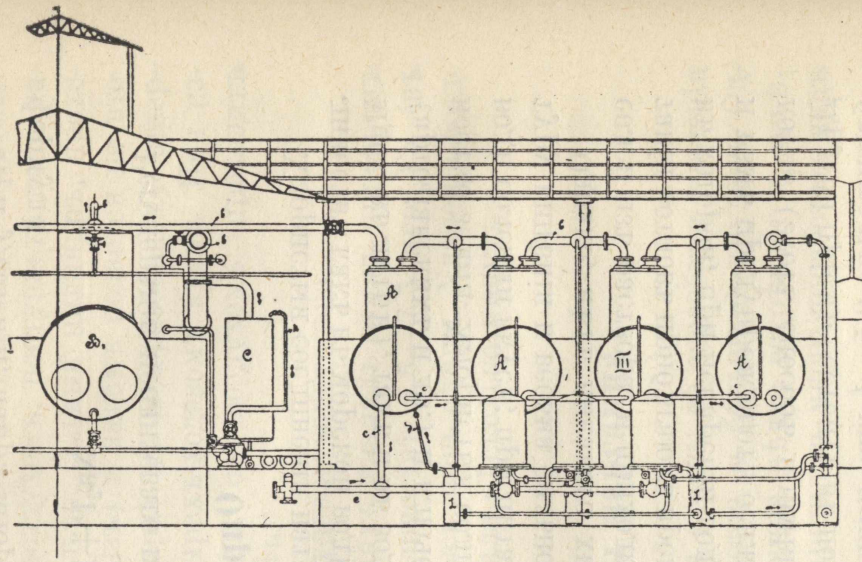
Изъ дестилляторовъ отмѣтимъ опрѣснитель Ягна [15]), (см. фиг. 93, 94 и 95).

Паръ изъ котла *B*, имѣющій температуру около 164°, поступаетъ по трубѣ b въ охлаждающую баттарею перваго элемента опрѣснителя *A* (играющую роль змѣевика); баттарея эта помѣщена въ желѣзномъ резервуарѣ, въ которой поступаетъ холодная вода [16]), омывающая баттарею.

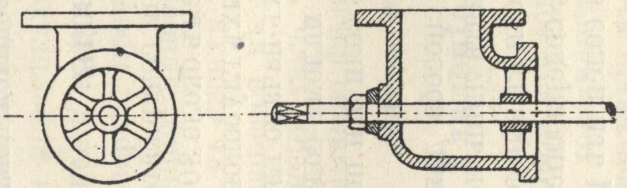
---

[15]) Труды XX, XXII и XXII Съѣздовъ Инженеровъ Службы Тяги.

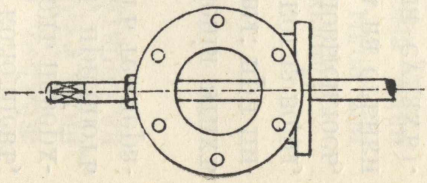
[16]) Предварительно подогрѣтая въ „холодильникахъ“ дестилированной всды.



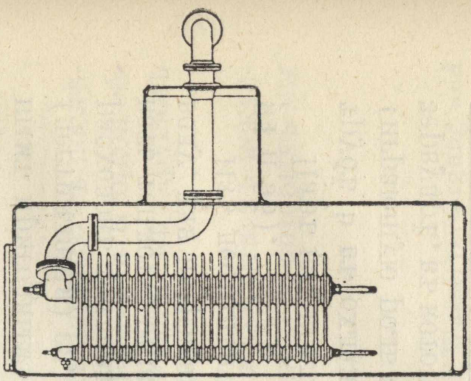

Паровой инжекторъ



1/16 нат. вел.

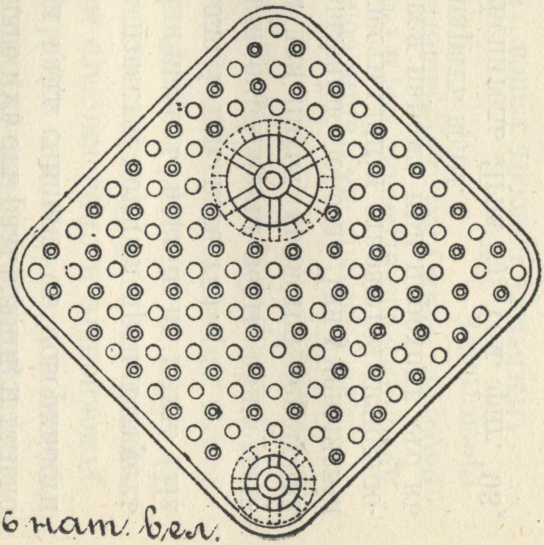


Фиг. 93.



Фиг. 94.

Кипятильная пластина.



1/16 нат. вел.

Фиг. 95.

Паръ въ баттареѣ сгущается въ (дестиллированную) воду, отдавая тепло охлаждающей водѣ, которая нагрѣвается пириблизительно до 156° и въ свою очередь обращается въ паръ, отводимый во внутрь баттареи второго элемента опрѣснителя, гдѣ этотъ паръ сгущается въ воду, нагрѣвая охлаждающую (сырую) воду до 148°, и т. д.

Изъ послѣдняго (восьмого) элемента паръ, образующійся изъ охлаждающейся воды, впускаемой въ этотъ элементъ, имѣя температуру 100°, поступаетъ въ холодильникъ и присоединяется къ дестиллированной водѣ, собранной изъ баттарей (змѣевиковъ) всѣхъ восьми элементовъ.

Каждая баттарея, для развитія большей поверхности охлажденія, составлена изъ ряда (около 25) плоскихъ мѣдныхъ коробокъ, въ стѣнкахъ которыхъ сдѣланы углубленія (фиг. 95); каждая коробка имѣетъ два отверстія: одно (верхнее) бо́льшаго, другое меньшаго діаметра; между стѣнками сосѣднихъ коробокъ вставляются шайбы съ такими же отверстіями, къ большому отверстію одной изъ крайнихъ коробокъ примыкаетъ паровпускная труба, и всѣ коробки баттареи наглухо соединяются между собою болтомъ, пропущеннымъ черезъ ось отверстія. Такъ же соединяются и меньшія отверстія коробокъ, образуя каналъ для выпуска дестиллированной воды, къ которому примыкаетъ водовыпускная трубка.

Дестиллированная вода изъ каждой баттареи идетъ черезъ сепараціонные кувшины (для удаленія пара) въ холодильники, гдѣ охлаждается сырою водою, пропускаемою черезъ эти холодильники передъ впускомъ въ элементы опрѣснителя; сырая вода нагрѣвается въ холодильникахъ до 80—85°. Для осажденія части солей передъ впускомъ въ кожухи элементовъ сырая вода проходитъ черезъ особые накипеотстойники.

Стоимость опрѣснителей, со всею установкою, въ среднемъ около 6000 руб. на 1 куб. саж. суточной производительности [17]). Стоимость опрѣсненія 1 куб. саж. воды, при цѣнѣ нефти 30 коп. за пудъ, около 9 руб.; на опрѣсненіе 1 куб. саж. воды расходуется около 15 пудовъ нефти.

---

[17]) „Труды IX Водопроводнаго съѣзда“, докладъ И. М. Ротштейна.

## Глава VIII.

# Дезинфекція питьевой воды.

Какъ мы видѣли, раціональнымъ примѣненіемъ различныхъ способовъ фильтрованія можно настолько освободить воду отъ микроорганизмовъ, что во многихъ случаяхъ ее можно практически считать обезвреженною. Однако, уже давно стремились *уничтожать* бактерій, находящихся въ питьевой водѣ, вмѣсто простого механическаго *задержанія* ихъ, имѣющаго мѣсто при фильтрованіи воды. Эти попытки привели къ ряду способовъ дезинфекціи воды, какъ въ малыхъ количествахъ, такъ и въ большихъ; однако, лишь въ послѣднее время достигнуты способы дешевой массовой дезинфекціи воды, примѣнимые въ центральныхъ водоснабженіяхъ.

Всѣ способы дезинфекціи воды стараются воздѣйствовать на бактерій, какъ на живые организмы, умервщляя ихъ; какъ уже указывалось, дезинфекція отличается отъ стерилизаціи (т. е. отъ полнаго уничтоженія всѣхъ микроорганизмовъ) тѣмъ, что ограничиваются уничтоженіемъ однихъ лишь болѣзнетворныхъ бактерій, которыя обладаютъ меньшею стойкостью и способностью сопротивляться бактеріеубивающимъ средствамъ, чѣмъ многіе виды безразличныхъ бактерій.

Уничтоженіе бактерій въ настоящее время достигается физическимъ или химическимъ путемъ.

## Физическіе способы дезинфекціи (обеззараживанія) воды.

Къ физическимъ способамъ уничтоженія бактерій относятся: кипяченіе и перегонка (дестилляція) воды и дезинфекція ея ультра-фіолетовыми лучами. Для дезинфекціи большихъ массъ воды безъ чрезмѣрныхъ издержекъ пригоденъ только послѣдній способъ, находящійся, однако, въ настоящее время въ стадіи разработки.

*Кипяченіе* является лучшимъ способомъ дезинфекціи небольшихъ количествъ воды, вѣрно убивая всѣхъ болѣзнетворныхъ зародышей; но при кипяченіи ухудшается вкусъ воды, такъ что для приданія болѣе пріятнаго вкуса нерѣдко добавляютъ къ водѣ различныя вещества—чай, фруктовый сокъ, или же насыщаютъ воду углекислотою. Для дезинфекціи большихъ количествъ воды кипяченіе непригодно, такъ какъ требуетъ большихъ затратъ, и на охлажденіе прокипяченной воды нужно много времени.

Въ случаѣ необходимости примѣненія кипяченія воды въ довольно большихъ размѣрахъ (для служащихъ фабрикъ и различныхъ общественныхъ учрежденій, для употребленія въ питье въ общественныхъ мѣстахъ и т. д.), для уменьшенія расхода топлива примѣняютъ кипятильники, въ которыхъ прокипяченая вода приводится въ соприкосновеніе (черезъ стѣнки сосуда, чаще змѣевика) съ протекающею навстрѣчу ей струею холодной воды, поступающей для кипяченія, и отдаетъ ей часть своей теплоты. Не останавливаясь на описаніи кипятильниковъ, отмѣтимъ, что существуетъ весьма много системъ ихъ; изъ удачныхъ русскихъ системъ, отмѣтимъ кипятильники Безсонова, Бари, вышеописанный дистилляторъ (опрѣснитель) Ягна.

*Перегонка* (дистилляція) воды примѣняется почти исключительно въ медицинѣ, гдѣ необходима не только дезинфекція, но и полная стерилизація воды, достигаемая при перегонкѣ.

## Дезинфекція ультра-фіолетовыми лучами.

Какъ извѣстно, различные лучи спектра характеризуются длиною свѣтовыхъ волнъ. Лучи, длина волны которыхъ равна отъ 0,4 до 0,1 микрона (микронъ=0,001 миллиметра), называются ультра-фіолетовыми; они не производятъ впечатлѣнія на глазъ человѣка.

Ультра-фіолетовые лучи могутъ быть раздѣлены на 3 группы:

1) Лучи съ длиною волны отъ 0,4 до 0,3 микрона; они, хотя и плохо, но проходятъ черезъ тонкое стекло и производятъ сильное химическое дѣйствіе (напр., въ фотографіи); они не только не убиваютъ бактерій и не являются разрушителями органической жизни, но, напротивъ, служатъ источникомъ энергіи на землѣ, дѣйствуя на растенія, содержащія хлорофиллъ. Эти лучи называютъ иногда „біотическими“ ультра-фіолетовыми лучами.

2) Лучи съ длиною волны 0,3 до 0,2225 микрона, которые обладаютъ физическими и химическими свойствами лучей 1-й группы, но въ значительно большей степени; они разрушающимъ образомъ дѣйствуютъ на растительную и животную клѣтчатку, весьма опасны для кожи и для глаза и убиваютъ бактерій; они поглощаются стекломъ, но проходятъ черезъ кварцъ и черезъ чистую воду (въ слоѣ въ 30 см. и болѣе). Эти лучи, какъ и лучи 3-й группы, называются иногда „абіотическими“, какъ вредные для жизнедѣятельности организмовъ.

3) Наконецъ, лучи съ волнами въ 0,2225—0,1 микрона, обладая вышеуказанными свойствами въ еще большей мѣрѣ, легко задерживаются не только стеклами, но также кварцемъ, тонкимъ слоемъ воды, воздухомъ и т. д., поэтому дѣйствіе ихъ бываетъ только поверхностнымъ.

Такимъ образомъ, для дезинфекціи воды могутъ быть примѣняемы лишь ультра-фіолетовые лучи 2-й группы, т. е. съ длиною волнъ отъ 0,3 до 0,2225 микрона.

Долгое время эти лучи примѣнялись только въ физическихъ лабораторіяхъ; первое практическое примѣненіе ихъ было сдѣлано проф. Финзеномъ для леченія нѣкоторыхъ болѣзней (волчанки и др.); для полученія лучей Финзенъ пользовался дуговою лампою. Широкое примѣненіе ультра-фіолетовыхъ лучей сдѣлалось возможнымъ лишь послѣ изобрѣтенія американскимъ инженеромъ Cooper-Hewitt дуговой лампы со ртутными электродами, дающей весьма значительное количество ультрафіолетовыхъ лучей. Такъ какъ лучи эти задерживаются стекломъ, то оболочку ртутныхъ лампъ стали дѣлать кварцевою, т. е. изъ расплавленнаго кварца. Лампы имѣютъ форму трубокъ.

Дуговыя лампы съ ртутными электродами служатъ весьма долго, не требуя никакого надзора и никакой механической регулировки.

Для изученія вопроса о стерилизаціи большихъ количествъ воды при помощи ртутныхъ кварцевыхъ лампъ былъ произведенъ цѣлый рядъ опытовъ съ 1908 года, главнымъ образомъ во Франціи [1]).

Опытами было установлено, что бактерицидное дѣйствіе ультра-фіолетовыхъ лучей уменьшается съ удаленіемъ отъ источника ихъ быстрѣе, чѣмъ увеличивается квадратъ разстоянія.

До сихъ поръ примѣнялись при опытахъ, главнымъ образомъ, два типа лампъ: лампа Westinghouse-Cooper-Hewitt C°, въ 220 вольтъ и 3 ампера; и лампа компаніи Quartzlampen-Gesellschaft въ 110 вольтъ и 3,6 ампера. Для полнаго уничтоженія B. coli въ водѣ, предварительно вполнѣ освѣтленной, требуется воздѣйствіе лучей въ теченіе слѣдующаго промежутка времени:

| При разстояніи лампы. | Для лампы 110V×3,6A. | Для лампы 220V×3A. |
|---|---|---|
| 60 см. | 300 секундъ. | 30 секундъ. |
| 40 см. | 180 „ | 15 „ |
| 20 см. | 20 „ | 4 „ |
| 10 см. | 4 „ | менѣе 1 „ |

Для быстраго и полнаго уничтоженія патогенныхъ микроорганизмовъ, дезинфецируемая вода (а равно и другія дезинфецируемыя жидкости) должна быть свободна отъ мути, мало окрашена (по возможности безцвѣтна) и не должна содержать много коллоидальныхъ примѣсей.

Присутствіе въ водѣ мути, т. е. твердыхъ непрозрачныхъ взвѣшенныхъ частицъ, нежелательно, такъ какъ каждая частица составляетъ какъ бы экранъ, непропускающій ультра-фіолетовыхъ лучей въ часть пространства позади этой частицы. Коллоидальныя частицы, прозрачныя для обыкновенныхъ свѣтовыхъ лучей, непроницаемы для ультрафіолетовыхъ. Окраска жидкости поглощаетъ часть ультра-фіолетовыхъ

[1]) „Comptes rendus des Séances de l'Academie des Sciences", 1909—1912; доклады Courmont, Nogier, Henri, Hellbrunner, Recklinghausen, Cernovodeanu, Kernbaum, Tian и другихъ.

лучей, преобразовывая ихъ въ лучи съ болѣе длинными волнами (голубые, зеленые, красные и др.), не обладающіе бактерицидными свойствами.

Въ виду сказаннаго, обеззараживаніе воды ультра-фіолетовыми лучами совершается легче, чѣмъ другихъ жидкостей (молока, пива и т. д.); но для успѣшнаго воздѣйствія лучей на бактерій, вода должна быть предварительно вполнѣ освѣтлена путемъ отстаиванія, фильтрованія и т. п. Напримѣръ, въ Марселѣ на опытной установкѣ воду освѣтляли по системѣ Пеша-Шабаля (безъ „окончательнаго" медленнаго песочнаго фильтра).

Опыты показали, что послѣ воздѣйствія ультра-фіолетовыхъ лучей физическія и химическія свойства воды не измѣняются; подъ вліяніемъ лучей происходитъ лишь образованіе перекиси водорода въ водѣ, но при достаточной для стерилизаціи продолжительности дѣйствія лучей, количество образующейся перекиси водорода ничтожно и совершенно безвредно для потребителя (а равно не можетъ оказать никакого вліянія на развитіе микроорганизмовъ, бактерій, алыъ, рыбъ и т. д., попадающихъ въ обработанную лучами воду). Уничтоженіе бактерій въ водѣ вызывается непосредственно воздѣйствіемъ лучей, а не окисленіемъ, такъ какъ лучи оказываютъ такое же убивающее дѣйствіе и на бактерій, находящихся внѣ воды, а также при отсутствіи доступа кислорода къ бактеріямъ; кромѣ того, количества перекиси водорода, образующагося въ водѣ при дѣйствіи ультра-фіолетовыхъ лучей, совершенно недостаточно для умерщвленія бактерій.

Для лучшаго обеззараживанія воды желательно, чтобы она находилась въ движеніи въ томъ резервуарѣ, гдѣ производится обеззараживаніе, такъ какъ при этомъ частицы ея перемѣшиваются и болѣе равномѣрно попадаютъ въ сферу дѣйствія ультра-фіолетовыхъ лучей.

Резервуары для дезинфекціи воды устраиваютъ такъ, чтобы вся вода проходила около лампы, на разстояніи отъ нея, по возможности, не свыше 30 см., и чтобы каждая частица оставалась въ сферѣ дѣйствія лучей въ теченіе времени, необходимаго для уничтоженія патогенныхъ бактерій (зависящаго отъ силы лампы).

При стерилизаціи какой-либо жидкости, желательно помѣстить кварцевую лампу по возможности въ самой жидкости, для того, чтобы, во-первыхъ, ультра-фіолетовые лучи не поглощались при прохожденіи черезъ воздухъ, и, во-вторыхъ, чтобы всѣ лучи, исходящіе изъ лампы въ разныя стороны, проникали въ жидкость и были использованы для ея стерилизаціи. Однако, при помѣщеніи лампы въ стерилизуемой водѣ возникаютъ два затрудненія: съ одной стороны, болѣе высокая температура лампы вызываетъ отложенія извести изъ воды на поверхности трубки лампы при непосредственномъ соприкосновеніи съ нею воды; съ другой стороны, для интенсивнаго выдѣленія ультра-фіолетовыхъ лучей, ртутная лампа должна работать при нормальныхъ условіяхъ свѣтиль-

ныхъ лампъ, и пониженіе температуры ея при соприкосновеніи съ водою вызываетъ ослабленное лучеиспусканіе. Въ виду этого нельзя непосредственно погрузить лампу въ воду; прежде ее помѣщали надъ поверхностью воды, поддерживая на опредѣленномъ разстояніи отъ поверхности, но въ октябрѣ 1910 г. на опытной станціи для очистки воды въ Марселѣ поставленъ приборъ (фиг. 96 и 97), въ которомъ лампа помѣщена въ воду въ особой коробкѣ со стѣнками изъ кварца: при такомъ устройствѣ температура воды не отражается на температурѣ лампы, и на лампѣ не образуется осадка извести; въ то же время, почти всѣ лучи, испускаемые лампою, использованы для стерилизаціи воды.

„Стерилизаторъ“ состоитъ изъ чугуннаго полуцилиндрическаго резервуара, съ флянцевыми отростками для присоединенія впускной и выпускной трубъ. Кварцевая коробка съ лампою располагается по оси цилиндра; три чугунныя перегородки (изъ которыхъ двѣ примыкаютъ къ кварцевой коробкѣ) служатъ для направленія струи воды, заставляя частицы воды перемѣшиваться, что способствуетъ равномѣрному воздѣйствію лучей на всю массу воды.

Чтобы при случайномъ потуханіи лампы вода не могла пройти черезъ аппаратъ въ сѣть, устроенъ предохранительный клапанъ *S*, который поддерживается электромагнитомъ, соединеннымъ послѣдовательно съ ртутною лампою; при перерывѣ тока въ случаѣ неисправности лампы, дѣйствіе электромагнита прекращается и клапанъ открывается, выпуская воду въ сточную трубу.

Описанный аппаратъ (фирмы Вестингаузъ) дезинфецируетъ 600 куб. метр. воды въ сутки, при помощи одной лампы въ 220 вольтъ и 3 ампера.

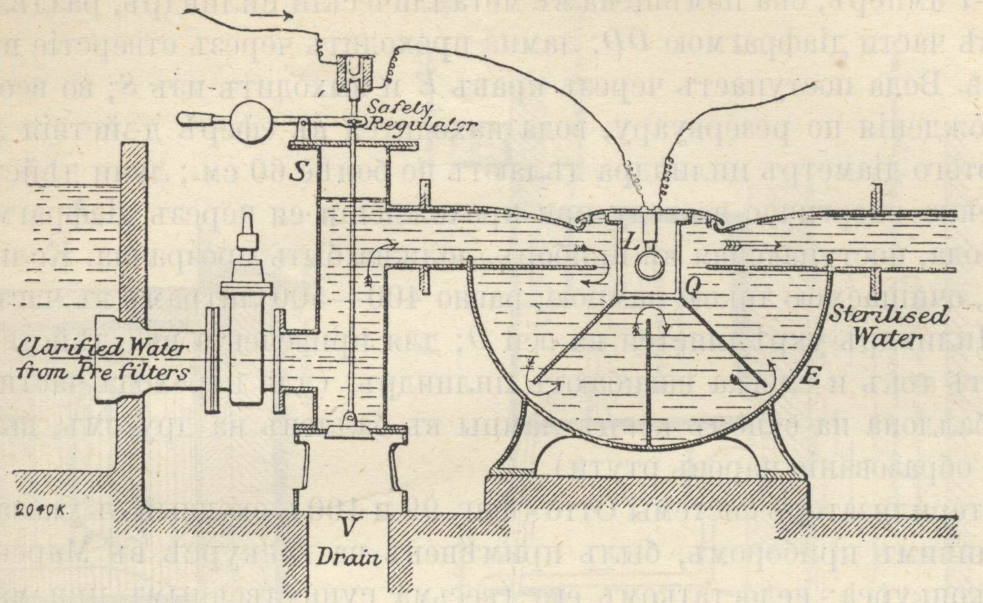
Вода для дезинфекціи предварительно освѣтлялась въ Марселѣ префильтрами Пеша-Шабаля. При опытахъ число B. coli въ водѣ передъ дезинфекціей равнялось 50—500 въ литрѣ, а послѣ дезинрекціи оказывалось равнымъ нулю въ пробѣ въ 200 куб. см.; количество безразличныхъ бактерій уменьшалось съ 20—250 въ 1 куб. см. до 0,17—4,2. Расходъ тока на дезинфикцію воды равнялся 20 уаттъ-часамъ на 1 куб. м.

Въ случаѣ устройства крупныхъ установокъ примѣняютъ нѣсколько вышеописанныхъ „единицъ“ стерилизаторовъ.

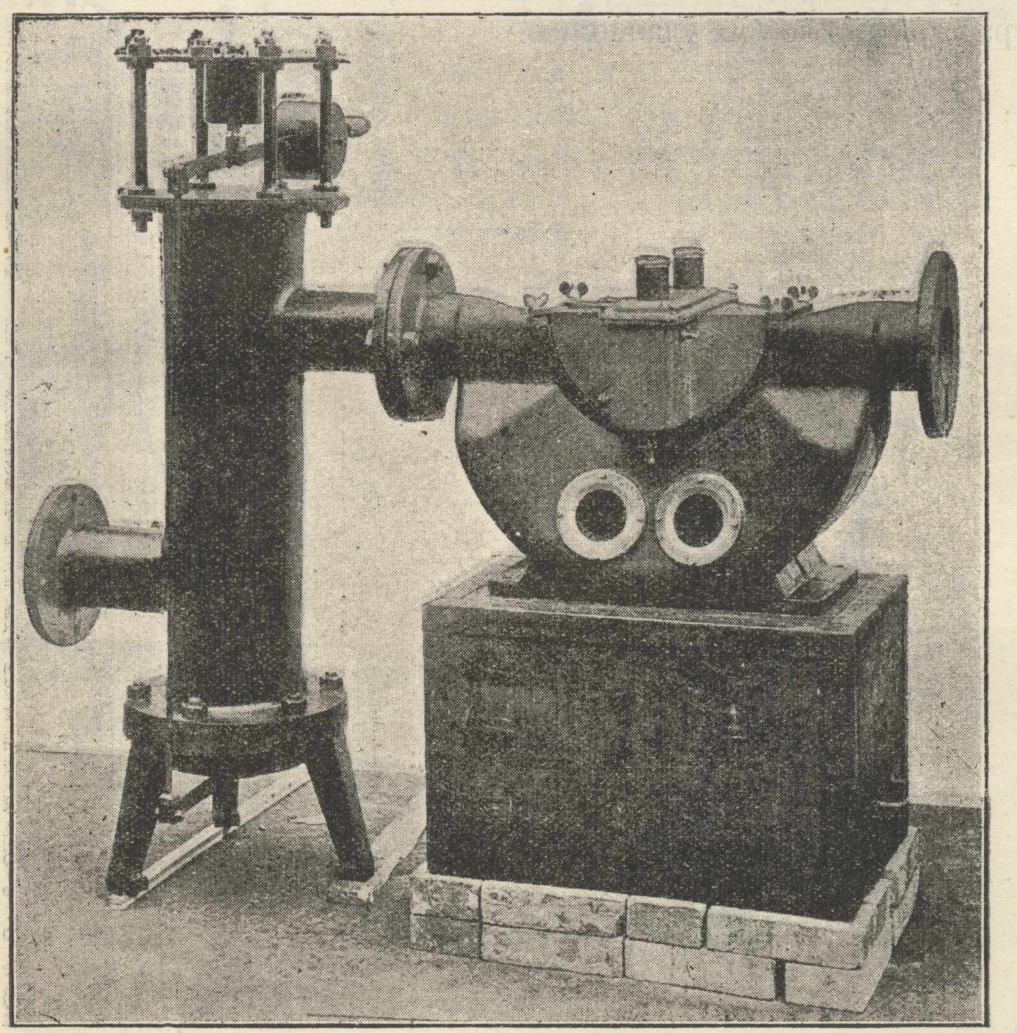
Въ случаяхъ, когда описанная единица (на 600 куб. м. въ сутки) велика, можно примѣнять лампу меньшаго размѣра, изготовляемую Quartzlampen-Gesellschaft, въ 110 вольтъ и 3,6 ампера, очищающую около 240 куб. м. въ сутки; однако, расходъ тока при малыхъ лампахъ повышается. (Опыты дали 36 уаттъ-часовъ на 1 куб. м. воды).

Наконецъ, сконструированы также приборы для домашней дезинфекціи воды; укажемъ приборъ Nogier (фиг. 98) [2]). Кварцевая лампа *LL*, длиною около 15 см., требуетъ постояннаго тока въ 30—35 вольтъ

[2]) „La Technique Sanitaire“, 1910, 127.
„Wasser und Abwasser“, 1910, III, 303.


Safety Regulator
S
L
Q
Sterilised Water
Clarified Water from Pre filters
E
2040K.
V
Drain

Фиг. 96.



Фиг. 97.

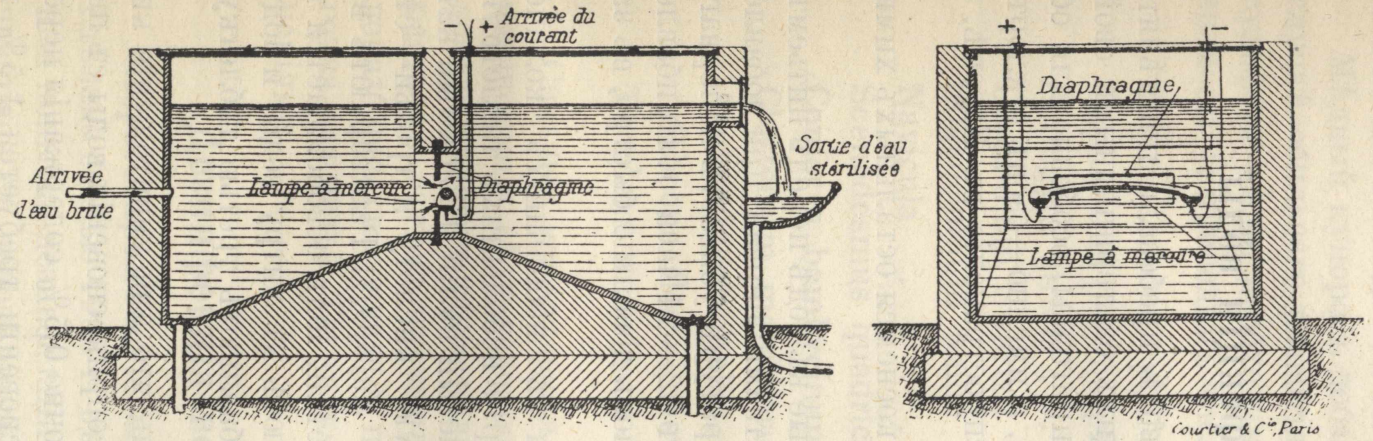
и 5—7 амперъ; она помѣщена въ металлическій цилиндръ, раздѣленный на двѣ части діафрагмою *DD;* лампа проходитъ черезъ отверстіе въ діафрагмѣ. Вода поступаетъ черезъ кранъ *E* и выходитъ изъ *S*; во все время прохожденія по резервуару, вода находится въ сферѣ дѣйствія лампы; для этого діаметръ цилиндра дѣлаютъ не болѣе 60 см.; лучи дѣйствуютъ особенно энергично на воду при прохожденіи ея черезъ діафрагму.

Вода, поступающая въ приборъ, должна быть прозрачна. Количество воды, очищаемою такою лампою, равно 400—500 литрамъ въ часъ.

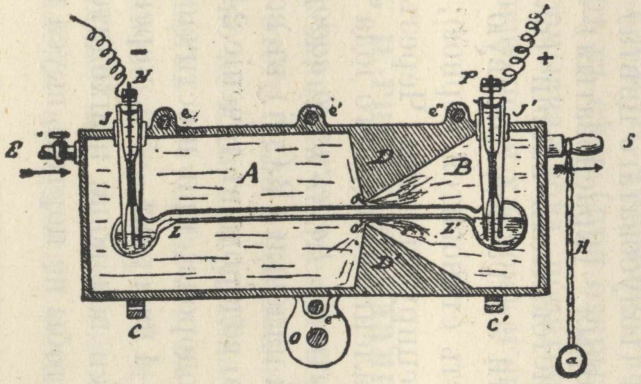
Цилиндръ укрѣпляется на оси *O*; для приведенія въ дѣйствіе пускаютъ токъ и слегка нагибаютъ цилиндръ, (для перехода части ртути изъ баллона на одномъ концѣ лампы въ баллонъ на другомъ, вызывающаго образованіе паровъ ртути).

Стерилизаторъ системы Отто (фиг. 99 и 100), сходный съ указаннымъ домашнимъ приборомъ, былъ примѣненъ на конкурсѣ въ Марселѣ, но внѣ конкурса; недостаткомъ его (весьма существеннымъ при массовой дезинфекціи воды) является соприкосновеніе ртутной лампы съ водою.

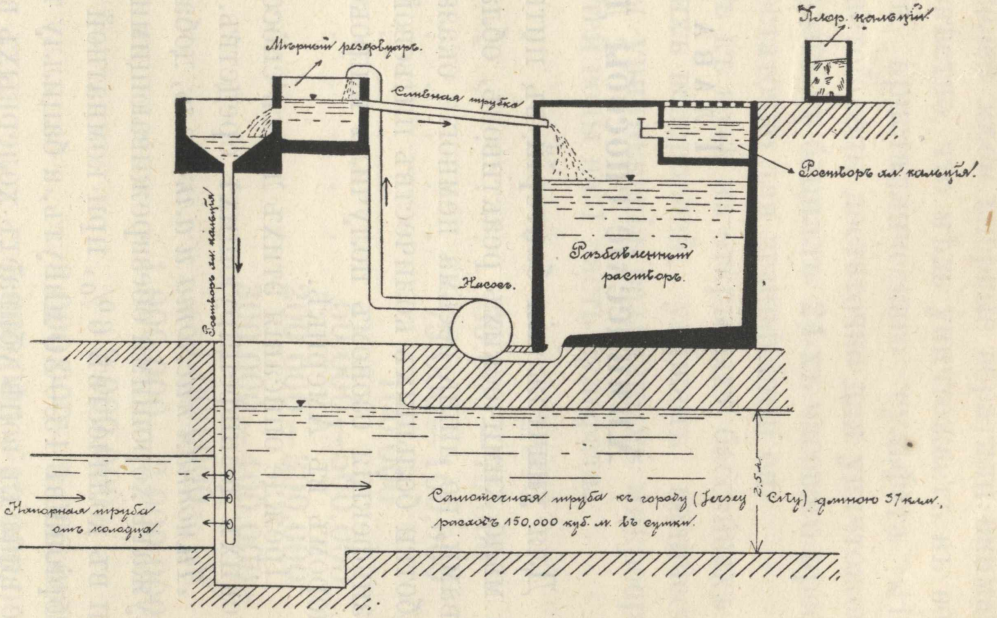
Крупныхъ установокъ для дезинфекціи воды ультра-фіолетовыми лучами въ настоящее время еще не имѣется; есть только опытныя установки, работающія весьма удачно.




Фиг. 99—100.



Фиг. 98.




Фиг. 101.

## Глава IX.

# Химическіе способы дезинфекціи воды.

Для уничтоженія бактерій въ питьевой водѣ пробовали примѣнять не мало химическихъ реактивовъ, обладающихъ бактерицидными свойствами, но лишь весьма немногіе оказались пригодны, особенно для обработки большихъ количествъ питьевой воды, а именно—озонъ и хлоръ; дезинфекція озономъ получила широкое распространеніе въ Европѣ, а хлоромъ въ Америкѣ.

Прежде описанія этихъ двухъ способовъ, коснемся остальныхъ химическихъ дезинфецирующихъ средствъ.

*Лимонная кислота и алкоголь*, добавляемые къ водѣ передъ питьемъ, служатъ хорошими обезвреживающими средствами: первая, при добавленіи въ количествѣ 6%, при комнатной температурѣ убиваетъ холернаго вибріона въ 15—30 минутъ, а бациллу тифа въ 22—24 часа [1]). Прибавленіе вина къ водѣ убиваетъ холерныхъ вибріоновъ довольно быстро, въ зависимости отъ степени кислотности смѣси.

*Іодъ* употребляется для дезинфеціи воды въ небольшихъ количествахъ, напр., въ полѣ; заготовляютъ три сорта небольшихъ таблетокъ: первыя (голубоватаго цвѣта) содержатъ іодистый калій и іодистый натрій, вторыя (красноватыя)—виннокаменнную кислоту и третьи—сѣрноватистокислый натрій (natrium thiosulfat, $Na_2S_2O_3$). Растворяютъ въ четверти литра воды первую и вторую таблетки; іодъ освобождается и жидкость становится черною; ее примѣшиваютъ къ литру воды, и іодъ дезинфецируетъ воду. Черезъ 10 минутъ добавляютъ третью таблетку, для удаленія свободнаго іода [2]).

Опыты съ *перекисью водорода* [3]) показали, что для уничтоженія кишечной палочки (B.Coli) въ водѣ, въ случаѣ соприкосновенія воды съ перекисью водорода въ теченіе 24 часовъ, достаточно 0,5% содержанія перекиси водорода; при шестичасовомъ соприкосновеніи требуется 1,5% и при 3—4 часовомъ—5% перекиси водорода. При добавленіи свыше 0,5% перекиси водорода, приходится удалять слѣды ея различными реактивами, чтобы не портить вкуса воды.

---

[1]) Riegel. „Archiv für Hygiene“. 1907.

[2]) Vaillard. „Archive de Médécine et de Pharmacie Militatre“. 1902, 40, 1.

[3]) Reichel. „Zeitschrift für Hygiene“, 1908, 61, 49.

На бактерицидное дѣйствіе *солей мѣди* впервые обратили вниманіе въ Америкѣ, хотя давно было извѣстно, что мѣдь уничтожаетъ въ водѣ водорослей, Раствора одной части кристаллическаго сульфата мѣди (мѣднаго купороса) на 10.000 частей воды достаточно для уничтоженія въ водѣ кишечной палочки и тифозныхъ бациллъ. 24-хъ часового пребыванія воды въ мѣдномъ сосудѣ достаточно для дезинфекціи ея.

Мѣдный купоросъ добавляютъ къ водѣ въ открытыхъ бассейнахъ въ случаѣ обильнаго развитія въ нихъ водорослей; укажемъ количество сульфата мѣди, необходимое для уничтоженія различныхъ микроорганизмовъ [4]); приводимъ число частей воды на 1 часть сульфата.

| | |
|---|---|
| Chlamydomonas piriformis . . . . . | 2.000 |
| Raphidium polymorphum . . . . . | 50.000—75.000 |
| Spirogyra stricta . . . . . | 75.000—100.000 |
| Desmidium Swartzii . . . . . | 100.000 |
| Stigeoclonium tenue . . . . . | 50.000—500.000 |
| Navicula . . . . . | 200 000—300.000 |
| Scenedesmus quadricauda . . . . . | 300.000—400.000 |
| Conferva bombycinum . . . . . | 1.000.000 |
| Closterium moniliferum . . . . . | 1.000.000—2.000 000 |
| Anaboena circinalis . . . . . | 3.000.000 |
| Anaboena flos aquae . . . . . | 3.000.000—5.000.000 |
| Uroglena americana . . . . . | 5.000.000—10.000.000 |

Сильныя *минеральныя кислоты*, особенно *сѣрная*, примѣняются для дезинфекціи сѣти водопроводныхъ трубъ: въ резервуаръ съ чистою водою добавляютъ такое количество сѣрной кислоты, чтобы получился 2% растворъ; затѣмъ пускаютъ этотъ растворъ въ сѣть (при открытыхъ водоразборныхъ кранахъ), промывая ее. Промывная вода, понятно, непригодна для питья. Такая же промывка производится хлоромъ и его соединеніями.

## Дезинфекція воды хлоромъ и гипохлоридами.

Первое примѣненіе хлора для обезвреживанія питьевой воды было сдѣлано осенью 1908 г. въ Чикаго; ранѣе этого были отдѣльныя случайныя попытки дезинфекціи воды хлоромъ, но не имѣвшія успѣха и встрѣчавшіяся съ недовѣріемъ. Послѣ блестящихъ результатовъ въ Чикаго, былъ сдѣланъ цѣлый рядъ другихъ установокъ въ Америкѣ и способъ быстро распространился въ видѣ постоянной или временной мѣры дезинфекціи [5]). Въ Jersey-City были поставлены продолжительные опыты

[4]) По указаніямъ Вашингтонскаго Министерства Земледѣлія.

[5]) По вопросу о дезинфекціи воды гипохлоридами помѣщенъ цѣлый рядъ статей въ американскихъ журналахъ, главнымъ образомъ въ „Engineering News“ и „Engineering Record“ за 1909—1911 г.

спеціальною Комиссіею при Court of Chancery, которая пришла къ такимъ выводамъ (опубликованнымъ въ маѣ 1910 г.) [6]): „Обработка воды гипохлоридами является вѣрнымъ средствомъ уничтоженія въ водѣ вредныхъ микроорганизмовъ, включая и патогенныхъ. Уменьшеніе количества микроорганизмовъ и практическое уничтоженіе ихъ можно считать несомнѣннымъ. Процессъ немного увеличиваетъ жесткость воды, но такъ мало, что, по нашему мнѣнію, этимъ можно пренебречь".

Въ настоящее время дезинфекція воды гипохлоридами примѣняется во всѣхъ городахъ Америки, нуждающихся въ дезинфекціи воды; около 200 городовъ пользуются ею, въ томъ числѣ Чикаго, Нью-Іоркъ, Бруклинъ, Цинциннати, Филадельфія и др.

*Сущность процесса* состоитъ въ слѣдующемъ: при прибавленіи въ воду гипохлорида кальція ($Ca\ Cl_2\ O_2$ хлорная или бѣлильная известь, имѣющаяся въ продажѣ въ видѣ бѣлаго порошка), онъ, соединяясь съ углекислою, всегда содержащеюся въ водѣ, образуетъ углекислый кальцій и гипохлористую кислоту:

$$Ca\ Cl_2\ O_2 + CO_2 + H_2O = Ca\ CO_3 + 2\ Cl\ HO$$

Углекислый кальцій осаждается, дѣйствуя при этомъ отчасти какъ коагулянтъ, а гипохлористая кислота, какъ соединеніе весьма неустойчивое, легко разлагается въ присутствіи органическихъ веществъ въ водѣ, отдавая имъ свой кислородъ въ моментъ возникновенія въ атомическомъ состояніи), обладающій избыткомъ энергіи и являющійся сильнымъ окисляющимъ и стерилизующимъ агентомъ, по интенсивности весьма близкимъ къ озону. Въ Америкѣ находятъ, что по практическимъ соображеніямъ онъ предпочтителенъ озону, такъ какъ его легче примѣнять и можно лучше приводить въ тѣсное соприкосновеніе со всѣми частицами очищаемой воды простымъ и вѣрнымъ способомъ.

При разложеніи гипохлористой кислоты выдѣляется хлоръ:

$$2Cl\ HO = H_2O + Cl_2 + O$$

Прежде полагали, что свободный хлоръ можетъ оставаться нѣкоторое время въ водѣ, способствуя окисленію органическихъ веществъ, но въ то же время ухудшая запахъ воды. Однако, дальнѣйшими изслѣдованіями установлено, что освобождающійся хлоръ не можетъ оставаться въ свободномъ состояніи и образуетъ со щелочами, содержащимися въ водѣ, хлористый натръ или хлористый кальцій, увеличивающіе немного жесткость воды. Иногда, въ случаѣ отсутствія въ водѣ щелочей, для нейтрализаціи хлора добавляютъ сѣрнокислаго натрія (или кальція, или двусѣрнокислаго натрія), дающаго въ соединеніи съ хлоромъ и во-

[6]) Johnson. Hypoclorite treatment of public water supplies. „Engineering Record" 1910 г., 17 сентября.

ною сѣрнокислый натрій (выпадающій въ видѣ осадка) и безвредную соляную кислоту:

$$SO_3Na_2 + Cl_2 + H_2O = Na_2SO_4 + 2HCl$$

При этомъ соляная кислота можетъ быть нейтрализована содою:

$$2HCl + Na_2CO_3 = 2NaCl + CO_2 + H_2O$$

въ результатѣ остаются сѣрнокислый натрій и поваренная соль, вполнѣ допустимая въ водѣ.

Укажемъ еще, что при отсутствіи въ водѣ углекислоты, вмѣсто бѣлильной (хлорной) извести ($Ca\ Cl_2\ O_2$), примѣняютъ иногда хлориновую известь ($Ca\ Cl_2\ O$) совмѣстно съ сѣрною кислотою; въ результатѣ получаются сѣрнокислый кальцій и хлоръ, являющійся въ данномъ случаѣ, окислителемъ:

$$CaCl_2O + H_2SO_4 = CaSO_4 + Cl_2 + H^2O$$

Этотъ послѣдній процессъ былъ примѣненъ въ Кронштадтѣ въ 1910 г. для дезинфекціи разводящихъ трубъ.

*Количество хлора*, которое требуется добавить къ водѣ, зависитъ отъ многихъ обстоятельствъ:

1) отъ качества воды (степени загрязненія ея, количества органическихъ примѣсей, окисляемости и т. д.);

2) отъ желаемой степени освобожденія отъ бактерій (т. е. отъ того, требуется ли уничтоженіе только патогенныхъ бактерій, или и всѣхъ остальныхъ, въ томъ числѣ особенно стойкихъ, но безвредныхъ, спороносныхъ видовъ);

3) отъ того, подвергается ли вода очисткѣ еще какими-либо другими способами.

Въ среднемъ можно принять, что для полнаго уничтоженія болѣзнетворныхъ бактерій въ прозрачной водѣ, свободной отъ мути и коллоидальныхъ примѣсей, достаточно 1 части активнаго хлора на 1.000.000 частей воды; продажная хлорная известь содержитъ около 35% активнаго хлора, поэтому требуется около 3 *граммовъ хлорной извести на 1 куб. метръ воды* или 3 мгр. на 1 литръ воды.

Для опредѣленія количества гипохлорида, которое требуется добавлять къ водѣ даннаго источника, необходимо тщательно изслѣдовать ее и точно опредѣлить количество гипохлорида лабораторнымъ путемъ. Затѣмъ обыкновенно увеличиваютъ это количество на 25—50% на случай внезапнаго повышенія содержанія органическихъ примѣсей, вредящихъ дезинфекціи (при дезинфекціи фильтруемой воды такія случайности бываютъ рѣже).

Необходимая *продолжительность воздѣйствія* хлорной извести на воду зависитъ отъ тѣхъ же обстоятельствъ, какъ и требуемое количество хлора. Въ большихъ установкахъ она измѣняется отъ 15 минутъ

до 24 часовъ. Опыты въ Baltimore показали, что уничтоженіе бактерій можетъ быть достигнуто въ 1 минуту. Продолжительное время необходимо лишь въ случаѣ присутствія въ водѣ грубыхъ органическихъ загрязненій; но тогда вообще дѣйствіе хлора не будетъ вѣрнымъ, такъ какъ бактеріи оказываются защищенными отъ дѣйствія хлора (а равно и другихъ стерилизующихъ средствъ) окружающими ихъ частицами взвѣшенныхъ примѣсей, въ особенности коллоидальныхъ.

Для дезинфекціи фильтруемой воды обыкновенно принимаютъ продолжительность воздѣйствія хлора въ 15 минутъ:

Далѣе является существеннымъ вопросъ о *мѣстѣ добавленія хлора* къ водѣ. Прежде всего, хлоръ долженъ добавляться въ такой части водопроводныхъ сооруженій, чтобы вода поступала въ краны потребителей не ранѣе, какъ черезъ часъ послѣ добавленія; это правило вызывается необходимостью, чтобы растворъ хлора хорошо перемѣшался съ водою и имѣлъ достаточно времени не только для воздѣйствія на бактерій, но и для полной реакціи съ содержащимися въ водѣ элементами, чтобы осталось какъ можно меньше слѣдовъ хлора въ водѣ.

При примѣненіи не фильтруемой воды, въ Boonton растворъ хлористой извести вводятъ между напорною линіею и самотечнымъ трубопроводомъ (имѣющимъ длину въ 37 клм.); въ Minneapolis растворъ вводятъ въ всасывающую трубу насоса, подающаго воду (по длинному трубопроводу) въ запасный резервуаръ.

Въ установкахъ, гдѣ дезинфекція воды хлоромъ соединена съ фильтребованіемъ, хлоръ добавляется по большей части передъ фильтромъ (Chicago, Columbus, Baltimore и др.); при этомъ хлоръ мѣшаетъ развитію водорослей на фильтрѣ, и тѣмъ замедляетъ засореніе фильтра, позволяетъ увеличивать промежутки между очистками фильтра и уменьшаетъ расходъ промывной воды; въ случаѣ фильтрованія (на американскихъ фильтрахъ) съ добавленіемъ коагулянтовъ, добавленіе хлора передъ фильтромъ позволяетъ уменьшить количество коагулянта; наконецъ, остатки хлора въ водѣ отчасти уничтожаются при прохожденіи воды черезъ фильтръ. Съ другой стороны, при добавленіи хлора передъ фильтромъ ему приходится воздѣйствовать на воду, еще не вполнѣ освобожденную отъ всѣхъ взвѣшенныхъ примѣсей, что затрудняетъ работу хлора при преобладаніи органическихъ или коллоидальныхъ примѣсей, и заставляетъ увеличивать дозу хлора. Поэтому при нѣкоторыхъ водахъ хлоръ добавляется послѣ фильтрованія (Quincy).

Независимо отъ мѣста прибавки хлора, скорость фильтрованія можетъ быть значительно увеличена, такъ какъ роль фильтра сводится къ полному освѣтленію воды, задержаніе же бактерій не входитъ въ его задачу.

При мутной водѣ, требующей еще кромѣ фильтрованія коагуляціи и отстаиванія, хлоръ слѣдуетъ прибавлять послѣ удаленія большей части взвѣшенныхъ веществъ, т. е. послѣ отстаиванія; количество коагулянта

при этомъ можетъ быть уменьшено, такъ какъ соединенія, получаемыя послѣ разложенія бѣлильной извести, сами обладаютъ коагулирующими свойствами.

Во всякомъ случаѣ, прибавлять бѣлильную известь слѣдуетъ такъ, чтобы произошло тщательно, равномѣрное и быстрое перемѣшиваніе ея съ водою.

Обыкновенно хлоръ прибавляютъ къ водѣ въ видѣ ½% раствора бѣлильной извести; при сильныхъ растворахъ (4%—5%), известь будетъ давать осадокъ на отверстіяхъ и въ трубахъ, подводящихъ растворъ къ мѣсту смѣшенія съ водою.

Необходимо тщательно растирать и перемѣшивать бѣлильный порошокъ при растворенiи его и заботиться, чтобы перемѣшиваніе его было равномѣрнымъ, такъ какъ порошокъ легко осѣдаетъ на дно бака.

Лучшимъ матеріаломъ для резервуара для приготовленія и храненія раствора служитъ бетонъ; желѣзо можно примѣнять, но оно разъѣдается растворомъ, хотя и медленно, благодаря защитѣ желѣза слоемъ осадка. Дерево—наиболѣе дешево, но непрочно, такъ какъ быстро обращается въ труху; имъ слѣдуетъ пользоваться лишь при временномъ примѣненiи хлора, напр., въ случаѣ эпидеміи.

Приведемъ, какъ примѣръ, одну изъ первыхъ американскихъ установокъ—въ Boonton (фиг. 101).

Хлорная известь хранится въ герметически закрытомъ ящикѣ (во избѣжаніе впитыванія влаги изъ воздуха). Постепенно растворяютъ необходимое количество ея въ небольшомъ объемѣ воды въ маленькомъ бакѣ, тщательно перемѣшивая. Отсюда растворъ переходитъ въ запасный резервуаръ большого размѣра, гдѣ разбавляется до содержанія 1 части извести на 100—400 частей воды (въ зависимости отъ состава очищаемой воды). Такъ какъ растворъ быстро теряетъ силу, не слѣдуетъ растворять сразу много извести, ограничиваясь количествомъ раствора на 8 часовъ.

Со дна запаснаго резервуара вода подается насосомъ въ мѣрный бакъ, имѣющій регулируемое отверстіе для выхода раствора и постоянный уровень жидкости, такъ что можно точно регулировать количество вытекающаго раствора. Если насосъ поднимаетъ слишкомъ много раствора, излишекъ его стекаетъ обратно въ запасный резервуаръ. Если уровень воды въ бакѣ почему-либо измѣнится, то машинистъ получаетъ звуковой сигналъ.

Отмѣренное количество раствора вводится въ трубу съ питьевой водою по трубкѣ, имѣющей рядъ отверстій (обращенныхъ навстрѣчу потоку воды въ трубѣ). Растворъ добавляется въ концѣ напорной трубы, подающей воду изъ колодца, передъ поступленіемъ воды въ самотечный трубопроводъ (длиною 37 километровъ), идущій къ городу.

Резервуары сдѣланы изъ бетона. Трубы (чугунныя) и нѣкоторыя части машинъ осмолены.

Вообще, части насосовъ, соприкасающіяся съ растворомъ хлора, слѣдуетъ дѣлать бронзовыми.

На фиг. 102—104 представлена *установка въ Montreal*. Суточный расходъ воды въ Montreal—160.000 куб. метровъ, равномѣрно подаваемые въ теченіе 12 часовъ; станція для дезинфекціи воды содержитъ 3 бака, емкостью по 34 куб. м., изъ которыхъ каждый соотвѣтствуетъ 12-часовому потребленію раствора хлорной извести: 2 бака работаютъ поочередно по 12 часовъ, а третій служитъ запаснымъ на случай ремонта.

Резервуары $A$ (діаметромъ 4,20 м. и высотою 3 м.) расположены такъ, что дно ихъ на 2 м. выше уровня главнаго водопровода. Между резервуарами $A$, выше ихъ, помѣщены маленькіе баки $B$ (діаметромъ 1,20 м., высотою 0,90 м. и емкостью по 935 литровъ), въ которыхъ растворяютъ хлорную известь. Вода въ эти баки поступаетъ подъ давленіемъ 5—6 атмосферъ по трубкѣ $C$ ($d$=25 мм.), уложенный кольцомъ по дну бака и снабженной отверстіями, направленными немного вверхъ и къ центру бака; діаметръ отверстій 6 мм., разстояніе между ними 10 см. Вода подъ напоромъ выходитъ изъ отверстій тонкими и сильными струйками, чѣмъ достигается хорошее перемѣшиваніе известковаго порошка безъ всякихъ механическихъ приспособленій.

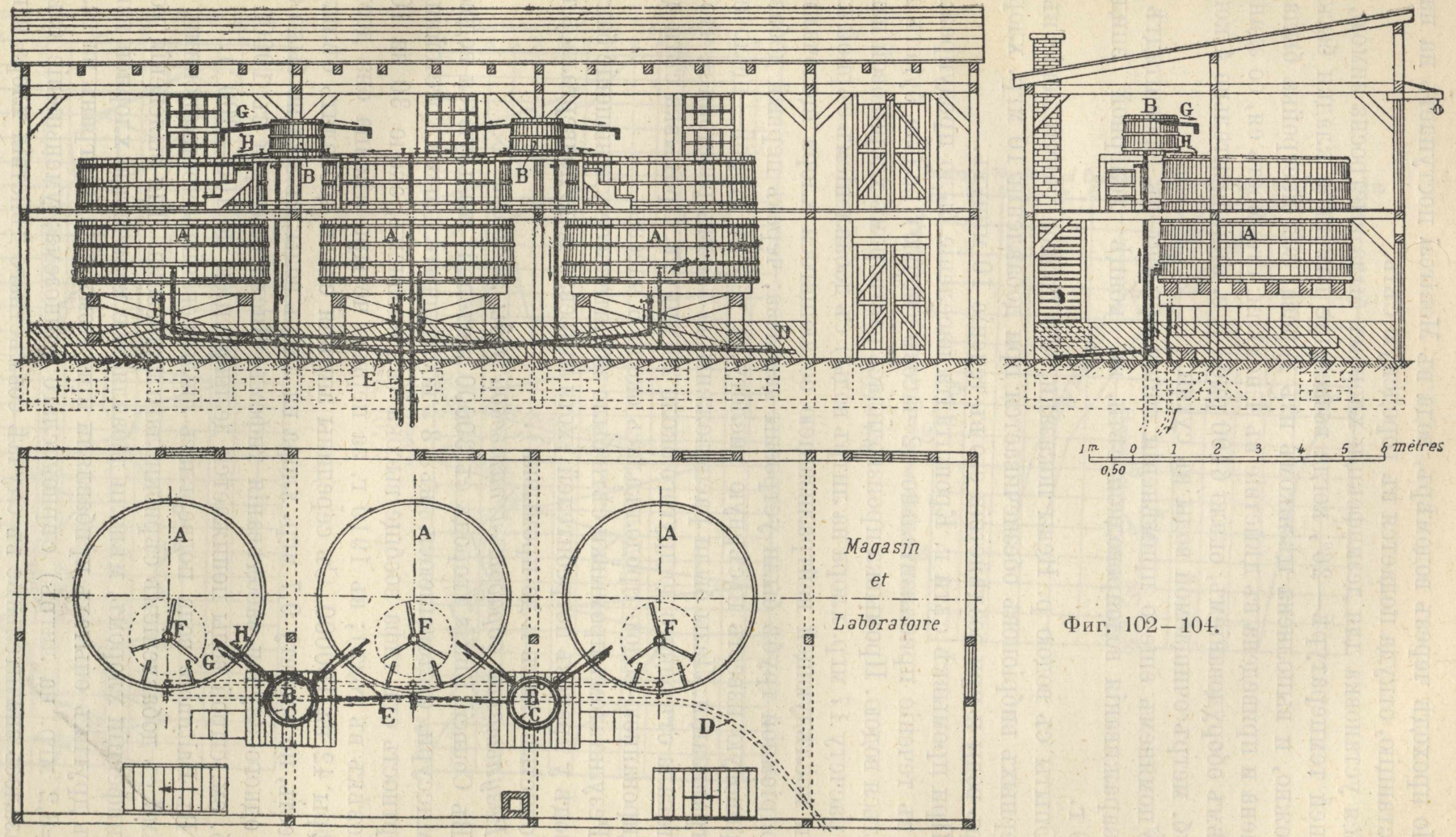
Количество хлорной извести, расходуемое въ 12 часовъ (т. е. на 80000 куб. м. воды), равно 48 кгр.; для большей равномѣрности его растворяютъ въ четыре пріема. Всыпавъ около четверти всего количества извести въ бакъ $B$, впускаютъ по трубкѣ $C$ воду; известь растворяется, и растворъ переливается по трубкѣ $Q$ въ большой бакъ $A$; когда бакъ $A$ заполнится приблизительно до четверти объема, притокъ воды по трубкѣ $C$ прекращаютъ, остатки раствора изъ $B$ выпускаютъ въ $A$ черезъ трубку $H$, и растворяютъ новую порцію (12 кгр.) хлористой извести и т. д. Растворъ изготовляютъ два раза въ сутки.

Растворъ изъ $A$ поступаетъ по трубкѣ $D$ (діаметромъ въ 62 мм., изъ гальванизованнаго желѣза) въ главный трубопроводъ, за нѣсколько метровъ передъ водомѣромъ Вентури, черезъ который пропускается вся вода; прохожденіе черезъ водомѣръ способствуетъ смѣшенію раствора съ водою. Во избѣжаніе осадковъ въ бакахъ $A$, надъ выпускнымъ отверстіемъ каждаго бака помѣщена мѣшалка $F$ съ лопастями, приводимая въ движеніе гидравлическимъ двигателемъ въ 2 силы.

Каждый резервуаръ $A$ снабженъ сточною трубою ($d$=10 см.) для опорожненія его и удаленія осадковъ.

Требуемое количество бѣлильной извести отмѣривается по вѣсу; регулированіе расхода изъ бака $A$ производится открытіемъ крана на трубѣ $D$, въ зависимости отъ уровня воды въ бакѣ $A$ (указываемаго поплавкомъ).

Трубы $D$, отводящія растворъ, желательно укладывать съ возможно большимъ уклономъ во избѣжаніе осадковъ; въ низшей точкѣ (передъ входомъ въ главный трубопроводъ) помѣщаютъ трапъ, или сифонъ для задержанія осадковъ.




Фиг. 102—104.

По проходѣ черезъ водомѣръ, вода въ Montreal поступаетъ на наносную станцію, откуда подается въ городскую сѣть.

Вся установка для дезинфекціи хлоромъ была выстроена зимою, при средней температурѣ—26°, когда возведеніе каменной кладки было невозможно, и выполнена цѣликомъ изъ дерева; вся постройка была выполнена и приведена въ дѣйствіе въ 4 недѣли; стоимость ея, со зданіемъ и всѣмъ оборудованіемъ, около 6400 руб., т. е. приблизительно 4 коп. на 1 куб. метръ очищаемой воды въ сутки:

Упомянемъ еще о примѣненіи гипохлоридовъ въ Кронштадтѣ для обеззараживанія водопроводной сѣти, въ концѣ холерной эпидеміи 1909 г.

Опыты съ водою р. Невы показали, что полное уничтоженіе въ ней холерныхъ вибріоновъ обезпечивается при добавленіи 10 мгр. хлора на литръ воды и при воздѣйствіи его въ теченіе 10 минутъ.

При промывкѣ сѣти г. Кронштадта населеніе было предупреждено, что въ теченіе приблизительно 12 часовъ (ночью) нельзя будетъ пользоваться водою. Промывка производилась растворомъ хлориновой извести (по расчету 17 мгр. хлора на литръ воды) съ добавленіемъ сѣрной кислоты и послѣдующей нейтрализаціею остающагося хлора щелочами. На водопріемной трубѣ были устроены два лаза; черезъ первый добавляли хлориновую известь и сѣрную кислоту, а черезъ второй—щелочи для нейтрализаціи. Лазы были расположены на такомъ разстояніи, что вода протекала отъ одного до другого около 20 минутъ. Промывка сѣти дезинфецированною водою продолжалась около 6 часовъ.

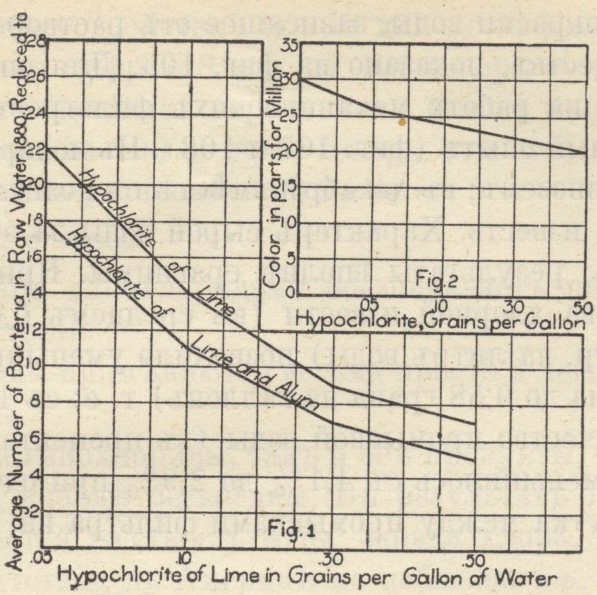
Результатомъ промывки сѣти было значительное уменьшеніе бактерій въ водѣ у крановъ потребителей (хотя питьевая вода подвергалась такой же очисткѣ, какъ и до промывки).

*Результаты обработки питьевой воды хлоромъ.*

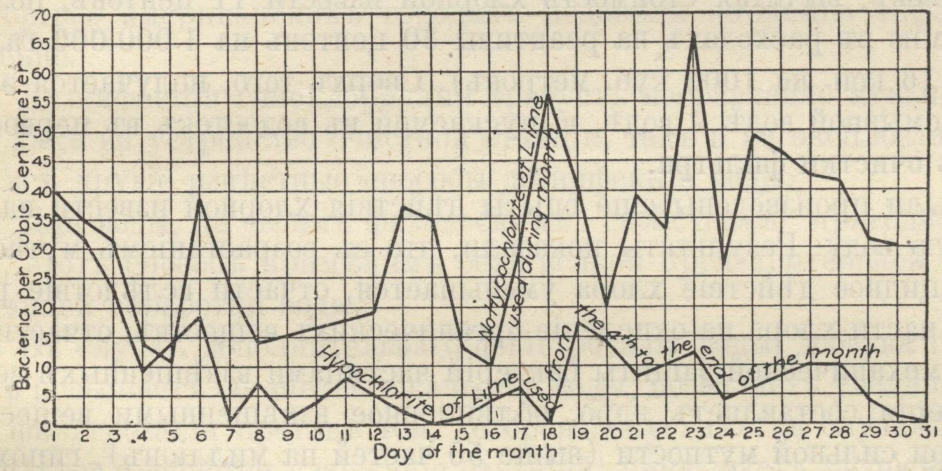
Въ Council Bluffs (городъ съ 30000 жителей) пользуются водою изъ р. Миссури, отстоявшеюся въ 3 послѣдовательныхъ отстойникахъ; смертность отъ тифа вообще высока (въ среднемъ, около 30 на 100000 человѣкъ въ годъ); въ 1910 г. за первые четыре мѣсяца она достигла цифры 42 на 100000. Съ середины апрѣля стали добавлять бѣлильную известь, по расчету 0,7 мгр. хлора на литръ воды; съ мая не было болѣе ни одного случая заболѣванія тифомъ. Число бактерій съ 10000 въ 1 куб. см. сырой воды понижается дезинфекціею до 100—300 [7]).

Въ Baltimore вода подверглась фильтрованію американскими фильтрами съ добавленіемъ сѣрнокислаго глинозема. Для выясненія условій дезинфекціи хлоромъ, мѣняли добавляемое количество хлорной извести, а въ другихъ опытахъ прибавляли при этомъ еще 0,5 гранъ на галлонъ (=8,2 мгр. на литръ) сѣрнокислаго глинозема; уменьшеніе бактерій оказалось значительнѣе въ случаѣ совмѣстнаго дѣйствія хлора и глинозема (см. фиг. 105).

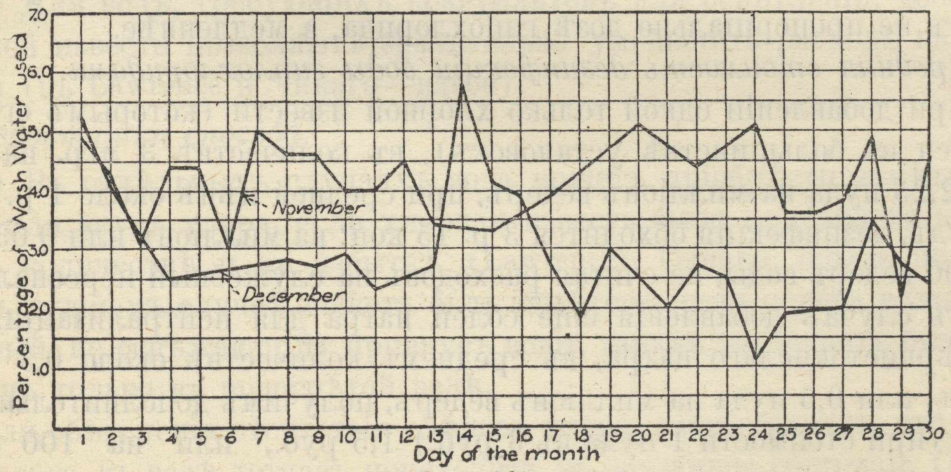
[7]) „Engineering Record“, 17 сентября 1910.




Фиг. 105 – 106.




Фиг. 107.




Фиг. 108.

Уменьшеніе окраски воды, зависящее отъ растворенныхъ (не коллоидальныхъ) веществъ, показано на фиг. 106. Для опредѣленія вліянія хлорной извести на работу механическихъ фильтровъ былъ произведенъ двухмѣсячный опытъ (фиг. 107 и 108). Въ ноябрѣ добавляли лишь сѣрнокислый глиноземъ; въ декабрѣ вмѣстѣ съ коагулянтомъ прибавляли еще хлорную известь. Характеръ сырой воды за это время почти не измѣнился, такъ, результаты вполнѣ сравнимы. Примѣненіемъ весьма малаго количества хлорной извести (въ среднемъ 0,087 гранъ на галлонъ, т. е. 1,4 мгр. на литръ воды) позволило уменьшить добавку глинозема съ 0,87 грана до 0,58 грана на галлонъ) т. е: съ 14 мгр. до 9,5 мгр. на литръ). Количество промывной воды (въ процентахъ отъ количества фильтруемой) уменьшилось съ 4,1% до 2,9% при одновременномъ увеличеніи промежутка между промывками фильтра на 1 ч. 10 минутъ (см. фиг. 108).

Уменьшеніе количества коагулянта въ 0,22 грана на галлонъ, или 31 фунтъ на милліонъ галлоновъ, при цѣнѣ 1,3 цента (=2,6 коп.) за фунтъ сѣрнокислаго глинозема, даетъ экономію въ 41 центъ на милліонъ галлоновъ; вычитая стоимость хлорной извести 11 центовъ, получаемъ экономію въ расходахъ на реактивы 30 центовъ на 1.000.000 галлоновъ (или 16 коп. на 1000 куб. метровъ). Сверхъ того, получается экономія на промывной водѣ и водѣ, выпускаемой въ водостокъ въ первое время послѣ очистки фильтра.

Были произведены еще опыты дѣйствія хлорной извести на сильно мутную воду. Результаты показали, что съ возрастаніемъ мутности бактерицидное дѣйствіе хлора уменьшается, отчасти вслѣдствіе расходованія части хлора на окисленіе органическихъ веществъ, отчасти вслѣдствіе механической защиты бактерій частицами взвѣшенныхъ веществъ (бактерія составляетъ ядро, облѣпленное взвѣшенными веществами).

При сильной мутности (выше 50 частей на милліонъ), гипохлоридъ даетъ лучшіе результаты, если часть мути удалена передъ добавленіемъ гипохлорида. Это видно также изъ діаграммы фиг. 105, гдѣ при увеличеніи количества гипохлорида процентное уменьшеніе бактерій возрастаетъ не пропорціально дозѣ гипохлорида, а медленнѣе.

*Средняя стоимость дезинфекціи воды гиплохлоридами.*

При добавленіи одной только хлорной извести (которымъ ограничиваются въ большинствѣ установокъ), въ количествѣ 3 мгр. на литръ, или 2,25 пуда на милліонъ ведеръ, при средней цѣнѣ около 1 р. 40 коп. за пудъ, дезинфекція обходится 3 р. 15 коп: на милліонъ или 0,0315 коп. на 100 ведеръ воды, не считая расходовъ на служебный персоналъ.

Въ случаѣ добавленія еще солей натра для нейтрализаціи, напр., двусѣрнистокислаго натра, въ среднемъ количествѣ около 0,3 мгр. на литръ, или 0,5 пуда на милліонъ ведеръ, получимъ дополнительный расходъ (при стоимости 1 пуда въ 3 руб.) 1,5 руб., или на 100 ведеръ 0,015 коп., а всего около 0,05 коп. на 100 ведеръ,—расходъ, совершенно ничтожный.

Средняя стоимость устройства станціи для дезинфекціи воды гипохлоридами выражается цифрою 8 коп. на 100 ведеръ суточнаго расхода воды, причемъ при устройствѣ деревянныхъ баковъ и зданій стимость понижается до 5 коп. на 100 ведеръ. Цифры эти относятся къ Америкѣ; въ Европѣ крупныхъ установокъ не имѣется.

*Достоинства способа.*

1) Дезинфекція гипохлоридами обезпечиваетъ полное уничтоженіе патогенныхъ бактерій.

2) Гипохлориды примѣняются весьма просто и легко при небольшихъ колебаніяхъ дозы.

3) Какъ сами гипохлориды, такъ и всѣ продукты, получающіеся при разложеніи ихъ, вполнѣ безвредны. Въ результатѣ процесса лишь немного увеличивается жесткость воды; запаха хлора, а тѣмъ болѣе вреда отъ его присутствія, въ Америкѣ не наблюдалось.

4) Дезинфекція воды гипохлоридами не требуетъ большихъ приспособленій и сооруженій, и устройство и оборудованіе установки для дезинфекціи можетъ быть сдѣлано весьма быстро; благодаря этому, въ нѣкоторыхъ американскихъ городахъ подавили эпидемію тифа почти мгновенно.

5) Дезинфекція гипохлоридами требуетъ несравненно меньшихъ затратъ какъ на устройство очистной станціи, такъ и на эксплоатацію ея, чѣмъ всѣ другіе извѣстные способы дезинфекціи воды.

6) Для воды, по своимъ физическимъ свойствамъ пригодной для питья, этотъ способъ примѣнимъ безъ всякой предварительной или послѣдующей обработки воды.

7) Въ случаѣ дополнительнаго фильтрованія воды, добавка гипохлоридовъ повышаетъ обезпеченіе качества воды; позволяетъ увеличить скорость фильтрованія противъ той, которая допустима въ случаяхъ, если отъ фильтра требуется удержаніе бактерій; уменьшаетъ засореніе фильтра водорослями. Въ общемъ, прибавленіе гипохлоридовъ понижаетъ стоимость фильтрованія.

8) Для водъ, требующихъ коагулянтовъ для освѣтленія, добавленіе хлорной извести позволяютъ значительно уменьшить расходъ на коагулянты (въ Lawrence и Чикаго—вдвое).

*Недостатки способа.*

1) Въ отдѣльныхъ случаяхъ вода можетъ пріобрѣсти замѣтный запахъ или вкусъ хлора, если хлорная известь была прибавлена въ большомъ количествѣ и въ избыткѣ (Lawrence). Однако, опытъ показалъ, что въ худшемъ случаѣ можетъ быть замѣтенъ лишь слегка вялый (безвкусный, не освѣжающій) привкусъ воды, запахъ же можетъ быть обнаруженъ только въ подогрѣтой водѣ.

Для объясненія отсутствія слѣдовъ хлора, одни говорятъ, что свободный хлоръ въ водѣ тотчасъ переходитъ въ связанное состояаіе (Fuller),

другіе же считаютъ количество хлора слишкомъ ничтожнымъ, чтобы онъ былъ практически замѣтенъ. Поэтому обыкновенно не прибавляютъ никакихъ реактивовъ для нейтрализаціи остатковъ хлора.

2) Теоретически, хлорная известь могла бы разъѣдать желѣзо и бетонъ. Однако, пока неизвѣстно случаевъ порчи трубъ или резервуаровъ (кромѣ деревянныхъ).

3) Обработка воды хлоромъ уничтожаетъ не всѣ виды микроорганизмовъ, а только нѣкоторые, въ томъ числѣ патогенныые (т. е. хлоръ, обезпечивая дезинфекцію воды, не можетъ стерилизовать ея).

4) Обработка хлоромъ не уничтожаетъ бактерій заключенныхъ въ частицахъ взвѣшенныхъ въ водѣ веществъ [8]).

5) Дезинфекція хлоромъ, безъ предварительной очистки воды на фильтрахъ или въ отстойникахъ, мало пригодна для воды, содержащей много растворенныхъ или взвѣшенныхъ органическихъ веществъ.

6) Какъ и при всякой химической обработкѣ, при дезинфекціи хлорною известью трудно соразмѣрить добавляемое количество ея съ измѣненіями свойствъ воды. Однако, этотъ недостатокъ менѣе чувствителенъ при обработкѣ известью, чѣмъ при другихъ реактивахъ, такъ какъ она добавляется въ ничтожномъ количествѣ, и потому излишекъ ея будетъ безвреденъ.

Теперь мы видимъ, что примѣненіе гипохлоридовъ ни въ какомъ случаѣ не замѣнять фильтрованія. Способъ этотъ часто достаточенъ для воды, вполнѣ удовлетворительной по внѣшнимъ качествамъ и подозрительной только со стороны бактеральной; но при неудовлетворительности физическихъ свойствъ воды требуется, кромѣ примѣненія хлора, также фильтрованіе воды (простое или соединенное съ коагуляціею). Какъ добавленіе къ фильтрованію, способъ заслуживаетъ широкаго примѣненія по вѣрности и дешевизнѣ; при устройствѣ фильтровъ совмѣстное примѣненіе этого способа даетъ большую экономію, благодаря уменьшенію необходимой площади фильтровъ; эксплоатаціонныя издержки также уменьшаются.

Вслѣдствіе ничтожнаго количества добавляемаго хлора, нѣтъ необходимости удалять остатки его послѣ воздѣйствія его на воду. При нормальной дозѣ хлора, нельзя ожидать, что вода можетъ быть вредна въ какомъ бы то ни было отношеніи, или что вода сохранитъ запахъ или замѣтный вкусъ хлора.

Однако, въ Европѣ настолько укоренился взглядъ на нежелательность добавленія къ водѣ какихъ-либо химическихъ реактивовъ, несвойственныхъ ея нормальному составу, что европейскіе спеціалисты, вполнѣ соглашаясь въ теоріи съ воззрѣніями американцевъ на огромныя достоинства дезинфекціи питьевой воды хлоромъ, считаютъ ее желательною толь-

---

[8]) Эти бактеріи не уничтожаются также ни ультра-фіолотовыми лучами, ни озонированіемъ воды.

но какъ временную мѣру при эпидеміяхъ [9]), или при сильныхъ ухудшеніяхъ качества рѣчной воды, или же, наконецъ, при военныхъ надобностяхъ; при крупныхъ же постоянныхъ установкахъ предпочитаютъ озонированіе, которое въ 10—15 разъ дороже дезинфекціи хлоромъ, но болѣе изящно и не вызываетъ въ человѣкѣ инстинктивнаго чувства отвращенія отъ воды, завѣдомо смѣшанной съ дурно пахнущимъ веществомъ, какимъ является хлоръ.

Можно ожидать, что эстетическимъ требованіямъ потребителя къ водѣ болѣе удовлетворитъ примѣненіе для дезинфекціи воды другого гипохлорида, возникающее въ Америкѣ (Cincinnati),—*гипохлорида натрія* (NaClO), получаемаго изъ поваренной соли (NaCl) путемъ электролиза. Гипохлоридъ натрія, какъ установлено опытами, столь же активно уничтожаетъ бактерій, какъ и гипохлоридъ извести; требуемыя количества этихъ реактивовъ почти одинаковы. Стоимость гипохлорида натрія, добываемаго электролизомъ, зависитъ отъ цѣнъ на соль и на электрическую энергію и, вообще говоря, нѣсколько выше, чѣмъ стоимость хлорной извести; но зато эстетическія соображенія, выставляемыя противъ гипохлорида извести, не создаютъ препятствій къ употребленію гипохлорида натрія.

Укажемъ еще одинъ способъ, изобрѣтенный въ Англіи, для дезинфекціи хлоромъ съ послѣдующимъ удаленіемъ его слѣдовъ путемъ пропусканіе черезъ слой угля, впитывающаго въ себя хлоръ; это такъ называемая *De-clor система*, аппараты для примѣненія которой патентованы фирмою Candy-Filter C°.

Фильтръ представляетъ желѣзный цилиндрическій резервуаръ, діаметромъ 8 ф. и высотою 17,5 фут.; верхняя камера его (высотою 12 фут.) служитъ отстойникомъ, гдѣ вода остается около получаса; растворъ хлорной извести добавляется въ трубопроводѣ, подающемъ воду въ отстойникъ. Нижняя часть резервуара (5,5 ф.) раздѣлена по высотѣ на 3 отдѣленія: верхнее и нижнее заполнены пескомъ, а въ среднее вставляется пластина, 20 дм. толщиною, изъ спеціально приготовленнаго угля. Уголь перезаряжается одинъ разъ въ 5 мѣсяцевъ. Еженедѣльно прочищаютъ фильтръ обратною струею чистой воды въ теченіе 20 минутъ, расходуя на промывку около 0,15% очищаемой воды. Фильтръ такого размѣра очищаетъ въ сутки 192000 галлоновъ (=725 куб. м.), при скорости 145 м. въ сутки, т. е. въ 60 разъ быстрѣе англійскихъ фильтровъ. По заключенію проф. Smith, работа фильтра безупречна. Стоимость устройства фильтра вдвое дешевле, чѣмъ англійскихъ фильтровъ, а занимаемая площадь въ 20 разъ менѣе.

Остановимся еще на *системѣ* очистки воды *Duyck* при помощи желѣза и хлора (Ferro-chlore système), въ которой въ одномъ аппаратѣ со-

---

[9]) Jmhoff und Saville. „Journal für Gasbeleuchting und Wasserversorgung". 1910. № 49.

единены коагуляція желѣзомъ или сѣрнокислымъ глиноземомъ и дезинфекція хлорною известью съ послѣдующею быстрою фильтраціею. Система эта получила вторую награду на конкурсѣ по очисткѣ питьевой воды въ Парижѣ (1907—8 г.); этотъ способъ существовалъ задолго до примѣненія гипохлоридовъ въ Америкѣ.

Способъ Duyck (изобрѣтенный Duyck и примѣненный Говатсономъ) состоитъ въ обработкѣ воды продуктами реакціи между двумя растворами гипохлорида извести (или натрія) и желѣзистой (или алюминіевой) соли; при этомъ получается гипохлористая кислота ($Cl_2O$ или ClOH) по формулѣ

$$3\,Ca_2Cl_4O_2 + Fe_2Cl_6 = 6\,CaCl_2 + Fe_2O_3 + 3\,Cl_2O.$$

Приборъ состоитъ изъ двухъ баковъ для реактивовъ, резервуара для смѣшенія, отстойника и фильтра (Говатсона, съ толченымъ кварцемъ). Реактивы поступаютъ въ резервуаръ для смѣшенія по тонкимъ трубкамъ, снабженнымъ калибрированными кранами; туда же подается сырая вода. Изъ этого резервуара вода съ реактивами поступаетъ въ нижнюю часть отстойника, откуда переливается (поверху) на фильтръ.

При опытахъ на конкурсѣ въ Парижѣ (въ St. Maur) съ водою р. Марны, фильтрованною на англійскихъ фильтрахъ при скоростяхъ 2,40 и 4,80 м. въ сутки; съ фильтрованною, смѣшанною съ 15% нефильтрованной и съ нефильтрованною, количество реактивовъ колебалось: сѣрнокислаго глинозема—отъ 10 до 40 гр. на 1 куб. м: воды и хлорной извести—отъ 1,10 до 3 гр. Комиссія пришла къ заключенію, что обработка способомъ Duyck не вноситъ замѣтныхъ измѣненій въ химическій составъ воды; иногда замѣчается увеличеніе содержанія сѣрной кислоты (на нѣсколько миллиграммовъ), а изрѣдка—еще слѣды алюминія. Уменьшеніе органическихъ веществъ не очень велико; количество растворенаго кислорода почти не измѣняется. Въ случаяхъ, когда обрабатываемая вода была очень мутна, освѣтленіе весьма значительно и вода (нефильтрованная), послѣ очистки способомъ Duyck, сходна съ водою освѣтленною песочными фильтрами.

Бактеріологическія изслѣдованія показали, что способъ Duyck легко уничтожаетъ бактерій, водящихся въ водѣ, и является вѣрнымъ средствомъ противъ B. coli (содержаніе которой въ 400 куб. см. уменьшалось во всѣхъ опытахъ съ 1000—144000 (въ сырой водѣ) до 0—0,2), но очищенная вода при проходѣ черезъ фильтръ-освѣтитель получаетъ изъ него (иногда въ большомъ количествѣ) безвредныхъ бактерій.

Средняя стоимость очистки 1 куб. м. воды по способу Duyck оказалась въ Парижѣ 0,05 франка (=1,9 коп.), при цѣнѣ за 100 кгр. сѣрнокислаго глинозема 15 фр. и хлорной извести—20 франковъ.

## Глава X.

# Озонированіе воды.

*Озонъ и его добываніе.*

Озонъ, открытый впервые въ 1743 г. Van-Marum и изученный въ 1840 г. Шенбейномъ, представляетъ особое видоизмѣненіе кислорода, содержащее въ молекулѣ 3 атома кислорода, взамѣнъ двухъ атомовъ, составляющихъ молекулу обыкновеннаго свободнаго кислорода. Озонъ образуется изъ кислорода съ сильнымъ поглощеніемъ теплоты и съ уменьшеніемъ объема на одну треть.

Озонъ служитъ весьма энергичнымъ окислителемъ; при окисленіи озономъ, по большей части одинъ только третій атомъ кислорода, являющійся излишнимъ въ молекулѣ озона по сравненію съ молекулою свободнаго кислорода и неустойчиво соединенный съ двумя остальными атомами, сосредоточивается на окисляемомъ тѣлѣ; въ то же время происходитъ выдѣленіе теплоты. Реакція совершается по уравненію:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $O_3$ | = | $O_2$ | + | O | +29,6 калорій. |
| (Озонъ 2 объема). | | (Свободный кислородъ 2 объема). | | Атомъ кислорода (1 объемъ). | |

Благодаря выдѣленію теплоты, процессъ окисленія озономъ гораздо энергичнѣе, чѣмъ свободнымъ кислородомъ.

Удѣльный вѣсъ озона 1,66; температура кипѣнія жидкаго озона— 106°; озонъ въ толстомъ слоѣ кажется синяго цвѣта (лазурь небеснаго свода). Озонъ обладаетъ специфическимъ запахомъ, который нѣкоторые сравниваютъ съ запахомъ свѣже выстираннаго бѣлья, внесеннаго съ мороза въ теплое помѣщеніе, и острымъ вкусомъ. Растворимость озона въ водѣ въ 15 разъ болѣе, чѣмъ кислорода.

Въ природѣ озонъ встрѣчается въ атмосферѣ въ весьма разнообразныхъ количествахъ и распространенъ весьма неправильно. Его весьма много въ нѣкоторыхъ мѣстахъ, гдѣ бываетъ постоянное испареніе воды въ присутствіи большого количества кислорода, напр., въ лѣсистыхъ мѣстностяхъ, на поверхности облаковъ, близъ снѣжныхъ горъ; озонъ исчезаетъ въ населенныхъ мѣстахъ, въ долинахъ и на низменностяхъ.

Образованіе озона сопутствуетъ весьма многимъ реакціямъ, при которыхъ выдѣляется свободный кислородъ: при пропусканіи гальвани-

ческаго тока черезъ подкисленную воду, при медленномъ окисленіи скипидара, при разложеніи перекисей; но въ озонъ превращается лишь небольшая часть кислорода.

Промышленное добываніе озона производится путемъ пропусканія черезъ слой воздуха частыхъ электрическимъ разрядовъ высокаго напряженія.

Переходъ кислорода воздуха въ озонъ можетъ происходить исключительно въ такой средѣ, гдѣ кислородъ можетъ поглощать энергію, не нагрѣваясь; только тогда поглощаемая энергія можетъ идти на внутреннюю работу созиданія озона.

*Температура* оказываетъ большое вліяніе на образованіе озона; процентъ образующагося въ воздухѣ озона, при прочихъ равныхъ условіяхъ, уменьшается пропорціонально температурѣ, представляя линейную функцію отъ температуры съ весьма большимъ угловымъ коэффиціентомъ.

Вторымъ факторомъ, ухудшающимъ образованіе озона, оказывается *слажность* озонируемаго воздуха. Это явленіе объясняется тѣмъ, что реакціи, могущія сопровождать образованіе озона, вызываютъ при влажномъ воздухѣ образованіе азотистыхъ соединеній, и количество послѣднихъ возрастаетъ съ увеличеніемъ влажности; между тѣмъ, азотистыя соединенія въ присутствіи озона окисляются [1]), расходуя часть озона. Поэтому озонируемый воздухъ непремѣнно долженъ быть предварительно высушенъ.

Наконецъ, образованіе озона изъ кислорода воздуха затрудняется по мѣрѣ увеличенія содержанія въ этомъ воздухѣ озона. Поэтому еще не удавалось получить чистый озонъ. Послѣ достиженія опредѣленной *„концентраціи“* озона въ воздухѣ („концентраціею“ называется содержаніе озона въ граммахъ въ 1 куб. метрѣ воздуха), дальнѣйшее образованіе озона прекращается; эта предѣльная концентрація зависитъ отъ температуры и отчасти отъ давленія. Кромѣ того, образованіе озона возможно лишь при давленіи не ниже 6 атмосферъ [2]).

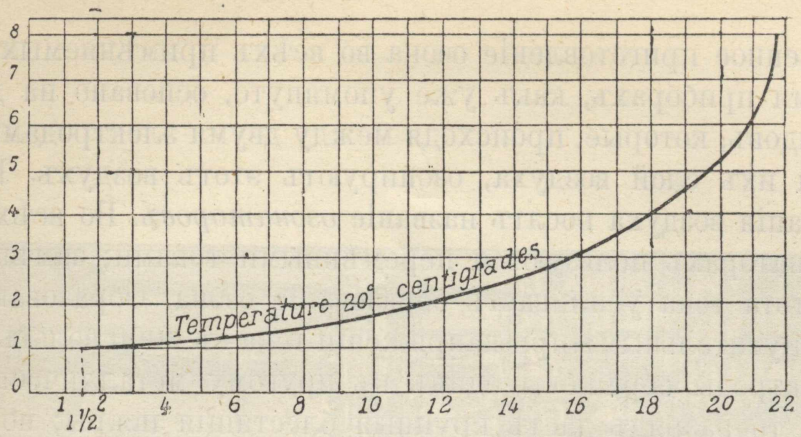
Кривая фиг. 109 показываетъ увеличеніе расхода энергіи на образованіе 1 грамма озона при повышеніи концентраціи озона въ воздухѣ; по оси абсциссъ отложены величины концентраціи (въ граммахъ озона на 1 куб. м. воздуха), а по оси ординатъ—количества энергіи, расходуемой на производство 1 гр. озона. За единицу количества энергіи принято количество, расходуемое при концентраціи озона 1,5 гр. [3]).

---

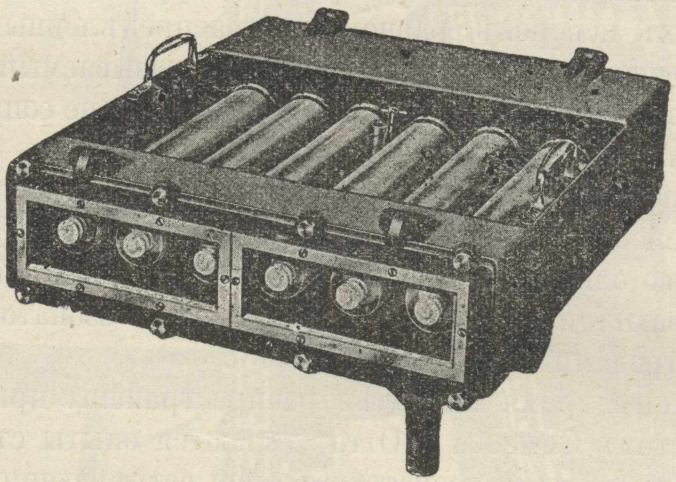
[1]) Окись азота (NO) переходитъ въ перекись ($NO_2$) и азотный ангидридъ ($N_2O_5$). См. „Annalen der Physik“, 1906, № 9, 734.

[2]) Chassy. „Comptes rendus des Séances de l'Academie des Sciences“, CXLIII, 220.

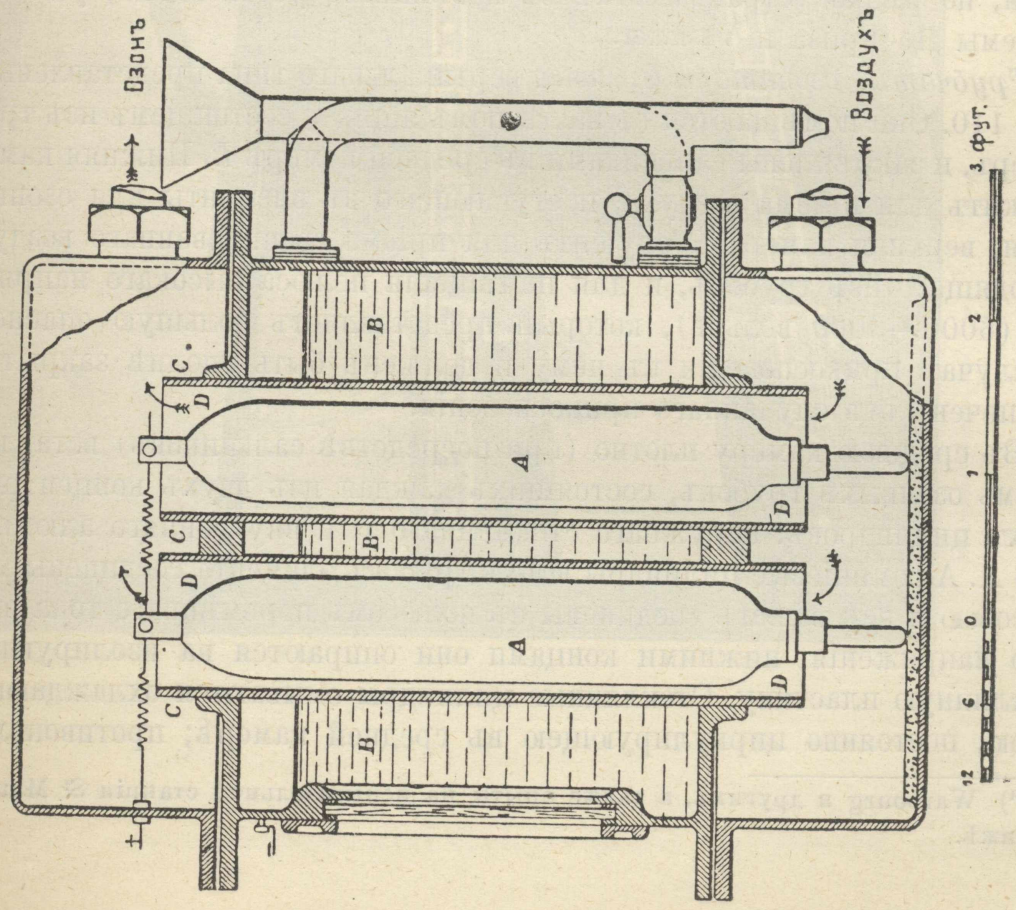
[3]) Абсолютная величина расхода энергіи на образованіе 1 гр. озона, при прочихъ условіяхъ, различна въ разныхъ системахъ озонаторовъ и уменьшается по мѣрѣ усовершенствованія ихъ. Объ этой величинѣ въ существующихъ приборахъ скажемъ ниже.




Фиг. 109.



Фиг. 111.




Фиг. 110.

Промышленное приготовленіе озона во всѣхъ примѣняемыхъ въ настоящее время приборахъ, какъ уже упомянуто, основано на дѣйствіи тихихъ разрядовъ, которые, происходя между двумя электродами черезъ раздѣляющій ихъ слой воздуха, озонируютъ этотъ воздухъ. Приборы для озонированія воздуха носятъ названіе *озонаторовъ*. Во всѣхъ современныхъ озонаторахъ пользуются перемѣнными токами; замѣчено, что большая частота тока усиливаетъ образованіе озона. Образованіе озона становится ощутительнымъ при напряженіи тока въ 6000 вольтъ и выше.

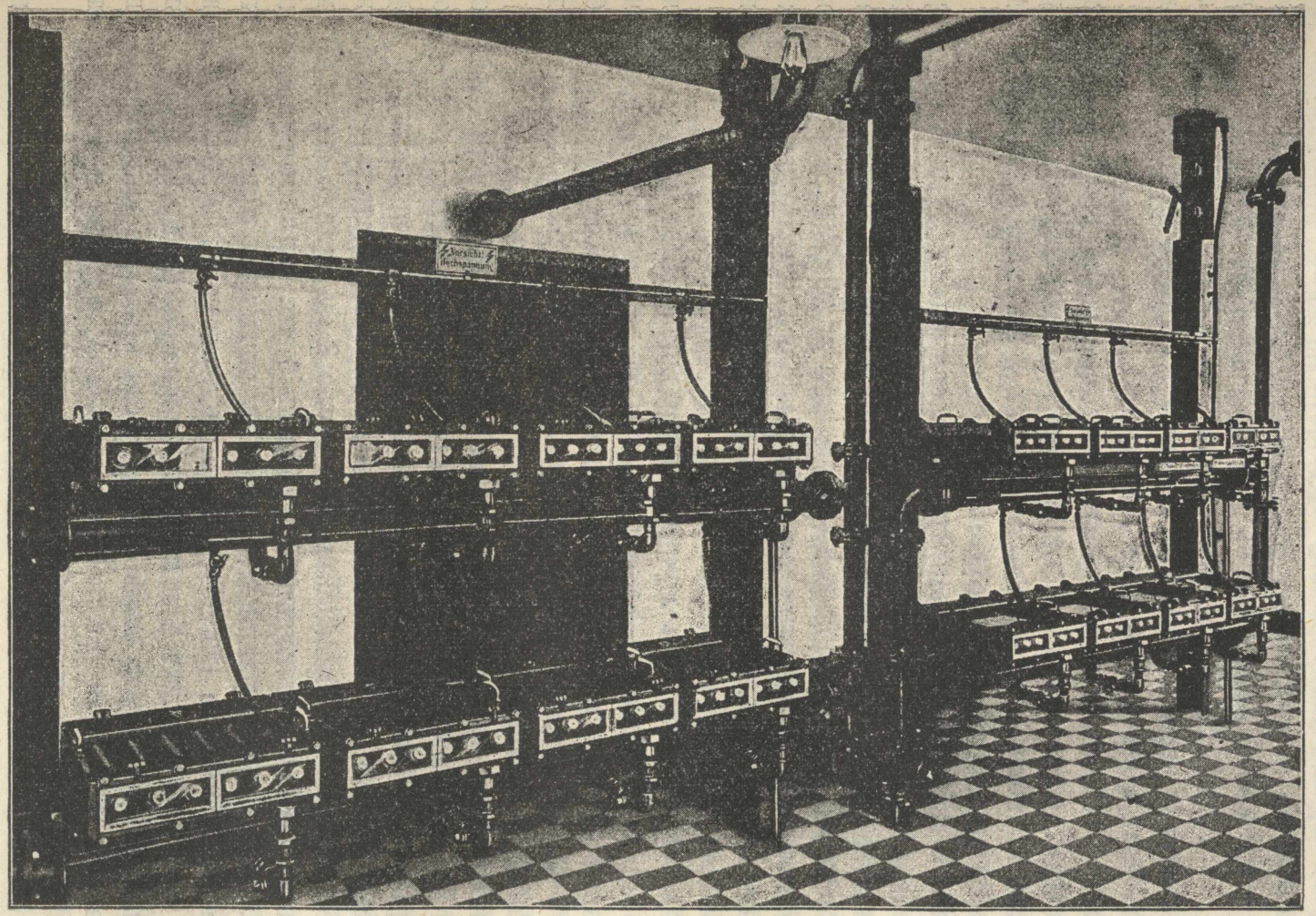
Если электроды обращены одинъ къ другому металлическими поверхностями, то разрядъ даетъ крупныя блестящія искры; но при покрытіи этихъ поверхностей діэлектрикомъ, крупныя искры замѣняются массою мелкихъ искорокъ, равномѣрно распредѣленныхъ по всей поверхности проводника и образующихъ такъ называемый электрическій потокъ, легко замѣчаемый по фіолетовой окраскѣ и не сопровождающійся большимъ повышеніемъ температуры (какое бываетъ при крупныхъ искрахъ); ультра-фіолетовые лучи, въ изобиліи возникающіе при этомъ, повидимому, способствуютъ образованію озона. Опыты [4]) показали, что на производство одинаковаго количества озона, озонаторы съ діэлектриками затрачиваютъ втрое меньше энергіи, чѣмъ озонаторы съ металлическими электродами безъ діэлектриковъ.

Въ настоящее время наиболѣе распространены при очисткѣ воды озонаторы системъ Сименса и Отто; дѣлаются опыты съ примѣненіемъ озонаторовъ Жерара; изъ озонаторовъ, еще встрѣчающихся въ употребленіи, но рѣдко устраиваемыхъ въ новѣйшихъ установкахъ, укажемъ системы Де-Фриза и Vosmaer.

*Трубчатые озонаторы Сименса* вертикальнаго типа представлены на фиг. 110. Они помѣщаются въ желѣзномъ ящикѣ, состоящемъ изъ трехъ камеръ, и закрѣплены сальниками въ средней камерѣ *B*. Нижняя камера служитъ для пріема воздуха, поступающаго въ элементы для озонированія; верхняя камера *C* служитъ для пріема озонированнаго воздуха, выходящаго изъ трубокъ, и для помѣщенія полюса высокаго напряженія (6000—9000 вольтъ), который представляетъ большую опасность въ случаѣ прикосновенія къ нему и долженъ быть вполнѣ закрытъ и обезпеченъ отъ случайнаго прикосновенія.

Въ среднюю камеру плотно (при посредствѣ сальниковъ) вставлены восемь озонныхъ трубокъ, состоящихъ каждая изъ двухъ концентрическихъ цилиндровъ: наружнаго стекляннаго *D* и внутренняго алюминіеваго *A*. Алюминіевые цилиндры всѣхъ трубокъ элемента соединены между собою и всѣ вмѣстѣ соединены съ полюсомъ перемѣннаго тока высокаго напряженія; нижними концами они опираются на изолирующую стеклянную пластину. Стеклянные цилиндры омываются охлаждающею водою, постоянно циркулирующею въ средней камерѣ; противополож-

[4]) Warbourg и другихъ, а также опыты на испытательной станціи St Maur въ Парижѣ.



Фиг. 112.

ный полюсъ перемѣннаго тока соединенъ съ этою водою, а черезъ нее и съ землею.

Между каждою стеклянною и вставленною въ нее алюминіевою трубками безпрерывно происходитъ тихое разряженіе тока, и проходящій черезъ промежутокъ между трубками воздухъ озонируется. Для прохода воздуха черезъ озонаторъ, озонированный воздухъ изъ верхней камеры извлекаютъ посредствомъ компрессора или эжектора („эмульсатора", съ которымъ ознакомимся ниже), и свѣжій атмосферный воздухъ входитъ въ нижнюю камеру озонатора (обыкновенно черезъ осушительную колонну съ хлористымъ кальціемъ).

Нормальная работа озонаторовъ характеризуется ровнымъ фіолетовымъ свѣтомъ, появляющимся при разрядѣ въ промежуткѣ между трубками; для наблюденія въ обѣихъ крышкахъ и въ стѣнкѣ камеры сдѣланы окна съ зеркальными стеклами.

Провода тока высокаго напряженія, соединяющіе трансформаторы съ озонаторами, проложены внутри колоннъ станины прибора и тщательно изолированы; благодаря тому, что ящики озонныхъ аппаратовъ, представляющіе одинъ изъ полюсовъ, соединены съ землею, а провода отъ другого полюса проложены недоступно и вполнѣ изолированы, можно прикасаться къ аппаратамъ во время ихъ дѣйствія и, въ случаѣ надобности, замѣнять ихъ.

При озонаторахъ Сименса устраивается сигнальный приборъ на случай просачиванія воды въ нижнюю камеру: въ ней помѣщается листокъ пропускной бумаги, натянутый пружиною; при просачиваніи воды бумага отъ влаги разрывается, и пружина замыкаетъ контактъ сигнальнаго звонка съ нумеромъ озонатора.

Въ новѣйшихъ установкахъ [5]), взамѣнъ описанныхъ вертикальныхъ аппаратовъ фирма Сименсъ устраиваетъ горизонтальные, почти такого же устройства (см. фиг. 111). Каждый элементъ содержитъ 6 паръ озонныхъ трубокъ (вмѣсто 8 въ вертикальныхъ аппаратахъ); приблизительные размѣры трубокъ: діаметръ—около 8 см., длина около 40 см.; внутренній діаметръ стеклянной трубки на 3 мм. болѣе наружнаго діаметра алюминіевой. Верхняя крышка металлическихъ ящиковъ открыта надъ среднею камерою (въ которой циркулируетъ охлаждающая вода). Какъ и въ вертикальныхъ озонаторахъ, можно безопасно касаться всѣхъ доступныхъ частей, такъ какъ провода тока высокаго напряженія (видные на фиг. 112 надъ каждымъ аппаратомъ), а равно и алюминіевые трубки, изолированы и защищены отъ доступа.

Замѣна вертикальнаго положенія трубокъ горизонтальнымъ вызвана, какъ указываетъ фирма, разнаго рода конструктивными соображеніями. Горизонтальные озонаторы легче и компактнѣе вертикальныхъ [6]).

---

[5]) Въ Германштадтѣ, Петербургѣ и др.

[6]) Каждый горизонтальный элементъ (изъ 6 трубокъ) соотвѣтствуетъ приблизительно 300—400 куб. метр. дезинфецируемой воды въ сутки.

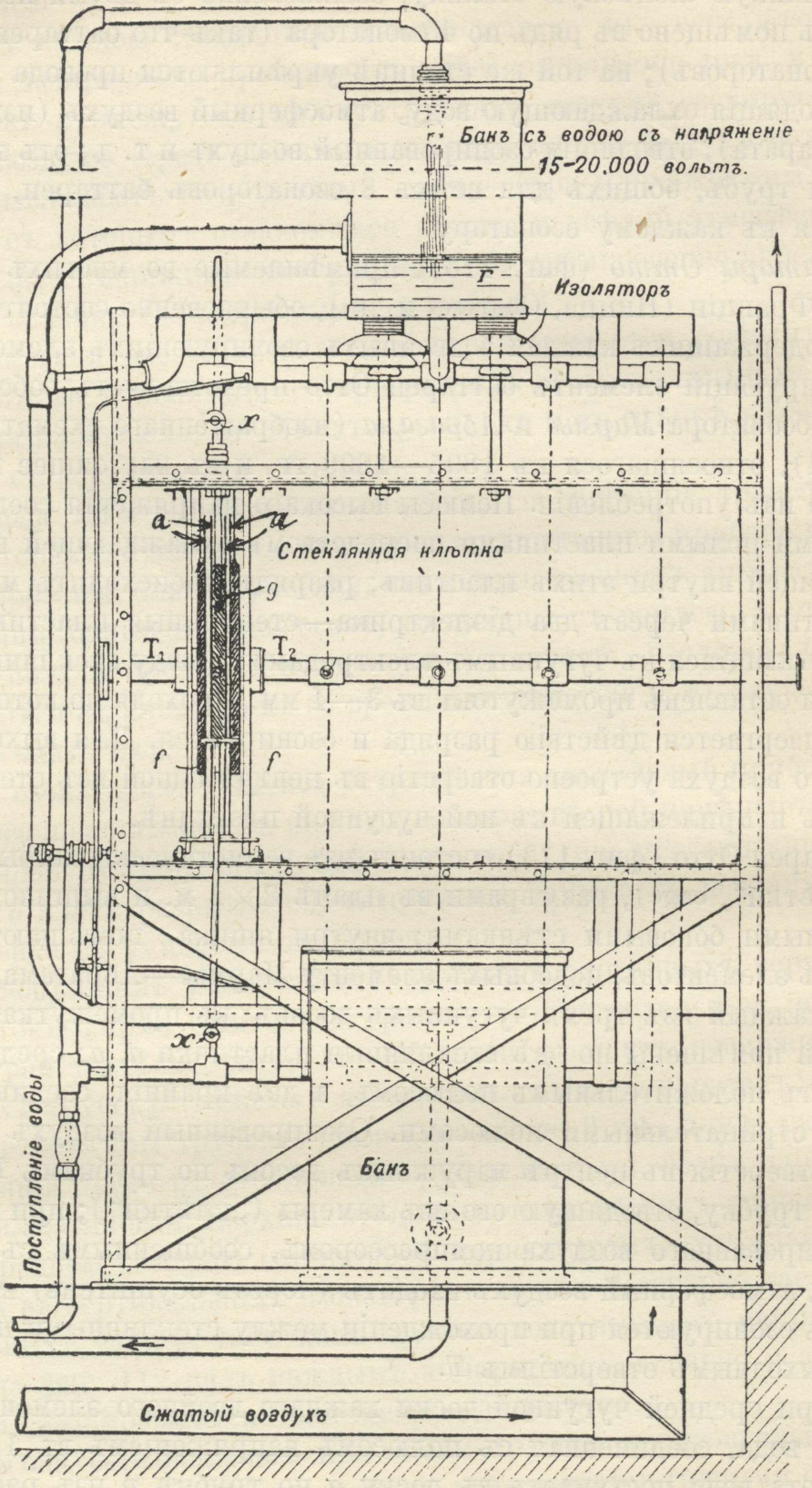
Озонаторы соединяются въ баттареи (фиг. 112), представляющія собою клепанную желѣзную станину, обыкновенно съ двумя полками, на которыхъ помѣщено въ рядъ по 4 озонатора (такъ что баттарея состоитъ изъ 8 озонаторовъ); на той же станинѣ укрѣпляются провода тока, трубы, проводящія охлаждающую воду, атмосферный воздухъ (изъ сушильнаго аппарата), отводящія озонированный воздухъ и т. д.; отъ этихъ проводовъ и трубъ, общихъ для всѣхъ 8 озонаторовъ баттареи, идутъ отвѣтвленія къ каждому озонатору.

*Озонаторы Отто* (фиг. 113), примѣняемые во многихъ установкахъ во Франціи (Ницца, Chartres и др.), обыкновенно состоятъ изъ баттарей, содержащихъ каждая 5 двойныхъ озонирующихъ элементовъ.

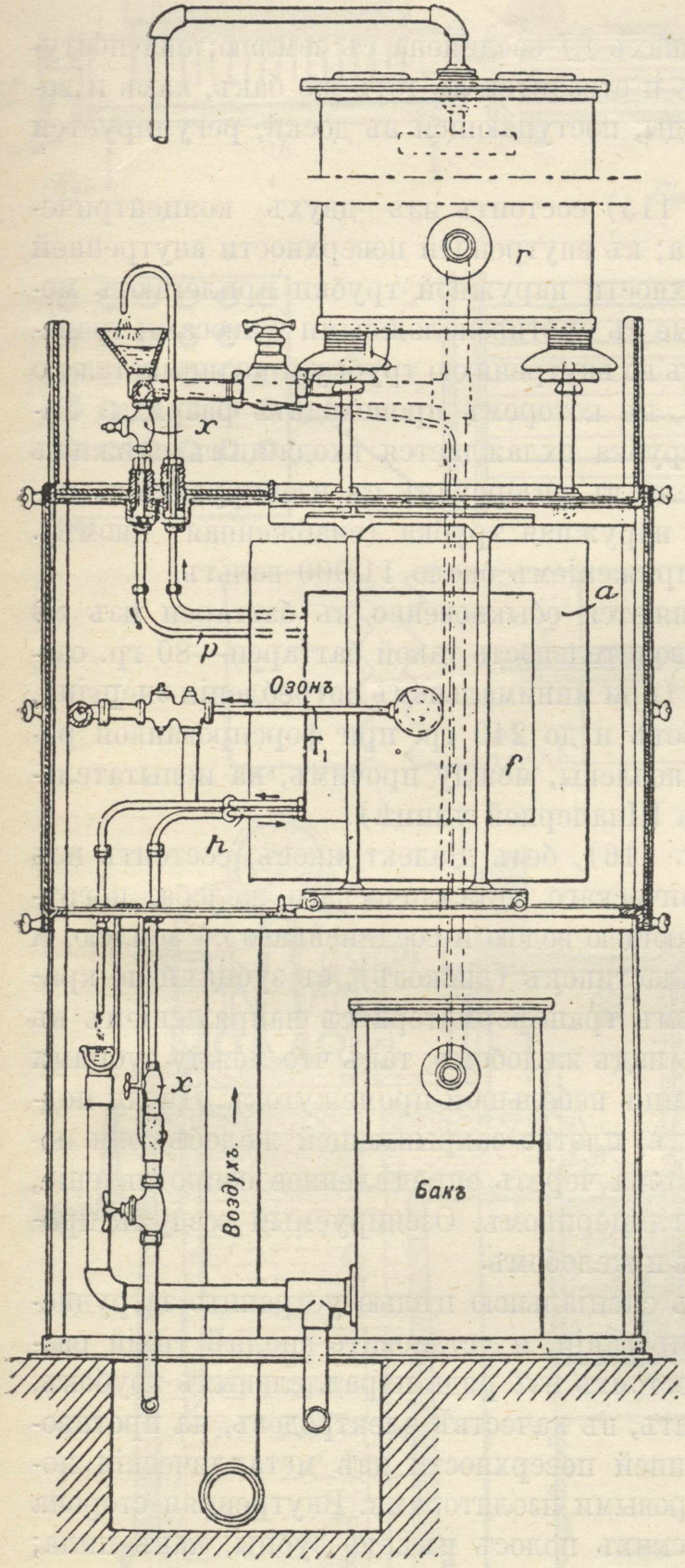
Озонирующій элементъ баттареи Отто представляетъ собою видоизмѣненіе озонатора *Мармье* и *Абрагама* (изображеннаго схематически на фиг. 114), относящагося къ 1895—1899 гг. и въ настоящее время вышедшаго изъ употребленія. Полюсы высокаго напряженія соединены съ чугунными полыми пластинами посредствомъ охлаждающей воды, циркулирующей внутри этихъ пластинъ; разрядъ происходитъ между этими пластинами черезъ два діэлектрика—стеклянныя пластинки, плотно прилегающіяся къ чугуннымъ электродамъ; между стеклянными пластинками оставленъ промежутокъ въ 3—4 мм., проходя по которому, воздухъ подвергается дѣйствію разряда и озонируется. Для выхода озонированнаго воздуха устроено отверстіе въ центрѣ одной изъ стеклянныхъ пластинъ и прилежащей къ ней чугунной пластинѣ.

Баттарея Отто (фиг. 113) состоитъ изъ герметически закрытаго ящика („клѣтки", cage), размѣрами въ планѣ $2 \times 2$ м. и вышиною 1 м., со стеклянными боковыми стѣнками; внутри ящика помѣщаются пять двойныхъ элементовъ, подобныхъ элементу Мармье—Абрагама, но состоящихъ каждый изъ трехъ чугунныхъ досокъ въ промежуткахъ между которыми помѣщены по двѣ стеклянныя пластинки *a, a:* средняя доска *g* служитъ положительнымъ полюсомъ, а двѣ крайнія, соединенныя съ землею, отрицательными полюсами. Озонированный воздухъ выходитъ черезъ отверстія въ центрѣ наружныхъ досокъ по трубкамъ $T_1$ и $T_2$ въ сборную трубку, отводящую его изъ камеры („клѣтки"); при высасываніи озонированнаго воздуха компрессоромъ, сообщеннымъ съ отводною трубкою, атмосферный воздухъ входитъ (черезъ осушитель) въ клѣтку, и затѣмъ озонируются при прохожденіи между стеклянными пластинками къ выходнымъ отверстіямъ *T*.

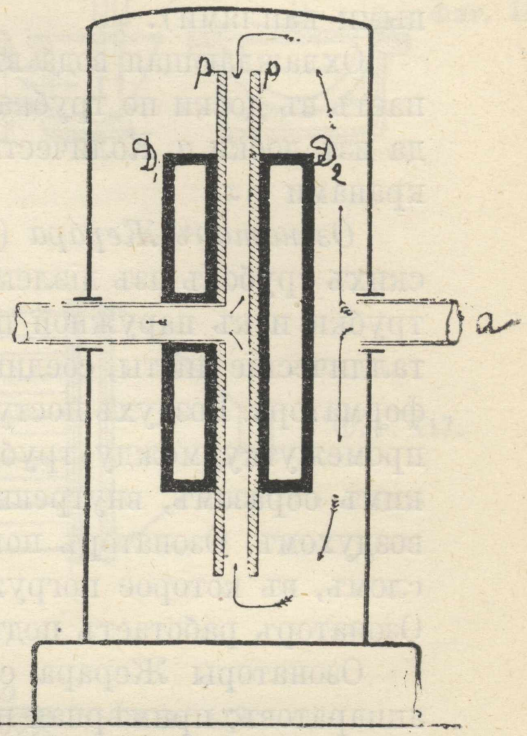
Внутри средней чугунной доски каждаго двойного элемента циркулируетъ вода, соединенная съ полюсомъ напряженіемъ въ 15—20.000 вольтъ; эта вода поступаетъ въ доску *g* по трубкѣ *p* изъ расположеннаго (на изоляторахъ *r*) надъ клѣткою резервуара, соединеннаго съ полюсомъ трансформатора. Выходящая изъ доски *g* вода отводится сначала въ желобъ, изъ котораго стекаетъ въ бакъ, стоящій подъ клѣткою, и оттуда въ сточную трубу; чтобы напряженіе не передавалось баку стека-


Банъ съ водою съ напряженіе
15-20.000 вольтъ.
r
Изоляторъ
x
a
a
Стеклянная клѣтка
g
T₁
T₂
f
f
x
Поступленіе воды
Банъ
Сжатый воздухъ

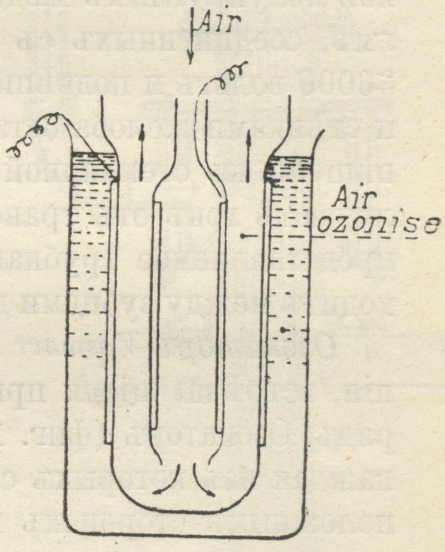
Фиг. 113 a.




Фиг. 113 b.




Фиг. 114.




Фиг. 115.

ющею водою, струя ея прерывается подъ желобомъ (она падаетъ отдѣльными каплями).

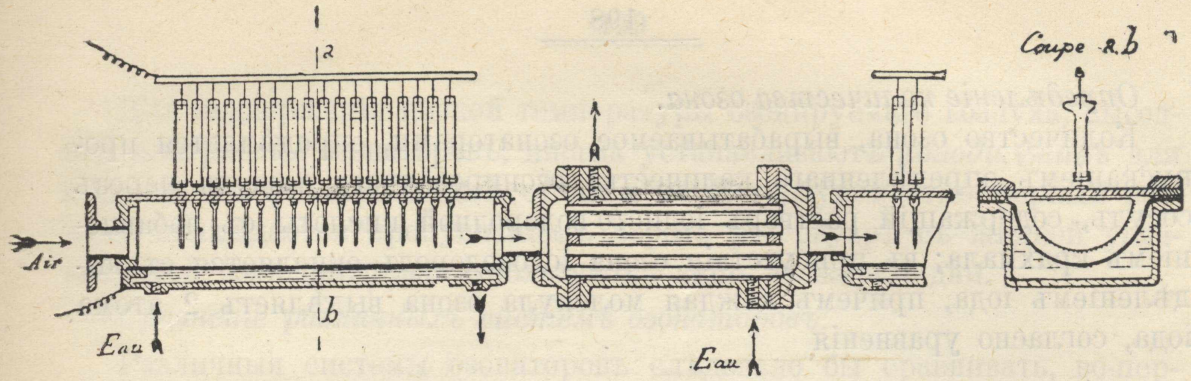
Охлаждающая вода въ доскахъ $f_1 f$ соединена съ землею; она поступаетъ въ доски по трубкамъ $h$, и отводится въ тотъ же бакъ, какъ и вода изъ доски $g$. Количество воды, поступающей въ доски, регулируется кранами $x\ x$.

*Озонаторъ Жерара* (фиг. 115) состоитъ изъ двухъ концентрическихъ трубокъ изъ діэлектрика; къ внутренней поверхности внутренней трубки и къ наружной поверхности наружной трубки прилегаютъ металлическіе листы, соединенные съ противоположными полюсами трансформатора. Воздухъ поступаетъ во внутреннюю трубку и поднимается по промежутку между трубками, въ которомъ происходятъ разряды. Такимъ образомъ, внутренняя трубка охлаждается входящимъ свѣжимъ воздухомъ. Озонаторъ помѣщенъ въ резервуаръ съ изолирующимъ масломъ, въ которое погружена наружная трубка (снабженная дномъ). Озонаторъ работаетъ подъ напряженіемъ около 11.000 вольтъ.

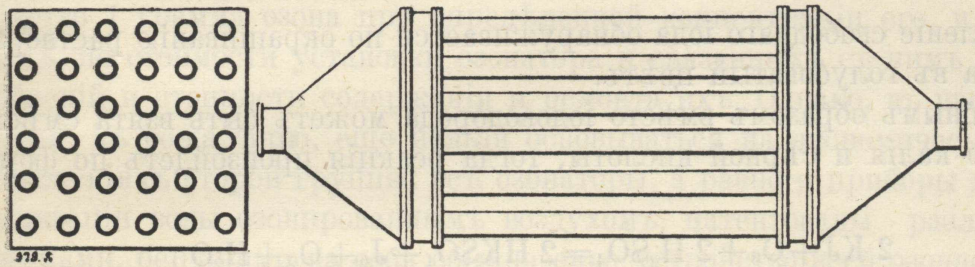
Озонаторы Жерара соединяются обыкновенно въ баттареи изъ 80 аппаратовъ; примѣрная производительность такой баттареи—80 гр. озона при малой концентраціи его (при минимальномъ потребленіи энергіи), 150 гр.—при нормальной работѣ и до 240 гр. при форсированной работѣ. Озонаторы Жерара установлены, между прочимъ, на испытательной станціи г. Петербурга (на Шпалерной улицѣ).

*Озонаторъ де-Фриза* (фиг. 116), безъ діэлектриковъ, состоитъ изъ горизонтальнаго полуцилиндрическаго металлическаго желоба, погруженнаго въ сосудъ съ охлаждающею водою и соединеннаго съ землею, и изъ полукруглыхъ мѣдныхъ пластинокъ (дисковъ), съ зубцами по краямъ, соединенныхъ съ полюсомъ трансформатора съ напряженіемъ въ 36000 вольтъ и подвѣшенныхъ надъ желобомъ, такъ что между зубцами и стѣнками желоба остается лишь небольшой промежутокъ. Диски подвѣшены къ стеклянной крышкѣ, плотно закрывающей желобъ; они получаютъ токъ отъ трансформатора черезъ опредѣленное сопротивленіе, представляемое трубками съ глицериномъ. Озонируемый воздухъ проходитъ между зубцами дисковъ и желобомъ.

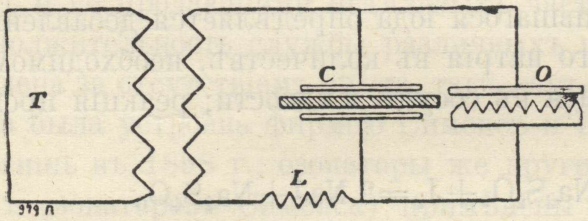
*Озонаторъ Vosmaer* имѣетъ спеціальною цѣлью устранить затрудненія, встрѣчающіяся при изолированіи, и установить вполнѣ тихій разрядъ. Озонаторъ (фиг. 117) состоитъ изъ ряда параллельныхъ трубокъ, каждая изъ которыхъ содержитъ, въ качествѣ электродовъ, на противоположныхъ сторонахъ внутренней поверхности двѣ металлическія полосы, поддерживаемыя фарфоровыми изоляторами. Внутренняя сторона каждой изъ этихъ металлическихъ полосъ имѣетъ зубцы, какъ пила; воздухъ, проходящій черезъ трубки, подвергается дѣйствію тихаго разряда между зубцами полосъ. Разность потенціаловъ полосъ поддерживается весьма значительною при помощи конденсатора. Схема озонирующаго прибора Vosmaer представлена на фиг. 118, гдѣ $T$ трансформаторъ, $L$ реостатъ, $C$ конденсаторъ высокаго напряженія, $O$ озонаторъ.



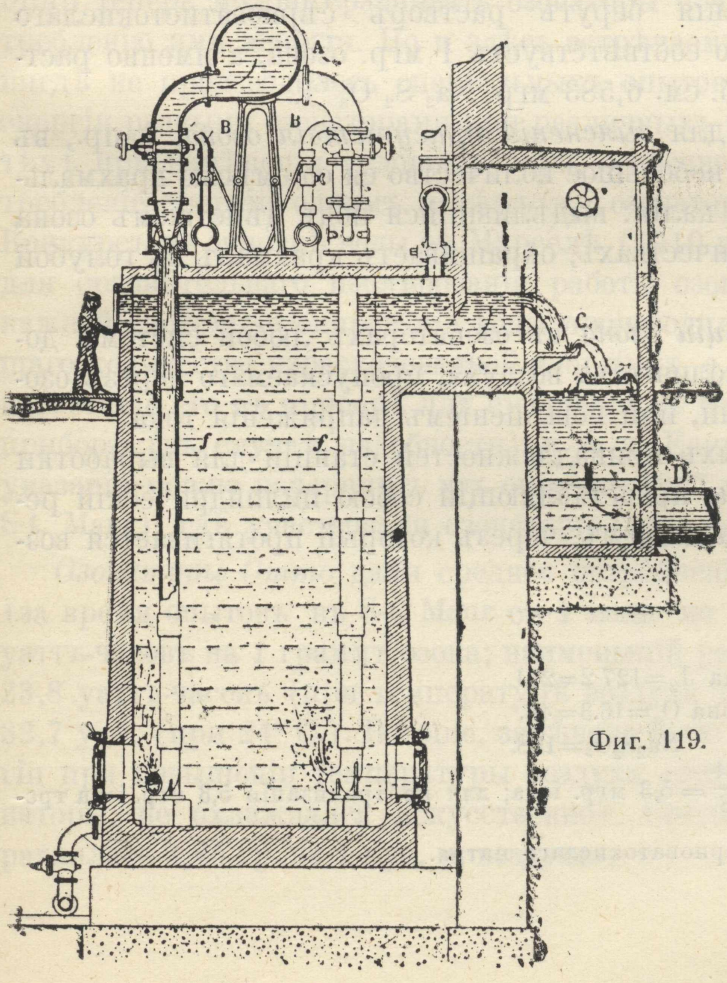

Фиг. 116.



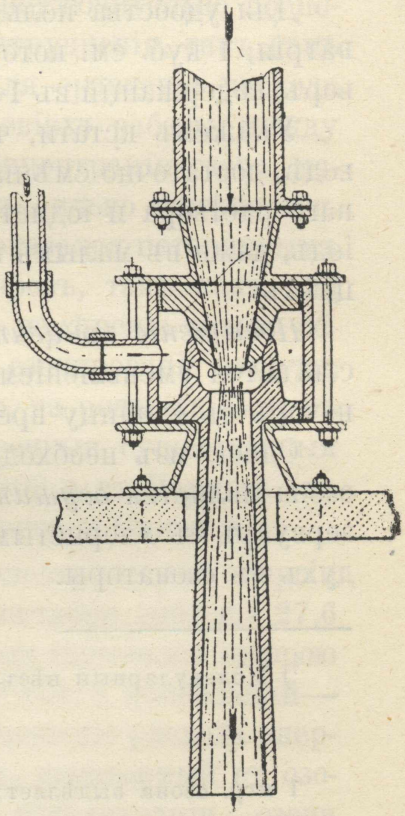
Фиг. 117.




Фиг. 118.




Фиг. 119.



Фиг. 120.

*Опредѣленіе количества озона.*

Количество озона, вырабатываемое озонаторами, опредѣляется пропусканіемъ опредѣленнаго количества озонированнаго воздуха черезъ сосудъ, содержащій растворъ іодисто-водородной кислоты съ добавленіемъ крахмала; въ присутствіи озона іодоводородъ окисляется съ выдѣленіемъ іода, причемъ каждая молекула озона выдѣляетъ 2 атома іода, согласно уравненія

$$2\,HJ + O_3 = J_2 + O_2 + H_2O$$

Появленіе свободнаго іода обнаруживается по окрашиванію раствора крахмала въ голубоватый цвѣтъ.

Подобнымъ образомъ вмѣсто іодоводорода можетъ быть взята смѣсь іодистаго калія и сѣрной кислоты; тогда реакція произойдетъ по формулѣ

$$2\,KJ + O_3 + 2\,H_2SO_4 = 2\,HKSO_4 + J_2 + O_2 + H_2O$$

Количество выдѣлившагося іода опредѣляется добавленіемъ раствора сѣрноватистокислаго натрія въ количествѣ, необходимомъ для обезцвѣчиванія находящейся въ сосудѣ жидкости; реакція происходитъ по формулѣ:

$$2\,Na_2S_2O_3 + J_2 = 2\,NaJ + Na_2S_4O_6$$

Для удобства пользованія берутъ растворъ сѣрноватистокислаго натрія, 1 куб. см. котораго соотвѣтствуетъ 1 мгр. озона, а именно растворъ, содержащій въ 1 куб. см. 6,583 мгр. $Na_2\,S_2\,O_3$ [7]).

Укажемъ кстати, что для *выясненія присутствія озона*, напр., въ водѣ, достаточно смѣшать небольшое количество ея со смѣсью крахмальнаго раствора и іодистаго калія: выдѣлившійся подъ дѣйствіемъ озона іодъ, даже въ малыхъ количествахъ, окрашиваетъ крахмалъ въ голубой цвѣтъ.

*Повышеніе концентраціи озона* въ озонаторахъ любой системы достигается уменьшеніемъ количества воздуха, пропускаемаго черезъ озонаторъ въ единицу времени, или повышеніемъ напряженія тока.

Одною изъ необходимыхъ принадлежностей станціи для выработки озона является *осушитель*, представляющій собою цилиндрическій резервуаръ съ хлористымъ кальціемъ, черезъ который протягивается воздухъ въ озонаторы.

---

[7]) Молекулярный вѣсъ: іода $J_2 = 127.2 = 254$.
озона $O_3 = 16.3 = 48$.
$Na_2S_2O_3 = 158$.

1 мгр. озона выдѣляетъ $\frac{254}{48} = 5{,}3$ мгр. іода; для нейтрализаціи 5,3 мгр. іода требуется $\frac{2.158}{254} . 5{,}3 = 6{,}583$ мгр. сѣрноватокислаго натра.

Для поддержанія низкой температуры озонируемаго воздуха, выгодной для работы озонаторовъ, иногда устанавливаютъ *холодильникъ* для воздуха. На фильтроозонной станціи въ Петербургѣ атмосферный воздухъ охлаждается пропусканіемъ черезъ резервуаръ съ жидкой углекислотой; холодильниками пользуются лишь въ жаркіе дни.

*Сравненіе различныхъ системъ озонаторовъ.*

Различныя системы озонаторовъ слѣдовало бы сравнивать, во-первыхъ, по количеству электрической энергіи, расходуемой ими на производство 1 грамма озона при опредѣленной концентраціи его, и, во-вторыхъ, по стоимости установки озонатора и связанныхъ съ нимъ приспособленій и стоимости содержанія и ремонта ихъ. Однако, въ настоящее время, къ сожалѣнію, еще нельзя основываться на экономическихъ соображеніяхъ второй группы: всѣ озонаторы, а равно и приборы для стерилизаціи воды озонированнымъ воздухомъ, патентованы различными фирмами, берущими на себя обыкновенно устройство всей озонной станціи цѣликомъ и не продающими отдѣльныхъ частей; стоимость же ремонта и продолжительность службы различныхъ приборовъ не можетъ быть установлена за отсутствіемъ опыта, такъ какъ первая опытная озонная установка была устроена фирмою Сименсъ и Гальске (въ Мартиникенфельдѣ) лишь въ 1898 г., озонаторы же другихъ системъ (а равно и новый типъ озонаторовъ Сименса) примѣнены еще позже. Въ виду этого теперь можно сравнивать озонаторы почти исключительно по потребленію ими энергіи. Но и здѣсь встрѣчаемъ затрудненія, такъ какъ нигдѣ не производилось спеціальныхъ опытовъ для сравненія расхода энергіи разными озонаторами при различныхъ условіяхъ работы; между тѣмъ при измѣненіи условій работы, особенно концентраціи озона, потребленіе энергіи однимъ и тѣмъ же озонаторомъ сильно измѣняется. Конкурсъ по очисткѣ воды въ Марселѣ (1910 г.) оказался потеряннымъ для сравнительнаго изслѣдованія работы озонаторовъ, такъ какъ для каждой системы озонированія воды производилось измѣреніе только общаго количества израсходованной энергіи, т. е. на озонированіе воздуха, нагнетаніе его въ приборъ для смѣшенія съ водою, на подъемъ воды въ приборъ (въ случаѣ надобности) и т. д. Единственныя существенныя указанія можно почерпнуть изъ опытовъ 1907 и 1908 г. въ Парижѣ (въ S-t. Maur), гдѣ участвовали озонаторы Отто, де-Фриза и Сименса.

*Озонаторы Отто* дали среднее потребленіе электрической энергіи (за время опытовъ въ S-t. Maur съ 1 іюля по 15 октября 1907 г.) 27,6 уаттъ-часовъ на 1 граммъ озона; наименьшій расходъ выразился цифрою 23,8 уаттъ-часовъ (при температурѣ воздуха 17,5° С.), а наибольшій— 32,7 у.-ч. (при 24° С.). Вообще, замѣчено было повышеніе расхода энергіи при повышеніи температуры воздуха (воздухъ, подаваемый въ озонаторы, не охлаждался искусственно). Средняя концентрація озона равнялась 3,95 гр. на 1 куб. м. воздуха.

*Озонаторы де-Фриза* при сходныхъ, въ общемъ, условіяхъ, требовали средняго расхода энергіи въ 84,01 уаттъ-часовъ на 1 граммъ озона, при средней концентраціи озона 1,04 гр.

*Озонаторы Сименса*, примѣненные въ опытахъ съ 30 марта по 15 апрѣля 1908 г. въ S-t. Maur, дали средній расходъ энергіи 17,05 уаттъ-часовъ, при колебаніяхъ отъ 13,5 до 25,7 уаттъ-часовъ и при средней концентраціи 1,86 гр. озона въ 1 куб. м. воздуха.

Для сравненія укажемъ, что до 1896 г., когда озонъ добывался въ лабораторіяхъ при помощи спирали Румкорфа, на полученіе 1 гр. озона расходовалось около 9000 уаттъ-часовъ; теоретически же вычисленная работа, эквивалентная работѣ созиданія изъ воздуха 1 гр. озона, равна, приблизительно, 0,7 уаттъ-часовъ. Дѣйствительно, молекула озона, которая вѣситъ 48 гр., поглощаетъ при образованіи своемъ 29,6 калорій тепла; слѣдовательно, для полученія 1 гр. озона требуется затратить теоретическую работу

$$\frac{29{,}6.423{,}5}{48} = 261 \text{ кгр. метр.}$$

Паровая лошадь въ часъ можетъ, по этому теоретическому расчету, создать 1034 гр. озона; обратно, 1 гр. озона требуетъ около 0,01 пар. лош. въ часъ, или около 0,7 уаттъ-часовъ.

Такимъ образомъ, потребленіе энергіи въ настоящее время еще очень далеко отъ теоретическаго.

*Озонированіе питьевой воды.*

Примѣненіи озона для обезвреживанія питьевой воды основано на изслѣдованіяхъ д-ра Ольмюллера [8]), установившихъ, что озонированный воздухъ, при смѣшеніи съ водою, губительно дѣйствуетъ на бактерій, находящихся въ водѣ.

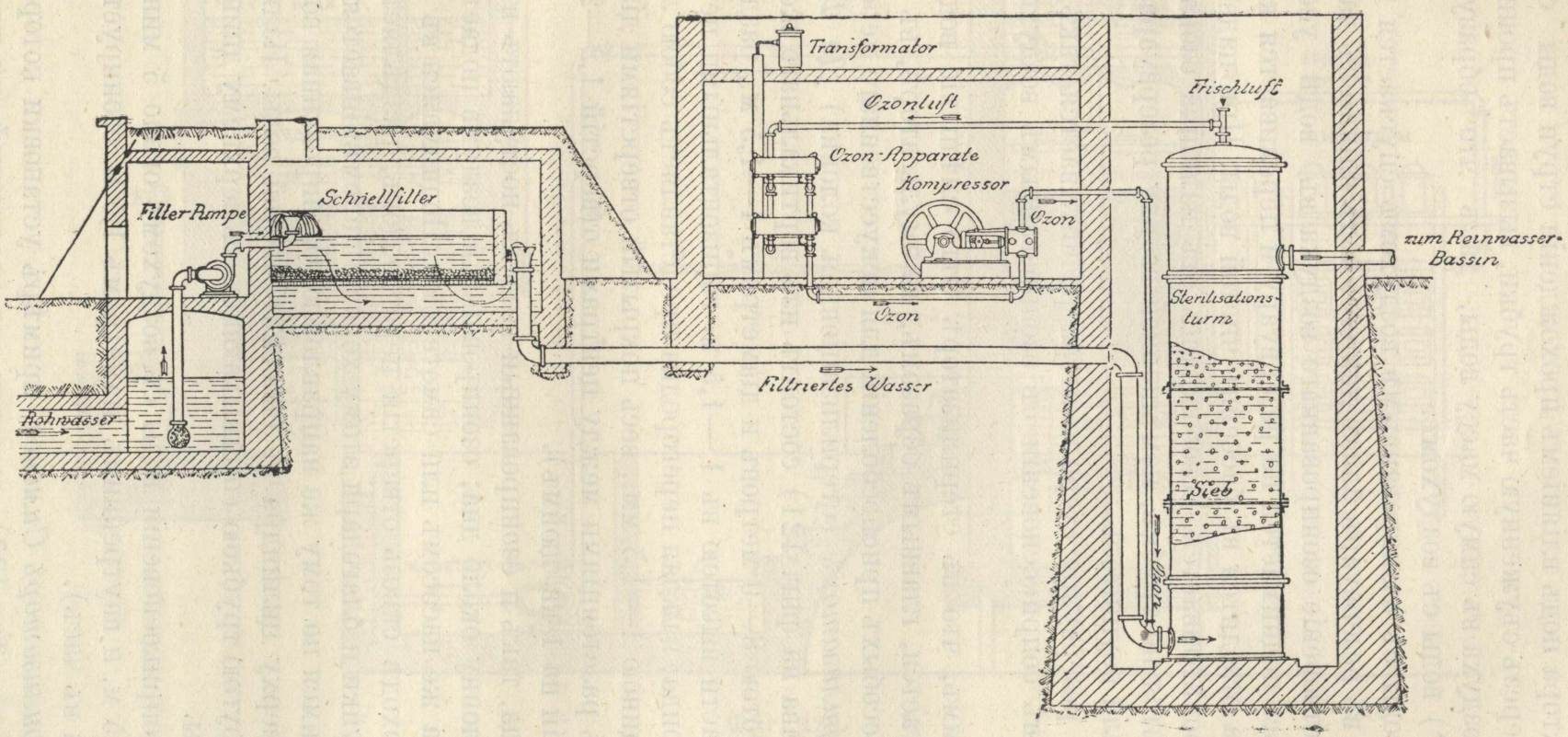
Приборы, въ которыхъ производится смѣшеніе воды съ озонированнымъ воздухомъ, носятъ названіе *стерилизаторовъ;* иногда ихъ называютъ также, смотря по устройству, стерилизаціонными башнями, колоннами, гиллереями и т. д.

Воздухъ протягивается черезъ озонаторъ и затѣмъ, по озонированіи, подается въ стерилизаторы посредствомъ компрессоровъ или особаго инжектора, называемаго эмульсаторомъ (системы Отто).

Примѣняемые въ настоящее время стерилизаторы относятся къ слѣдующимъ типамъ:

1) Простѣйшимъ по устройству можно считать *стерилизаторъ Отто* (фиг. 119), представляющій собою цилиндрическій бетонный резервуаръ; вода подается по трубѣ *A*, проходящей выше стерилизатора, и изъ нея поступаетъ (падаетъ) въ стерилизаторъ по вертикальной трубкѣ *f*; при этомъ вода проходитъ черезъ инжекторъ (*„Эмульса-*

[8]) Ohlmüller. „Arbeiten aus dem Kaiser. Gesundheitsamte", 1893, 8, 229.


Transformator
Ozonluft
Frischluft
Ozon-Apparate
Kompressor
Filter-Pumpe
Schnellfilter
Ozon
zum Reinwasser-Bassin
Ozon
Sterilisations-turm
Filtriertes Wasser
Rohwasser
Sieb
Ozon

Фиг. 121.

*торъ“)* Отто (фиг. 120), увлекая за собою озонированный воздухъ, подводимый къ инжектору по трубкѣ *B*. Разрѣженіе, получающееся въ камерѣ инжектора подъ вліяніемъ прохожденія струи воды съ большою скоростью черезъ съуженную часть трубки, вызываетъ прониканіе озонированнаго воздуха въ самую массу воды, такъ что образуется смѣсь („эмульсія“) воды съ воздухомъ.

Смѣсь воды съ озонированнымъ воздухомъ спускается по трубкѣ *f* и выходитъ въ резервуаръ близъ дна его; подъ вліяніемъ давленія столба воды, раствореніе озонированнаго воздуха въ водѣ увеличивается. Затѣмъ смѣсь поднимается по резервуару и переливается каскадами въ бакъ, откуда отводится въ бассейнъ чистой воды. При паденіи каскадами, вода провѣтривается, освобождаясь отъ излишка озона. Излишекъ озона отводится по трубкѣ, помѣщенной вверху резервуара, обратно въ озонаторы или осушитель.

Емкость резервуара стерилизатора расчитывается такъ, чтобы вода оставалась въ соприкосновеніи съ озонированнымъ воздухомъ около 5 минутъ.

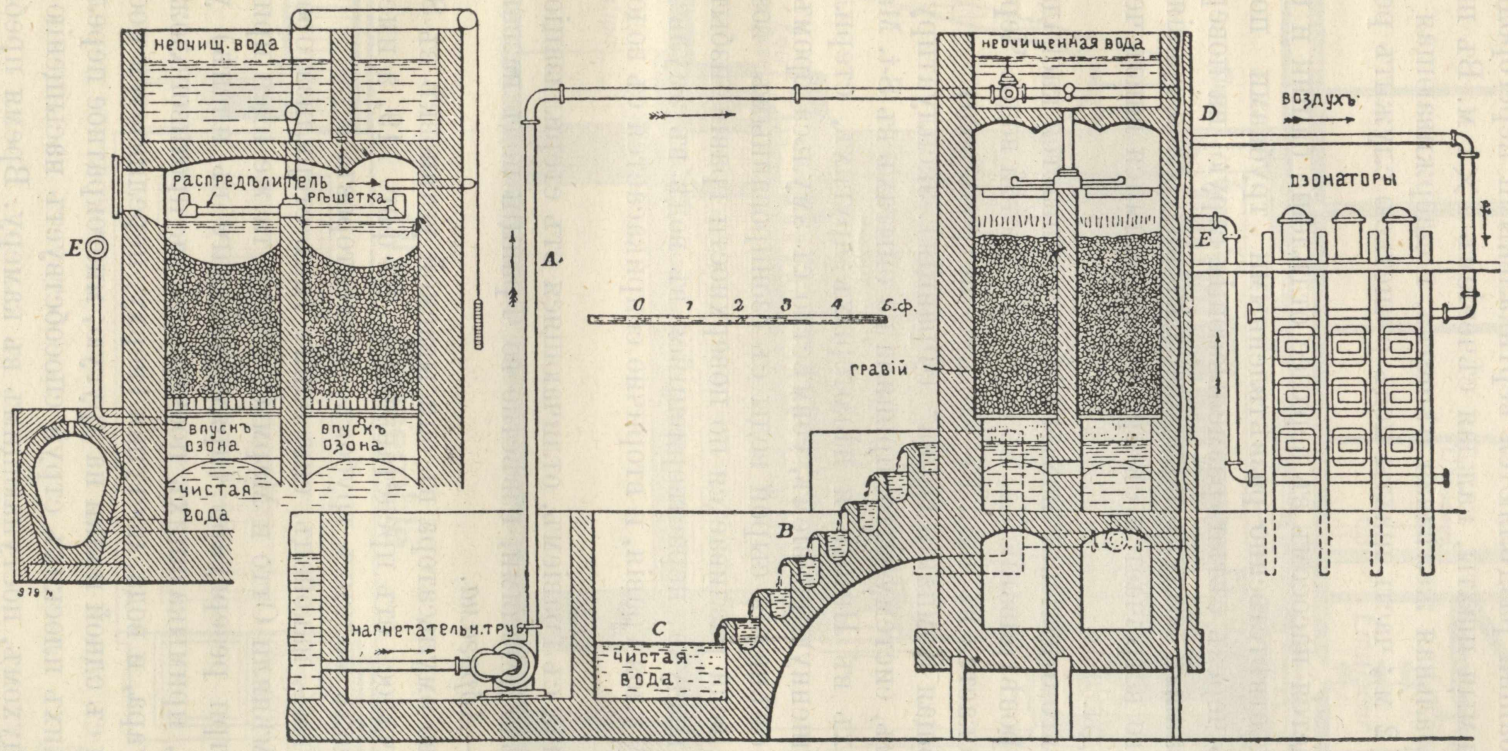
Мы видимъ, что въ стерилизаторѣ Отто смѣшеніе воды съ воздухомъ достигается, главнымъ образомъ, въ эмульсаторѣ, въ колоннѣ же не имѣется особыхъ приспособленій для искусственнаго перемѣшиванія.

2) *Стерилизаторъ* (стерилизаціонная колонна) *Де Фриза* (показанный справа на фиг. 121) состоитъ изъ вертикальнаго желѣзнаго цилиндра, высотою 8—9 метровъ и діаметромъ 1—1,5 м., раздѣленнаго по длинѣ на части высотою въ 1 —1,5 м. горизонтальными перегородками изъ целлулоида; каждая перегородка представляетъ собою листъ целлулоида, толщиною 1—1,5 мм., весь покрытый отверстіями діаметромъ въ 0,7 мм. и съ разстояніями между центрами отверстій 1,2—2 мм. (около 450 отверстій на 1 кв. дюймъ).

Какъ вода, такъ и озонированный воздухъ поступаютъ въ стерилизаціонную колонну около дна; озонированный воздухъ подается компрессоромъ, вода же насосомъ или самотекомъ. Поднимаясь въ колоннѣ, вода, при проходѣ сквозь отверстія перегородокъ, раздѣляется на мельчайшія струйки и благодаря этому хорошо перемѣшивается съ озономъ, поднимающимся по тому же направленію. Озонированная вода выходитъ по трубѣ вверху цилиндра въ бассейнъ чистой воды. Излишекъ озона отводится другою трубкою (примыкающею къ верхнему днищу колонны) въ озонаторы.

Время соприкосновенія воды съ воздухомъ около 5 минутъ (башня вышиною 8,5 м. и внутреннимъ діаметромъ 1,5 м. озонируетъ около 160 куб. м. воды въ часъ).

3) *Стерилизаторъ Сименса*, примѣръ установки котораго имѣется въ Падерборнѣ (фиг 122), состоитъ изъ квадратной (въ планѣ) башни, построенной изъ камня или бетона, высотою около 4 м., наполненной слоемъ гравія величиною съ голубиное яйцо. Башня состоитъ по высотѣ


неочищ. вода
распредълитель
решетка
E
впускъ озона
впускъ озона
чистая вода
нагнетательн. труб
A
0 1 2 3 4 б.ф.
гравій
B
C
чистая вода
неочищенная вода
D
воздухъ
E
озонаторы

Фиг. 122.

изъ трехъ частей: верхняя содержитъ бакъ для неочищенной воды, средняя—главную стерилизаціонную камеру, а нижняя—сборный резервуаръ для очищенной воды. Среднее и нижнее отдѣленія каждой стерилизаціонной башни раздѣляются вертикальными перегородками на четыре независимыя шахты, каждая сѣченіемъ 1×1 м. Въ шахтѣ помѣщена горизонтальная желѣзная рѣшетка, поддерживающая слой гравія толщиною въ 2 м.; часть шахты подъ рѣшеткою служитъ резервуаромъ чистой воды.

Вода подается насосомъ въ верхнее отдѣленіе башни и распредѣляется оттуда соотвѣтственно развѣтвленными трубками по шахтамъ, падая затѣмъ черезъ сѣтки, размельчающія струю, на поверхность гравія. Озонированный воздухъ подводится къ низу слоя гравія, и восходящій потокъ его встрѣчается съ просачивающимися внизъ черезъ гравій струйками воды.

Изъ нижняго отдѣленія шахты вода переливается каскадами, способствующими провѣтриванію ея, въ бассейнъ чистой воды. Черезъ каждую шахту пропускается въ часъ 15—20 куб. метровъ воды.

4) „Всеобщая Компанія Озона“ (Франція). эксплуатирующая, главнымъ образомъ, систему Отто, приняла на опытахъ въ S-t. Maur, а также на установкахъ въ Ниццѣ и нѣкоторыхъ другихъ, стерилизаціонную башню, наполненную гравіемъ, совмѣстно съ эмульсаторомъ Отто (фиг. 123); послѣ смѣшенія сырой воды съ озонированнымъ воздухомъ въ эмульсаторѣ, вода разливается по поверхности гравія, избытокъ же озонированнаго воздуха, нерастворившійся въ водѣ въ эмульсаторѣ, отводится къ низу слоя гравія, и вторично соприкасается съ водою въ толщѣ гравія.

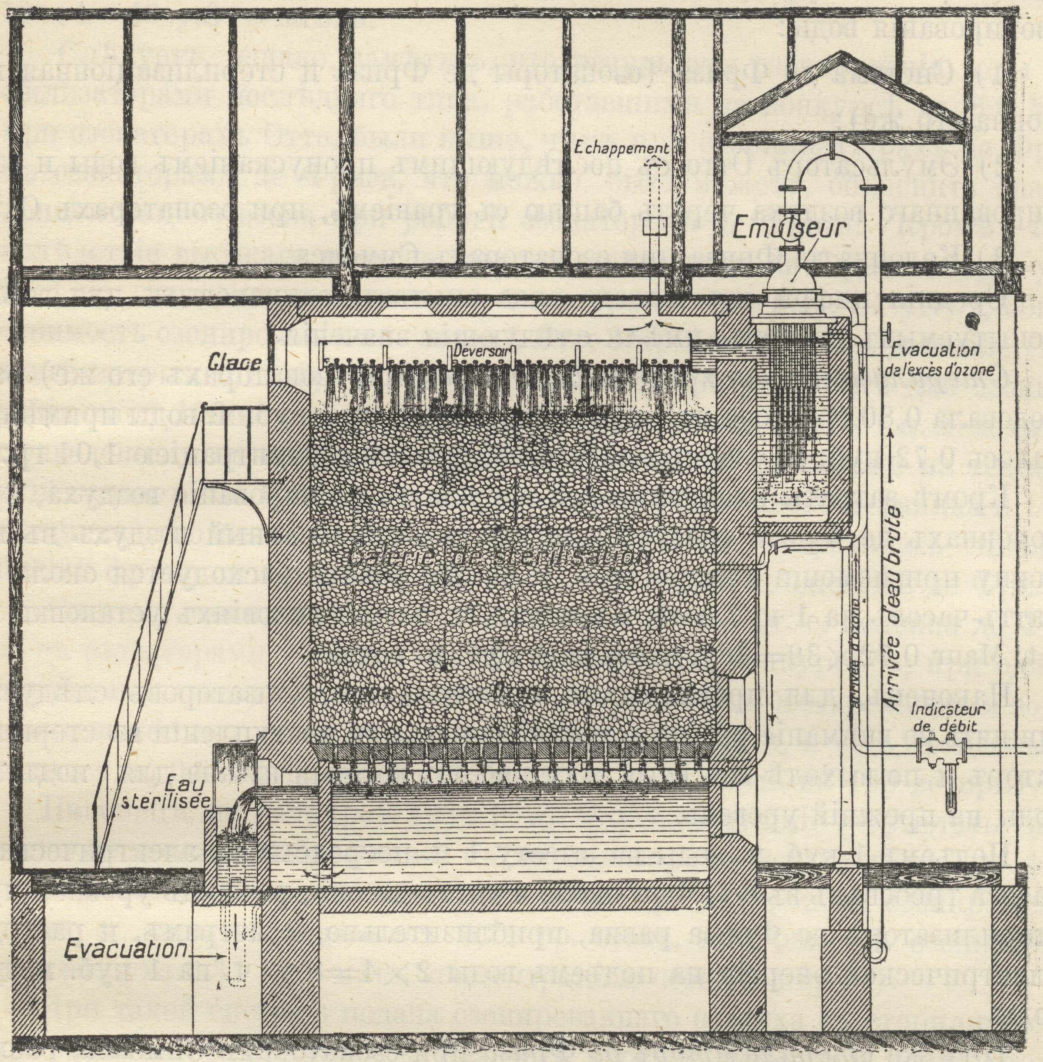
Эта колонна съ гравіемъ, отличающяся отъ стерилизаціонной башни Сименса только деталями, извѣстно во Франціи подъ названіемъ *галлереи Мармье—Абрагама.*

Устройство эмульсатора въ описываемой установкѣ въ S-t. Maur нѣсколько отличалось отъ представленнаго на фиг. 119, а именно, онъ состоялъ изъ рядъ мелкихъ трубокъ—инжекторовъ.

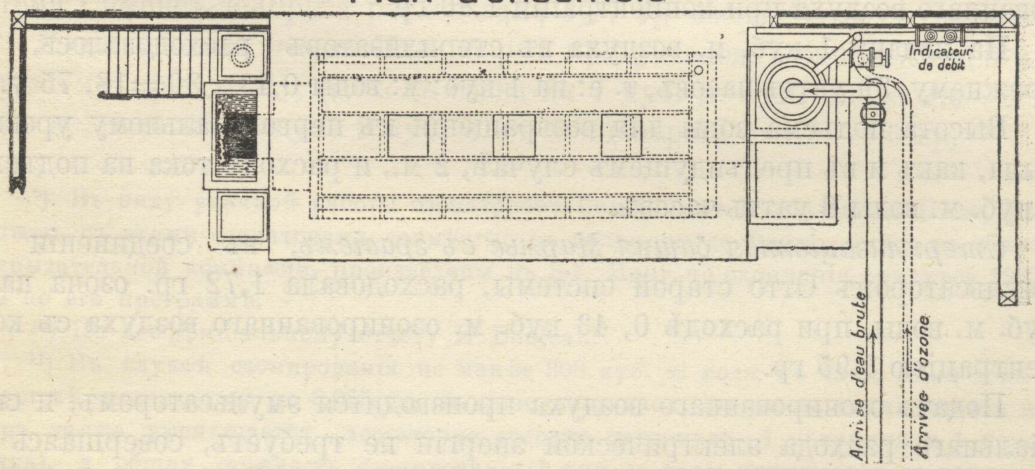
5) Отмѣтимъ, наконецъ, еще одинъ типъ стерилизаторовъ, который когда-то примѣняли Отто и Мармье; теперь та же идея примѣнена Жераромъ. Внутри резервуара (прямоугольнаго въ планѣ) устраиваютъ рядъ полокъ, примыкающихъ поочередно къ противоположнымъ стѣнкамъ резервуара, и вода, поступая сверху, переливается послѣдовательно каскадами съ одной полки на другую; многократное переливаніе воды въ видѣ тонкихъ плоскихъ струй способствуетъ насыщенію ея озонированнымъ воздухомъ, поступающимъ въ камеру. Время пребыванія воды въ такой камерѣ около 15 минутъ.

*Сравненіе различныхъ системъ стерилизаторовъ.*

Матеріаломъ для сравнительной оцѣнки различныхъ системъ стерилизаторовъ служатъ, главнымъ образомъ, данныя опытовъ въ S-t. Maur




Plan d'ensemble




Фиг. 123.

въ 1907 и 1908 г г. Въ этихъ опытахъ участвовали слѣдующія системы: озонированія воды:

1) Система де Фриза (озонаторы де Фриза и стерилизаціонная колонна его же);

2) Эмульсаторъ Отто съ послѣдующимъ пропусканіемъ воды и озонированнаго воздуха черезъ башню съ гравіемъ, при озонаторахъ Отто.

3) Колонна де Фриза при озонаторахъ Сименса.

Среднія цифры изъ цѣлаго ряда опытовъ, одинаковыхъ для всѣхъ испытуемыхъ системъ, имѣли слѣдующія значенія.

*Стерилизаціонная колонна де Фриза* (при озонаторахъ его же) расходовала 0,80 гр. озона на 1 куб. метръ воды; къ 1 куб. м. воды примѣшивалось 0,72 куб: м: озонированнаго воздуха съ концентраціею 1,04 гр:

Кромѣ затраты электрической энергіи на озонированіе воздуха, при колоннахъ де Фриза требуется подавать озонированный воздухъ въ колонну при помощи компрессора, и на эту работу расходуется около 39 уаттъ-часовъ на 1 куб. метръ воздуха, т. е. при условіяхъ установки въ S-t. Maur $0{,}72 \times 39 = 28$ у.-часъ. на 1 куб. м. воды.

Наконецъ, для правильности сравненія стерилизаторовъ слѣдуетъ принять во вниманіе разность уровней воды при поступленіи въ стерилизаторъ и по выходѣ изъ него, и ту работу, которая нужна для подъема воды на прежній уровень.

Подъемъ 1 куб. м. воды на высоту 1 м. посредствомъ электрическаго насоса требовалъ въ S-t. Maur около 4 уаттъ-часовъ; разность уровней при стерилизаторѣ де Фриза равна, приблизительно, 2 метрамъ, и расходъ электрической энергіи на подъемъ воды $2 \times 4 = 8$ у. ч. на 1 куб. метръ воды.

Тотъ же *стерилизаторъ де Фриза* при озонаторахъ Сименса, расходовалъ 0,80 гр. озона на 1 куб. м. воды (т: е: столько же, какъ при озонаторахъ де Фриза); на 1 куб. м. воды примѣшивали 0,43 куб. м: озонированнаго воздуха при концентраціи 1,86 гр.

На подачу 1 куб. м. воздуха въ стерилизаторъ расходовалось, по прежнему, 39 уаттъ-часовъ, т. е: на 1 куб: м: воды $0{,}43 \times 39 = 16{,}75$ у. ч.

Высота подъема воды для возвращенія къ первоначальному уровню была, какъ и въ предъидущемъ случаѣ, 2 м., и расходъ тока на подъемъ 1 куб. м. воды 8 уаттъ-часовъ.

*Стерилизаціонная башня Мармье съ гравіемъ*, въ соединеніи съ эмульсаторомъ Отто старой системы, расходовала 1,72 гр. озона на 1 куб. м. воды, при расходѣ 0, 43 куб. м. озонированнаго воздуха съ концентраціею 3,95 гр.

Подача озонированнаго воздуха производится эмульсаторомъ, и спеціальнаго расхода электрической энергіи не требуетъ, совершаясь за счетъ разностей уровней воды передъ входомъ въ стерилизаторъ и по выходѣ изъ него, которая равна въ этомъ случаѣ 10 метрамъ. На при-

веденіе 1 куб. м. воды къ первоначальному уровню требовалось $10 \times 4 = 40$ уаттъ-часовъ.

Слѣдуетъ, однако, замѣтить, что результаты озонированія воды стерилизаторами послѣдняго типа, работавшими на конкурсѣ въ S-t. Maur при озонаторахъ Отто, были выше, чѣмъ при стерилизаторахъ де Фриза съ озонаторами де Фриза, что можно, быть можетъ, объяснить слабою концентраціею озона при работѣ озонаторовъ де Фриза. Кромѣ того, вслѣдствіе высокаго расхода тока въ озонаторахъ де Фриза (84,01 у. ч. на 1 гр. озона) по сравненію съ озонаторами Отто (27, 64 у. ч.), общая стоимость озонированія по системѣ Отто-Мармье оказалась дешевле (при цѣнѣ энергіи 0,11 фр. за килоуаттъ-часъ и при установкѣ для озонированія около 100 к. м. воды въ часъ, стоимость озонированія 1 к. м. воды, съ приведеніемъ на первоначальный ея уровень, съ расходами на техническій надзоръ (по 1,40 фр. въ часъ, на содержаніе одного механика и 1 помощника), но безъ процентовъ и амортизаціи, выразилась цифрою 0,0239 фр. по системѣ Отто-Мармье и 0,0410 фр. по системѣ де Фриза).

Система озонированія воды Сименса-де Фриза (т. е. колонна де Фриза съ озонаторами Сименса) испытывалась внѣ конкурса [9]); при одинаковыхъ по качеству съ системою Отто результатахъ обезвреживанія воды, озонированіе потребовало меньшаго расхода энергіи, и весь процессъ обходился по 0,0184 фр. на 1 куб. м. воды (=0,8 коп. на 100 ведеръ) [10]):

Наконецъ, на конкурсѣ 1910 г: въ Марселѣ лучшіе результаты дала *система* озонированія *Отто*, съ эмульсаторами новаго типа (по фиг. 119), работавшая при озонаторахъ Отто, при которой на озонированіе, 1 куб. м. воды расходовалось 0,71 гр. озона, при расходѣ озонированнаго воздуха 0,31 куб. м. съ концентраціею озона 2,3 гр. [11]).

При такой системѣ подача озонированнаго воздуха въ стерилизаторъ совершается эмульсаторомъ. Разность уровней воды до и послѣ стерилизатора около 5 м.

Отмѣтимъ, что при тѣхъ же конкурсныхъ опытахъ въ Марселѣ система Сименсъ-де-Фриза расходовала 1,17 гр. озона [11]).

Укажемъ еще, что въ Падерборнѣ при установкѣ башни Сименса съ гравіемъ (фиг. 122), расходъ озона на 1 куб. м. воды около 2,6—3 гр: при количествѣ воздуха 2 куб. м. съ концентраціею 1,3—1,5 гр.

---

[9]) Въ виду удачной работы озонаторовъ Сименса въ Висбаденѣ и Падерборнѣ, опыты съ этими озонаторами, совмѣстно съ колонною де-Фриза, были, по желанію испытательной коммиссіи, произведены въ S-t. Maur по окончаніи конкурса 1907 г., но по его программѣ.

[10]) По неоффиціальному отчету E Bonjean.

[11]) Въ случаѣ озонированія не менѣе 300 куб. м. воды въ часъ, цѣна тока въ Парижѣ понижается до 0,055 фр. за килоуаттъ-часъ; стоимость техническаго надзора также уменьшается (достаточно того же персонала—1 механика и 1 помощника), и общая стоимость озонированія 1 куб. м. воды понижается до величины: 0,0096 фр. по системѣ Отто; 0,0114 по системѣ де-Фриза и 0,0072 фр. по системѣ Сименсъ—де-Фриза.

Изъ сравненія потребленія озона на 1 куб. м. воды въ стерилизаторахъ разныхъ системъ мы видимъ, что наименьшее потребленіе имѣетъ мѣсто въ системахъ де Фриза и Отто (новаго типа). При этомъ въ аппаратѣ Отто не требуется спеціальнаго расхода энергіи на подачу озонированнаго воздуха въ стерилизаторъ, но зато на приведеніе воды къ первоначальному уровню требуется больше работы, чѣмъ при колоннѣ де Фриза.

Стерилизаторы обѣихъ названныхъ системъ имѣютъ то преимущество передъ башнями, заполненными гравіемъ, что они гораздо легче и не требуютъ столь солиднаго фундамента.

Изъ числа озонаторовъ, какъ мы видѣли выше, наиболѣе экономичнымъ можно считать въ настоящее время озонаторъ Сименса; въ виду этого въ новѣйшихъ крупныхъ установкахъ примѣняютъ обыкновенно озонаторы Сименса со стерилизаторами де Фриза или Отто. По первой системѣ выстроена установка въ Германштадтѣ и проектируется установка въ Парижѣ. Ко второй принадлежитъ озонная станція въ Петербургѣ, открытая въ 1911 г. и превосходящая величиною всѣ озонныя станціи, выстроенныя въ Европѣ ранѣе ея.

*Результаты обработки воды озономъ.*

Результаты озонированія воды зависятъ отъ слѣдующихъ факторовъ:

1) отъ свойствъ озонируемой воды;
2) отъ тщательности смѣшенія воды съ озонированнымъ воздухомъ;
3) отъ времени соприкосновенія воды съ озонированнымъ воздухомъ;
4) отъ количества озонированнаго воздуха, смѣшиваемаго съ водою;
5) отъ концентраціи озона въ воздухѣ.

*Вліяніе свойствъ воды на результаты озонированія ея.* Еще Ольмюллеръ выяснилъ, что уничтоженіе бактерій въ водѣ озонированнымъ воздухомъ происходитъ тѣмъ энергичнѣе, чѣмъ меньше находится въ водѣ другихъ органическихъ веществъ; въ его опытахъ даже большое количество озона и послѣ продолжительнаго соприкосновеня съ водою не могло стерилизировать воду, содержащую нѣкоторыя органическія вещества, хотя бы и въ маломъ количествѣ (напр., 0,25% сыворотки бараньей крови въ дистиллированной водѣ). Ольмюллеръ вывелъ законъ, что озонъ, при дѣйствіи его на воду, прежде всего разлагаетъ безжизненныя, способныя разлагаться, вещества и лишь послѣ того, какъ этотъ процессъ достигъ извѣстной степени, дѣйствуетъ разрушительно на живыхъ бактерій.

Опыты въ S-t. Maur показали, что дѣйствіе озона на органическія вещества въ большинствѣ случаевъ весьма слабо.

Для всесторонняго изученія и сравненія дѣйствія системъ очистки воды, выступавшихъ на конкурсъ очистки питьевой воды г. Парижа, на испытательной станціи въ S-t. Maur были произведено 5 серій опытовъ.

очистки и обезвреживанія воды р. Марны, въ которыхъ на аппараты испытуемыхъ системъ подавалась для очистки вода:

1) предварительно профильтрованная на англійскихъ песочныхъ фильтрахъ съ нормальною скоростью (10 см. въ часъ);

2) профильтрованная съ двойною скоростью (20 см. въ часъ);

3) вода, профильтрованная съ нормальною скоростью, съ добавленіемъ 15% нефильтрованной воды р. Марны;

4) вода, профильтрованная съ нормальною скоростью, съ примѣсью культуръ патогенныхъ бактерій;

5) сырая (нефильтрованная) вода р. Марны.

Каждая серія опытовъ продолжалась 10 дней. Съ озонированіемъ воды выступили на конкурсъ фирмы Отто и де-Фризъ [12]); по окончаніи конкурса были произведены (въ мартѣ и апрѣлѣ 1908 г.) дополнительные опыты съ (новѣйшею) системою Сименсъ-де-Фризъ, по той же программѣ, кромѣ второй и пятой серій опытовъ.

Что касается *химическаго воздѣйствія озона* на воду, то опыты привели къ такому заключенію [13]): „Обработка воды озонированнымъ воздухомъ не измѣняетъ минеральнаго состава ея. Озонъ и перекись водорода не находятся въ водѣ послѣ обработки; измѣненіе содержанія нитритовъ незначительно. Количество растворенныхъ органическихъ веществъ подъ дѣйствіемъ озона слегка уменьшается; вода пріобрѣтаетъ голубоватый оттѣнокъ, между тѣмъ, какъ до озонированія была желтовато-зеленоватою". Послѣ озонированія вода всегда бываетъ въ состояніи насыщенія кислородомъ, независимо отъ содержанія кислорода въ водѣ до озонированія; поэтому, если вода по выходѣ съ фильтровъ въ озонные аппараты содержала избытокъ кислорода, то содержаніе его уменьшается послѣ озонированія, если же былъ недостатокъ, то увеличивается. Это явленіе объясняется воздѣйствіемъ не озона, котораго весьма мало въ озонированновъ воздухѣ (и потому озонъ весьма слабо растворяется въ водѣ), но самаго воздуха, приходящаго въ весьма тѣсное смѣшеніе съ водою. Вліяніе общаго загрязненія воды на бактеріальную очистку ея озономъ видно, напр., изъ таблицы результатовъ опытовъ въ S-t. Maur по системѣ Сименсъ-де-Фризъ [14]).

---

[12]) Кромѣ того въ конкурсѣ участвовали системы очистки воды Desrumeaux и Duyck-Howatson. Первую премію получила система Отто, вторую Duyck Howatson. Станція для очистки воды г. Парижа будетъ устроена по системѣ Сименсъ—де-Фризъ,

[13]) „Concours d'épuration des eaux potables". Rapport des Services chimique et micrographique de l'Observatoire de Montsouris. Page 20.

[14]) Оффиціальный отчетъ: „Nouvelles séries d'expériences de stérilisation par le Procédé de Frise et des ozoneurs des types Siemens—de-Frise, exécutées à S-t. Maur du 30 mars au 15 avril 1908".

| Испытываемая вода. | Число и мѣсяцъ | Вода неочищенная. | | Вода очищенная. | | Выходъ стерилиз. воды въ 1 ч. куб. м. | Число озонаторовъ. | Концентрація озона въ грам. на 1 куб. м. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Бактерій на 1 куб. см. | B. coli на 400 куб. см. | Бактерій на 1 куб см. | B. coli на 400 куб. см. | | | Воздуха. | Воды. |
| 1. Профильтрованная черезъ песокъ. | 30 мар. | 400 | — | 3 | — | 102 | 6 | 1,77 | 0,73 |
| | 1 „ | 127 | — | 2 | — | 98 | 6 | 1,75 | 0,77 |
| | 1 апр. | 199 | — | 2 | — | 98 | 6 | 1,80 | 0,79 |
| 2. Зараженная B. coli. | 2 „ | 13025 | 4650000 | 1 | 40 | 98 | 6—9 | 2,15 | 0,95 |
| | 3 „ | 6695 | 4208000 | 2 | 40 | 98 | 6 | 1,53 | 0,67 |
| 3. Профильтрованная черезъ песокъ. | 4 „ | 110 | — | 3 | — | 100 | 6 | 1,72 | 0 74 |
| | 6 „ | 150 | 100 | 2 | — | 98 | 6 | 1,77 | 0,78 |
| | 7 „ | 195 | 40 | 2 | — | 102 | 6 | 1.66 | 0,70 |
| | 8 „ | 195 | 10 | 2 | — | 98 | 6 | 1,46 | 0.64 |
| 4. Профильтрованная и смѣшанная. | | | | | | | | | |
| а) Съ мутною водою изъ р. Марны (неочищенною). | 9 „ | 6865 | 160 | 24 | — | 98 | 9 | 1,96 | 0,86 |
| | 10 „ | 10440 | 200 | 31 | — | 98 | 9 | 1,97 | 0,86 |
| | 11 „ | 9085 | 800 | 42 | — | 98 | 9 | 1,95 | 0,86 |
| | 13 „ | 4690 | 135 | 23 | — | 98 | 9 | 2,17 | 0,94 |
| | 14 „ | 22600 | 1600 | 59 | — | 100 | 9 | 2,20 | 0,95 |
| б) Съ сравнительно свѣтлою водою изъ р. Марны (неочищенною). | 15 „ | 6010 | 800 | 9 | — | 99 | 9—12 | 2,44 | 0,96 |
| | 16 „ | 4750 | 1600 | 8 | — | 98 | 12 | 2,15 | 0,94 |
| | 17 „ | 5340 | 160 | 6 | — | 98 | 12 | 2,02 | 0,89 |
| | 18 „ | 4680 | 400 | 7 | — | 98 | 12 | 2,63 | 1,13 |

Сравнивая, напр., опыты 3 апрѣля и 9 апрѣля, мы видимъ, что въ фильтрованной водѣ, зараженной бактеріями, число ихъ уменьшается послѣ озонированія съ 6695 до 2 въ 1 куб. м.; въ водѣ же, смѣшанной съ нефильтрованною, число это съ 6865 уменьшается только до 24, несмотря на большій расходъ озона (0,86 гр. на 1 куб. м: воды, вмѣсто 0,67) и бо́льшую концентрацію его.

Опыты Spitta [15]) показали, что озонъ не убиваетъ высшихъ болѣзнетворныхъ микроорганизмовъ; даже при высокихъ концентраціяхъ озона ему не удалось убить личинокъ Anchylostomum duodenale.

Вообще, въ настоящее время вполнѣ установлено, что для успѣшнаго и вѣрнаго уничтоженія патогенныхъ бактерій въ водѣ озонированіемъ вода должна быть предварительно освѣтлена и освобождена отъ всѣхъ остальныхъ органическихъ примѣсей и отъ всякаго рода мути, такъ какъ примѣси, обволакивая бактерій, защищаютъ ихъ отъ воздѣйствія озона.

---

[15]) „Mitteilungen aus d. Königl. Prüfungsanstalt für Wasserversorgung und Abwässerbeseitigung“, 1904, 4, 176.

Изъ числа минеральныхъ примѣсей особенно необходимо удаленіе желѣза, которое окисляется при озонированіи воды, расходуя много озона [16]).

Въ виду сказаннаго, озонированіе примѣняется въ большинствѣ случаевъ совмѣстно съ фильтрами, чаще всего со скорыми песочными фильтрами, съ коагуляціею или безъ нея, въ зависимости отъ свойствъ воды. При этомъ скорость фильтраціи можетъ быть значительно повышена, такъ какъ отъ фильтровъ не требуется задержанія бактерій; надобность въ созрѣваніи свѣжихъ фильтровъ также отпадаетъ (какъ установлено многими изслѣдованіями).

*Время соприкосновенія* озонированнаго воздуха съ водою можетъ быть тѣмъ меньше, чѣмъ совершеннѣе вода смѣшивается съ воздухомъ въ стерилизаторѣ. Де-Фризъ примѣняетъ соприкосновеніе въ теченіе около 5 минутъ; напр. въ Марселѣ колонна емкостью 0,865 куб. м. пропускала 9,3 куб. м. воды въ часъ [17]). При опытахъ озонированія по системѣ Де-Фриза Невской (фильтрованной) воды въ Петербургѣ, сначала ограничивали время пребыванія воды въ стерилизаціонной колоннѣ 3 минутами, но результаты оказались не вполнѣ удовлетворительными; при увеличеніи продолжительности соприкосновенія до 5 минутъ, результаты озонированія оказались хорошими.

Стерилизаторы Отто также расчитываются на пребываніе воды около 5 минутъ; энергичное смѣшеніе воды съ озонированнымъ воздухомъ происходитъ въ эмульсаторѣ.

Стерилизаціонная камера Жерара (съ полками) на опытной станціи въ Петербургѣ расчитана на соприкосновеніе воды съ воздухомъ въ продолженіи 15 минутъ.

*Количество озонированнаго воздуха*, добавляемое къ 1 куб. м. воды, находится въ тѣсной зависимости отъ концентраціи въ немъ озона (для воды даннаго качества).

Повышеніе концентраціи озона, усиливая энергію воздѣйствія воздуха на бактерій, позволяетъ въ то же время уменьшить число озонаторовъ, но увеличиваетъ расходъ тока на полученіе 1 гр. озона; при этомъ уменьшается расходъ энергіи на подачу озонированнаго воздуха въ стерилизаторы (пропорціальный объему подаваемаго воздуха, независимо отъ содержанія въ немъ озона).

Въ первыхъ опытахъ и установкахъ для озонированія воды примѣняли концентраціи 3—5 и даже до 10 гр. на 1 куб. м. воздуха; въ настоящее время примѣняютъ концентраціи около 1,5—2,5 гр., при объемѣ воздуха отъ 0,30 до 1 куб. м. на 1 куб. м. воды.

---

[16]) Воды р. Марны не содержали желѣза, поэтому въ заключеніи экспертной комиссіи г. Парижа объ немъ ничего не упоминается.

[17]) При этомъ подавали въ стерилизаторъ по 1,082 куб. м. озонированнаго воздуха (съ концентраціею 1,88 гр.) на 1 куб. м. воды; часть неиспользованнаго (излишняго) озона, въ количествѣ 0,792 гр., выдѣлялась вверху колонны и вновь поступала (черезъ осушитель) въ озонаторы.

*Контроль результатовъ* озонированія весьма простъ. По предложенію Шрейбера [18]), всего лучше контролировать достаточность обезвреживанія воды путемъ химическаго опредѣленія, требуя чтобы вода по выходѣ изъ стерилизаціонной башни давала замѣтную реакцію озона (т. е. окрашивала въ голубоватый цвѣтъ растворъ крахмала съ добавленіемъ іодистаго калія), такъ какъ присутствіе свободнаго озона въ водѣ, послѣ достаточнаго соприкосновенія ея съ озонированнымъ воздухомъ, служитъ признакомъ полнаго окисленія всѣхъ легко окисляемыхъ органическихъ веществъ, къ числу которыхъ принадлежатъ патогенныя бактеріи.

Этотъ способъ позволяетъ быстро и просто контролировать удовлетворительность работы озонной станціи.

Для большей вѣрности обезвреживанія воды озономъ, въ случаѣ колебаній содержанія органическихъ примѣсей и бактерій въ озонируемой водѣ рекомендуется работать съ нѣкоторымъ избыткомъ озона.

Приведемъ главныя данныя о двухъ новѣйшихъ установкахъ для озонированія воды—въ Петербургѣ (1911 г.) и Германштадтѣ.

*Фильтро-озонная станція въ Петербургѣ* для очистки и обезвреживанія Невской воды для Выборгской стороны расчитана на нормальную подачу 3600000 ведеръ (около 45000 куб. метр.) воды въ сутки, причемъ должна быть въ состояніи очищать, въ случаѣ надобности, до 4200000 ведеръ (52500 куб. мм.).

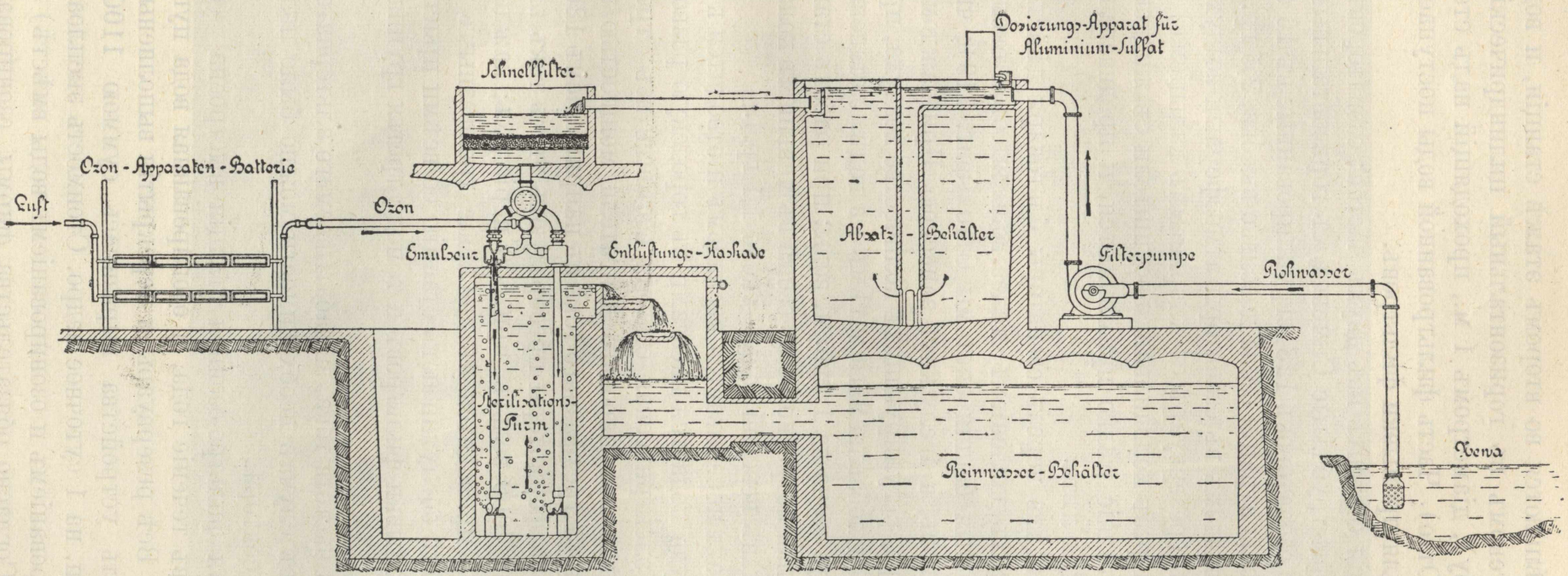
Какъ видно изъ схемы (фиг. 124), сырая вода забирается насосами непосредственно изъ Невы и поступаетъ въ отстойникъ; передъ входомъ въ отстойникъ, въ желобѣ, къ ней добавляется растворъ сѣрнокислаго глинозема, въ количествѣ 40—65 мгр. глинозема на литръ воды; растворъ добавляется (изъ бака) черезъ калибрированный кранъ. Отстойниковъ устроено восемь, глубиною около 10 м. и діаметромъ по 8 м.; время пребыванія воды въ отстойникѣ около 2 часовъ. Вода поступаетъ въ отстойникъ по трубѣ, проходящей въ центрѣ отстойника, близъ дна его, и переливается черезъ края отстойника въ желобъ, окружающій его.

Изъ отстойниковъ вода течетъ по трубамъ на американскіе фильтры системы Говатсона, состоящіе изъ круглаго резервуара внутреннимъ діаметромъ 4 м., на двойномъ днѣ котораго, надъ дырчатымъ желѣзнымъ листомъ, находится слой толченаго кварца толщиною 1 м.; толщина слоя воды надъ поверхностью кварца 1,5 м. Число фильтровъ 38, скорость фильтраціи 180 дм. (4,5 м.) въ часъ. Впускъ воды на фильтръ регулируется клапаномъ съ поплавкомъ. Промывка фильтровъ (обратною струею воды) производится 1—2 раза въ сутки. Мѣшалки фильтровъ приводятся во вращеніе посредствомъ коническихъ зубчатыхъ колесъ отъ общаго вала.

Общій видъ фильтровъ представленъ на фигурѣ 125.

---

[18]) „Mitteilungen aus der Königlichen Prüfungsanstalt für Wasserversorgung und Abwässerbeseitignng“, 1906, 6, 60.


Dosierungs-Apparat für Aluminium-sulfat
Schnellfilter
Ozon-Apparaten-Batterie
Luft
Ozon
Emulseur
Entlüftungs-Kaskade
Absatz-Behälter
Filterpumpe
Rohwasser
Sterilisations-Turm
Reinwasser-Behälter
Neva

Фиг. 124.

Фильтры помѣщаются во второмъ этажѣ станціи, и вода изъ нихъ поступаетъ самотекомъ въ горизонтальный цилиндрическій бетонный резервуаръ (трубу), діаметромъ 1 м., проходящій надъ стерилизаціонными башнями (Отто). Часть фильтрованной воды поступаетъ въ запасный резервуаръ для промывки фильтровъ.

Озонная станція состоитъ изъ двухъ частей: озонаторовъ и стерилизаторовъ. Озонаторы трубчатые Сименса, съ горизонтальными трубками (фиг. 111); число озонаторовъ 128, сгруппированные въ 16 баттарей (по 8 аппаратовъ). Концентрація озона довольно высока, 2,5 гр. въ 1 куб: м: воздуха. Передъ входомъ въ озонаторы атмосферный воздухъ проходитъ черезъ осушитель (резервуаръ съ хлористымъ кальціемъ) или, въ случаѣ надобности, черезъ холодильники-осушители съ жидкою углекислотою; однако, послѣдніе рѣдко примѣняются, и предназначаются, главнымъ образомъ, для лѣта.

Воздухъ проходитъ черезъ озонаторы благодаря дѣйствію эмульсаторовъ, работающихъ давленіемъ столба воды высотою около 4 м.

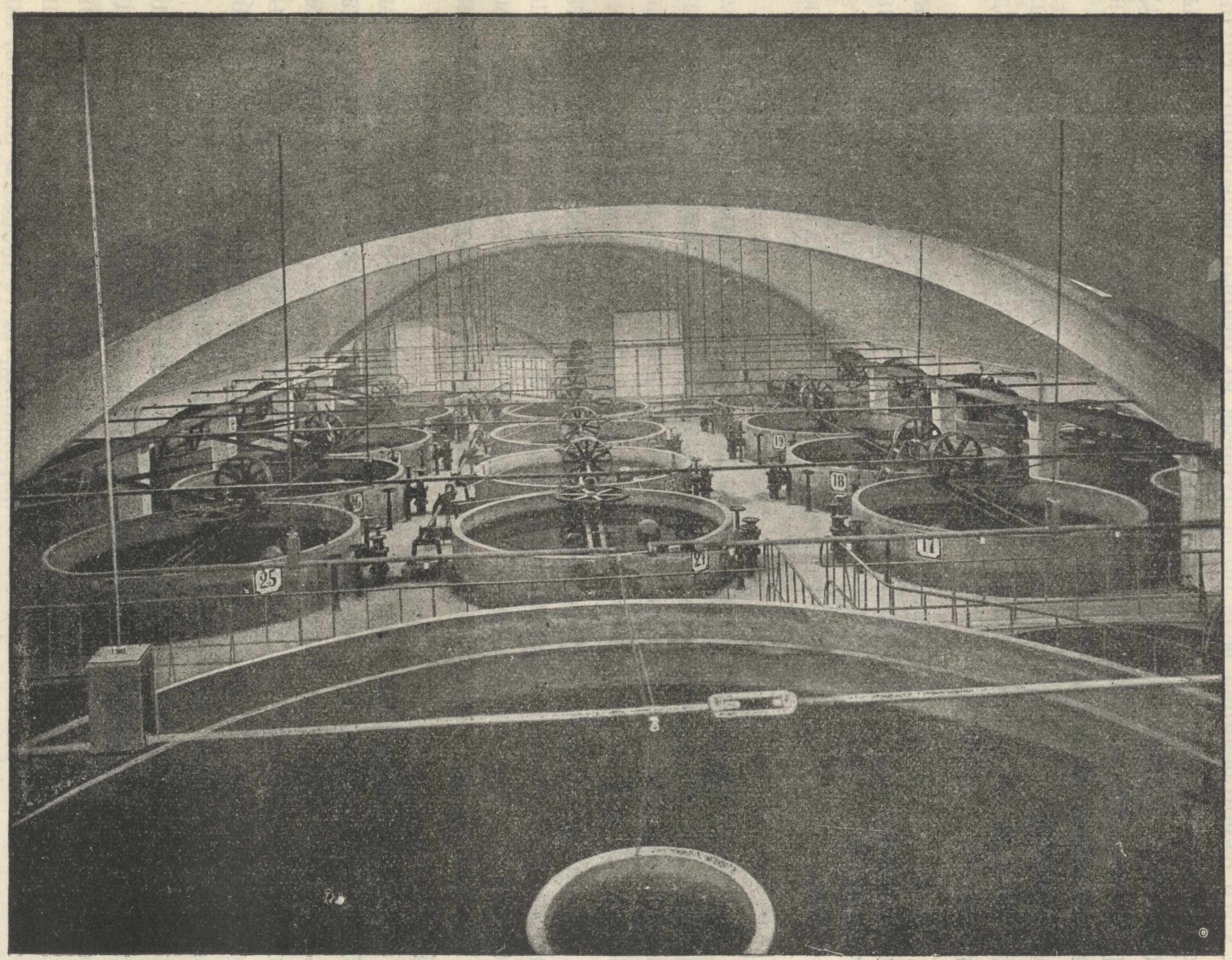
Стерилизаціонныя башни системы Отто (фиг. 119); число ихъ 5, причемъ 4 работаютъ, а 1 служитъ запасною. При каждомъ стерилизаторѣ 2 эмульсатора, регулирующихъ количество воздуха, пропускаемаго черезъ озонаторы и добавляемаго затѣмъ къ водѣ. Установка расчитана на добавленіе 2 гр. озона на 1 куб. м. воды; при работѣ станціи выяснилась дѣйствительная потребность въ озонѣ въ меньшемъ колачествѣ (при нормальномъ составѣ невской воды—около 1,1 гр.).

Изъ башенъ вода переливается каскадомъ и отводится къ резервуаръ чистой воды, откуда подается насосами въ городскую разводящую сѣть.

Центральная электрическая станція состоитъ изъ трехъ группъ, состоящихъ каждая изъ пароваго двигателя мощностью въ 150 лош. силъ, и альтернатора трехфазнаго тока съ напряженіемъ 120 вольтъ, при 50 періодахъ. Трансформаторы преобразуютъ этотъ токъ въ токъ съ напряженіемъ около 7000 вольтъ, при 500 періодахъ; каждый изъ трехъ трансформаторовъ приводится въ движеніе трехфазнымъ двигателемъ. Двѣ группѣ вполнѣ обслуживаютъ станцію со всѣми приспособленіями, насосами для промывки фильтровъ и т. под.; третья группа служитъ запасною.

Напряженіе и частота тока, вырабатываемаго альтернаторами, выбраны такъ, чтобы въ случаѣ необходимости можно было пользоваться токомъ городского сектора.

Петербургская фильтро-озонная станція выстроена (фирмою Сименсъ-Гальске) въ теченіе года, и озонированная вода пущена въ сѣть 4 января 1911 г. Всѣ резервуары и перекрытія выполнены изъ желѣзобетона. Стоимость устройства выразилась суммою 1100000 рублей, т. е. около 30 коп. на 1 суточное ведро. Стоимость эксплоатаціи (отстаиванія съ фильтрованіемъ и озонированіемъ воды вмѣстѣ) 0,9—1,0 коп. за 100 ведеръ. Согласно обязательства фирмы, озонированная вода не




Фиг. 125.

должна вовсе содержать патогенныхъ бактерій; кишечная палочка (B. coli) не должна встрѣчаться въ 100 куб. см. воды, а число безразличныхъ бактерій не должно превосходить 10 въ 1 куб. см. Вода должна быть совершенно прозрачна.

Хотя озонированная вода была пущена въ старыя разводящія трубы безъ дезинфекціи ихъ, тѣмъ не менѣе уже въ серединѣ марта пробы, взятыя изъ кранoвъ домовъ, не содержали B. coli въ 50 см., а къ концу марта—въ 100 см. воды. Оффиціальное открытіе фильтро-озонной станціи состоялось 27 марта 1911 г.

*Установка въ Германштадтѣ.* Въ г. Германштадтѣ (въ Венгріи былъ цѣлый рядъ эпидемій тифа; особенною силою отличались послѣдняя эпидемія (1908 г.).

Схема установки (по системѣ Сименсъ-де-Фризъ), въ нѣсколько обобщенномъ видѣ, представлена на фиг. 121; въ Германштедтѣ не понадобилось предварительной фильтраціи воды, такъ какъ вода подвергается естественной фильтраціи передъ поступленіемъ на озонную станцію.

Расходъ воды въ сутки—3800 куб. м.

Для выработки тока установлены двѣ группы генераторовъ (изъ которыхъ одна запасная), изъ двигателя въ 25 лош. силъ и однофазнаго альтернатора; эти двигатели приводятъ въ движеніе и компрессоръ, подающій 2,5 куб. м. воздуха въ минуту.

Озонаторы Сименса, горизонтальнаго типа (фиг: 111 и 112); установлены 24 аппарата, сгруппированные въ 3 баттареи; одна баттарея не работаетъ и служитъ запасною. Озонаторы работаютъ подъ напряженіемъ 9,000 вольтъ; для полученія этого напряженія имѣются 3 трансформатора.

Стерилизаціонныхъ колоннъ де-Фриза, высотою 8,5 м. и діаметромъ 1,5 м., установлено двѣ, но работаетъ только одна изъ нихъ, пропуская въ часъ 160 куб. м. воды. На 1 куб. м. воды подается такой же объемъ озонированнаго воздуха при концентраціи 1,3 гр.; неиспользованный озонъ возвращается въ озонаторы по трубкѣ вверху колонны. Чтобы избѣжать подъема воды, колонны углублены въ землю.

Для обезпеченія отъ поступленія въ сѣть неозонированной воды, устроенъ предохранительный клапанъ, автоматически прекращающій доступъ воды въ стерилизаторъ въ случаѣ перерыва тока или остановки компрессоровъ. Если трансформаторы не получаютъ тока, и воздухъ поступаетъ въ стерилизаторъ не озонированнымъ, то падаетъ рычагъ, поддерживаемый электомагнитомъ, и закрываетъ клапанъ, если же прерывается подача озонированнаго воздуха компрессоромъ, то падаетъ воздушный клапанъ, помѣщенный въ воздухопроводѣ, и производитъ такое же дѣйствіе. При закрытіи впускного клапана, приводится въ дѣйствіе сигнальный звонокъ.

Стоимость устройства установки 124000 кронъ (около 50000 руб.), т. е. около 13,25 руб. на 1 куб. м. или 17 коп. на суточное ведро озонируемой воды [19]) (при запасѣ около 100%).

---

При устройствѣ городскихъ фильтро-озонныхъ станцій, еще болѣе, чѣмъ при введеніи другихъ способовъ очистки воды, необходимо предварительно произвести опыты для выясненія наилучшихъ условій дѣйствія озона на очищаемую воду, т. е. концентраціи озона, количества озонируемаго воздуха и времени соприкосновенія его съ водою, а также для выбора способа предварительной очистки этой воды передъ озонированіемъ ея.

Вообще говоря, предварительное полное освѣтленіе воды необходимо для всѣхъ поверхностныхъ водъ, такъ какъ, съ одной стороны, только при озонированіи воды, совершенно не содержащей мути и содержащей мало органическихъ примѣсей, можно достичь полнаго обезвреживанія ея озономъ, а съ другой стороны—механическое (или соединенное съ коагулированіемъ) удаленіе тѣхъ примѣсей, которыя возможно задержать скорыми фильтрами, обходится дешевле, чѣмъ окисленіе ихъ столь дорогимъ реактивомъ, какъ озонъ; озону надо предоставить лишь тонкую работу уничтоженія бактерій, которая не можетъ быть выполнена фильтрами. При такомъ раздѣленіи работы, фильтры, въ свою очередь, будутъ освобождены отъ требованія повышать бактеріальную чистоту воды, и скорость фильтрованія можетъ быть соотвѣтственно увеличена; необходимость созрѣванія свѣжихъ фильтровъ отпадаетъ.

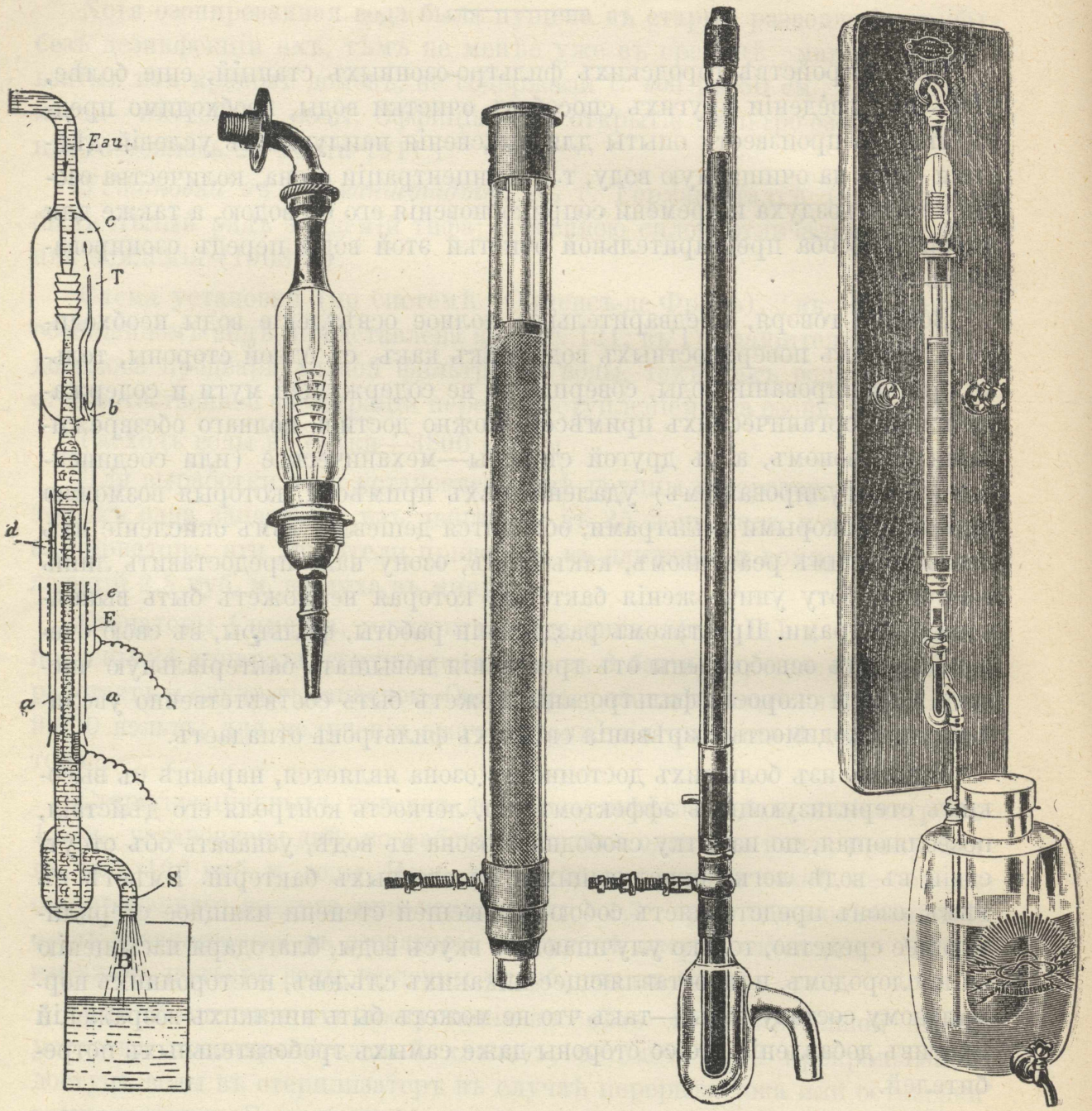
Однимъ изъ большихъ достоинствъ озона является, наравнѣ съ высокимъ стерилизующимъ эффектомъ его, легкость контроля его дѣйствія, позволяющая, по избытку свободнаго озона въ водѣ, узнавать объ отсутствіи въ водѣ легко окисляющихся патогенныхъ бактерій. Вмѣстѣ съ тѣмъ, озонъ представляетъ собою въ высшей степени изящное стерилизующее средство, только улучшающее вкусъ воды, благодаря насыщенію ея кислородомъ, и не оставляющее никакихъ слѣдовъ, постороннихъ нормальному составу воды,—такъ что не можетъ быть никакихъ возраженій противъ добавленія его со стороны даже самыхъ требовательныхъ потребителей.

Наконецъ, немалымъ достоинствомъ озонированія служитъ удобство размѣщенія установка на небольшой площади въ любомъ помѣщеніи

Недостаткомъ системы можно считать сравнительно высокую стоимость установки и эксплоатаціи ея, вызываемую какъ стоимостью озона, такъ и необходимостью предварительнаго освѣтленія воды.

---

[19]) Безъ устройства фильтровъ.




Фиг. 126—130.

Въ заключеніе опишемъ одинъ изъ новѣйшихъ *приборовъ для домашняго озонированія* воды въ небольшихъ количествахъ, а именно озонаторъ Piestrak (фиг. 126—130).

Верхняя часть прибора представляетъ родъ инжектора (фиг. 126 и 127), сходнаго по дѣйствію съ эмульсаторомъ Отто и утилизирующаго кинетическую энергію струи воды, входящей подъ напоромъ по трубкѣ *c*, для энергичнаго и быстраго всасыванія воздуха (черезъ *a*, *d*, *b*), который озонируется при проходѣ по кольцевому пространству *a* между электродами *E* и *e*, и для тѣснаго смѣшенія (эмульсаціи) воды съ озонированнымъ воздухомъ.

Наружный электродъ *E* (фиг. 128) есть простая стеклянная трубка, покрытая снаружи тонкою металлическою сѣткою, черезъ просвѣты которой можно наблюдать фіолетовый свѣтъ электрическаго потока и слѣдить за правильностью работы озонатора. Этотъ электродъ соединенъ съ однимъ изъ полюсовъ индукціонной катушки.

Внутренній электродъ *e* (фиг. 126 и 129) состоитъ изъ двухъ стеклянныхъ трубокъ, спаянныхъ по концамъ, изъ промежукта между которыми выкачанъ воздухъ. На внутреннюю трубку намотана алюминіевая проволока; небольшое количество ртути (внизу промежутка между трубками) обезпечиваетъ соединеніе этой проволоки (черезъ металлическую кнопку) съ другимъ полюсомъ индукціонной катушки и препятствуетъ, благодаря большой теплоемкости ртути, нагрѣванію платиновой проволоки, проходящей сквозь стеклянную стѣнку трубки; безъ этой предосторожности, отъ нагрѣванія платиновой проволоки стекло могло бы треснуть.

Трубка съ безвоздушнымъ промежуткомъ дѣйствуетъ какъ конденсаторъ, включенный послѣдовательно въ электрическую цѣпь, и обезпечиваетъ равномѣрное распредѣленіе напряженія на поверхности внутренняго электрода. Благодаря этому, между электродами образуется равномѣрное распредѣленіе разряда, и нагрѣваніе стеколъ получается также равномѣрнымъ и невысокимъ. Охлажденіе производится озонированною водою, протекающею по трубкѣ внутренняго электрода, и восходящею струею свѣжаго воздуха, втягиваемаго по кольцевому промежутку *a* между электродами. Вода выходитъ въ *S* озонированною.

# ПРИБАВЛЕНІЕ.

## Біологія питьевыхъ и сточныхъ водъ.

Мы уже упоминали (въ главѣ о свойствахъ воды), что въ послѣдніе годы развиваются и пріобрѣтаютъ первенствующее значеніе микробіологическія изслѣдованія водоемовъ, т. е. изслѣдованія (подъ микроскопомъ) ихъ микро-флоры и -фауны высшаго порядка.

Эти изслѣдованія быстро (по сравненію съ бактеріологическимъ анализомъ) даютъ понятіе о свойствахъ воды даннаго водоема, не только обнаруживая присутствіе микроорганизмовъ и примѣсей, вредныхъ для здоровья человѣка, но выясняя также происхожденіе тѣхъ веществъ, которыя могутъ быть обнаружены въ водѣ химическимъ анализомъ, но появленіе и превращенія которыхъ въ водѣ нерѣдко не могутъ быть объяснены данными химіи.

Данныя микробіологическаго изслѣдованія водоемовъ весьма цѣнны еще потому, что относятся къ среднему составу воды, характерному для изучаемаго водоема, такъ какъ случайныя примѣси къ водѣ не отразятся на микроскопическомъ населеніи водоема; между тѣмъ, лабораторные анализы (химическіе и бактеріологическіе) производятся надъ пробами воды, которыя всегда могутъ зависѣть отъ случайныхъ примѣсей къ водѣ въ данный моментъ.

Еще Восьмой Русскій Водопроводный Съѣздъ (1907 г.), по докладу инженера Е. Б. Контковскаго: „Значеніе микробіологическихъ изслѣдованій для оцѣнки степени очистки сточныхъ водъ“, постановилъ, что микроскопическія изслѣдованія флоры и фауны водоемовъ являются необходимымъ дополненіемъ химическаго и бактеріологическаго анализа, и что постоянное наблюденіе за открытыми водоемами, особенно въ тѣхъ случаяхъ, когда ими пользуются для водоснабженія населенныхъ мѣстъ, является мѣрою, безусловно необходимою въ санитарномъ отношеніи.

Докладчикъ, Е. Б. Контковскій, вполнѣ справедливо находилъ [1]), что „Желательно, чтобы по крайней мѣрѣ окончательное опредѣленіе характера организмовъ и дача заключенія по данному вопросу дѣлались лицомъ съ спеціальной подготовкой и вполнѣ компетентнымъ въ этомъ дѣлѣ. Тѣмъ не менѣе, однако, постоянное наблюденіе за водоемами можетъ быть поручено и менѣе подготовленнымъ лицамъ, только практически знакомымъ съ основными формами индикаторныхъ организмовъ и ихъ колоній, при чемъ главная задача этихъ лицъ должна состоять въ тщательномъ наблюденіи всѣхъ измѣненій, происходящихъ въ види-

[1]) „Труды 8 Русскаго Водопроводнаго Съѣзда“, стр. 190.

момъ населеніи водоема, для своевременнаго увѣдомленія спеціалиста о замѣченныхъ явленіяхъ и производства болѣе подробнаго изслѣдованія".

Соглашаясь съ приведеннымъ мнѣніемъ Е. Б. Контковскаго, мы считаемъ желательнымъ для санитарныхъ инженеровъ нѣкоторое знакомство съ основаніями микробіологическаго изслѣдованія водоемовъ.

Въ настоящее время вопросъ о біологическомъ изслѣдованіи водоемовъ подвергается непрерывной разработкѣ, и основанія для подобныхъ изслѣдованій можно считать установленными; выяснены свойства цѣлаго ряда характерныхъ микроорганизмовь, остающіяся неизмѣнными почти при всѣхъ мѣстныхъ условіяхъ.

Въ предлагаемомъ очеркѣ мы приводимъ современныя данныя о біологическихъ свойствахъ водоемовъ, какъ служащихъ источникомъ водоснабженія, такъ и являющихся мѣстомъ спуска сточныхъ водъ. Матеріаломъ для очерка послужили работы Kolkwitz, Marsson и другихъ изслѣдователей, главнымъ образомъ, напечатанныя въ различныхъ выпускахъ „Mitteilungen aus der Königlichen Prüfungsanstalt für Wasserversorgung und Abwässerbeseitigung". Классификація микроорганизмовъ, характерныхъ для разныхъ степеней чистоты водоема, взята у Кольквица.

## Біологія питьевой воды.

### 1. Ключевая вода.

Не содержащая кислорода вода источниковъ, выходящихъ изъ глубокихъ слоевъ грунта, не содержитъ также и организмовъ. между тѣмъ какъ тѣ ключи, вода которыхъ собирается въ болѣе или менѣе близкихъ къ поверхности слояхъ почвы, содержащихъ атмосферный воздухъ, могутъ быть населены разными видами организмовъ. Въ такихъ случаяхъ при сильныхъ дождяхъ или во время таянія снѣга, когда вода содержитъ много мути и фильтрація черезъ почву оказывается недостаточною, съ водою проникаетъ нѣкоторое количество живыхъ организмовъ, и въ ихъ числѣ во многихъ мѣстностяхъ червь *Haplotaxis gordioides=Phreeryctes menkeanus* (фиг. 148, рис. 30), который не имѣетъ значенія съ точки зрѣнія гигіены, но замѣчателенъ своею длиною. Однако, иногда, несмотря на стерильность просачивающейся черезъ почву воды, вода ключа все-таки содержитъ болѣе грубые организмы, а именно въ случаяхъ, если выходная расщелина (штольня) ключа, при болѣе или менѣе горизонтальномъ положеніи, только отчасти заполнена водою, и насѣкомыя (напр., Chironomus coracinus) и водоросли (напр., Synedra ulna) проникаютъ въ расщелину изъ органической пленки, быстро образующейся у отверстія. Весьма много примѣровъ такого явленія имѣется въ Альпахъ и въ Гарцѣ.

При подходахъ къ гротамъ и подземнымъ впадинамъ въ трещиноватой скалѣ, въ особенности въ известняковой, могутъ создаться условія, благопріятствующія развитію въ водѣ организмовъ. Для примѣра можно назвать *Proteus anguinus, Niphargus puteanus, Asellus cavaticus, Gammarus pulex var. subterraneus*. Такіе организмы обыкновенно развиваются только тогда, если образуются большіе подземные запасы воды; при отсутствіи же ихъ, или только временномъ накопленіи, появленія организмовъ не наблюдалось.

Большинство организмовъ, водящихся въ водѣ многихъ ключей, безвредны при употребленіи воды въ питье, но иногда попадается въ ней *Bacterium typhi* [1]). Тамъ, гдѣ есть опасность зараженія, ключевую воду, конечно, слѣдуетъ фильтровать; вопросъ о необходимости, съ точки зрѣнія гигіены, подвергать ключевую воду спеціальной очисткѣ можетъ быть

---

[1]) Gärtner. Die Quellen in ihren Beziehungen zum Grundwasser und zum Typhus. Iena 1902.

весьма легко рѣшенъ на мѣстѣ съ помощью новаго „планктоннаго“ способа, даже въ затруднительныхъ случаяхъ [2]).

Далѣе интересны по біологіи сѣрнистые ключи (съ *Beggiatoa* и *Thiothrix*), желѣзистые (съ *Gallionella*), известковые (съ *Schizothrix*), соляные (съ *Nitzschien* и *Chlamydomonada*) и теплые (съ *Phormidium laminosum, purpurascens* и др.)[3]).

Даже самые чистые ключи, разъ только они вышли на свѣтъ, представляютъ возможность богатаго развитія организмовъ. Родъ этихъ организмовъ зависитъ отчасти отъ физическихъ и химическихъ свойствъ воды и почвы, отчасти отъ случайностей. Мягкія воды, выходящія изъ гранитовыхъ породъ, обыкновенно обладаютъ болѣе разнообразною флорою, чѣмъ жесткія воды, содержащія известь и магнезію, которыя по большей части отличаются большимъ развитіемъ растеній, но принадлежащихъ къ незначительному числу видовъ и родовъ.

Какъ примѣръ водорослей и мховъ, нуждающхся въ свѣтѣ, можно назвать нижеслѣдующіе, водящіеся особенно часто въ горныхъ ключахъ: кремнистыя альги (*Eunotia pectinalis* и *maior, Navileen, Stauronesis*), красныя альги (*Chantransia violacea, Lamanea fluviatieis*) (см. фиг. 148, рис. 22 и 23), зеленыя альги (*Cosmarium, Conferva, Ulothrix*) и водяные мхи (*Scapania*).

При правильномъ каптажѣ ключа въ мѣстѣ его выхода изъ земли и отводѣ его водъ по трубамъ, развитіе указанныхъ организмовъ не имѣетъ мѣста. Однако, на практикѣ многія сооруженія для захвата ключей даютъ возможность или проникапію нѣкоторыхъ организмовъ извнѣ (напр., лягушекъ), или постепенному развитію ихъ внутри (напр., разныхъ мховъ, какъ *Marchantia, Pellia и др.)*.

При сборѣ питьевой воды галлереями или дренажными трубами можетъ произойти закупорка отверстій и стыковъ нитями корней деревьевъ или волокнами нѣкоторыхъ грибовъ [4]). Хвойныя деревья бываютъ причиною такой закупорки гораздо рѣже, чѣмъ лиственныя.

Удаленіемъ закупоривающихъ волоконъ можно легко возстановить первоначальный дебитъ водосборныхъ сооруженій.

## 2. Грунтовая вода (обезжелѣзиваніе).

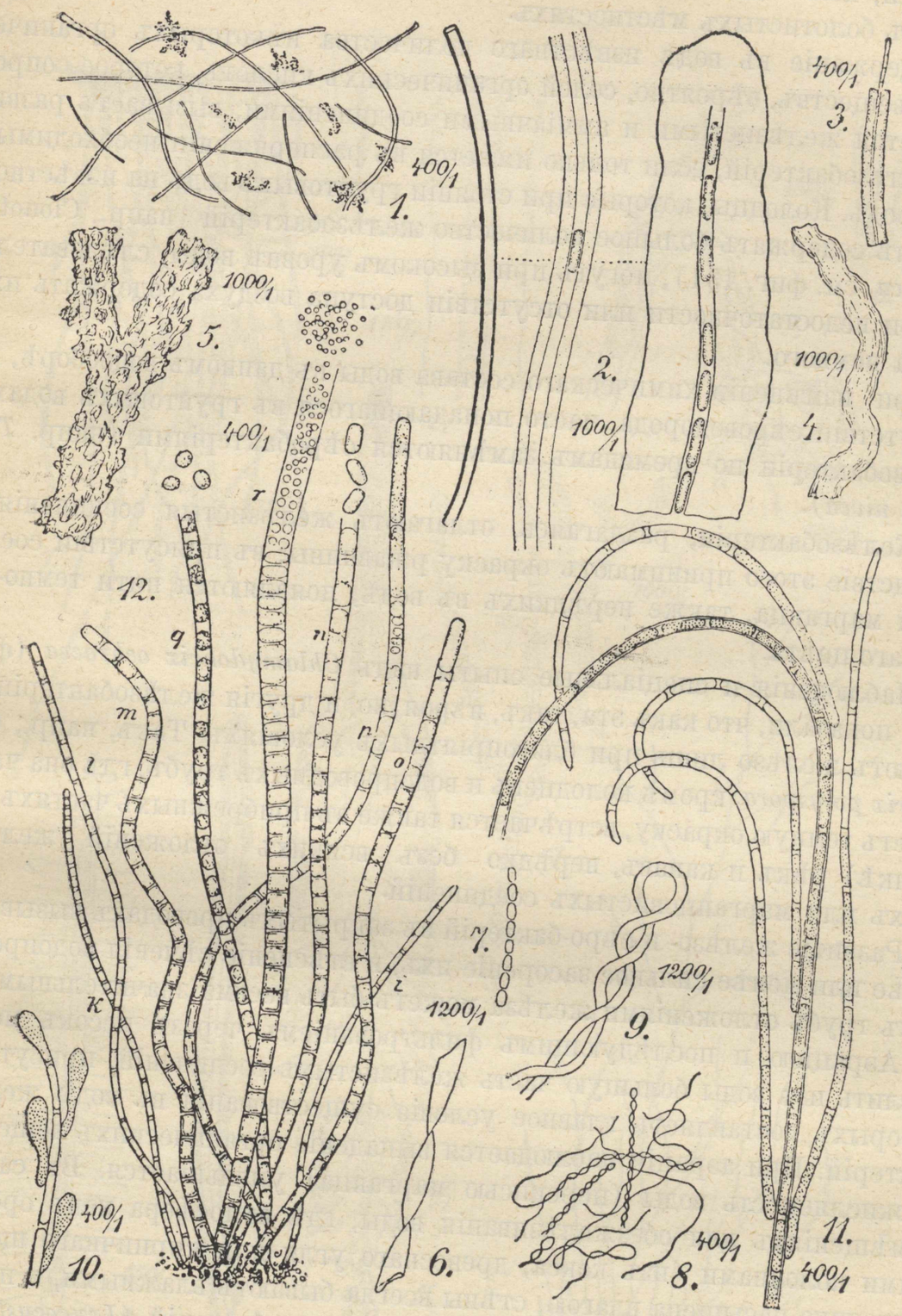
Собственный цвѣтъ грунтовыхъ водъ въ толстомъ слоѣ (при проникающемъ въ воду свѣтѣ) бываетъ голубымъ, голубовато-зеленымъ, зеленымъ, желтымъ или чернымъ. Эта окраска никогда не вызывается организмами, а объясняется только поглощеніемъ опредѣленныхъ свѣтовыхъ

---

[2]) Kolkwitz. „Mitteilungen aus der Prufungsanstalt f. Wasserversorgung“, 1903, 2, 23—27.

[3]) Adler., Zentralblatt für Bacteriologie 1904, Band 11.

[4]) Ludwig. Zeitschrift für Medizin.-Beamte, 1907, Band 20, 65—68.


400/1
1.
1000/1
5.
400/1
r
12.
q
m
l
n
r
o
i
k
400/1
10.
1200/1
6.
7.
1200/1
9.
400/1
8.
400/1
11.
400/1
3.
1000/1
4.
2.
1000/1

Фиг. 131.

лучей или самою водою, или растворенными въ водѣ (или ложнорастворенными, коллоидальными) химическими примѣсями. Черною вода бываетъ въ болотистыхъ мѣстностяхъ.

Содержаніе въ водѣ извѣстнаго количества нѣкоторыхъ органическихъ веществъ, вѣроятно, солей органическихъ кислотъ, которое сопровождается желѣзистыми и амміачными соединеніями, вызываетъ развитіе желѣзобактерій, если только имѣется въ распоряженіи необходимый кислородъ. Колодцы, которые при стояніи грунтовыхъ водъ на извѣстной глубинѣ содержатъ большое количество желѣзобактерій (напр., Clonothrix *fusca*, см. фиг. 131), могутъ при высокомъ уровнѣ воды, слѣдовательно, при недостаточности или отсутствіи доступа воздуха содержать ихъ весьма немного.

При измѣненіи химическаго состава воды въ данномъ водосборѣ, въ присутствіи сѣроводорода, часто попадающагося въ грунтовыхъ водахъ, желѣзобактеріи по временамъ замѣняются сѣробактеріями (напр. *Thiothrix nivea*).

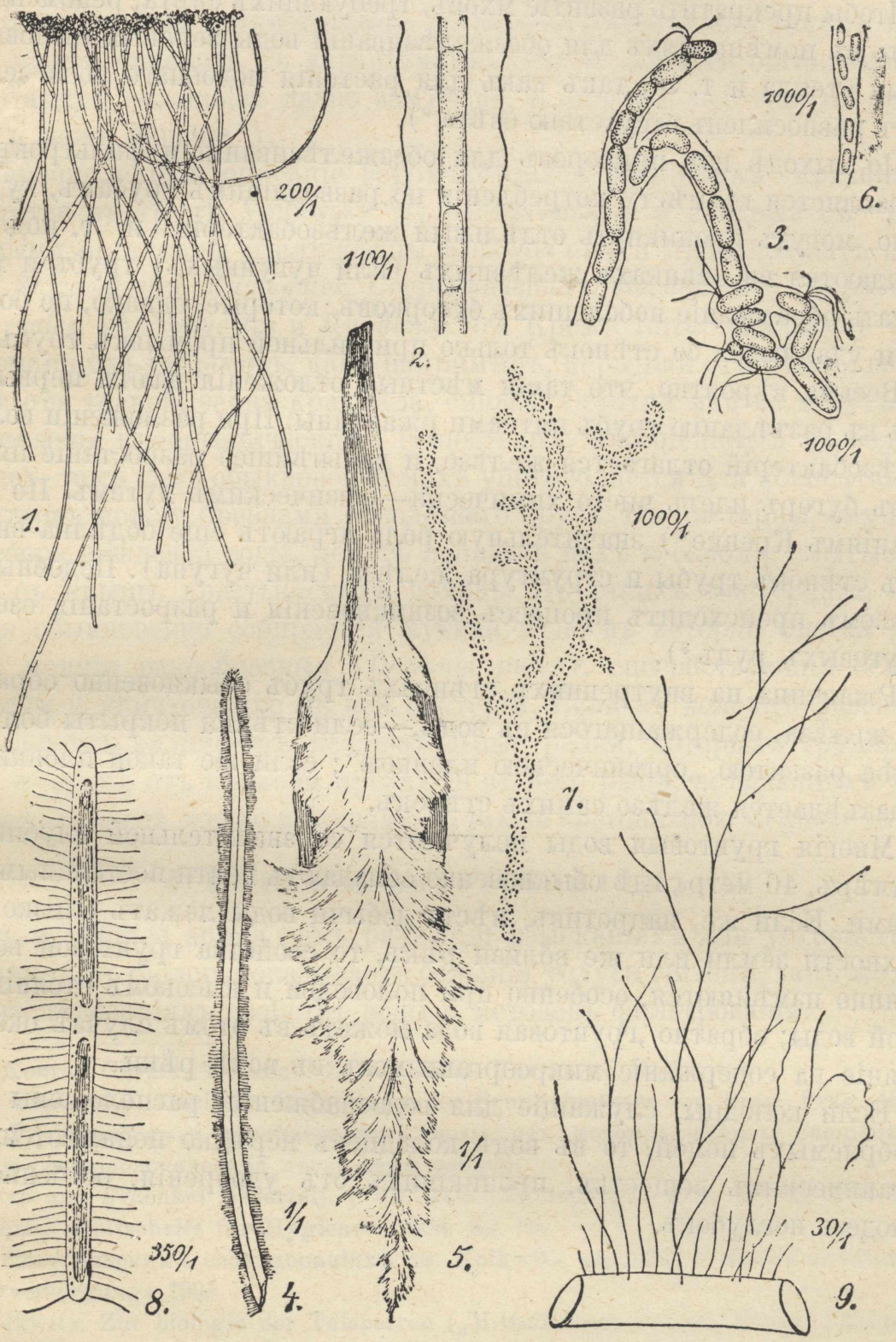
Желѣзобактеріи, разлагаясь, отлагаютъ желѣзистыя соединенія и вслѣдствіе этого принимаютъ окраску ржавчины; въ присутствіи соединеній марганца, также нерѣдкихъ въ водѣ, появляются нити темно-кофейнаго цвѣта.

Наблюденія и спеціальные опыты надъ *Chlamydohrix ochracea* (фиг. 131) показали, что какъ эта, такъ, вѣроятно, и другія желѣзобактеріи отлагаютъ желѣзо лишь при благопріятныхъ условіяхъ. Такъ, напр., *Crenothrix polyspora*, кромѣ колодцевъ и водопроводныхъ трубъ, гдѣ она часто имѣетъ темную окраску, встрѣчается также въ прибрежныхъ частяхъ (въ пленкѣ) рѣкъ и канавъ, нерѣдко безъ всякихъ отложеній желѣзистыхъ или марганцовистыхъ соединеній.

Развитіе желѣзо- и сѣро-бактерій въ закрытыхъ проводахъ вызываетъ болѣе или менѣе сильное засореніе ихъ, и стѣсненіе сѣченія водопроводныхъ трубъ отложеніями желѣза можетъ быть весьма значительнымъ [5]).

Аэраціею и послѣдующимъ фильтрованіемъ черезъ песокъ можно удалить изъ воды большую часть желѣзистыхъ соединеній, присутствіе которыхъ составляетъ главное условіе существованія въ водѣ желѣзобактерій. При аэраціи наблюдается выпаденіе органическихъ веществъ, и окисляемость воды (перекисью марганца) уменьшается. Въ самихъ помѣщеніяхъ для обезжелѣзиванія воды, гдѣ атмосфера надъ орошаемыми колоннами (изъ кокса, древеснаго угля или кирпичнаго щебня) постоянно насыщена влагою, стѣны всегда бываютъ влажными, и покрываются налипшими культурами студенистыхъ бактерій (*Leucocystis cellaris*), а также растеніями изъ класса мховъ (напр., *Funaria hydrometrica*, *Ceratodon purpurens* и *Webera albicans*) и грибовъ (*Lachnea scutellata*, *Cop-*

[5]) Подробности о желѣзобактеріяхъ см.: Kolkwitz „Schizomycetes, Spaltpilze, Bakteria". 1909; Molisch «Die Eisenbakterien". 1910.




Фиг. 132.

*rinus, Omphalia*); такія же проростанія на стѣнахъ бываютъ въ сырыхъ оранжереяхъ, винныхъ погребахъ, гротахъ и т. под.

Чтобы прекратить развитіе мховъ, требующихъ свѣта, рекомендуется имѣть въ помѣщеніяхъ для обезжелѣзиванія воды зеленыя цыновки, зеленыя стекла и т. п., такъ какъ для растенія подобнаго рода зеленый свѣтъ равносиленъ отсутствію свѣта [6]).

По выходѣ изъ приборовъ для обезжелѣзиванія и фильтровъ, вода направляется къ мѣсту потребленія по разводящимъ трубамъ, куда, конечно, могутъ проникнуть отдѣльныя желѣзобактеріи и т. под.; онѣ осаждаются на стѣнкахъ желѣзныхъ (или чугунныхъ) трубъ и могутъ вызвать образованіе небольшихъ бугорковъ, которые, однако, по большей части удаляются со стѣнокъ только при сильной промывкѣ трубъ.

Весьма вѣроятно, что такія мѣстныя отложенія даютъ первый толчокъ къ разъѣданію трубъ пятнами ржавчины. При разложеніи волоконъ желѣзобактерій отлагается желѣзо, и дальнѣйшее разростаніе пятнышка въ бугоръ идетъ чисто химически—физическимъ путемъ. По изслѣдованіямъ Кренке [7]) значительную роль играютъ еще обдѣлка внутреннихъ стѣнокъ трубы и структура желѣза (или чугуна). Подобнымъ же образомъ происходитъ процессъ возникновенія и разростанія озерныхъ и луговыхъ рудъ [8]).

Ржавчина на внутреннихъ стѣнкахъ трубъ обыкновенно образуется изъ желѣза, содержащагося въ водѣ,—если стѣнки покрыты болѣе или менѣе развитою „органическою пленкою"; если же такой пленки нѣтъ, то разъѣдается желѣзо самихъ стѣнокъ.

Многія грунтовыя воды получаются со значительной глубины, напримѣръ, 40 метр., гдѣ обыкновенно обладаютъ почти постоянными свойствами. Если же, напротивъ, мѣста добычи воды лежатъ близко къ поверхности земли или же вблизи рѣкъ, то свойства грунтовой воды постоянно измѣняются, особенно при половодьи и высокомъ стояніи грунтовой воды; обратно ,грунтовая вода можетъ въ этомъ случаѣ оказывать вліяніе на содержаніе микроорганизмовъ въ водѣ рѣки.

Если колодцы, служащіе для водоснабженія, расположены около удобряемыхъ полей, то въ водѣ колодцевъ нерѣдко попадаются слѣды органическихъ веществъ, проникшихъ отъ удобренія, особенно, если колодезь неглубокъ.

---

[6]) О физіологіи процесса усвоенія растеніями углерода см.: Stahl. „Zur Biologie des Chlorophylls". Iena. 1908.

Kniep und Minder. Zeitschrift für Botanik. 1909, Band I.

[7]) Kröhnke. „Gesundheits-Ingerieur" 1910, № 22.

[8]) См. вышеуказанную работу Molisch (примѣчаніе 5).

### 3. Вода изъ неглубокихъ колодцевъ.

(шахтные колодцы, цистерны).

Примитивные рытые колодцы и ямы для дождевой воды обыкновенно содержатъ весьма разнообразные организмы; многіе изъ такихъ колодцевъ можно сравнить съ аквaріумами. Обиліе живыхъ организмовъ въ водѣ такихъ колодцевъ давно замѣчено, и описывалось еще въ средніе вѣка и даже раньше [9]).

Перечисленіе и описаніе встрѣчающихся животныхъ организмовъ находится въ трудѣ Vejdovsky [10]); растительныя и сходныя съ растительными организмы изслѣдованы Kolkwitz'емъ и принадлежатъ къ видамъ *Shizomycetes, Euglenales, Cryptomonadales, Bacillariales, Protococcales, Confervales, Phycomycetes* и *Hyphomycetes*. Кромѣ того, попадаются частицы домашнихъ отбросовъ, какъ напримѣръ, перышки отъ птицъ, волосы, нитки отъ тканей, зерна крахмала, синька. Остатки мха не могутъ быть причислены къ органическимъ веществамъ, взвѣшеннымъ въ водѣ колодцевъ, такъ какъ обыкновенно мохъ употребляется для конопатки промежутковъ между бревнами колодезнаго сруба. Въ цистерны, служащія для сбора дождевой воды, могутъ попадать мохъ и солома, смытые дождемъ съ крышъ крестьянскихъ домовъ. Въ такихъ цистернахъ послѣ дождя обыкновенно собирается мутная вода, въ которой иногда разводятся мелкія ракообразныя (*Daphnia pulex*), способствующія освѣтленію воды и уничтоженію въ ней бактерій. Если въ колодцѣ разовьются въ большомъ количествѣ нежелательные рачки, которыхъ трудно удалить, то время отъ времени пускаютъ въ него рыбъ, поѣдающихъ этихъ рачковъ; рачковъ можно вылавливать также спеціальною мелкою сѣткою.

### 4. Вода изъ водохранилищъ [11]).

Въ новѣйшее время какъ разъ при изысканіяхъ для устройства водохранилищъ біологія оказываетъ большія услуги гигіенѣ, такъ же, какъ при изслѣдованіяхъ свойствъ воды и методовъ фильтрованія.

---

[9]) Konrad Gesner. Tierbuch. Zürich 1563 (Цитир. по Kolkwitz).

[10]) Yejdovsky. Tierische Organismen der Brunnenwässer von Prag. Prag. 1882.

[11]) Гигіеническимъ изслѣдованіемъ воды изъ водохранилищъ, спеціально со стороны бактеріологической посвящены работы:

Intze und Fraenkel «Viertelj. f. öff. Gesundheitspflege» 1901, Bd 23, Helt 1.

Kruse. «Zeitschrift für Hygiene». 1908, Bd. 59.

О біологическихъ изслѣдованіяхъ см. Kolkwitz. «Journal f. Gasbelenchtund und Wosserversorgung» 1905

Kolkwitz. Zur biologie der Talsperren („Mitteilungen aus der Königl. Prüfungsanstalt fur Wasserversorg. und. Abwässerbescitiqung", 1911, Heft 15).

О химическихъ и физическихъ изслѣдованіяхъ:

Thiesing. Chemische und physikalische Vntersuchungen an. Talsperren («Mitteilungen a. d. k. Prüfungsanstalt», Heft 15).

Новѣйшія данныя объ устройствѣ наиболѣе важныхъ водохранилищъ:

Borchard. Denkschrift zur Einweihurg der Neye-Tolsperre bei Wipperfürth. Remscgeid, 1909.

Водохранилища имѣютъ цѣлью не только собирать запасы воды, но еще и уничтожать болѣзнетворные микроорганизмы, попадающіе съ водою въ водохранилище, путемъ самоочищенія. Поэтому спеціалисты по водоснабженію охотно примиряются съ необходимостью удалять изъ воды фильтрованіемъ слѣды планктона, развивающагося въ водохранилищѣ, такъ какъ присутствіе этого планктона весьма важно для процесса самоочищенія [12]).

Слѣдующіе факторы способствуютъ самоочищенію воды въ водохранилищахъ:

1) Долгое пребываніе воды въ большихъ водохранилищахъ, которое само по себѣ можетъ остановить жизнедѣятельность болѣзнетворныхъ бактерій, водящихся въ водѣ.

2) Большое разжиженіе заразной воды при поступленіи ея въ водохранилище, благодаря которому при употребленіи воды въ питье въ кишечникъ человѣка не можетъ попасть значительнаго количества болѣзнетворныхъ бактерій.

3) Осажденіе, посредствомъ котораго болѣзнетворные микроорганизмы опускаются на дно, гдѣ погибаютъ вслѣдствіе борьбы съ другими видами микроорганизмовъ.

4) Освѣщеніе, которое, если оно достаточно ярко, убиваетъ бактерій.

5) Организмы, питающіеся бактеріями, находящіеся какъ въ свободной водѣ, такъ и на берегу, и въ грунтѣ. Бактерій уничтожаютъ, главнымъ образомъ, *Flagellata, Ciliata, Rotatoria, Bryozoa* и *Crustacea.* Въ пробахъ воды изъ водохранилищъ не попадается ни одного кубическаго сантиметра воды, который бы не содержалъ (даже зимою) въ числѣ планктона нѣсколькихъ микроорганизмовъ, питающихся бактеріями.

6) Организмы, освѣжающіе воду вырабатываемымъ ими кислородомъ и тѣмъ предохраняющіе ее отъ дальнѣйшаго загниванія; сюда принадлежатъ альги, особенно изъ группъ *Chrysomonadales, Peridianales, Bacillariales, Conjugatae* и *Protococcales.*

Въ сѣверо-американскихъ водохранилищахъ сюда присоединяются еще дѣлящіяся альги (Schyzophiceae), какъ, напр., *Anabaena flos aquae,* вызывающія цвѣтеніе воды, которыя размножаются въ огромномъ количествѣ и могутъ отразиться на вкусѣ воды; для уничтоженія ихъ примѣняютъ сульфатъ мѣди [13]).

По указаніямъ Kolkwitz'a, въ водохранилищахъ Европы не наблюдалось ухудшенія вкуса воды, вызываемаго организмами планктона; однако, *Asterionella formosa* и *Gymnodinium palustre* при большомъ развитіи

---

[12]) Reichle «Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung», 1910.

[13]) Whipple. The microscopy of drinking—water. 1908.

ихъ могутъ затруднить процессъ послѣдующаго фильтрованія воды (второй изъ названныхъ видовъ—особенно путемъ образованія грязи).

Поврежденія организмами матеріала стѣнъ нигдѣ не наблюдалось.

Забираніе питьевой воды изъ водохранилищъ производится обыкновенно изъ глубокихъ слоевъ хранилища, гдѣ вода имѣетъ относительно низкую температуру и, въ глубокихъ хранилищахъ, часто содержитъ мало планктона, а потому, при отсутствіи другихъ взвѣшенныхъ примѣсей, сравнительно медленно засоряетъ фильтры.

Обработка воды изъ водохранилищъ передъ употребленіемъ ея въ питье не вездѣ одинакова. Напримѣръ, въ Remscheid [14]) пропускаютъ воду сначала черезъ матерчатые фильтры Борхардта [14]), а затѣмъ фильтруютъ на медленныхъ песочныхъ фильтрахъ; въ другихъ мѣстахъ воду фильтруютъ на американскихъ фильтрахъ, на поляхъ орошенія (естественная фильтрація) и т. д. Иногда воду изъ водохранилищъ употребляютъ безъ всякой очистки, однако, такое употребленіе слѣдуетъ признать безусловно недопустимымъ, хотя бы при этомъ еще и не появлялись эпидеміи. При малыхъ водохранилищахъ въ холодное время года, когда вода покрыта льдомъ, внезапно поступившая въ хранилище вода отъ дождей или таянія снѣга можетъ притекать къ стѣнѣ и къ водопріемнымъ трубамъ поверхъ льда, не подвергаясь вышеуказаннымъ процессамъ самоочищенія, и тогда качества поступающей въ трубы воды могутъ быть весьма низки.

При фильтрованіи воды на поляхъ орошенія, изъ воды выпадаютъ желѣзистыя соединенія, а если вода имѣла вялый вкусъ, то при фильтрованіи черезъ почву она освѣжается, запасаясь кислородомъ, и, наконецъ, теряетъ запахъ, если обладала имъ. Во избѣжаніе нарушенія правильности работы полей орошенія (для питьевой воды), слѣдуетъ наблюдать чтобы уровень воды не подвергался сильнымъ и внезапнымъ колебаніямъ.

Весьма цѣлесообразно вести контроль работы фильтраціонныхъ полей, американскихъ фильтровъ и т. д. по планктологическимъ методамъ.

Такъ какъ вода изъ водохранилищъ обыкновенно очень мягка, то желательно изслѣдовать способность ея растворять свинецъ. До настоящаго времени не производилось изслѣдованій, защищаются ли свинцовыя трубы отъ разъѣданія свинца водою только коркою, образующеюся чисто химическимъ путемъ, или же также путемъ біологическимъ, образованіемъ органической пленки.

### 5) Вода изъ озеръ.

По поводу водоснабженія городовъ озерною водою въ гигіенически-біологическомъ отношеніи приходится говорить почти то же, что и о водоснабженіи изъ водохранилищъ, съ тою разницею, что не всѣ озера содержатъ настолько чистую воду, какъ хранилища, такъ какъ общее

[14]) Borchardt. «Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung», 1904, стр. 210.

устройство послѣднихъ, въ противоположность озерамъ, всегда бываетъ почти одинаково въ санитарномъ отношеніи.

Въ иныхъ отношеніяхъ также возможно существенное различіе; такъ, напримѣръ многія естественныя озера имѣютъ притоки или истоки, протекающіе по поверхности земли, и могутъ сильно различаться своею растительностью, которая оказываетъ вліяніе на окраску и вкусъ воды. Озера, богатыя питательными веществами, часто содержатъ богато развитую растительность, если же въ водѣ мало веществъ, питательныхъ для растеній, то и растительность чрезвычайно бѣдна. Кромѣ того, слѣдуетъ упомянуть, что водохранилища лежатъ по большей части въ горахъ и сходны съ горными озерами, тогда какъ многія озера лежатъ на низменностяхъ и часто могутъ быть весьма богаты планктономъ. Большія озера, получающія много воды отъ таянія снѣговъ, отличаются обыкновенно бѣдностью планктономъ и прозрачностью воды; таковы озера Женевское, Гарда, Лаго-Маджіоре и др. Слѣдующая таблица даетъ сравненіе воды по глубинѣ, на которой еще виденъ бѣлый кружокъ (прозрачность), по окраскѣ, по содержанію органическихъ веществъ (окисляемости) и по количеству планктона:

| | Прозрачность. | Окраска. | Окисляемость (хамелеона на литръ). | Планктонъ въ 1 куб. м. |
|---|---|---|---|---|
| Женевское озеро . . | 21 м. | Голубая. | 1—3 мгр. | Около 1 кб. см. |
| Бармское (Barmer) водохранилище у Herbringhausen . . | 9—10 м. | Зеленая. | 6—7 мгр. | Около 10 кб. см. |
| Тегельское озеро . . | 3 м. | Желтая. | 25—40 м. | При цвѣтеніи воды свыше 100 кб. см. |

Городъ Женева снабжается водою изъ Женевскаго озера безъ всякой очистки. *Forel* [15]) отмѣчаетъ такую воду, какъ наиболѣе желательную для питья, такъ какъ она на глубинѣ бѣдна бактеріями, даже почти совершенно свободна отъ нихъ, и вообще замѣчательно чиста; по его мнѣнію, она стоитъ выше ключевой воды по ровности температуры, чистотѣ и количеству.

Относительно расположенія водопріемныхъ трубъ укажемъ, что впускныя отверстія (сосуны) расположены на 30—40 м. ниже поверхности и на 4—5 м. надъ дномъ.

При проектированіи водоснабженія, многимъ городамъ приходилось дѣлать тщательныя сравненія воды озеръ съ водою другихъ источниковъ.

---

[15]) Forel. Internationale Revue d. ges. Hydrobiologie und Hydrographie. 1908, Band 1, 525.

Крупныя изслѣдованія, произведенныя г. С.-Петербургомъ, показали полную пригодность воды Ладожскаго озера въ нѣкоторыхъ его частяхъ для употребленія въ питье безъ предварительной очистки[16]). Городъ S-t. Gallen, при выборѣ между ключевою и озерною водою, отдалъ предпочтеніе озерной (изъ Баденскаго озера) (1893 г.).

Многіе города употребляютъ озерную воду послѣ предварительнаго фильтрованія. Въ Цюрихѣ вода изъ озера требуетъ фильтрованія на двойныхъ фильтрахъ.

Въ нѣкоторыхъ озерахъ Сѣверной Германіи удовлетворительная очистка воды весьма затруднительна вслѣдствіе обилія планктона и чрезвычайно мелкихъ размѣровъ его частицъ.

### 6. Рѣчная вода.

Рѣки Сѣверной Америки содержатъ, вообще говоря, больше минеральной мути, чѣмъ европейскія, поэтому способы предварительнаго освѣтленія воды (отстаиваніе и др.) больше распространены въ Америкѣ, чѣмъ въ Европѣ. Такое освѣтленіе оказываетъ значительное вліяніе на качество и количество содержащихся въ водѣ организмовъ. Подобное освѣтленіе производится также весьма удачно ступенчатыми фильтрами Пеша-Шабаля (примѣненными, напр., въ Магдебургѣ), которые, особенно въ теплое время года, производятъ дѣйствіе сходное съ біологическими окислителями для очистки сточныхъ водъ.

Въ Европѣ рѣчная вода въ большинствѣ случаевъ направляется безъ предварительной очистки на медленные песочные фильтры. Здѣсь планктонъ и псевдопланктонъ образуютъ слой на поверхности песка, который современемъ настолько утолщается, что производительность фильтра понижается ниже требуемой величины; тогда необходимо механически удалить этотъ слой. Слои песка подъ фильтрующею пленкою равнымъ образомъ богато заселяются микроорганизмами и способствуютъ очисткѣ фильтруемой воды. Когда напоръ на фильтрѣ измѣняется, напримѣръ, вслѣдствіе грубыхъ разрывовъ фильтрующей пленки, то фильтрующее дѣйствіе болѣе глубокихъ слоевъ песка при нѣкоторыхъ обстоятельствахъ также можетъ быть нарушено[17]).

Контроль правильности работы фильтровъ производится бактеріологическими анализами воды; однако, для уясненія процесса фильтрованія желательны также планктологическія изслѣдованія.

Въ запасныхъ и уравнительныхъ резервуарахъ въ воду могутъ попадать вмѣстѣ съ пылью мелкіе организмы, однако, при правильной ра-

---

[16]) «Ладожское озеро». Изд. С.-Петербургскаго Городскаго Управленія. 1910; см. также «Труды VIII Русскаго водопроводнаго Съѣзда», доклады г. г. Шидловскаго, Скорикова, Болохонцева, Гримма, Рубеля и Кищинскаго.

[17]) Изслѣдованіе фильтрующей пленки и водящихся на ней организмовъ см. работу Kemna «Bulletins de la société Belge de Géologie», 1900, Band 13.

ботѣ всего водопровода вообще, попаданіе ихъ въ разводящую сѣть не представляетъ никакой опасности [18]).

Животные организмы, дышащіе воздухомъ, какъ, напр., *Lepisma saccharina*, могутъ случайно заползать въ краны водопровода и вымываться оттуда съ водою. Угри (*Anguilla vulgaris*), въ томъ возрастѣ, когда они способны проникать въ песокъ, могутъ проскользнуть черезъ песочные фильтры.

---

[18]) Объ организмахъ, постоянно встрѣчающихся въ фильтрованной водѣ, см.: Kolkwitz «Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung» 1907. Razzeto «Hygienische Rundschau» 1908, Bd. 18.

## Біологія сточныхъ водъ и открытыхъ водоемовъ.

### 1. Сточныя воды городовъ, поля орошенія, искусственная біологическая очистка.

Вслѣдствіе содержанія бѣлковистыхъ веществъ (полипептидовъ), углеводовъ, фосфатовъ, соединеній калія и т. д. въ количествѣ около 0,1 процента, городскія сточныя воды представляютъ превосходную питательную среду для сапрофитовъ и сапрозоевъ. Въ сточныхъ водахъ особенно часто встрѣчаются растенія *Streptococcus margaritaceus, Sarcina paludosa, Bacterium vulgare, B. coli, Bacillus subtilis, Spirillum volutans, Sp. undula, Beggiatoa alba* и др. виды, *Lamprocystis roseo-persicina, Polytoma uvella* и др., животныя *Bodo putrinus, caudatis, saltans, Cercobodo longicauda, Trepomonas rotans, Hexamitus inflatus, Paramaccium putrinum, Vorticella microstoma, putrina* и др. Среди бактерій находятся возбудители гніенія, дѣлающіе воду зловонною, тогда какъ животные организмы, при весьма слабомъ загнивательномъ воздѣйствіи на воду, обладаютъ, въ общемъ, весьма значительною способностью уничтожать бактерій. Всѣ организмы поглощаютъ кислородъ, находящійся въ сточныхъ водахъ въ ничтожномъ количествѣ, и потому содержаніе его скоро доходитъ до нуля [1]).

Послѣ суточнаго пребыванія сточныхъ водъ въ состояніи покоя, организмы, нуждающіеся въ кислородѣ, соберутся на поверхности, между тѣмъ, какъ остальные останутся болѣе или менѣе равномѣрно распредѣленными въ жидкости или осядутъ на стѣнахъ и особенно на днѣ (см. рис. 15 фиг. 146).

Толщина и біологическій составъ плавающаго слоя, богатаго скопленіями бактерій („зооглеями“), какъ доказалъ Kolkwitz [2]), оказываютъ весьма существенное вліяніе на загниваніе и разложеніе. Изслѣдованіе этого можетъ имѣть особенно важное значеніе въ случаѣ, если собственно загниванія самоочищающейся сточной воды не происходитъ (при выдѣленіи сѣвородорода въ присутствіи Bacterium vulgare и т. под.), однако, вода издаетъ непріятный, тухлый запахъ.

Прозрачность городскихъ сточныхъ водъ до обработки ихъ, выраженная глубиною, на которой еще виденъ бѣлый дискъ или пластина, равна

---

[1]) Объ организмахъ, уничтожающихъ бактерій, см. слѣд. работы:
Emmerich und Gemünd «München. medizin. Wochenschrift» 1904.
Huntemüller «Archiv für Hygiene» 1905, Bd. 54.
Schepilewsky «Archiv für Hygiene» 1910, Bd. 72.
Stokvis «Archiw für Hygiene» 1909, Bd. 71.

[2]) Kolkwitz «Mitteilungen a. d. Konigl. Prüfungsanstalt für Wasserversorgung und Abwässerbeseitigung», 1910, Heft 13. Стр. 59.

обыкновенно 5—6 см., послѣ посредственной очистки — 20—30 см., а послѣ хорошей очистки—свыше 1 м.

Очистка сточныхъ водъ на поляхъ орошенія при хорошей почвѣ является однимъ изъ лучшихъ способовъ. Площадь такихъ полей, въ среднемъ, должна быть больше площади города, воды котораго очищаются; на каждаго человѣка требуется около 33 кв. м. поля (при общесплавной канализаціи).

Передъ напускомъ на поля, бо́льшая часть жира и осадковъ (кусковъ бумаги, болѣе грубыхъ остатковъ пищи и т. п.) должна быть выловлена изъ воды и затѣмъ продолжительнымъ лежаніемъ въ ямахъ и т. п. (въ среднемъ, въ теченіе года) сдѣлана пригодною для удобренія. Напущенная на поля орошенія жидкость подвергается воздѣйствію бактерій, грибовъ (Stropharia merdaria, Coprinus stercorarius), личинокъ насѣкомыхъ и червей. Можно считать вполнѣ вѣроятнымъ, что болѣзнетворные микроорганизмы, попадающіеся въ сточной водѣ, при просачиваніи воды на поляхъ орошенія уничтожаются.

Сточныя воды, разсматриваемыя какъ удобреніе, относительно богаты азотомъ, но бѣдны каліемъ и фосфоромъ. Среди травъ, переносящихъ поливку земли большимъ количествомъ сточныхъ водъ, на первомъ мѣстѣ стоитъ *Lolium tralicum.* (итальянск. райграсъ), далѣе идутъ *Phleum pratense* (Тимофеева трава) и *Dactylis glomerata;* въ хорошіе годы луга можно косить до 7 разъ. Затѣмъ обильная поливка хороша для *Rheum rhaponticum* (ревень) и *Apium graveolens* (сельдерей). Послѣ посѣва не допускаютъ болѣе орошенія сточными водами: овесъ (*Avena sativa*), пшеница (*Triticum vulgare*), рожь (*Triticum cereale*), ячмень (*Hordeum vulgare*), свекловица (*Bota vulgaris*), шпинатъ (*Spinacia oleracea*), кормовая рѣпа (*Brassica rapa*), брюква (*Brassica napus*) и картофель (*Solonum tuberosum*), если они не посажены на возвышенныхъ грядкахъ. Кромѣ того, сажаютъ почти всѣ сорта капусты (*Brassica oleracea*). На откосахъ дренажныхъ рвовъ весьма хорошо растутъ ивы (*Salix viminalis*).

Зимою вмѣсто постояннаго орошенія полей приходится прибѣгать къ перемежающемуся фильтрованію черезъ нихъ сточныхъ водъ, вслѣдствіе чего результаты очистки нерѣдко ухудшаются, особенно при низкой температурѣ, такъ что въ рвахъ, собирающихъ воду, вытекающую изъ дренажныхъ трубъ, могутъ разростаться грибы *Sphaerotilus natans, Mucor* и *Leptomitus lacteus.* Могущій оказаться избытокъ этихъ грибовъ удаляютъ очисткою рвовъ и отведеніемъ водъ изъ нихъ въ большіе рыбные пруды, въ которыхъ продолжается процессъ минерализаціи въ водѣ изъ дренъ и уничтоженіе попадающихся въ ней болѣзнетворныхъ бактерій [3]).

---

[3]) О процессѣ нитрификаціи см. работы С. Н. Виноградскаго и В. Л. Омелянскаго въ «Архивѣ Біологическихъ Наукъ», т. III и слѣд. и въ «Centralblatt für Bakteriologie Band V и др. См. также Schultz-Schultzensteiu, „Mitteilungen a. d. K. Prüfungsanstalt f. Wasserversorgung“, Heft 2. 1903.

Организмы, водящіеся въ очищенныхъ сточныхъ водахъ, принадлежатъ къ числу мезосапробныхъ, тогда какъ въ водахъ до очистки обитали полисопробы.

При обиліи питанія, въ прудахъ съ очищенною сточною водою однофунтовые карпы (*Cyprinus carpio*) и (*Tinca vulgaris*) въ теченіе одного лѣта увеличиваются до двухъ и трехъ фунтовъ.

Первоначальныя опасенія, что поваренная соль, содержащаяся въ сточныхъ водахъ въ количествѣ до 1% и болѣе, можетъ повредить растеніямъ, не основательны, такъ какъ выщелачиваніе солями хлористаго натра питательныхъ веществъ въ землѣ не имѣетъ значенія при постоянномъ поступленіи новаго удобренія [4]).

По процессу и результатамъ очистки сточныхъ водъ, съ полями орошенія весьма сходна *искусственная біологическая очистка* на орошаемыхъ фильтрахъ, при которой сточными водами орошаютъ не землю, а крупные куски кокса или шлаковъ, лежащіе слоемъ толщиною около 2 метровъ. Организмы, въ изобиліи развивающіеся на поверхности кусковъ шлака или кокса, способствуютъ хорошимъ результатамъ очистки. Искусственные біологическіе фильтры можно разсматривать, какъ доведеніе естественныхъ процессовъ біологической очистки фильтрованіемъ черезъ почву до наибольшей производительности, путемъ подбора наиболѣе пригодной почвы (роль которой играетъ шлакъ или коксъ); при этомъ процессъ очистки происходитъ интенсивнѣе, и потому требуетъ меньшей площади фильтровъ. Для успѣшнаго хода процесса біологической очистки, существенно необходимы доступъ кислорода воздуха и, вѣроятно, также удаленіе образующейся углекислоты; присутствія свѣта не требуется. Окислительные процессы внутри массы орошаемаго фильтра вызываютъ нѣкоторое повышеніе температуры, способствующее интенсивности біологической очистки.

Къ важнѣйшимъ микроорганизмамъ, населяющимъ орошаемые біологическіе фильтры принадлежатъ: зооглеи бактерій; *Thiothrix nivea; Mucor; Fusorium; Rhizopoden; Bodonen, Vorticella microstoma, Epistylis coarctata, Oligochaeten, Rotifer vulgaris*, личинки *Psychoda* и др.

Почти повсюду на „органической пленкѣ", покрывающей сильно развитую поверхность кусковъ пористаго шлака или кокса, живутъ разнообразные жизнедѣятельные организмы, извлекающіе себѣ питаніе изъ этой пленки каждый по своему выбору, въ зависимости отъ своихъ свойствъ. На біологическомъ фильтрѣ имѣются одновременно благопріятныя условія для развитія самыхъ разнообразныхъ организмовъ: для организмовъ, свободно плавающихъ въ водѣ; для укрѣпляющихся неподвижно (на коксѣ) и получающихъ питаніе путемъ осмоса; для притекающихъ со сточною водою микроорганизмовъ, питающихся продуктами разложенія, или иломъ, и для живущихъ въ воздухѣ насѣкомыхъ, непосредственно

[4]) См, Marsson. «Mitteilungen...», Heft 4, 1904.

пожирающихъ живые организмы. Отсюда понятно, что на біологическихъ фильтрахъ происходитъ процессъ не гніенія, но *перехода въ гумусъ*.

При вытеканіи съ орошаемаго біологическаго фильтра очищенной сточной жидкости, ею постоянно выносятся частицы мути, что предупреждаетъ заиливаніе фильтра. Вмѣстѣ съ ними, конечно, вымываются и бактеріи, среди которыхъ могутъ быть патогенныя, но ихъ можно задержать пропусканіемъ жидкости черезъ песочный фильтръ передъ выпускомъ въ водоемы.

Съ орошаемыхъ біологическихъ фильтровъ, какъ и съ полей орошенія, получается вода мезосапробнаго характера. На большой станціи для біологической очистки сточныхъ водъ г. Вильмерсдорфа (въ Stahnsdorf) этою водою наполняютъ прудъ для рыбъ и орошаютъ фруктовый садъ, площадью свыше 6 гектаровъ.

*Заполняемые искусственные біологическіе фильтры* (періодически дѣйствующіе), въ противоположность орошаемымъ, устраиваются изъ мелкаго матеріала равномѣрной крупности и заливаются очищаемою сточною водою, а не проходятся отдѣльными струйками ея, какъ орошаемые; послѣ пребыванія воды, заполняющей массу фильтра въ теченіе нѣсколькихъ часовъ, эта вода спускается уже очищенною, и фильтръ „отдыхаетъ“ нѣсколько часовъ, запасаясь кислородомъ. Качество очистки сточной воды этими фильтрами близко къ капельнымъ фильтрамъ; вообще говоря, степень очистки на періодическихъ фильтрахъ нѣсколько ниже, но равномѣрнѣе и менѣе зависитъ отъ случайныхъ измѣненій состава поступающей для очистки воды, чѣмъ на орошаемыхъ фильтрахъ. Организмы, населяющіе оба типа фильтровъ, довольно сходны [5]).

Далѣе, съ біологической стороны интересенъ процессъ болѣе грубой очистки сточныхъ водъ въ гнилостныхъ бассейнахъ (*септикъ-танкахъ*), въ которыхъ грязь (осадокъ) постепенно уничтожается, уменьшаясь въ объемѣ путемъ разложенія, а растворенныя въ водѣ вещества начинаютъ минерализоваться; процессъ минерализаціи, конечно, никогда не бываетъ полнымъ, но при нѣкоторыхъ условіяхъ можетъ подвинуться довольно далеко (обыкновенно, напр., амміачныя соли переходятъ въ азотистокислыя). Обыкновенно септикъ-танкъ устраиваютъ изъ двухъ послѣдовательныхъ отдѣленій, въ первомъ изъ которыхъ (бо́льшей емкости) пла-

---

[5]) О біологіи искусственныхъ біологическихъ фильтровъ см. статьи:

Kolkwitz и Pritzkow въ «Mitteilungen a. d. K. Prüfungsanstalt für Wasserversorgung und Abwässerbeseitigung», Heft 13 (1910).

Marsson—тамъ-же, Heft 4; Emmerling—тамъ же, Heft 1.

«Отчетъ Комиссіи по производству опытовъ біологической очистки сточныхъ водъ на поляхъ орочненія г. Москвы», работы Я. Никитинскаго и др.

Dunbar. Leitfoden für die Abwasserreinigungsfrage. 1907.

Calmette. Recherches sur l'épuration biologique et chimique des eaux d'égont.

С. К. Дзержговскій. Къ вопросу о значеніи септическаго бассейна. «Архивъ Біологическихъ Наукъ», т. XIII.

вающія въ водѣ вещества разлагаются и осаждаются, и во второе поступаетъ вода, не содержащая крупныхъ примѣсей; здѣсь выпадаетъ еще часть мути. Всѣ процессы въ септикѣ происходятъ безъ доступа воздуха („анаэробные процессы"), такъ какъ примѣси, болѣе легкія, чѣмъ вода, напр. жиръ и мн. др., поднимаются на поверхность и съ теченіемъ времени образуютъ непроницаемую для воздуха корку; доказано, что результаты этихъ процессовъ весьма значительны [6]). Тамъ, гдѣ имѣются подъ руками естественные пруды, которыми можно было бы воспользоваться, какъ гнилостными бассейнами, ихъ слѣдуетъ предпочитать искусственнымъ резервуарамъ (танкамъ), потому что общія жизненныя условія, вызывающія процессы разложенія, болѣе развиты въ естественной обстановкѣ, и при нихъ гніеніе пойдетъ энергичнѣе. Изученіе сильно загрязненныхъ деревенскихъ прудовъ показало, что въ присутствіи „*Euglena viridis* на поверхности и по образованіи непроницаемой корки хотя бы по окружности пруда, могутъ совершаться также аэробные процессы, которые доведутъ до конца минерализацію нѣкоторыхъ веществъ, доведенную только до половины процессами анаэробными.

Разложеніе грязевыхъ осадковъ (ила) состоитъ, главнымъ образомъ, въ переработкѣ клѣтчатки въ газы (метанъ и водородъ) бактеріями *Bacillus cellulosae methanicus* и *Bacillus cellulosae hydrogenicus*, при одновременномъ образованіи жирныхъ кислотъ. Наряду съ этими бактеріями работаетъ маслянокислая бактерія (*Bacillus amylobacter*), образующая, кромѣ масляной кислоты, еще небольшія количества уксусной и муравьиной кислотъ. Возможно, что при разложеніи въ илѣ бѣлковины часть сѣры переходитъ не въ сѣроводородъ, а въ болѣе сложныя соединенія.

На практикѣ весьма важно получить невонючій и легко высыхающій осадокъ (илъ), что достигается, напр., въ т. наз. Эмшерскихъ отстойникахъ. Указанное требованіе сводится, иными словами, къ переводу осадка изъ коллоидальнаго состоянія, при которомъ онъ содержитъ много воды, въ болѣе бѣдное водою состояніе гумуса [7]).

Измѣненія растворенныхъ въ водѣ веществъ, происходящія главнымъ образомъ во второмъ отдѣленіи гнилостныхъ резервуаровъ, соотвѣтствуютъ, въ общемъ, разложенію способныхъ къ гніенію веществъ, и процессы сходны съ вышеописанными [8]).

Какъ мы упоминали, на поверхности гнилостныхъ бассейновъ обыкновенно образуется корка изъ плавающихъ веществъ, часто достигающая

---

[6]) Rubner. «Archiv für Hygiene» 1903, Band 46.

В. Омелянскій. Der Kreislauf des Schwefels («Handbuch der Technischen Mykologie" 1904, Band 3, S. 214). „Die Zellulosegärung» («Centralblatt für Bakteriologie», Band. VIII).

[7]) Объ этомъ процессѣ см. Potonié Die Sapropelite. «Abh. d. Konigl. Preuss. Geolog. Lardesanstalt.» 1908, Heft 55, стр. 1—251.

См. также. Favre. «Gesundheits Jngenieur» 1907.

[8]) Отмѣтимъ изслѣдованія Weldert по обработкѣ сточныхъ водъ и грязи съ добавленіемъ нитратовъ («Mitteilungen. . . .», Heft 13, 1910).

значительной толщины; ее составляютъ, собственно, отбросы процесса обращенія грязи (ила) въ перегной. На этой коркѣ кишатъ *Mucor, Pilobolus, Penicillium, Asperqillus, Oidium, Caprinus, Stropharia* и др.; современемъ корка иногда прорастаетъ травою.

Послѣ всего вышесказаннаго, мы видимъ, что очистка воды можетъ вестись тремя способами: аэробною обработкою, анаэробною и соединеніемъ той и другой; послѣдній способъ, (напр., послѣдовательная обработка сточныхъ водъ въ септикѣ и на біологическомъ фильтрѣ) даетъ наилучшіе результаты.

Во всѣхъ указанныхъ случаяхъ стараются усилить развитіе біологическихъ процессовъ въ водѣ; но бываютъ случаи, когда требуется задержать ходъ этихъ процессовъ, а именно случаи, когда способная къ гніенію, но еще не разложившаяся до зловонія сточная жидкость направляется непосредственно въ рѣки (или вообще водоемы) съ большимъ расходомъ воды, гдѣ она исчезаетъ въ разбавляюшей ее массѣ воды и затѣмъ подвергается процессамъ самоочищенія водоема.

## 2. Сточныя воды фабрикъ и заводовъ.

Сточныя воды городовъ, сахарныхъ заводовъ и фабрикъ, перерабатывающихъ клѣтчатку, несмотря на различіе ихъ химическаго состава, вызываютъ при спускѣ въ рѣки (напр., въ Эльбу) одинаковыя біологическія измѣненія свойствъ рѣчной воды и создаютъ одинаковую біологическую картину, откуда можно сдѣлать заключеніе, что рѣка сглаживаетъ разницу химическаго состава этихъ трехъ видовъ сточныхъ водъ, и затѣмъ очищаетъ ихъ путемъ одинаковыхъ біологическихъ процессовъ. Всѣ эти три вида сточныхъ водъ вызываютъ, напр. въ Эльбѣ, появленіе на берегахъ *Sphaerotilus natans*, а въ другихъ мѣстностяхъ также *Leptomitus lacteus* (появляется еще въ дренажныхъ каналахъ полей орошенія). Въ сточныхъ водахъ целлулозныхъ фабрикъ часто находятъ кромѣ того *Fusorium* (*aqueductuum*), вслѣдствіе обычной кислой реакціи этихъ водъ. Болѣзнетворные организмы, понятно, могутъ попадать въ водоемъ нормально только изъ городскихъ стоковъ.

Городскія воды легко загниваютъ, воды же съ сахарныхъ заводовъ проявляютъ замѣтную склонность къ молочнокислому броженію, вслѣдствіе высокаго содержанія въ нихъ углеводовъ; гніеніе ихъ начинается только послѣ уменьшенія кислотности прибавленіемъ щелочей. Стоки целлулозныхъ фабрикъ не стремятся ни къ броженію, ни къ загниванію, такъ какъ они содержатъ хотя и питательныя органическія вещества, но по большей части съ трудомъ разлагающіяся; повидимому, въ тѣхъ случаяхъ, когда по какой-либо причинѣ сульфиты ихъ перейдутъ въ сульфаты (что, однако, бываетъ рѣдко), въ нихъ начинается развитіе сѣроводорода, при посредствѣ *Microspira desulfuricans*. Въ виду медленности разложенія сточныхъ водъ целлулозныхъ фабрикъ, вообще говоря, нежела-

тельно спускать ихъ прямо въ рѣку и подвергать только естественному самоочищенію рѣки, такъ какъ вода рѣки получаетъ замѣтный характеръ сточной воды и долго не въ состояніи освободиться отъ черной окраски и древеснаго запаха.

Слѣдуетъ опасаться подобнаго появленія стойкихъ соединеній сѣроводорода также при выпускѣ въ рѣку значительныхъ количествъ свободной сѣрной кислоты, если она не можетъ перейти въ гипсъ.

По способности разлагаться, съ городскими стоками сходны стоки пивоваренныхъ, солодовыхъ, крахмальныхъ и др. заводовъ [9]). Чрезмѣрный впускъ стоковъ, содержащихъ органическія примѣси, можетъ вызвать вымираніе рыбъ въ водоемѣ, вслѣдствіе сильнаго уменьшенія содержанія свободнаго кислорода.

Совсѣмъ иными свойствами обладаютъ сточныя воды, содержащія минеральныя вещества, напр., поваренную соль или нѣкоторыя соединенія калія, какъ воды соляныхъ или угольныхъ копей.

Поваренная соль, даже при высокомъ ея содержаніи, легко переносится морскими организмами и нѣкоторыми растеніями, а для иныхъ она даже необходима; многія бактеріи точно также не гибнутъ даже отъ содержанія соли въ водѣ около 8%.

Однако, преобладающее большинство растеній страдаетъ отъ поваренной соли уже при 500 мгр. въ литрѣ водѣ [10]). Травы, овощи и плодовыя растенія легко переносятъ 0,1% соли, если въ то же время они получаютъ удобреніе [11]). Повышеніе содержанія поваренной соли въ водѣ само по себѣ, а ровно и связанныя съ нимъ измѣненія осмотическаго состоянія клѣтокъ въ извѣстныхъ границахъ безвредны; такъ, напр. въ питательномъ растворѣ Knop'a содержаніе 0,2% соли дѣйствуетъ благопріятно. Въ питьевую воду для скота допускается примѣшивать не свыше 0,2% соли.

Содержаніе нѣкоторыхъ соединеній калія дѣйствуетъ, въ общемъ, хуже, чѣмъ растворы поваренной соли [12]).

Соединенія цинка при достаточномъ содержаніи его вызываетъ у многихъ растеній (особенно у овса и сахарной свекловицы) желтую окраску, вслѣдствіе измѣненій хлорофилла.

Свинецъ, повидимому, не ядовитъ для животныхъ и растительныхъ организмовъ, но замедляетъ ихъ ростъ.

---

[9]) По этому вопросу см. König. Die Verunreinigung der Gewässer. 1899. Рядъ статей разныхъ авторовъ въ журналѣ «Wasser und Abwasser».

[10]) Otto. «Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten», 1904, Bond 14. стр. 136 и 262.

[11]) См. указанную работу König (примѣч. 9).

[12]) Ohlmuller. „Arbeiten a. d. K. Gesundheits-Amt", 1900, Bd. 17; 1907, Bd. 25. Glotzbach. Uber die Schmeckbarkeit der gewöhnlichen Wasserverunreinigungen. Dissertation. Würzbourg. 1908.

### 3. Самоочищеніе водоемовъ, въ особенности рѣкъ.

Процессы самоочищенія водоемовъ считались лѣтъ 50 тому назадъ чисто физикохимическими; лѣтъ 30 тому назадъ ихъ стали считать также бактеріологическими, а лѣтъ 10—20—кромѣ того характерными ботанически-зоологическими. Для выясненія вопросовъ самоочищенія пришлось примѣнить всѣ отрасли естествознанія.

Подъ самоочищеніемъ естественныхъ водоемовъ понимаютъ ихъ способность въ короткое время перерабатывать разлагающіяся вещества такимъ образомъ, что первоначальная чистота водоема вновь возстановляется. Такъ какъ мы разсматриваемъ здѣсь главнымъ образомъ біологію этого процесса, то можемъ сказать короче: біологическое самоочищеніе состоитъ въ уничтоженіи условій, благопріятствующихъ развитію полисапробныхъ организмовъ. Понятіе о полисапробности не всегда совпадаетъ съ понятіемъ о загниваемости, напримѣръ, сложныя органическія красящія вещества не гніютъ въ водѣ, но могутъ быть разрушаемы полисапробными организмами.

Наряду съ загрязненіемъ водоемовъ стоками городовъ, селъ, фабрикъ и т. д., имѣетъ мѣсто и самозагрязненіе водоемовъ, вызываемое естественнымъ гніеніемъ грязи, разложеніемъ водяныхъ растеній, смытыми въ воду улитками, опавшими листьями и т. д. По біологической картинѣ, искусственное загрязненіе сходно съ усиленнымъ естественнымъ, чѣмъ сказано, что какихъ либо новыхъ формъ въ загрязненныхъ стоками водоемахъ не появляется. Видовыя названія, какъ *putrinus, saprophiles, cloacae, faecalis, ureae, infusionum*, обозначаютъ организмы, которые встрѣчаются и въ естественныхъ условіяхъ водоемовъ, не затронутыхъ культурою и человѣкомъ; но въ сточныхъ водахъ они встрѣчаются въ значительно большемъ числѣ.

Разсматривая постепенное исчезновеніе (переработку) въ водѣ способныхъ разлагаться веществъ, можно различать во всякомъ водоемѣ три части (зоны):

a) зона сточныхъ водъ, населенная *полисаробными организмами;*
b) переходная зона, съ *мезосапробными организмами;*
c) зона чистой воды, съ *олигосапробными* организмами.

#### *a) Зона сточныхъ водъ, или зона полисапробовъ.*

Эта зона, въ біологическомъ отношеніи, отмѣчается прежде всего обиліемъ *Schizomycetes*, бактерій, *Flagellata* (по большей части уничтожающихъ бактерій) и *Ciliata*. Число зародышей ихъ, способныхъ развиваться на обыкновенной питательной желатинѣ, часто превосходитъ милліонъ въ 1 куб. см. воды. При высокомъ содержаніи въ водѣ полисапробовъ, число *B. coli* не всегда бываетъ высоко: напр., въ сточныхъ водахъ сахарныхъ заводовъ и целлулозныхъ фабрикъ и т. п.; содержаніе

*B. coli* велико только въ городскихъ сточныхъ водахъ. Въ полисапробной зонѣ рѣкъ, ручьевъ и т. д. наиболѣе распространенъ видъ Schizomycetes *Sphaerotilus natans* (см. фиг. 131, рис. 5 и фиг. 146, рис. 6), образующій слизистую, бѣловатую, мохнатую опушку на берегу. Сѣробактеріи находятся въ этой зонѣ главнымъ образомъ изъ за присутствія сѣроводорода. Этотъ послѣдній по большей части скоро разрушается въ водѣ, такъ что важнѣйшею біологическою характеристикою полисапробной зоны остается образовавшаяся бахрома.

Въ химическомъ отношеніи эта зона отличается преобладаніемъ процессовъ редукціи и расщепленія, недостаткомъ или ничтожнымъ содержаніемъ кислорода, обиліемъ углекислоты и сравнительно высокимъ содержаніемъ сложныхъ питательныхъ веществъ (пептоидовъ и аминовыхъ кислотъ), содержащихъ азотъ и способныхъ къ разложенію; характернымъ признакомъ служитъ развитіе извѣстныхъ организмовъ (см. фиг. 146), которыхъ можно назвать живыми реагентами.

Грязевой осадокъ этой зоны весьма богатъ сѣрнистымъ желѣзомъ; такъ какъ онъ способенъ загнивать, то можетъ вредно повліять на стоящую подъ нимъ воду, и постоянною отдачею продуктовъ гніенія можетъ поддерживать процессъ самоочищенія въ состояніи динамическаго равновѣсія. По окончаніи гніенія въ грязевомъ осадкѣ, сѣрнистое желѣзо переходитъ обыкновенно въ гидратъ окиси желѣза, но лишь медленно, такъ какъ для этого требуется много кислорода, а онъ рѣдко бываетъ въ изобиліи на днѣ водоема.

Чтобы зона стала полисапробною, важно какъ качество, такъ и количество питательныхъ веществъ въ водѣ, такъ какъ эти вещества должны быть подходящими для питанія полисапробныхъ организмовъ и должны находиться въ достаточномъ количествѣ для ихъ размноженія.

При спускѣ небольшого количества сточныхъ водъ въ водоемъ съ совершенно чистою водою, процессъ самоочищенія можетъ начаться съ мезосапробами.

Въ полисапробной зонѣ слѣдуетъ различать воды, способныя загнивать (сточныя воды), отъ водъ, содержащихъ способныя къ гніенію вещества, но въ такомъ ничтожномъ количествѣ, что само по себѣ загниваніе не можетъ начаться (рѣчныя воды). Въ первыхъ водахъ, если онѣ предоставлены самимъ себѣ, происходитъ сначала интенсивное гніеніе, а затѣмъ медленная минерализація; въ послѣднихъ, напротивъ, не будетъ никакого гніенія, но сразу начнется быстрая минерализація, благодаря присутствію въ природѣ разнообразныхъ организмовъ.

Процессъ перегниванія, происходящій въ разжиженной сточной водѣ при самоочищеніи, никогда нельзя сравнить по интенсивности очистки съ такимъ же процессомъ при искусственной біологической очисткѣ сточныхъ водъ; въ послѣднемъ случаѣ загниваніе неразбавленной сточной воды можетъ произойти въ 10 минутъ. Если въ рѣкѣ со скоростью теченія въ 1 метръ въ секунду развитіе грибовъ сточныхъ водъ

(полисапробныхъ) на берегахъ прекращается на 2 километра ниже мѣста спуска стоковъ, слѣдовательно, пребыванія сточныхъ водъ въ рѣкѣ въ теченіе 33 минутъ достаточно, чтобы сдѣлать невозможнымъ развитіе полисапробныхъ грибовъ, безъ участія въ процессѣ очищенія видимыхъ или незамѣтныхъ притоковъ. Хотя здѣсь проявляется также значительная самоочищающая способность рѣкъ, однако, съ другой стороны, слѣдуетъ отмѣтить ошибочность мнѣнія, будто безъ самоочищенія рѣки превратились бы въ клоаки. Подъ понятіе „клоачныхъ" подходятъ воды, въ которыхъ, прежде всего, происходитъ гніеніе и имѣется сильная муть; но такими будутъ только сточныя воды съ такимъ слабымъ разжиженіемъ, какое рѣдко имѣетъ мѣсто въ рѣкахъ съ сильнымъ теченіемъ, какъ, напр., Рейнъ. Большая скорость теченія способствуетъ еще тому, что осадки изъ сточной воды не отлагаются, а переносятся впередъ. Поэтому физическій факторъ—теченіе рѣки весьма важенъ для ея самоочищенія. Въ августѣ 1904 г., при наинизшемъ стояніи воды, вода въ Эльбѣ немного ниже мѣста спуска стоковъ г. Дрездена, при слабой мутности, ни въ одномъ мѣстѣ не загнивала, и только въ одной бухтѣ, гдѣ вода застаивалась, появилась разлагающаяся органическая пленка изъ Oscillatoria, Beggiatoa и т. под. [13]). Послѣднее обстоятельство указываетъ на неблагопріятное вліяніе застаиванія на воду, содержащую примѣси, такъ какъ создаются совершенно иныя условія, чѣмъ въ водѣ текучей.

Въ то время какъ измѣненія въ стоячихъ бухтахъ рѣкъ носятъ лишь мѣстный характеръ, стоячія озера или даже озера съ притекающими или истекающими рѣками могутъ настолько измѣнить общія свойства воды, особенно вслѣдствіе истощенія кислорода въ водѣ, что рыбы въ нихъ вымираютъ. Опасность эта особенно сильна зимою, когда вода покрыта льдомъ (мѣшающимъ доступу кислорода). Кромѣ того, при случайныхъ добавочныхъ загрязненіяхъ гнилостными хлопьями грибовъ или скопленіями алыгъ и т. д. могутъ произойти неудобства другого рода, напр., образованіе грязевыхъ отмелей, появленіе зловонія, особенно у мельницъ, и засореніе рыболовныхъ сѣтей. Этого рода неудобства обыкновенно устраняются половодьемъ на болѣе или менѣе продолжительный срокъ.

Водовороты, вызываемые гребными винтами судовъ, могутъ подымать грязевые осадки изъ бухтъ и постепенно передвигать ихъ по рѣкѣ.

Половодье можетъ иногда дѣйствовать вредно, а именно если на днѣ отложились ядовитыя вещества, то при высокихъ водахъ они могутъ быть нанесены на прибрежныя обрабатываемыя поля, которымъ могутъ повредить, разлагаясь на нихъ.

Непродолжительные застои воды, которые испытываютъ стоки Гамбурга въ Эльбѣ вслѣдствіе приливовъ и отливовъ, не только не вредны,

---

[13]) Kolkwitz und Ehrlich. „Mitteilungen. . . .», 1907, Heft 9.

но, напротивъ, ускоряютъ процессъ самоочищенія, усиливая перемѣшиваніе сточныхъ водъ съ рѣчными. Этотъ факторъ—хорошее перемѣшиваніе—вообще, весьма важенъ; но онъ не вездѣ приводитъ къ желательному результату. Иногда (напр., въ средней части Эльбы) боковые притоки, какъ естественные, такъ и изъ сточныхъ каналовъ, часто текутъ долгое время вдоль берега, не смѣшиваясь съ водами рѣки. Рѣка Saale, богатая хлористымъ натріемъ, отъ своего впаденія въ Эльбу (у Barby) и до Магдебурга образуетъ въ Эльбѣ самостоятельное теченіе, не перемѣшиваясь съ остальною массою водъ Эльбы. При спускѣ сточныхъ водъ обыкновенно доводятъ сточныя трубы, по возможности, до фарватера рѣки, особенно тамъ, гдѣ рѣка катится съ силою и поэтому примѣси распредѣляются на разныхъ глубинахъ. Выпускъ сточныхъ водъ близъ дна водоема нерѣдко позволяетъ также устранить распространеніе дурного запаха.

Перейдемъ ко второй ступени процесса біологическаго самоочищенія.

### *b) Переходная зона, или мезосапробная.*

Здѣсь процессъ очистки подвинулся до средины. Въ этой зонѣ слѣдуетъ различать два отдѣла: первый отдѣлъ, $\alpha$—мезосапробная зона, заканчиваетъ область сточныхъ водъ, а второй, $\beta$—мезосапробная зона, начинаетъ область чистыхъ водъ. Первый отдѣлъ обыкновенно характеризуется развитіемъ *Schizophycea, Eumicetes*, далѣе, *Anthophysa vegetans, Stentor coeruleus, Carchesium lachmanni* и др. Содержаніе зародышей бактерій еще значительно; оно выражается сотнями тысячъ. Хорошимъ примѣромъ $\alpha$—мезосапробной зоны служатъ дренажныя канавы съ невполнѣ очищенною водою. Второй отдѣлъ ($\beta$) отличается многочисленностью *Diatomacea* и нѣкоторыхъ видовъ *Chlorophycea*, далѣе развитіемъ *Rhizopoda*, нѣкоторыхъ *Ciliata*, различныхъ *Rotatoria* и др. Число бактерій на питательной желатинѣ нормально бываетъ менѣе ста тысячъ въ 1 куб. см. Какъ примѣръ этого отдѣла, можно указать дренажныя канавы съ хорошо очищенною водою.

Организмы, населяющіе мезосапробную зону, обыкновенно весьма многочисленны и разнообразны; число характерныхъ для нея животныхъ и растительныхъ организмовъ доходитъ до 400, и въ томъ числѣ гораздо больше высшихъ организмовъ, чѣмъ въ зонѣ сточныхъ водъ. Многія рыбы могутъ водиться въ мезосапробной зонѣ, если только есть достаточное питаніе. Всѣ организмы, населяющіе эту зону, переносятъ слабое вліяніе стоковъ и нѣкоторыхъ продуктовъ разложенія, а многіе даже предпочитаютъ такія условія.

Въ химическомъ отношеніи, для разсматриваемой зоны характерны прежде всего процессы окисленія какъ въ водѣ, такъ, по большей части, и въ грязевомъ осадкѣ. Содержаніе свободнаго кислорода въ водѣ значительно; оно можетъ, особенно въ $\alpha$—зонѣ, сильно понижаться въ темныя

ночи, но въ солнечные дни нерѣдко приближается къ состоянію насыщенія.

Питательныя вещества, важныя для большинства характерныхъ для зоны организмовъ, должны находиться между аспарагиномъ и мочевиною и принадлежатъ къ числу амміачныхъ солей органическихъ кислотъ. Аспарагинъ, по наблюденіямъ Kolkwitz'a [14]), можетъ вырабатываться еще *Leptomitus lacteus*, принадлежащимъ къ этой зонѣ, а органическія кислоты—нѣкоторыми видами *Chlamydomonas, Scenedesmus acutus, Sticho coccus* и др. [15]). Со стороны физіологіи питанія существуетъ нѣкоторое сходство (въ извѣстныхъ пунктахъ поразительно большое) между альгами и грибами (включая отчасти и бактерій), изъ котораго Петтенкоферъ, основываясь на наблюденіяхъ имѣвшихся въ его время въ меньшемъ числѣ, чѣмъ теперь, хотѣлъ вывести теорію самоочищенія, какъ результата процесса питанія [16]).

Kolkwitz пришелъ къ выводу, что извѣстный составъ планктона сопровождается опредѣленными бактеріями, которыя развиваются вмѣстѣ съ нимъ при одинаковомъ органическомъ питаніи. Поэтому слѣдуетъ опредѣлять содержаніе въ водѣ какъ бактерій, такъ и альгъ, входящихъ въ составъ планктона, и притомъ устанавливать также число водорослей, питающихся бактеріями (такъ какъ эти водоросли важны въ гигіеническомъ отношеніи). Для изученія этого вопроса Kolkwitz изслѣдовалъ самые разнообразные водоемы (пользуясь планктонною камерою, емкостью 1 куб. см.; см. фиг. 138) и установилъ, что въ куб. см. воды рѣкъ, озеръ и т. д. часто содержится большее число клѣточекъ водорослей, чѣмъ зародышей бактерій. Приведемъ слѣдующія цифры.

**Количество клѣточекъ планктонныхъ альгъ въ 1 куб. см. воды.**

Прудъ (лужа) у *Weissensee* близъ Берлина (во время изслѣдованія α—мезосапробная вода) около 1000000 (*Chlorella*).

*Lietzensee* близъ Берлина (β—мезосапробная) 400000 (*Oscillatoria, Agardhii*).

Озеро *Hundekehlensee* близъ Берлина (апрѣль) 7000 (*Eudorina* и *Stephanodiscus*).

*Wannsee* близъ Берлина (декабрь) 70 (*Melosira granulata* и др.).

Небольшой прудъ въ *Riesenbierge* (августъ) 6 (*Desmidiaceae*).

Каналъ *Felton* близъ Берлина (іюнь) 154000 (*Melosira granulata*).

Р. *Spree* у Борлина (февраль) 200 (*Asterionella* и *Diatoma*).

Р. Эльба у *Schmilka* (августъ) 14500 (зеленыя альги).

Р. Эльба у *Pirna* (октябрь) 200 (разнаго рода).

---

[14]) Kolkwitz Landwittschoft Johrbuch. 1909. Band. 5. Стр. 449.

[15]) Loew. „Archiv für Hygiene», 1891, Bd 12.
Bokorny. «Archiv für Hygiene», 1894, Bd. 20.

[16]) Pettenkofer. «Archiv für Hygiene» 1891, Bd. 12.

Р. Рейнъ у *Assmannshausen* (декабрь) 100 (*Oscillatoria rubescens* и др.).
*Neisse* у *Forst* (*Lausitz*) 40 (разнаго рода, всего больше зеленыхъ алгъ).
Эдеръ у *Herzhauen* (Hessen-Nassau) 10 (тоже).

Кромѣ того, почти повсюду въ каждомъ куб. см. попадались виды, уничтожающіе бактерій, хотя бы въ одномъ экземплярѣ [17]).

Изъ приведеннаго перечня слѣдуетъ, что содержаніе планктона въ водѣ горныхъ рѣкъ и небольшихъ, обладающихъ теченіемъ, горныхъ озеръ ничтожно по сравненію съ сравнительно спокойными водами равнинъ; оно бываетъ незначительно даже при высокомъ уровнѣ воды, который обыкновенно повышаетъ содержаніе планктона. Такъ, въ Рейнѣ, съ его возвышенными верховьями и разнообразными притоками, содержаніе живого планктона гораздо меньше, чѣмъ въ Эльбѣ, притоки которой весьма однообразны.

Зимою содержаніе планктона бываетъ, вообще говоря, ниже, чѣмъ въ теплое время года, такъ какъ холода задерживаютъ развитіе многихъ растеній.

Слѣдуетъ опредѣлять еще общее содержаніе въ водѣ всякаго рода планктона, который состоитъ изъ организмовъ, песка, отбросовъ и продуктовъ разложенія и т. д., такъ какъ его масса сама по себѣ можетъ дать важныя указанія на содержимое стоковъ, (напр., тамъ, гдѣ въ водоемъ попадаетъ со стоками много волоконъ разнаго орда. Въ такихъ случаяхъ особенно рекомендуется опредѣлять содержаніе планктона въ 1 куб. см. воды. Приведемъ нѣкоторыя цифры (полученныя расчетомъ изъ изслѣдованія 50 литровъ воды.) [18]).

**Содержаніе планктона въ рѣчной водѣ, на 1 куб. метръ.**

| | До центрифугированія. | Послѣ центрифугированія. |
|---|---|---|
| Havel близъ Берлина (іюль) | 18 куб. см. | 14 куб. см. |
| Neisse выше Forst (іюнь) | 80 куб. см. | 34 куб. см. |
| Эльба у Магдебурга (іюнь) | 16 куб. см. | 9 куб. см. |

**Содержаніе планктона въ р. Эльбѣ**
(на 1 куб. м., послѣ центрифугированія; въ ноябрѣ 1905 г.).

| | | |
|---|---|---|
| У Штандау | 16 куб. см., | изъ нихъ около 3 куб. см. Sphaerotitus. |
| У Дрездена (ниже его) | 28 „ „ „ „ „ | 7 „ „ „ |
| У Виттенберга | 10 куб. см. | |
| У Магдебурга | 10 „ „ | |
| У Гамбурга (выше города) | 4 „ „ | |

[17]) О значеніи планктона для самоочищенія водоемовъ см. Kolkwitz, Mitteilungen..., Heft 14 (1911).

[18]) Описанія методовъ взятія и изслѣдованія пробъ, а равно и библіографическія указанія, см. ниже.

Планктонъ въ рѣкѣ Havel состоитъ преимущественно изъ организмовъ, въ Neisse—преобладаютъ безжизненныя частицы, въ Эльбѣ смѣшаные организмы, отбросы и т. д. Содержаніе планктона въ Эльбѣ было не очень значительно по объему, чему приходится удивляться, такъ какъ благодаря сильному теченію рѣка взмучиваетъ и несетъ взвѣшенными даже часть частицъ, ранѣе отложившихся на дно и образовавшихъ осадки. Вѣроятно, въ Эльбѣ происходитъ энергичное разложеніе органическихъ веществъ и отбросовъ, которые иначе должны были бы находиться въ ней въ большомъ количествѣ, такъ какъ города Прага, Карлсбадъ, Дрезденъ, Торгау, Виттенбергъ, Биттерфельдъ, Дессау, Эрфуртъ, Іена, Вейсенфельзъ, Мерзенбургъ, Галле, Лейпцигъ, Гальберштадтъ и др. спускаютъ въ Эльбу выше Магдебурга свои сточныя воды, большею частью лишь послѣ грубаго освѣтленія.

Значеніе планктона въ процессѣ самоочищенія усиливается благодаря содержанію хлорофилла во многихъ растеніяхъ, входящихъ въ составъ планктона, и выработкѣ имъ кислорода въ присутствіи свѣта. Если, напр., помѣстить планктонъ, состоящій изъ *Diatoma*, *Melosira* или другихъ растеній, въ стаканъ съ водою, слоемъ толщиною въ 2—3 мм. надъ дномъ стакана, то при свѣтѣ черезъ нѣсколько секундъ начнется выдѣленіе изъ планктона пузырьковъ кислорода, которые будутъ подниматься въ водѣ [19]).

При очисткѣ на орошаемыхъ біологическихъ фильтрахъ, подобнаго полезнаго дѣйствія планктона не имѣется, такъ какъ фильтры эти не имѣютъ планктона въ собственномъ смыслѣ слова; въ этомъ случаѣ кислородъ для окисленія проникаетъ изъ атмосфернаго воздуха черезъ грубыя поры матеріала фильтровъ (шлака и т. п.).

Бактеріи и живой планктонъ, благодаря физіологіи питанія ихъ, чрезвычайно чутко реагируютъ на специфическія (для каждаго вида этихъ микроорганизмовъ) химическія вещества, и потому могутъ быть весьма хорошо использованы для изслѣдованія воды. Въ то время, какъ химическій анализъ воды съ трудомъ обнаруживаетъ присутствіе сотыхъ долей миллиграмма многихъ веществъ въ литрѣ воды, бактеріологическій и планктологическій способъ изслѣдованія можетъ дать достаточныя указанія, отчасти выраженныя числами, даже при гораздо меньшемъ содержаніи этихъ веществъ, потому что при такихъ изслѣдованіяхъ содержаніе одного миллиграмма какого-либо химическаго вещества къ водѣ ведетъ къ развитію многихъ тысячъ или даже милліардовъ микроорганизмовъ, каждый изъ которыхъ можетъ быть обнаруженъ и сосчитанъ.

---

[19]) Объ иныхъ, не біологическихъ, причинахъ пересыщенія воды кислородомъ—см. статьи.

Dost. въ „Mitteilungen a. d. K. Prüfungsanstalt für Wasserversorgung», Heft 7, и Grosse-Bohle, тамъ же, Heft 14.

Наконецъ, наше чувство обонянія также обыкновенно тонко реагируетъ на запахи, и можетъ оказать намъ помощь при изслѣдованіи водоемовъ.

Въ рѣкахъ запахъ особенно отчетливо чувствуется у плотинъ, гдѣ вода часто разбрызгивается мелкими струйками и выдѣляетъ при этомъ пахучія вещества. Вода, примѣси въ которой только отчасти минерализованы, напр., въ мезосапробной зонѣ, обычно имѣетъ тухло-землистый запахъ; если въ ней много планктона, то можетъ возникнуть запахъ рыбы, свойственный многимъ планктоннымъ организмамъ. Вода съ сильно-тухлымъ запахомъ окрашена по большей части въ желтоватый или черноватый цвѣтъ, если только къ ней не примѣшаны искусственныя красящія вещества. Такая вода склонна къ образованію остающейся пѣны; однако, въ каждомъ случаѣ необходимо выяснить причину возникновенія пѣны, потому что нѣкоторыя чистыя воды также пѣнятся, напр., воды Nordsee у Norderney и вода Plauesche See, озера, образуемаго уширеніемъ рѣки Havel у Бранденбурга; въ обоихъ этихъ случаяхъ пѣна вызывается слизистыми примѣсями въ водѣ.

Изслѣдованіе организмовъ близъ плотинъ обыкновенно также даетъ цѣнныя указанія для изученія рѣки, такъ какъ многія скрытыя свойства воды проявляются у плотинъ.

### *c) Зона чистой воды, или олигосапробная.*

Зона чистой воды интересна, съ гигіенической стороны, уже не для вопросовъ удаленія сточныхъ водъ, а для вопросовъ водоснабженія (водою изъ открытыхъ водоемовъ). Основною характеристикою ея служитъ полная законченность процессовъ минерализаціи; здѣсь не имѣетъ больше мѣста ни одинъ изъ болѣе или менѣе энергичныхъ процессовъ самоочищенія, по крайней мѣрѣ въ свободномъ живомъ сѣченіи воды (т. е. не у береговъ или дна). Біологическая жизнь весьма богата. Характерно для зоны появленіе нѣкоторыхъ видовъ *Peridianales*, особенно *Charales*, затѣмъ принадлежащихъ къ планктону видовъ *Ciliata*, *Rotatoria* и *Crustacea* [20])

Число бактерій, развивающихся на обыкновенной питательной желатинѣ, нормально меньше 1000 въ 1 куб. см., если не попадутъ занесенные виды.

Далѣе, характерна бѣдность планктонными Schizomycetes, и, понятно, отсутствіе полисапробовъ. Чистыя озера, въ водѣ которыхъ не происходитъ вовсе процесса минерализаціи, причисляются также къ разсматриваемой зонѣ.

Въ химическомъ отношеніи слѣдуетъ отмѣтить, что содержаніе органическаго азота обычно не превосходитъ 1—2 мгр. въ литрѣ; содержаніе

[20]) Kolkwitz und Marsson. «Internat. Revue d. gesamt. Hydrobiologie und Hydrographie», 1909, Bd. 2.

органическихъ веществъ, измѣренное расходомъ марганцевокислаго калія, также ничтожно, и повышается только въ болотистыхъ водахъ. Колебанія содержанія растворенаго кислорода невелики.

Среди химическихъ процессовъ въ этой зонѣ уже не преобладаютъ быстро совершающіяся измѣненія органическихъ веществъ; на общую картину органической жизни зоны могутъ оказать вліяніе минеральныя вещества, напр., тѣ, которыя обусловливаютъ степень жесткости воды. Соли желѣза и марганца могутъ въ значительномъ количествѣ перерабатываться (фиксироваться) желѣзобактеріями (*Chlamydothrix, Clonothrix* и *Siderocapsa*).

Воды какъ этой, такъ и вышеописанныхъ зонъ имѣютъ щелочную реакцію, если только нѣтъ высокаго содержанія углекислоты или гумусовыхъ (гуминовой или ульминовой) кислотъ.

Азотосодержащія органическія питательныя вещества, какъ уже указывалось, встрѣчаются лишь въ видѣ слѣдовъ, или даже вовсе отсутствуютъ; напротивъ, преобладаютъ по большей части неорганическія амміачныя соли, а иногда также разныя степени ихъ окисленія.

Прозрачность воды, измѣряемая глубиною, на которой видна бѣлая доска, по большей части значительна, исключая, пожалуй, времени цвѣтенія воды, когда, впрочемъ, вода переходитъ въ β—мезосапробное состояніе. Илъ чистыхъ водъ можетъ носить характеръ β—и иногда даже α—мезосапробный.

Береговой покровъ изъ низшихъ организмовъ, тамъ, гдѣ они развиты, представляетъ собою грязе-землистую органическую пленку, а не грязевую, какъ въ обѣихъ остальныхъ зонахъ. Осѣдающія частицы псевдопланктона (мертваго планктона) легко присоединяются къ органической пленкѣ („агглютинируются“).

Организмы олигосапробной зоны обыкновенно безвредны въ гигіеническомъ отношеніи (если, конечно, не говорить о случайно занесенныхъ въ нее организмовъ, не свойственныхъ ей).

---

Сопоставляя еще разъ факторы, дѣйствующіе въ процессѣ самоочищенія, получимъ нижеслѣдующій перечень:

1) Расщепленіе и редукція органическихъ веществъ бактеріями.

2) Окисленіе посредствомъ дыханія и сходныхъ съ нимъ процессовъ.

3) Извлеченіе (всасываніе) растворенныхъ органическихъ питательныхъ веществъ грибами и альгами для своего развитія (превращеніе въ живую матерію).

4) Пожираніе органическихъ отбросовъ животными (превращеніе въ живую матерію пожирателями падали и отбросовъ,—особенно, насѣкомыми).

Организмы, участвующіе въ этихъ четырехъ процессахъ, принадлежатъ къ числу возбудителей гніенія. Они производятъ минерализацію, т. е. выработку безжизненной матеріи.

5) Истребленіе бактерій (въ томъ числѣ и планктонныхъ) и ихъ скопленій и алыгъ „пожирателями бактерій“ („Bacterienfresser“) и др. путями.

6) Истребленіе мелкихъ рачковъ и т. под. рыбами.

Оба эти процесса (5 и 6) регулируютъ круговоротъ живой матеріи. Если для питанія рыбъ требуются милліоны мелкихъ рачковъ, для питанія этихъ послѣднихъ идутъ милліарды микроскопическихъ организмовъ.

7) Выработка кислорода организмами, содержащими хлорофиллъ, при потребленіи ими углекислоты.

8) Аэрація разлагающихся осадковъ организмами, роющимися въ грязи.

Эти процессы (7 и 8) регулируютъ, а именно ускоряютъ, процессы самоочищенія.

Идеальною очисткою воды является обращеніе въ газы находящихся въ ней веществъ, которое дѣйствительно отчасти имѣетъ мѣсто. Слѣдующіе продукты могутъ разсѣиваться въ воздухѣ: $CO_2$, $NH_3$, $H_2S$, N, H, $CH_4$.

Для самоочищенія безусловно необходима совокупность различныхъ процессовъ, разъ только требуется быстрота самоочищенія. Другой вопросъ, возможенъ ли вообще теоретически успѣшный ходъ самоочищенія при посредствѣ однихъ какихъ либо видовъ организмовъ. Основываясь на изслѣдованіяхъ процесса гніенія и очищенія на искусственныхъ біологическихъ фильтрахъ, можно сказать, что, напр. *Schizomycetes* безусловно могутъ одни очистить (минерализовать) мутныя городскія сточныя воды, хотя относительно медленно. По мнѣнію Kolkwitz. альги могутъ произвести такое же дѣйствіе на предварительно освѣтленную воду, приблизительно въ такомъ порядкѣ: *Phormidium autumnale, Oscillatoria limosa, Nitzschia palea, Navicula cryptocephala, Stephanodiscus Hantzchianus, Stigeoclonium tenue, Scenedesmus bijugatus, Rhaphidium polymorphum* и т. д. При этомъ есть основанія предполагать, что каждый предъидущій организмъ оставляетъ тѣ питательныя вещества, которыя особенно пригодны для послѣдующаго. Относительно животныхъ организмовъ еще не изслѣдовано, могутъ ли они одни провести весь процессъ самоочищенія, въ особенности же его начальныя стадіи, хотя бы, напр., при помощи *Bodo putrinus, Colpidium colpoda, Antophysa vegetans* и др.; однако, повидимому, даже низшіе виды животныхъ организмовъ болѣе склонны къ твердой пищѣ, особенно къ бактеріямъ [21]).

---

[21]) Относительно процесса самоочищенія см.:

Kolkwitz und Marsson, «Mitteilung. . .“, Heft 2; Marsson, тамъ же, Heft 14.

Ohlmüller und Spitta Die Untersuchung und Beurteilung des Wassers und Abwassers. 1910.

Spitta. «Archiv für Hygiene» 1900, Bd. 38.

Rubner «Archiv für Hygiene», 1903, Bd. 46.

## 4. Ручьи и канавы.

Типы ручьевъ (потоковъ) и канавъ весьма разнообразны; бываютъ ручьи горные, лѣсные, ключевые; канавы луговыя, дренажныя, сточныя и т. д. Здѣсь встрѣчаются воды всѣхъ степеней чистоты отъ чистой ключевой и до гнилостныхъ сточныхъ, весьма различныя по ихъ біологіи. Многочисленные изслѣдователи [22]) согласовали выводы химическихъ, бактеріологическихъ, ботаническихъ и зоологическихъ изслѣдованій ручьевъ и канавъ, имѣвшихъ цѣлью выяснить свойства воды въ нихъ; количественные химическіе и бактеріологическіе анализы были приведены, по возможности, въ согласованіе съ біологическими. Выводы изъ этихъ работъ сводились къ тому, что желательно дальнѣйшими изслѣдованіями подтвердить ту связь между химіей и біологіей, которая установлена предъидущими работами, и что нужно еще много изслѣдованій, чтобы дать основанія для научной разработки біологіи открытыхъ водоемовъ.

Начало такой разработки основныхъ вопросовъ положено новѣйшими работами Kolkwitz'a, который путемъ качественнаго (а поскольку возможно—и количественнаго) микроскопическаго анализа воды изъ водоемовъ далъ классификацію главнѣйшихъ организмовъ, наиболѣе характерныхъ для той или иной зоны воды.

Возвращаясь къ біологіи, прежде всего, чистыхъ горныхъ ручьевъ, укажемъ, что они бѣдны животнымъ планктономъ, а равно и осадками на берегахъ и на днѣ, особенно въ случаѣ, если русло ихъ состоитъ изъ гладкаго камня. Если же въ руслѣ имѣются ступенчатыя углубленія, какія часто бываютъ, напр., въ слоистыхъ (пластинчатыхъ) скалистыхъ породахъ, то въ этихъ углубленіяхъ, какъ и въ трещинахъ, накопляется перегной (гумусъ), на которомъ легко могутъ развиться водяные мхи (*Scapania undulata, Rhyncostegium rusciforme* и др.). На мху развивается много водяныхъ организмовъ, особенно личинки насѣкомыхъ (*Chironomus*), коловратки и др. Въ гигіеническомъ отношеніи слѣдуетъ отмѣтить, что уничтоженіе попавшихъ бактерій тифа и другихъ патогенныхъ организмовъ въ горныхъ ручьяхъ воздѣйствіемъ біологическимъ факторомъ не можетъ быть значительнымъ. Но, съ другой стороны, попавшія въ ручьи бактеріи только сохраняются и переносятся теченіемъ, но не размножаются, какъ то бываетъ въ стоячихъ водахъ. Поэтому гораздо безопаснѣе, напр., поить скотъ водою изъ водоемовъ съ проточною водою, чѣмъ со стоячею.

Плодотворное вліяніе воды ручьевъ и „родниковыхъ" канавъ (если эта вода бѣдна желѣзомъ) на луга, орошаемые ею, зависитъ, несомнѣн-

---

[22]) См. работу: Lindau, Schiemenz, Marsson, Thiesing и другихъ въ «Vierteljahr für Medizin. und öff. Sanit», XXI, Suppl.-Heft.

но, какъ отъ растворенныхъ химическихъ веществъ, такъ и отъ тѣхъ самыхъ питательныхъ веществъ, которыя вызываютъ развитіе живого и безжизненнаго планктоновъ; при орошеніи планктонъ остается на поверхности луговъ въ видѣ тонкаго удобряющаго слоя. Хорошимъ примѣромъ подобнаго орошенія служитъ Нилъ съ взвѣшенными въ его водѣ веществами.

Дренажныя канавы и поля орошенія обычно содержатъ такъ много питательныхъ веществъ, что въ нихъ въ изобиліи развивается растительность (напр., *Potamogeton crispus* и *pectinatus*), мѣшающая даже теченію воды. По бокамъ въ теплое время года могутъ разрастаться волокна *Cladophora crispata;* зимою они смѣняются космами *Leptomitus lacteus* или *Spherotilus natans*. При смѣнѣ произрастанія алыъ грибами, или обратно, обыкновенно появляются *Diatomacea*.

Въ канавѣ со стоячею водою также могутъ развиваться въ изобиліи растенія и животныя. Въ луговыхъ канавахъ, съ желѣзистою водою нерѣдко появляются желѣзобактеріи, какъ *Chlamydothrix ochracea;* въ сточныхъ канавахъ часто водятся массами бѣлыя и красныя сѣробактеріи (*Beggiatoa alba, Chromatium Okenii*) [23]).

## 5. Пруды.

Пруды можно раздѣлять на такіе же типы, какъ ручьи и канавы, а именно: на пруды съ ключевою водою, лѣсные и луговые пруды (лужи), пруды съ водою изъ дренажей, изъ стоковъ и т. д. Всѣ эти разновидности прудовъ весьма характерно различаются по своему животному и растительному населенію. Многіе пруды весьма пригодны для очистки сточныхъ водъ (уже подвергшихся достаточной предварительной очисткѣ), одновременно съ разведеніемъ въ нихъ рыбы.

Въ прудахъ съ ключевою водою часто полощутъ бѣлье; въ такихъ случаяхъ вода изъ нихъ, хотя бы и прозрачная, гигіенически подозрительна. При охранѣ отъ подобнаго загрязненія, эти пруды могутъ служить хорошимъ источникомъ водоснабженія.

Въ лѣсныхъ и луговыхъ прудахъ развивается много комаровъ (*Culex, Anopheles*), если только въ нихъ не водится рыбъ или такихъ насѣкомыхъ, которыя уничтожаютъ личинки комаровъ [24]). Опыты (*Mühlens'* а [25])) борьбы съ малярійными комарами въ Wilhelmshafen путемъ разводки въ прудахъ и болотистыхъ лужахъ соотвѣтственныхъ микроорганизмовъ (напр., *Azolla caroliniana*, образующаго плавающую корку) не привели до сихъ поръ ни къ какимъ результатамъ (вслѣдствіе короткаго и недостаточнаго по температурѣ теплаго времени года).

---

[23]) См. Kolkwitz, Pritzkow и Chiemenz. „Mitteilung....", Heft 10 (1908).

[24]) Hecker. Die Schnoken. Strassburg, 1910.

[25]) Mühlens. «Klinisches Jahrbuch», 1909, Band 22.

Примѣсь сточныхъ водъ можетъ иногда усилить развитіе мошекъ; но, вообще говоря, такія воды чаще способствуютъ усиленному развитію растительныхъ организмовъ въ прудахъ, чѣмъ животныхъ.

Лѣсные пруды во время листопада, какъ уже упомянуто, представляютъ характерный примѣръ самозагрязненія.

Пруды, покрывшіеся растительностью, напр., *Chara* или *Lemna*, нерѣдко снова очищаются, если въ нихъ поселить лебедей или утокъ.

Въ загрязненныхъ прудахъ нерѣдко сильно развиваются водяныя цвѣты и грязевыя скопленія (мшистые цвѣты, пленка изъ *Oscillatoria* и *Diatomea*). Если прочищать пруды (вычерпываніемъ) хотя бы и постоянно, но не радикально, то вода можетъ сильно загрязниться растительными веществами, и могутъ образоваться островки изъ торфа (напр., мшистый торфъ *Hypnum*).

Пруды съ водою изъ дренажей Берлинскихъ полей орошенія часто содержатъ *Spirogyra crassa* и *Hydrodiction utriculatum*. Эти альги можно спрессовать и примѣнять какъ удобреніе.

Иногда для очистки сточныхъ водъ весьма успѣшно пропускаютъ ихъ послѣдовательно черезъ три пруда: осадочный (гдѣ происходитъ механическій процессъ отстаиванія), главный очистной прудъ (біологическій процессъ) и прудъ для окончательной очистки (гдѣ заканчивается минерализація); подобные пруды (опытные) устроены въ Мюнхенѣ и Страссбургѣ, а установка въ болѣе крупномъ масштабѣ сдѣлана въ Франкенталѣ (Пфальцъ) [26]).

Тѣ процессы размноженія въ прудахъ, которыми только въ новѣйшее время стали пользоваться для очистки сточныхъ водъ, давно уже извѣстны. Опытные рыболовы знаютъ, что весьма полезно добавлять къ чистой водѣ, въ которой водятся рыбы, нѣкоторое количество органическихъ веществъ (стоковъ), которыя повышаютъ ростъ рыбъ, а потому и цѣнность воды для рыбоводства.

Еще интенсивнѣе происходятъ процессы очистки въ прудахъ деревень и имѣній, не имѣющихъ истоковъ, и въ прудахъ для загрязненной дождевой воды. Эти пруды совсѣмъ затянулись бы безъ процесса самоочищенія; они, болѣе или менѣе, поддерживаются въ состояніи равновѣсія (загрязненіе ихъ не усиливается) благодаря процессамъ разложенія, вызываемымъ растеніями, и пищеварительнымъ процессамъ рыбъ. Такіе пруды часто имѣютъ сильную окраску воды, напр., ярко-зеленую (отъ *Euglena viridis*), мутно-зеленую (отъ *Chlorella vulgaris*), имбирно-красную (отъ *Chromatium Okenii, Lamprocystis roseopersicina* и *Thiopedia rosea*). Нерѣдко замѣчается волненіе воды вслѣдствіе выдѣленія изъ грязи крупныхъ пузырей газовъ (иногда величиною съ голову), особенно метана; при этомъ грязь какъ бы кипитъ, лопаясь въ мѣстѣ по-

---

[26]) Hofer. „Gesundheits-Ingenieur", 1909, S. 310; «Berichte über XIV Internat. Kongress f. Hygiene und Demographie», Berlin, 1908, Bd. 3.

явленія пузырей и затѣмъ вновь соединяясь. Всѣ эти явленія указываютъ на энергичное стремленіе природы окончательно переработать грязевыя массы, заполняющія прудъ, путемъ весьма интенсивныхъ процессовъ очистки.

## 6. Берега морей и озеръ.

При спускѣ сточныхъ водъ изъ мѣстъ, лежащихъ у моря или у большихъ озеръ, обыкновенно склонны думать, что не предстоитъ никакихъ затрудненій въ удаленіи разлагающихся веществъ. Но это часто невѣрно, и сточныя воды не смѣшиваются съ водою озера или моря, а остаются у берега; города Бельфастъ, Гнезенъ, Штральзундъ и многіе другіе испытывали сначала много затрудненій, особенно изъ-за вліянія загрязненій на устройство купаленъ. Какъ купальни, такъ и устричные заводы слѣдуетъ располагать по крайней мѣрѣ на такомъ разстояніи отъ устья сточныхъ трубъ, чтобы около нихъ уже не замѣчалось никакого біологическаго вліянія стоковъ на планктонъ и наростаній на сваяхъ и т. под. сооруженіяхъ. Плавающія вещества всякаго рода слѣдуетъ удерживать рѣшетками, не допуская до купаленъ или устричныхъ заводовъ. Вопросъ о спускѣ сточныхъ водъ искусно, между прочимъ, разрѣшенъ Остзейскимъ курортомъ Засницъ. Города на большихъ Швейцарскихъ озерахъ,—Люцернъ, Цугъ и др., не имѣли никакихъ затрудненій при спускѣ стоковъ.

При впаденіи рѣкъ, напр., Эльбы, въ море, илистыя мелкія примѣси прѣсныхъ водъ и отмершій планктонъ, по смѣшеніи рѣчной воды съ морскою, быстро выпадаютъ и погружаются на дно.

Съ теченіемъ времени, моря обогащаются только содержаніемъ солей, органическія же массы не скопляются въ нихъ, благодаря процессамъ самоочищенія. Въ рѣкахъ также не происходитъ сколько-нибудь замѣтнаго самоочищенія отъ солей (хлористаго натрія и хлористаго магнія), не говоря, конечно, о разжиженіи.

# Методы біологическаго изслѣдованія.

## Организмы.

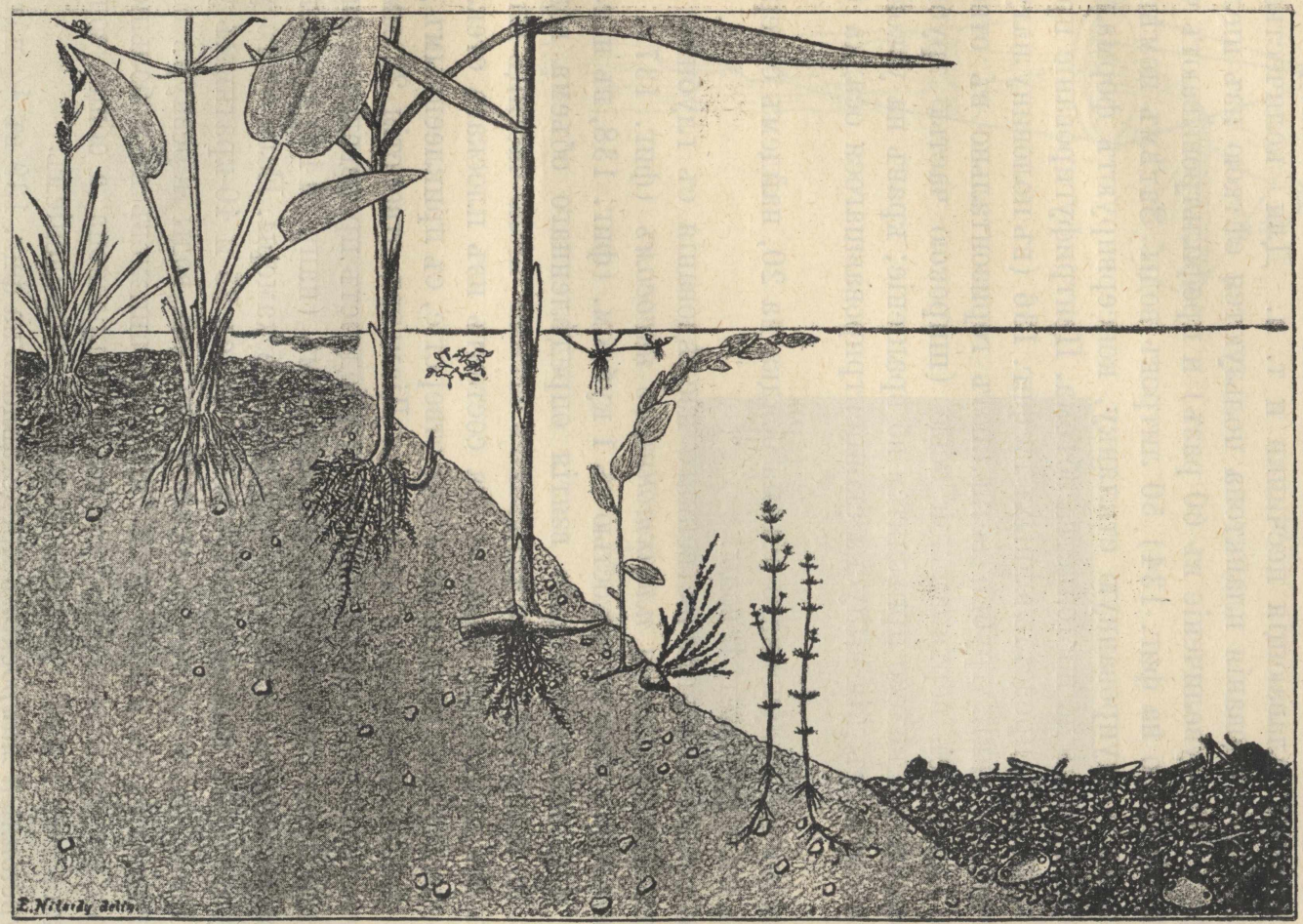
### 1. Раздѣленіе водоема на области.

Чтобы характеризовать біологическія свойства открытаго водоема, требуется по возможности изслѣдовать три области: живое сѣченіе воды, берега и дно. Для краткой характеристики этихъ трехъ областей обратимся къ фиг. 133, представляющей (въ 1/10 натуральной величины) поперечное сѣченіе пруда, рѣки и т. п. На этой фигурѣ справа находится *область планктона* (живое сѣченіе воды), которая свободна отъ болѣе грубой флоры и фауны, но содержитъ обыкновенно многочисленныхъ представителей низшихъ организмовъ, невидимыхъ на рисункѣ вслѣдствіе ихъ незначительныхъ размѣровъ. На поверхности воды виденъ тонкій слой, состоящій изъ скопленія дѣлящихся алгъ *Polycystis aeruginosa* (вызывающихъ цвѣтеніе воды).

*Береговая область* на фиг. 133 представляетъ собою болотистую часть съ *Carex vulgaris* и *Alisma plantago* и съ плавающими на поверхности воды хлопьями *Spirogyra crassa, longatta* и др. Далѣе идетъ трава *Cliceria aquatica* и тростникъ *Phragmites communis*. Болотныя трубки, корни которыхъ растутъ въ землѣ по большей части горизонтально, вмѣстѣ съ другими растеніями принадлежатъ къ береговымъ, и своими густыми зарослями защищаютъ берега отъ ударовъ волнъ. Представленныя условія благопріятны для развитія плавающихъ здѣсь водяныхъ растеній, какъ *Lemna trisulca* (водяная чечевица) и *Hydrocharis morsus ranae*, и для водорослей и животныхъ, водящихся у стеблей тростника.

Далѣе, на большей глубинѣ, пускаютъ корни *Potamogeton perfoliatus*, кувшинчики и т. д. Слѣдя по рисунку далѣе внизъ, мы видимъ болѣе высокія растенія, въ числѣ которыхъ находятся рѣчной мохъ (*Fontinalis antipyretica*), *Chara fragilis* и др.; между ними и еще ниже въ органическомъ покровѣ откоса могутъ находиться микроскопически-мелкія альги, особенно *Diatomaceae*, и дѣлящіяся альги (Schizophyceae); послѣднія образуютъ тонкую пленку.

Наконецъ, *область дна*, которую можно назвать глубинною или грязевою областью, содержитъ, какъ видно на рисункѣ, по большей части остатки мертвыхъ опустившихся животныхъ и растеній, въ разложеніи которыхъ можетъ принимать участіе множество разнообразныхъ микроорганизмовъ.



Фиг. 133.

## 2. Приборы для взятія пробъ и изслѣдованія.

Приспособленія для взятія пробъ устраиваются примѣнительно къ тремъ вышеуказаннымъ областямъ водоемовъ.

*Планктонная сѣтка* (фиг. 134, въ 1/10 нат. вел.) служитъ для зачерпыванія пробъ изъ планктонной области; ея тканью задерживаются микроорганизмы, плавающія песчинки и т. п. Для количественнаго (объемнаго) изслѣдованія планктона пользуются сѣткою изъ шелка № 20 (см. фиг. 135—увеличеніе въ 60 разъ) и профильтровываютъ черезъ нее (какъ показано на фиг. 134) 50 литровъ воды. Затѣмъ помѣщаютъ планктонъ въ градуированную стклянку, консервируютъ формалиномъ и центрифугируютъ до постоянства объема. Центрифугированіе производится въ трубкахъ, представленныхъ на фиг. 136 (въ половину натуральной величины); такія трубки вставляютъ горизонтально въ отверстія на ободѣ колеса съ вертикальной осью (широкою частью трубки къ центру колеса), и колесо приводится во вращеніе; кранъ на узкой шейкѣ трубки служитъ для выпуска сконцентрировавшагося осадка (планктона).

Умноженіемъ полученнаго объема осадка на 20, найдемъ содержаніе планктона въ 1 куб. метрѣ воды.

Взятіе пробъ для количественнаго изслѣдованія съ глубины водоема можетъ производиться *планктоннымъ насосомъ* (фиг. 137).

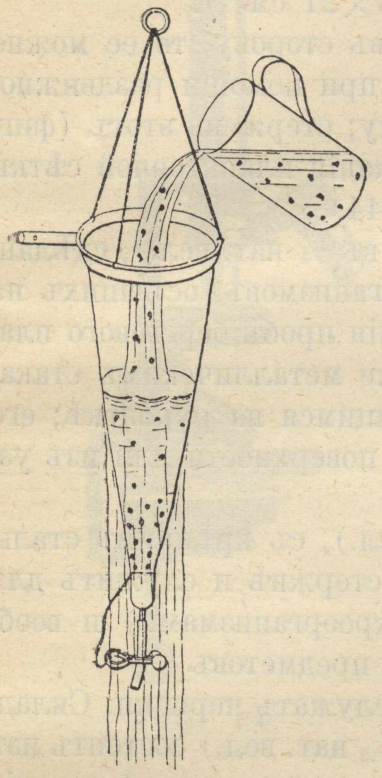
*Планктонная камера* емкостью въ 1 куб. см. (фиг. 138, въ нат. вел.) служитъ для автоматическаго взятія опредѣленнаго объема воды (1 куб. см.), въ которомъ и подсчитываютъ затѣмъ число частицъ планктона и другихъ примѣсей. Камера эта состоитъ изъ плоскаго стекла, въ которомъ высверлено цилиндрическое отверстіе, съ приклееннымъ дномъ и плотно накладывающеюся крышкою. Діаметръ отверстія 22 мм., высота полученнаго углубленія 2,63 мм [1]). Подсчетъ производится сначала при помощи лупы съ большимъ увеличеніемъ (напр., 14-кратнымъ), черезъ которую можно видѣть все содержимое камеры. Если этого увеличенія недостаточно, можно примѣнить лупы съ 25 и 40-кратнымъ увеличеніемъ. Если число организмовъ въ 1 куб. см. воды черезчуръ велико, то подсчитываютъ на мѣстѣ число микроорганизмовъ въ небольшой части камеры посредствомъ экскурсіоннаго микроскопа, а общее содержаніе планктона въ 1 куб. см. воды находятъ вычисленіемъ.

*Экскурсіонный микроскопъ* представленъ на фиг. 139 въ ¼ нат. вел.; онъ вѣситъ съ футляромъ 600 гр. и даетъ увеличеніе съ однимъ объективомъ—въ 100 разъ, съ другимъ—въ 400. При немъ необходимы еще объектныя и покровныя стеклышки, пинцеты и планктонныя пипетки.

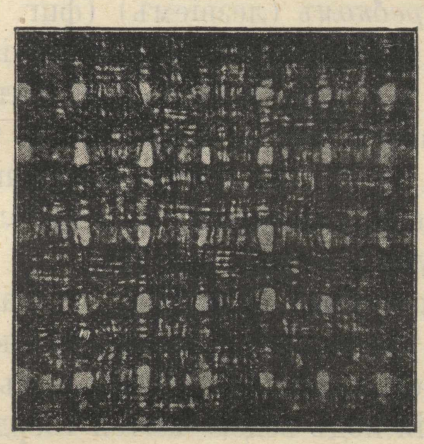
Такъ какъ планктонъ оказываетъ вліяніе на прозрачность и окраску воды, то объ его количествѣ и отчасти объ его составѣ можно судить,

---

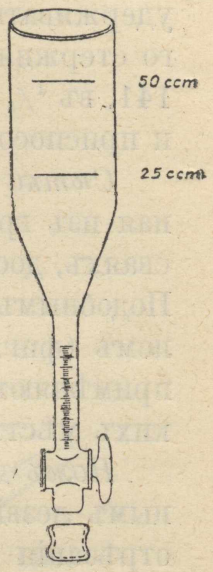
[1]) Kolkwitz. «Mitteilungen aus der Königl. Prüfungsanstalt für Wasserversorgung und Abwässerbeseitigung», 1907, Heft 9; 1911, Heft 15.



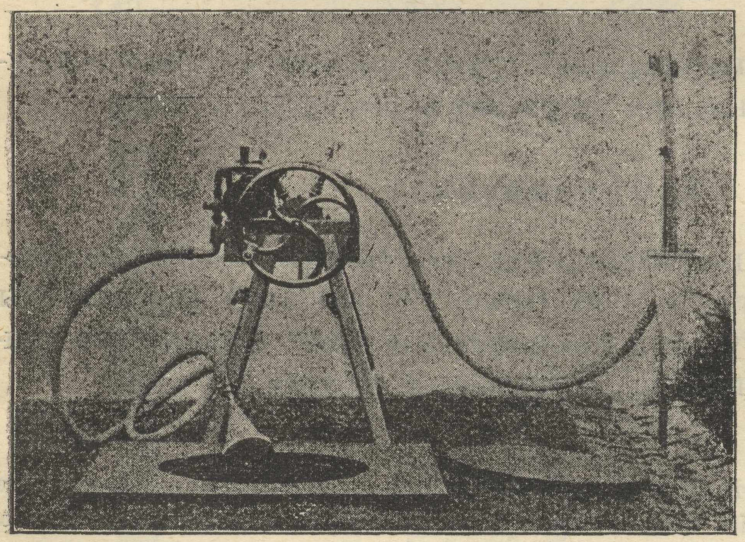
Фиг. 134.



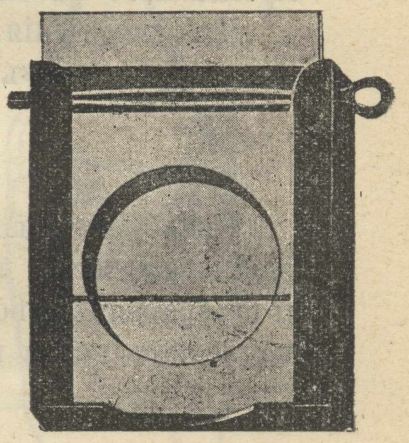
Фиг. 135.




Фиг. 136.



Фиг. 137.



Фиг. 138.

разсматривая черезъ воду опущенную въ водоемъ *бѣлую пластину* (фиг. 140, въ 1/10 нат. вел.). Для прозрачныхъ и не слишкомъ глубокихъ водъ пользуются пластинкою съ поверхностью въ 15×21 см. [2]).

Если въ текучей водѣ пластину относитъ въ сторону, то ее можно удерживать неподвижно въ мѣстѣ наблюденія при помощи раздвижного стержня, прикрѣпляемаго къ пластинѣ сбоку; стержень этотъ (фиг. 141, въ $^1/_5$ нат. вел.) служитъ также для опусканія планктонной сѣтки и приспособленій, показанныхъ на фиг. 142—144.

*Сѣтка со скребкомъ* (лезвіемъ) (фиг. 142, въ ¼ нат. вел.), сдѣланная изъ грубой ткани, служитъ для взятія организмовъ, осѣвшихъ на сваяхъ, доскахъ и т. под., а также для полученія пробъ берегового ила. Подобнымъ образомъ можно пользоваться также металличекимъ стакаюмъ (фиг. 143, въ ¼ нат. вел.), поворачивающимся на рукояткѣ; его примѣняютъ еще для взятія пробъ воды близъ поверхности или изъ узкихъ мѣстъ, трубъ и т. под.

*Ножъ* для тростника (фиг. 144, $^1/_3$ нат. вел.), съ крѣпкимъ стальнымъ лезвіемъ, укрѣпляется на раздвижномъ стержнѣ и служитъ для отрѣзанія стеблей тростника (покрытыхъ микроорганизмами) и вообще для отдѣленія подъ водою частей твердыхъ предметовъ.

Для подъема пробъ грунта со дна водоема служатъ черпаки. Складной черпакъ, представленный на фиг. 145 (въ $^1/_{12}$ нат. вел.) состоитъ изъ четыреугольной желѣзной рамы съ гладкими дугами для подвѣшиванія и подвижными ножами, на которой укрѣплена сѣтка изъ грубой матеріи; для твердаго грунта ножи закрѣпляются круче, для мягкаго—положе. Вѣсъ этого черпака 2,6 кгр., размѣры (въ сложенномъ видѣ) 25×10×6 см. Добытый грунтъ или прямо изслѣдуютъ, или сначала промываютъ на ситѣ.

Для полученія небольшихъ пробъ грунта пользуются грязеподъемными трубками, въ которыя, при ударѣ ихъ о дно, входитъ грязь.

## 3. Организмы.

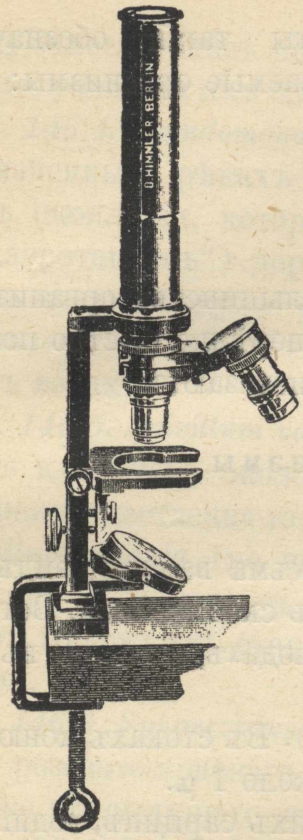
Число организмовъ, встрѣчающихся при біологическомъ изслѣдованіи водоемовъ, доходитъ до 1000. Около 120 изъ нихъ разсмотрѣны и изображены здѣсь. Изученіе и классификація этихъ организмовъ принадлежатъ почти исключительно Kolkwitz'у и Marsson'у [3]).

---

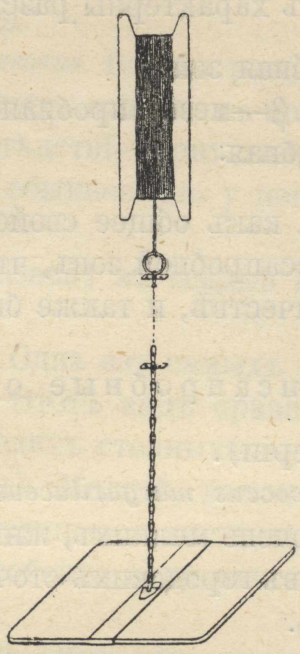
[2]) Подробности о глубинѣ видимости дисковъ и пластинъ въ зависимости отъ свойствъ воды см. Kurpjuweit. Uber die Durchsichtigkeitsbestimmung vor Vorfluternmit Hilfe einer Sechsscheibe. «Offiz. Berichte d. Preuss. Medizin.-Beamt.-Ver.», 1910.

[3]) Kolkwitz und Marsson. Grundsätze für die biologische Beurteilung des Wassers nach seiner Flora und Fauna. 1902 («Mitteilungen a. d. K. Prüfungsanstalt f. Wasserversorgung", Heft 1).

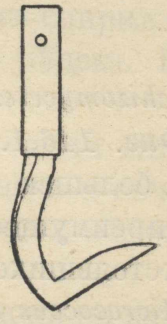
См. также дальнѣйшія работы Kolkwitz въ названныхъ «Mitteilungen», Heft 2, 5, 9, 10, 13, 14 и 15 (1902—1911 гг.) и работы Marsson тамъ же.



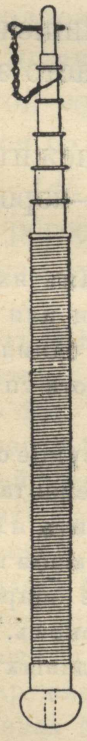

Фиг. 139.



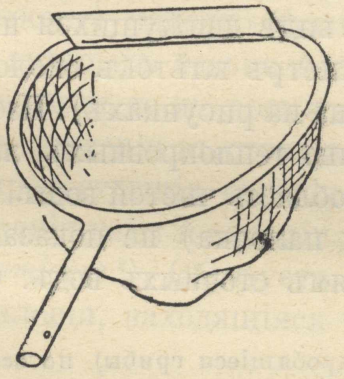
Фиг. 140.

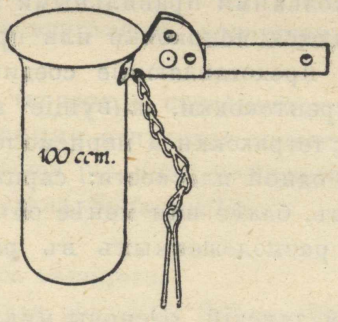


Фиг. 144.

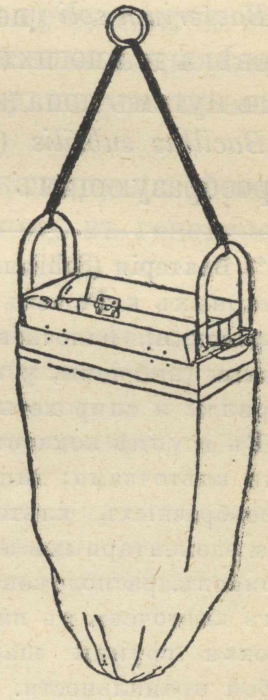


Фиг. 141.






Фиг. 142—143.



Фиг. 145.

Въ нижеприведенной классификаціи приняты такія обозначенія тѣхъ зонъ, для которыхъ характерны разсматриваемые организмы:

*p*—полисапробная зона;
$\alpha m$ и $\beta m$—$\alpha$ и $\beta$—мезосапробная;
*o*—олигосапробная.

Слѣдуетъ отмѣтить, какъ общее свойство большинства организмовъ полисапробной и $\alpha$-мезосапробной зонъ, что они нерѣдко быстро появляются въ большомъ количествѣ, и также быстро исчезаютъ.

## Полисапробные организмы.

*Schizomycetes* (Бактеріи).

*Фиг. 146,1. Streptococcus margaritaceus*[4]). Весьма важный видъ кокковъ, большею частью очень мелкихъ, живущихъ скопленіями. Встрѣчается преимущественно въ городскихъ сточныхъ водахъ, особенно въ осадкѣ отстоявшихся пробъ.

*Micrococcus ureae* (не показанъ на рисункахъ). Въ стокахъ конюшенъ и т. под.; неподвижныя клѣточки, размѣромъ около 1 $\mu$.

*Фиг. 146,2. Sarcina paludosa.* Одна изъ большихъ сарцинъ, водящаяся особенно въ такой грязи, которая вслѣдствіе резложенія получила запахъ, напоминающій деготь.

*Фиг. 146,3. Bacterium vulgare=Proteus vulgaris.* Въ загнивающихъ стокахъ, по большей части въ видѣ движущихся нитей. Факультативно—анаэробная[5]) бактерія. Діаметръ клѣтокъ около 0,7 $\mu$.

*Bacterium coli* (не показана на рисункахъ). Изобилуетъ въ кишечникѣ человѣка и многихъ, особенно теплокровныхъ, животныхъ. Часто заноснымъ путемъ попадаетъ въ область чистой воды.

*Bacillus subtilis* (Сѣнная палочка) не показана). Принадлежитъ къ спорообразующимъ бактеріямъ сточныхъ водъ. Обязательно—аэробная,

---

[4]) Бактеріи (Schizomycetes, дробящіеся грибы) по основнымъ формамъ ихъ элементарныхъ клѣточекъ раздѣляются на 3 группы: шарообразныя (кокки или иначе микрококки), палочковидныя (Bacterium въ узкомъ смыслѣ слова, и бациллы) и извитыя (вибріоны, у которыхъ завитокъ не превышаетъ четверти оборота спирали; спириллы и спирохеты съ нѣсколькими правильными завитками).

Въ группѣ кокковъ различаются: монококки или просто кокки, живущіе отдѣльными клѣточками; диплококки, представляющіе соединеніе двухъ элементарныхъ шарообразныхъ клѣточекъ; стрептококки, живущіе въ видѣ нитей изъ нѣсколькихъ элементарныхъ шариковъ; тетракокки и мерисмопедіи, представляющія группу шариковъ, расположенныхъ въ одной плоскости; сарцины—соединеніе шарообразныхъ клѣточекъ въ видѣ кубовъ, болѣе или менѣе объемистыхъ; наконецъ, стафилококки группы шариковъ, расположенныхъ въ разныхъ направленіяхъ безъ особой правильности.

Подробнѣе см., напр., В. Омелянскій. «Основы микробіологіи».

[5]) Факультативно-анаэробными называются такія бактеріи, которыя могутъ развиваться какъ при доступѣ воздуха, такъ и безъ него.

и потому живетъ близъ поверхности. Подвижныя нити крупнѣе, чѣмъ у B. vulgare; толщина ихъ 0,8—1,2 μ.

*Фиг. 146,4. Pseudomonas fluorescens.* Весьма распространена, особенно въ загрязненныхъ рѣкахъ и сточныхъ водахъ; въ послѣднихъ можетъ образовать скопленія, которыя вслѣдствіе притяженія кислородомъ воздуха („аэротаксисъ") держатся обыкновенно у поверхности. Заносится также въ чистую воду.

*Microspira saprophiles* (не показана) въ осадкѣ каналовъ и въ загнивающихъ водахъ.

*Фиг. 146,5. Spirillum volutans.* Одна изъ самыхъ крупныхъ спириллъ; діаметръ клѣточекъ около 1,8μ. Этотъ видъ сравнительно рѣдокъ. Водится преимущественно въ городскихъ сточныхъ водахъ.

*Spirillum undula* (не показана). Мелкій, весьма характерный видъ. Изобилуетъ въ лужахъ съ разлагающеюся листвою, въ прудахъ и почти всегда въ городскихъ стокахъ, особенно если они застаиваются нѣкоторое время.

*Фиг. 146,6. Sphaerotilus roseus*[6]. Образуетъ грязевой осадокъ въ видѣ кожицы розовато-краснаго цвѣта на сваяхъ, фашинахъ и т. п. Встрѣчается рѣже предыдущаго вида.

*Фиг. 132,1. Sphaerotilus natans*[7]). Встрѣчается въ сточныхъ водахъ въ наибольшемъ количествѣ. Образуетъ такую же кожицу, какъ предъидущій видъ, но бѣловатаго цвѣта. При особенно хорошемъ питаніи образуются грязевыя кисти (космы) молочно-бѣлаго цвѣта, какъ крахмальный клейстеръ, развитію которыхъ весьма благопріятствуетъ движеніе воды (волненіе, теченіе), если въ то же время имѣются предметы, на которыхъ можно осѣсть. При впаденіи въ стоячія загрязненныя воды потока чистой воды, скрыто-проросшія колоніи *Sph. nat.* могутъ пышно развиться вслѣдствіе движенія воды и аэраціи.

*Фиг. 146,7. Zoogloea ramigera*[8]). Образуетъ микроскопическія деревца или рогообразныя скопленія, находящіяся повидимому въ генетической связи съ Sphaerotilus.

---

[6]) Родъ Sphaerotilus, вмѣстѣ съ Clodothrix, принадлежитъ къ семейству нитчатыхъ бактерій, т. е. соединяющихся въ вѣтвящіяся и невѣтвящіяся нити.

[7]) Къ фиг. 132 (описаніе:

1) Хлопья Sphaerotilus, Два влагалища совершенно пусты, одно пусто только въ нижней части.

2) Нити изъ клѣточекъ съ твердою и студенистою оболочками (влагалищами).

3) Конецъ нити съ подвижными отвѣтвляющимися клѣточками.

4) Налетъ Cladothrix dichotoma (въ видѣ короткаго дерна) на листѣ Vallisneria

5) Листь тростника съ налетомъ Sphaerotilus.

6) Zoogloea ramigera.

7) Наружный видъ Zoogloea ramigera.

8) Живая Nitzschia, покрытая ростками Sphaerotilus.

9) Наружный видъ Cladothrix dichotoma.

[8]) Кромѣ постоянныхъ типовъ сочетанія бактерій (см. примѣч. 4), извѣстны также скопленія ихъ, носящія болѣе или менѣе случайный характеръ. Таковы,

*Фиг. 146,8. Zoogloea compacta.* Образуетъ студенистыя массы въ видѣ густыхъ комковъ, микроскопически мелкихъ. Водится между *Z. ramigera.* Клѣтки по большей части имѣютъ видъ мелкихъ палочекъ.

*Фиг. 146,9. Zoogloea carnea.* Образуетъ на стѣнкахъ сточныхъ каналовъ студенистые комки тѣльнаго цвѣта, видимые невооруженнымъ глазомъ. Клѣтки въ видѣ короткихъ палочекъ толщиною около 1,5$\mu$.

*Фиг. 146,10. Zoogloea uva.* Образуетъ на корняхъ и стебляхъ гроздевидныя скопленія, величиною отъ горошины до вишни. Палочки вытянуты въ длину; толщина ихъ немного болѣе 1 $\mu$.

*Фиг. 146,11. Beggiatoa alba* [9]). Нити съ шариками сѣры, получающейся отъ окисленія сѣроводорода. Въ тѣхъ водоемахъ, гдѣ сѣроводородъ получается не отъ гніенія, а инымъ путемъ, напр. изъ гипса черезъ редукцію (въ нѣкоторыхъ ручьяхъ), B. alba могутъ быть олигосапробными.

*Фиг. 146,12. Beggiatoa arachnoidea.* Нити образуютъ бѣлую сѣтку на грязи, выдѣляющей сѣроводородъ.

*Фиг. 146,13. Beggiatoa arachnoidea.* Грязевыя лепешки, покрытыя бѣлыми сѣробактеріями, поднимающіяся со дна на поверхность отъ газовъ, которые развиваются при броженіи.

*Фиг. 146,14. Lamprocystis roseo-persicina.* На рисункѣ представленъ разлагающійся ольховый листъ съ краснымъ налетомъ Lamprocystis. Возможенъ случай, что только листъ будетъ принадлежать къ полисапробной зонѣ, въ то время какъ окружающая вода будетъ чистою, хотя и болотистаго характера.

*Фиг. 146,15. Thiopolycoccus ruber.* Хотя мельче предъидущихъ видовъ, но все же этотъ видъ замѣтенъ безъ микроскопа. Водится на поверхности плавающей грязевой пленки сточныхъ водъ.

*Фиг. 146,16. Chromatium Okenii.* Весьма важная сѣробактерія, которая можетъ окрасить весь прудъ въ вишневокрасный цвѣтъ. Водится и въ мезосапробной зонѣ.

*Фиг. 146,17. Thiospirillum sanguineum.* Принадлежитъ къ самымъ крупнымъ сѣробактеріямъ планктона. Водится въ такихъ же мѣстахъ, какъ предъидущія, но рѣже.

*Schizophyceae.*

*Фиг. 146,18. Spirulina (Arthrospira) Jenneri.* Нерѣдко встрѣчается совмѣстно съ *Beggiatoa.* Иногда попадается въ мезосапробной зонѣ.

---

напр., зооглеи, или скопленія бактерій, происшедшія вслѣдствіе сплеиванія между между собою ихъ слизистыхъ оболочекъ. Такой же случайный характеръ носитъ соединеніе бактерій въ пленки, образующіяся на поверхности жидкихъ средъ. (См. Омелянскій. Основы микробіологіи).

[9]) Сѣробактеріи, окисляющія сѣроводородъ въ сѣрную кислоту, раздѣляются на двѣ большихъ группы: безцвѣтныхъ и окрашенныхъ въ пурпурный цвѣтъ. Beggiatoa принадлежатъ къ безцвѣтнымъ сѣробактеріямъ и имѣютъ видъ свободно плавающихъ подвижныхъ питей, достигающихъ 1 см. и болѣе въ длину.

*Euglenales.*

*Фиг. 146,19. Euglena viridis.* Большею частью образуетъ яркозеленый покровъ на поверхности воды, напр. въ загрязненныхъ деревенскихъ прудахъ и въ лужахъ сточной воды.

*Protococcales.*

*Фиг. 146,20. Polystoma uvella.* Часто попадается въ большомъ количествѣ въ городскихъ стокахъ.

*Phycomycetes.*

*Фиг. 146,21. Mucor* (*Zygorhynchus*). Образуетъ похожую на войлокъ пленку или осадокъ на фашинахъ, на кускахъ кокса въ біологическихъ окислителяхъ и т. п. Попадается и въ мезосапробной зонѣ.

*Rhizopoda.*

*Фиг. 146,22. Amoeba* (*Hyalodiscus*) *limax.* Изобилуетъ въ сточныхъ водахъ на біологическихъ окислителяхъ и т. п. Въ отдѣльныхъ случаяхъ бываетъ и въ мезосапробной зонѣ.

*Flagellata.*

*Фиг. 146,23. Bodo saltans.* Часто встрѣчается въ стоячей водѣ, особенно въ гніющей, вмѣстѣ съ другими видами Bodo. Отдѣльные экземпляры попадаются также въ мезосапробной зонѣ.

*Фиг. 146,24. Hexamitus inflatus.* Живетъ въ городскихъ стокахъ. Отдѣльные экземпляры попадаются и въ мезосапробной зонѣ.

*Ciliata.*

*Фиг. 146,25. Paramaecium putrinum.* Встрѣчается въ тѣхъ же условіяхъ, какъ предъидущіе виды.

*Фиг. 146,26. Paramecium caudatum.* Даже отдѣльные экземпляры видимы невооруженнымъ глазомъ. Главное развитіе—въ мезосапробной зонѣ.

*Фиг. 146,27. Colpidium colpoda.* Нерѣдко въ водахъ, способныхъ загнивать; живетъ также въ $\alpha$—мезосапробной зонѣ.

*Фиг. 146,28. Vorticella microstoma.* Распространена тамъ же, гдѣ предъидущіе виды.

*Vermes.*

*Фиг. 146,29. Tubifex rivulorum.* Часто развивается массами въ гніющемъ осадкѣ. Болѣе разрозненные экземпляры попадаются и въ мезосапробной зонѣ.

*Rotatoria.*

*Фиг. 146,30. Rotifer actinurus.* Можетъ жить даже въ водѣ, весьма бѣдной кислородомъ. Встрѣчается и въ мезосапробной зонѣ.

*Diptera.*

*Фиг. 146,31. Chironomus plumosus.* Личинки находятся преимущественно въ зловонномъ осадкѣ. Попадается и въ мезосапробной зонѣ. Родъ *Chironomus* весьма богатъ видами.

*Фиг. 146,32. Eristalis tenax.* Часто бываетъ въ сильно загрязненыхъ сточныхъ канавахъ. Дыхательныя трубки личинокъ выходятъ на поверхность воды.

## Мезосапробные организмы.

(αμ=α—мезосапробные, βμ=β—мезосапробные организмы).

*Schizomycetes.*

*Фиг. 132,4. Cladothrix dichotoma*, βμ. Обыкновенно (особенно при діаметрѣ клѣточекъ около 2μ) сходна съ псевдовѣтвящимися *Sphaerotilus.*

*Фиг. 147,1 Thiothrix nivea*, αμ. Нити съ шариками сѣры, въ противоположность свободно движущимся *Beggiatoa*, укрѣпляются неподвижно. Бываютъ олигосапробными въ ручьяхъ, содержащихъ сѣроводородъ. Могутъ образовать бѣлые хлопьевидные осадки на корняхъ, стебляхъ и т. п.

*Schizophyceae.*

*Фиг. 147,2. Oscillatoria chlorina*, αμ. Кромѣ другихъ мѣстъ, водится въ прудахъ съ разжиженною сточною водою.

*Фиг. 147,3. Oscillatoria limosa*, βm. Размножается въ поверхностныхъ водахъ на облѣе или менѣе сильно аэрируемомъ осадкѣ, содержащемъ органическія питательныя вещества. Можетъ быть поднята выдѣляющимися газами на поверхность воды, въ видѣ лепешекъ. Нерѣдко размножается на ряду съ кремнистыми водорослями, напр., *Nitzschia communis.*

*Phormidium uncinatum*, αm (не показанъ на рисункѣ). Чаще всего образуетъ пленку въ мѣстѣ выхода распредѣлительныхъ канавъ полей орошенія и на біологическихъ окислителяхъ.

*Aphanizomenon flos aquae*, βm (не показанъ) можетъ развиваться въ большомъ количествѣ, особенно въ озерахъ съ подходящими органическими питательными веществами, и вызывать голубовато-зеленую окраску воды.

*Cryptomonadales.*

*Cryptomonas erosa*, βm (не показанъ). Въ благопріятныхъ мѣстахъ попадается до 1000 экземпляровъ и болѣе въ 1 куб. см. воды. Въ такихъ случаяхъ вода слегка мутнѣетъ.

*Bacilariales.*

*Фиг. 147,4. Melosira varians*, βm. Характерна для зоны заканчивающагося самоочищенія, но можетъ проникать и въ α—мезосапробную зону.

*Фиг. 147,5. Hantzschia amphioxys*, αm. Принадлежитъ къ немногимъ кремнистымъ альгамъ, которыя водятся въ значительно загрязненныхъ областяхъ.

*Фиг. 147,6. Synedra splendens*, βm. Весьма распространенъ въ береговой области.

*Фиг. 147,7. Cocconeis pediculus*, βm. Развивается на поверхности нѣкоторыхъ водяныхъ растеній; также въ олигосапробной зонѣ.

*Stephanodiscus Hantzschianus*, βm (не показанъ). Характеренъ для планктона β—мезосапробной зоны, часто попадается въ большомъ количествѣ (тысячи клѣточекъ на 1 куб. см. воды).

*Navicula cuspidata*, βm (не показанъ). Принадлежитъ къ болѣе крупнымъ изъ кремнистыхъ алыгъ для βm. зоны.

*Gomphonema olivaceum*, βm (не показанъ). Типиченъ для зоны, гдѣ самоочищеніе замѣтно подходитъ къ минерализаціи.

*Conjugatae.*

*Фиг. 147,8. Closterium acerosum*, βm. Весьма распространенный видъ. Нерѣдко заносится въ планктонъ.

*Фиг. 147,9. Spirogyra crassa*, βm. Можетъ покрывать густыми хлопьями пруды съ водою изъ дренъ полей орошенія.

*Protococcales.*

*Фиг. 147,10. Scenedesmus acutus*, βm. Живетъ преимущественно въ береговой области.

*Chlamydomonas Reinhardi*, βm (не показанъ). Можетъ вызывать ярко-зеленую окраску воды.

*Confervales.*

*Фиг. 147,11. Conferva bombycina*, βm. Можетъ образовать рыхлые, бѣлые хлопья въ береговой области.

*Фиг. 147,12. Stigeoclonium tenue*, αm и βm. Весьма распространенный береговой организмъ. Степень развитія бываетъ весьма различна.

*Фиг. 147,13. Cladophora crispata*, βm. Можетъ образовать мотки толщиною съ руку и длиною болѣе 1 м., особенно въ дренажныхъ канавахъ полей орошенія. Волокна не слизисты и сравнительно трудно разрываются.

*Фиг. 147,14. Leptomitus (Apodya) lacteus*, αm. Можетъ покрыть ручьи и берега рѣкъ бѣлою кожицею (пленкою). Не бываетъ полисапробнымъ.

*Фиг. 147,15. Leptomitus (Apodya) lacteus*, αm. Бѣлыя космы, осѣвшія на прутьяхъ фашинъ.

*Hyphomycetes.*

*Фиг. 147,16. Fusarium species*, αm. Плохо переноситъ сточныя воды съ кислою реакціею. Виды, живущіе въ стокахъ целлулозныхъ фабрикъ, питаются преимущественно углеводами; на біологичесикхъ же окислителяхъ и въ мѣстахъ выпуска въ водоемы городскихъ стоковъ (щелочнаго характера) *Fusarium*, вѣроятно, питается больше бѣлковистыми веществами. Можетъ жить въ полисапробной зонѣ.

*Monocotyledoneae.*

*Фиг. 147,17. Lemna polyrrhiza*, βm. Развивается на поверхности прудовъ и канавъ, часто покрывая ихъ густымъ слоемъ. Въ озерахъ бо́льшаго размѣра не встрѣчается на свободной поверхности.

*Фиг. 147,18. Elodea canadensis*, βm. Обладаетъ значительною сопротивляемостью. Можетъ повести къ заростанію прудовъ и канавъ.

*Rhizopoda.*

*Фиг. 147,19. Arcella vulgaris*,, βm. Часто изобилуетъ въ водѣ, очищенной біологическимъ способомъ,если она застаивается на нѣкоторое время.

*Amoeba radiosa*, βm (не показанъ). Развивается въ такихъ же условіяхъ, какъ предъидущіе виды.

*Heliozoa.*

*Фиг. 147,20. Actinospharium eichhorni,* βm. Нерѣдко находится въ слизистой, аэрируемой грязи (илѣ) береговой области.

*Flagellata.*

*Фиг. 147,21. Antophysa vegetans,* αm. Можетъ быстро развиваться въ видѣ осадка или плавающей зооглейной пленки [10]) въ такихъ водахъ, гдѣ уже почти закончилось гніеніе, характеризуемое сѣроводородомъ.

*Bodo globosus,* αm (не показанъ). Весьма распространенъ въ водѣ, въ которой минерализація уже наполовину совершилась.

*Peranema trichophorum,* αm (не показанъ). Водится на грязи (осадкѣ). При массовомъ развитіи бываетъ почти исключительно въ *αm* зонѣ.

*Фиг. 147,22. Spirochaete plicatilis,* αm. Изобилуетъ въ нижнихъ слояхъ капельныхъ біологическихъ окислителей и въ илѣ, подвергающемся слабому разложенію при (или послѣ) развитіи сѣроводорода.

*Ciliata.*

*Amphileptus claparedi,* αm (не показанъ). Можетъ переходить въ полисапробную зону.

*Фиг. 147,23. Coleps hirtus,* βm и αm. Можетъ развиваться въ большомъ количествѣ въ мезосапробной водѣ, если въ ней разлагаются мучнистыя вещества. Весьма прожорливая рѣсничтая инфузорія.

*Chilodon cucullulus,* βm (не показанъ). Нерѣдокъ въ присутствіи *Stylonychia, Euplotes и Aspidisca.*

*Фиг. 147,24. Glaucoma scintillans,* αm. Въ мезосапробной зонѣ встрѣчаются разрозненные экземпляры.

*Spirostomum ambiguum,* αm (не показанъ). Въ случаѣ обильнаго развитія весьма характеренъ для αm—зоны.

*Фиг. 147,25. Stentor coeruleus,* αm. Встрѣчается какъ свободно плавающимъ, такъ и осѣвшимъ на грязи (илѣ), особенно въ небольшихъ канавахъ.

*Halteria grandinella* βm (не показана). До сихъ поръ было мало извѣстно, что этотъ организмъ весьма распространенъ въ планктонѣ. При вылавливаніи планктоною сѣткою, онъ обыкновенно проходитъ черезъ ея петли.

*Фиг. 147,26. Vorticella convallaria,* αm. Весьма распространенный организмъ, уничтожающій бактерій [11]).

*Фиг. 147,27. Carchesium lachmanni,* αm. Организмъ, весьма характерный по своему виду и мѣсту развитія. Образуетъ тонкій бѣлый налетъ на камняхъ, стебляхъ растеній и т. п.

*Suctoria.*

*Podophrya species,* чаще βm (не показана). Въ изобиліи развивается въ стокахъ, очищенныхъ біологическимъ способомъ.

---

[10]) См. прим. 8.

[11]) По нѣмецкой терминологіи — „пожиратель бактерій“ (Bakterienfresser).

*Spongiae.*

*Euspongilla lacustris*, βm (не показана). Эта губка развивается въ стокахъ при поступленіи водъ съ нѣкоторыми удобрительными веществами. Однако, до сихъ поръ мало пользовались этимъ видомъ для оцѣнки водоема.

*Hydroidea.*

*Фиг. 147,28. Hydra fusca*, βm и олигосапробна. Нерѣдко находится въ прудахъ съ водою изъ дренъ полей орошенія въ видѣ особенно пышно развитыхъ экземпляровъ. Мелкіе экземпляры попадаются также въ олигосапробной зонѣ.

*Vermes.*

*Nephelis vulgaris*, αm и βm (не показанъ). Весьма распространенная въ илѣ піявка, обладающая значительною сопротивляемостью.

*Фиг. 147,29. Stylaria lacustris*, βm. Видъ, довольно распространенный въ илѣ и въ органической пленкѣ.

*Фиг. 147,30. Nematoden*, чаще αm. Весьма распространенъ въ илѣ и среди органическихъ продуктовъ разложенія, а при сильномъ развитіи проникаетъ также въ планктонъ.

*Rotatoria.*

*Фиг. 147,31. Hydatina senta*, αm. Питается бактеріями, въ томъ числѣ пурпурными сѣробактеріями, альгами и др. Часто живетъ массами въ планктонѣ.

*Фиг. 147,32. Anuraea aculeata*, βm. Вмѣстѣ съ *Anuraea cochlearis* весьма распространена въ планктонѣ. Попадается въ небольшомъ количествѣ и въ олигосапробной зонѣ.

*Bryozoa.*

*Фиг. 147,33. Plumatella repens*, βm. Можетъ образовать густые покровы, въ видѣ лохматыхъ шишекъ, на мостовыхъ опорахъ и камняхъ.

*Mollusca.*

*Фиг. 147,34. Limnaea (Gulnaria) auricularia*, βm. Выдѣляется среди другихъ видовъ способностью сопротивляться многимъ загрязненнымъ притокамъ.

*Фиг. 147,35. Paludina vivipara=Vivipara vera*, βm. Попадается и въ αm—зонѣ.

*Фиг. 147,36. Sphaerium (Cyclas) rivicolum*, βm. Встрѣчается также въ илѣ олигасопробной зоны. Видъ *Sph. corneum* преимущественно α—мезосапробный.

*Crustacea.*

*Фиг. 147,37. Asellus aquaticus*, αm. Бываетъ, при слабомъ развитіи, и въ βm—зонѣ. Питается продуктами разложенія органическихъ веществъ и остатками растеній.

*Фиг. 147,38. Gammarus fluviatilis*, βm. Живетъ въ прибрежной области. *G. pulex* водится больше въ ключахъ и ручьяхъ съ быстрымъ теченіемъ, и принадлежитъ къ олигосапробнымъ.

*Cyclops strenuus*, αm и βm (не показанъ). Какъ этотъ, такъ и нѣкоторые другіе виды *C.* обладаютъ большою устойчивостью, наравнѣ съ ихъ личинками.

*Фиг. 147,39. Canthocamptus staphylinus*, βm. Живетъ въ береговой области. Изобилуетъ въ пескѣ многихъ англійскихъ фильтровъ.

*Фиг. 147,40. Cypris species*, βm. Виды *Cypris* живутъ частью въ βm, частью въ олигосапробной зонѣ.

*Фиг. 147,41. Daphnia pulex*, αm и βm. Можетъ развиваться въ такомъ количествѣ (особенно въ лужахъ и прудахъ), что вода пріобрѣтаетъ красный цвѣтъ.

*Hydrachnidae.*

*Фиг. 147,42. Hydrachna globosa*, βm. Въ береговой области водоемовъ. Многіе виды *H.* олигосапробны.

*Neuroptera.*

*Фиг. 147,43. Hydropsiche species*, βm. Личинки въ береговой области, особенно въ рѣкахъ.

*Diptera.*

*Фиг. 147,44. Stratiomys species*, αm. Личинки живутъ въ илѣ.

*Psychoda species*, αm (не показанъ). Личинки изобилуютъ въ органической пленкѣ капельныхъ біологическихъ окислителей.

*Фиг. 147,45 и 46. Culex species*, βm. Личинки и куколки водятся, кромѣ естественныхъ водоемовъ, еще въ прудахъ съ водою изъ дренъ полей орошенія.

*Pisces.*

*Cyprinus carpio*, βm (не показанъ). Карпы весьма хорошо растутъ въ прудахъ съ водою изъ дренъ полей орошенія, на ряду съ карасями (*Carassius vulgaris*), линями (*Tinca vulgaris*), колюшками (*Gasterosteus aculeatus*) и др.

## Олигосапробные организмы.

*Schizomycetes.*

*Фиг. 131, 1—5. Chlamydothrix ochracea.* Весьма распространенная желѣзобактерія, встрѣчающаяся въ большомъ количествѣ въ желѣзистыхъ грунтовыхъ водахъ, отчасти аэрируемыхъ. Требуетъ для своего

---

[12]) Къ фиг. 131 (описаніе):

1) Нити Chlamydothrix ochracea съ омертвѣлыми влагалищами. Между ними шарики гидрата окиси желѣза.

2) Омертвѣлое, неподвижное влагалище. Студенистое влагалище, съ одною клѣточкою внутри и съ отложеніями окиси желѣза. Разбухшее, слизистое влагалище съ 7 клѣточками.

3) Нить Chlamydothrix ochracea съ плотнымъ влагалищемъ; въ послѣднемъ отложенія окиси желѣза.

4) Старое влагалище съ отложеніями окиси желѣза.

5) Двѣ старыхъ нити, скрещивш іяся своими влагалищами, съ внутренними и наружными отложеніями окисей желѣза и марганца.

питанія органическихъ веществъ. Попадается также въ открытыхъ водоемахъ.

*Фиг. 131, 6—9. Gallionella ferruginea.* Въ желѣзистыхъ грунтовыхъ водахъ, содержащихъ лишь небольшое количество органическихъ веществъ (напр., обладающихъ окисляемостью 5—7 мгр. марганцевокислаго калія на литръ).

*Фиг. 131,12. Crenothrix polyspora.* Береговой организмъ, питающійся органическими веществами; живетъ также въ колодцахъ и водосборахъ грунтовой воды, если она содержитъ желѣзо. Отлагаетъ также соединенія марганца.

*Фиг. 131, 10—11. Clonothrix fusca.* Весьма важная желѣзобактерія, имѣющая характерный видъ. Живетъ въ грунтовыхъ водахъ и въ береговой области открытыхъ водоемовъ.

*Schizophyceae.*

*Фиг. 148,1. Polycystis aeruginosa.* Вызываетъ цвѣтеніе воды, особенно въ теплое время года. При пышномъ развитіи, этотъ видъ дѣлящихся альгъ можетъ образовать густой зеленый покровъ близъ берега многихъ озеръ и прудовъ (см. также фиг. 133).

*Фиг. 148,2. Merismopedia elegans.* Обитатель поверхности ила въ береговой области, только случайно попадающій въ область планктона.

*Anabaena flos aquae* (не показана). Нерѣдко вызываетъ цвѣтеніе воды съ зеленою окраскою.

*Chrysomonadales.*

*Фиг. 148,3. Chromulina Rosanoffii.* Можетъ подниматься на поверхность воды, и кажется тогда блестящей какъ золото, вслѣдствіе отраженія свѣта.

*Synura uvella* (не показанъ). Планктонный организмъ озеръ, рѣкъ и т. п., развивающійся особенно въ холодное время года.

*Dinobryon sertularia* (не показанъ). Особенно распространенъ въ планктонѣ большихъ и малыхъ озеръ.

*Euglenales.*

*Phacus pleuronectes* (не показанъ). Водится только въ небольшихъ водоемахъ. Встрѣчается и въ мезосапробной зонѣ.

*Peridianales.*

*Фиг. 148,4. Gymnodinium palustre.* Нерѣдко находится въ большомъ количествѣ въ искусственныхъ (запруженныхъ) водохранилищахъ. Легко образуетъ слизистую пленку.

---

6) Двѣ нити Gallionella ferruginea, склеившіяся наружными студенистыми оболочками.

7) Молодая нить Gallionella.

8) Наружный видъ нитей Gallionella ferruginea.

9) Отдѣльная нить, большое увеличеніе.

10) Размноженіе клѣточекъ Clonothrix fusca.

11) Наружный видъ Clonothrix fusca.

12) Наружный видъ Crenothrix polyspora.

*Фиг. 148,5. Ceratium hirundinella.* Водится только въ планктонной области, особенно въ большихъ и малыхъ озерахъ.

*Bacillariales.*

*Фиг. 148,6. Melosira Binderiana.* Вмѣстѣ съ другими видами *Melosira*, нерѣдка въ планктонѣ, напр., въ рѣкахъ съ медленнымъ теченіемъ.

*Фиг. 148,7. Melosira arenaria.* Сильный видъ, растущій преимущественно въ береговой области.

*Фиг. 148,8. Tabellaria flocculosa.* Встрѣчается преимущественно въ планктонѣ большихъ озеръ, какъ и *T. fenestrata.*

*Фиг. 148,9. Asterionella formosa.* Весьма распространена въ планктонѣ озеръ и большихъ рѣкъ съ медленнымъ теченіемъ. Нерѣдко растетъ вмѣстѣ съ *Diplosiga frequentissima* и *Salpinogoeca convallaria.*

*Pinnularia viridis* (не показана). Довольно распространенная кремнистая водоросль области береговыхъ осадковъ.

*Фиг. 148,10. Pleurosigma attenuatum.* Обитатель береговой области. Никогда не появляется рядомъ съ хроматофорами.

*Фиг. 149,11. Gomphonema acuminatum.* Прибрежная кремнистая водоросль, развивается на стволахъ камыша и т. п.; появляется только тамъ, гдѣ нѣтъ хроматофоръ.

*Фиг. 149,12. Cymatopleura solea.* Только въ отсутствіи хроматофоръ. Діатомовая водоросль берегового осадка.

*Фиг. 149,13. Surirella splendida.* Живетъ на днѣ береговой области. Только въ отсутствіи хроматофоръ.

*Фиг. 149,14. Closterium Ehrenbergii.* Въ береговой области; попадаетъ въ планктонъ только случайно.

*Фиг. 149,15. Micrasterias rotata.* Находится въ водоемахъ на большей или меньшей глубинѣ, рѣже въ планктонѣ.

*Protococcales.*

*Фиг. 149,16. Volvox globator.* Типичный планктонный организмъ. Еще болѣе распространенъ *Volvox aureus.*

*Eudorina elegans* (не показанъ). Весьма распространенъ въ планктонѣ озеръ, прудовъ и рѣкъ.

*Rhaphidium polymorphum* (не показанъ). Водится въ береговой области, рѣже въ планктонѣ.

*Фиг. 148,17. Pediastrum Boryanum.* На берегу и въ планктонѣ. При большомъ развитіи принадлежитъ къ βm—зонѣ.

*Фиг. 148,18. Hydrodiction utriculatum.* Можетъ случайно развиваться въ прудахъ со стоками полей орошенія, и тогда принадлежитъ къ βm—зонѣ.

*Confervales.*

*Ulothrix zonata* (не показанъ). Можетъ образовать на водѣ ярко зеленую опушку. Иногда переходитъ въ мезосапробную зону.

*Фиг. 148,19. Bulbochaete setigera.* Вмѣстѣ съ *Oedogonium* встрѣчается въ береговой области.

*Фиг. 148,20. Cladophora glomerata.* Образуетъ зеленый налетъ на камняхъ, купальняхъ и т. п., въ ручьяхъ, рѣчкахъ и др. водоемахъ.

*Florideae.*

*Фиг. 148,21. Chantransia chalybea.* Образуетъ родъ мелкаго дерна фіолетовой или черноватой окраски на камняхъ, камышахъ и т. п.

*Фиг. 148,22. Lemanea torulosa.* Встрѣчается преимущественно въ горныхъ ручьяхъ, обыкновенно прикрѣпленною къ камнямъ. *L. annulata* также въ рѣкахъ, протекающихъ по низменнымъ мѣстамъ, особенно у запрудъ.

*Фиг. 148,23. Batrachospermum moniliforme.* (Водоросль „лягушечья икра"). Встрѣчается какъ въ проточной, такъ и въ стоячей водѣ, имѣетъ видъ неподвижнаго, скользкаго дерна, красноватаго или зеленоватаго цвѣта.

*Charales.*

*Фиг. 148,24. Chara fragilis.* Живетъ большею частью скопленіями: наравнѣ съ *Chara foetida* является самымъ распространеннымъ представителемъ этого рода. Не переноситъ вліянія сточныхъ водъ.

*Bryophyta.*

*Фиг. 148,25. Fontinalis antipyretica.* Чаще всего въ видѣ плотнаго дерна, темнозеленаго (или даже чернаго) цвѣта, на камняхъ, корняхъ и т. п., какъ въ проточной, такъ и въ стоячей водѣ.

*Pteridophyta.*

*Isoetes echinosporum* (не показанъ). Въ озерахъ и прудахъ, весьма рѣдко. На илистомъ грунтѣ развивается пышнѣе, чѣмъ на песчаномъ.

*Monocotyledoneae.*

*Фиг. 148,26. Potamogeton crispus.* Рисунокъ представляетъ зимнія почки. Иногда пышно проростаетъ въ разжиженныхъ стокахъ изъ дренъ полей орошенія. Виды *Potamogeton perfoliatus* (βm. и олигосапробный), *Lemna trisulca, Hydrocharis morsus ranae* и *Carex vulgaris* представлены на фиг. 133.

*Dicotyledoneae.*

*Nuphar luteum* и *Nymphaea alba* (не показаны), принадлежатъ, вообще говоря, къ олигосапробной и β—мезосапробной зонамъ, но нерѣдко довольно нечувствительны къ нѣкоторымъ сточнымъ водамъ.

*Rhizopoda.*

*Фиг. 148,27. Difflugia acuminata.* Въ береговой области на илѣ, листьяхъ, стебляхъ и т. п.

*Ciliata.*

*Фиг. 148,28. Vorticella nebulifera.* Образуетъ, при пышномъ развитіи, бѣловатый налетъ на стебляхъ камыша, листьяхъ подводныхъ растеній и т. п.

*Фиг. 148,29. Ophrydium versatile.* По большей части зеленаго цвѣта. Можетъ образовать плавающіе студенистые комки, величиною съ кулакъ, въ озерахъ, прудахъ, канавахъ и т. п.

*Vermes.*

*Фиг. 148,30. Phreoryctes menkeanus=Haplotaxis gordioides.* Этотъ червь проникаетъ черезъ влажную землю къ водосборнымъ галлереямъ грунтовой воды, особенно въ горныхъ мѣстностяхъ. Съ гигіенической стороны безвреденъ.

*Фиг. 148,31. Planaria gonocephala.* Живетъ въ рѣкахъ и ручьяхъ, особенно подъ камнями и растеніями. Распространеніе *Pl. alpina* обыкновенно ограничивается прохладными ключами.

*Rotatoria.*

*Фиг. 148,32. Asplanchna priodonta.* Попадается также въ планктонѣ βm—зоны. *A. brightwelli* водится только въ олигосапробной зонѣ.

*Фиг. 148,33. Notholca longispina.* Въ планктонной области, особенно въ озерахъ.

*Mollusca.*

*Limnaea stagnalis* (не показанъ). Дышетъ легкими, и потому время отъ времени поднимается на поверхность воды. Развитіе его сильно зависитъ отъ содержанія извести въ водѣ.

*Фиг. 148,34. Dreissensia polymorpha.* Укрѣпляется на камняхъ, доскахъ и т. п.; личинки живутъ въ планктонѣ. Характеренъ для олигосапробной зоны.

*Crustacea.*

*Diaptomus graciloides* (не показанъ). Въ планктонѣ большихъ озеръ.

*Фиг. 148,35. Bosmina corregoni.* Изобилуетъ въ планктонѣ, особенно въ озерахъ.

*Leptodara kindti* (не показанъ). Весьма прожорливое животное, длиною до 2 см. Благодаря быстротѣ плаванія, почти всегда ускользаетъ при взятіи пробы планктонною сѣткою.

*Neuroptera.*

*Phryganea stiata* (не показанъ). Въ береговой области.

*Diptera.*

*Фиг. 148,36. Corethra plumicornis.* Личинки плаваютъ въ водѣ въ горизонтальномъ положеніи. Кажутся нѣжными, но довольно устойчивы.

*Coleoptera.*

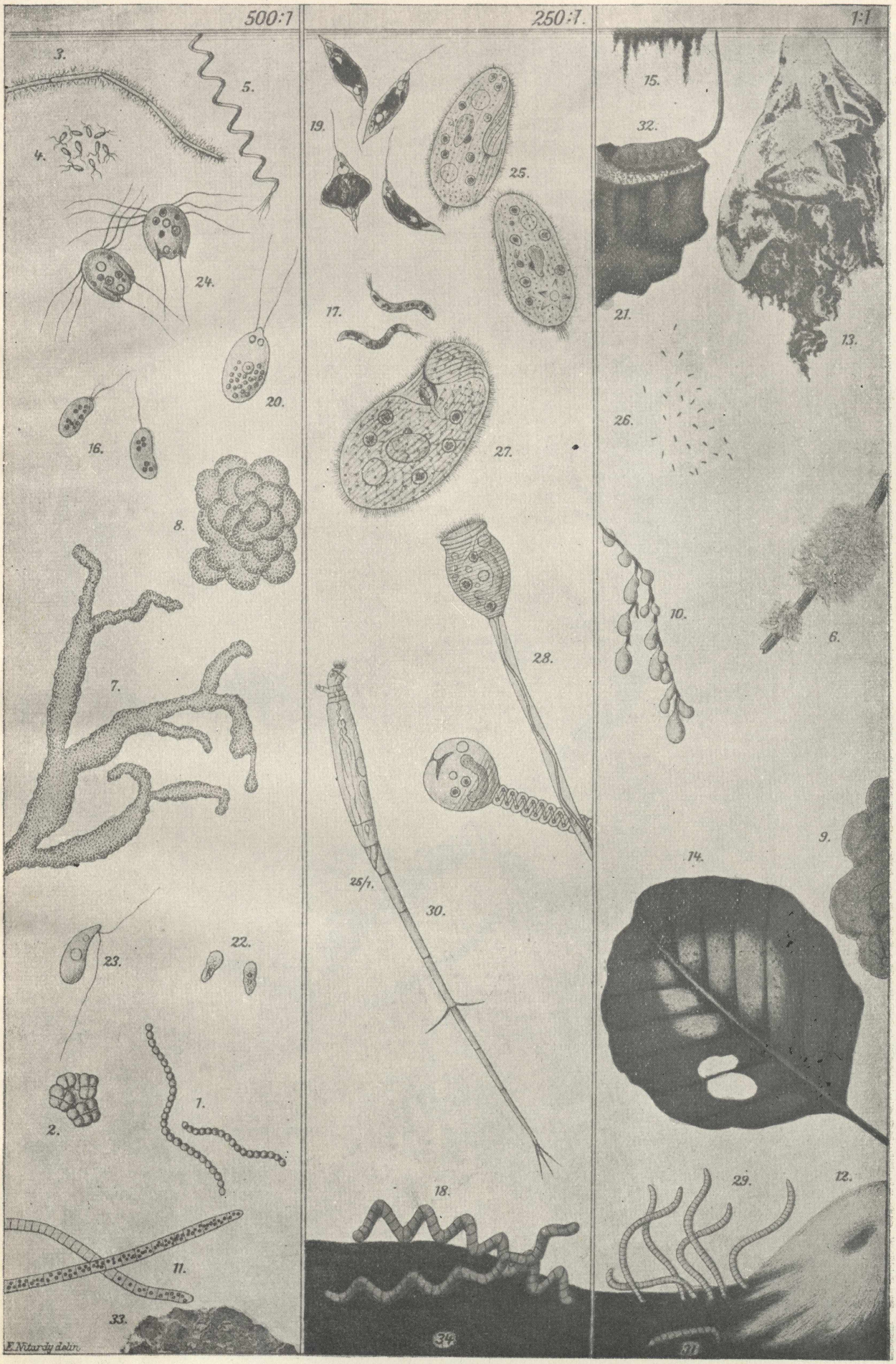
*Фиг. 148,37. Acilius sulcatus.* Личинка водяного жука, нападающая на микроорганизмы.

*Pisces.*

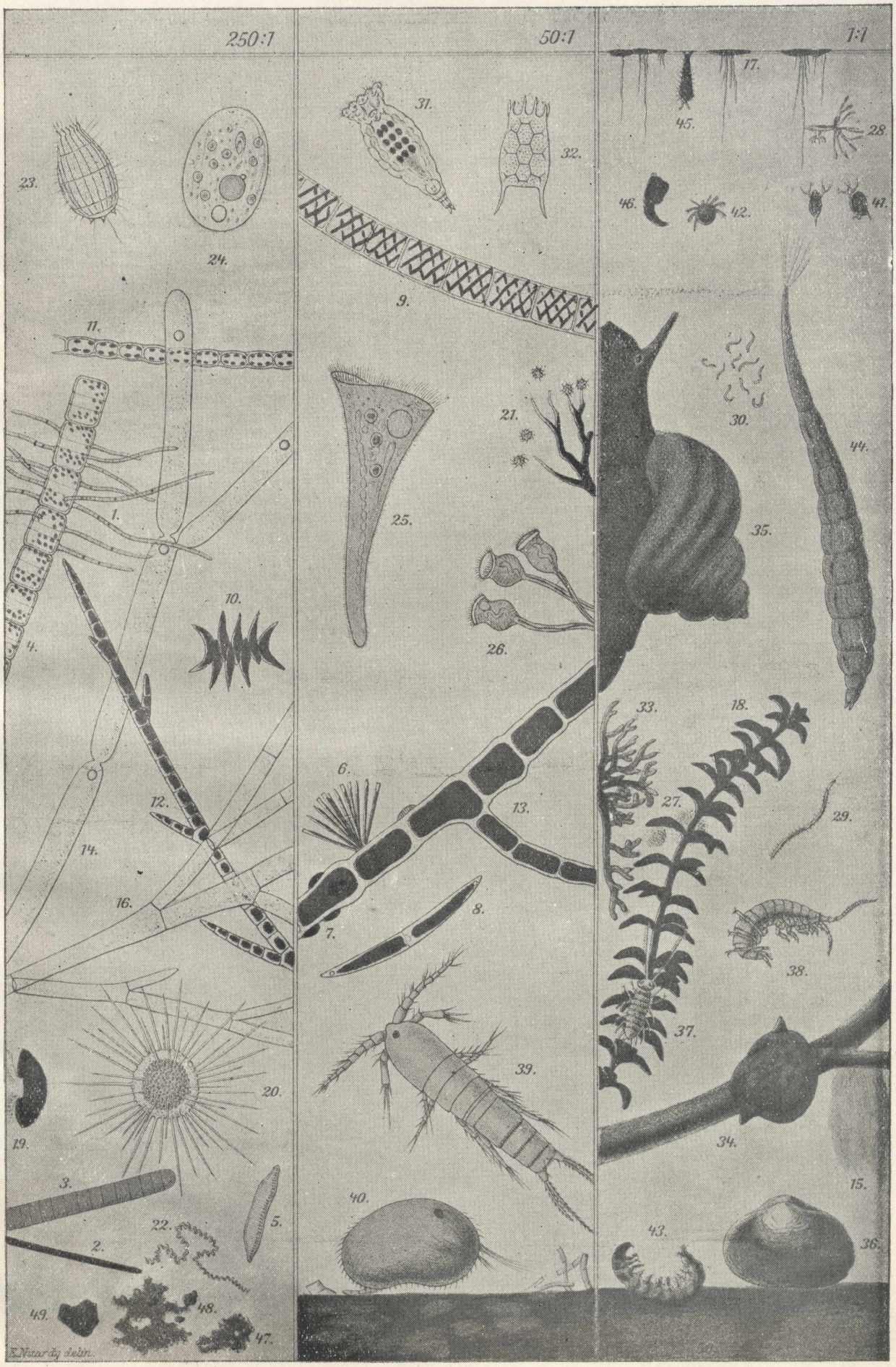
*Фиг. 148,38. Alburnus lucidus.* Попадаются также въ мезосапробной зонѣ, особенно болѣе взрослые экземпляры. Къ олигосапробнымъ принадлежатъ, между прочимъ, форели (*Trutta fario*), для которыхъ особенно важно содержаніе кислорода въ водѣ.

## ЗАМѢЧЕННЫЯ ОПЕЧАТКИ.

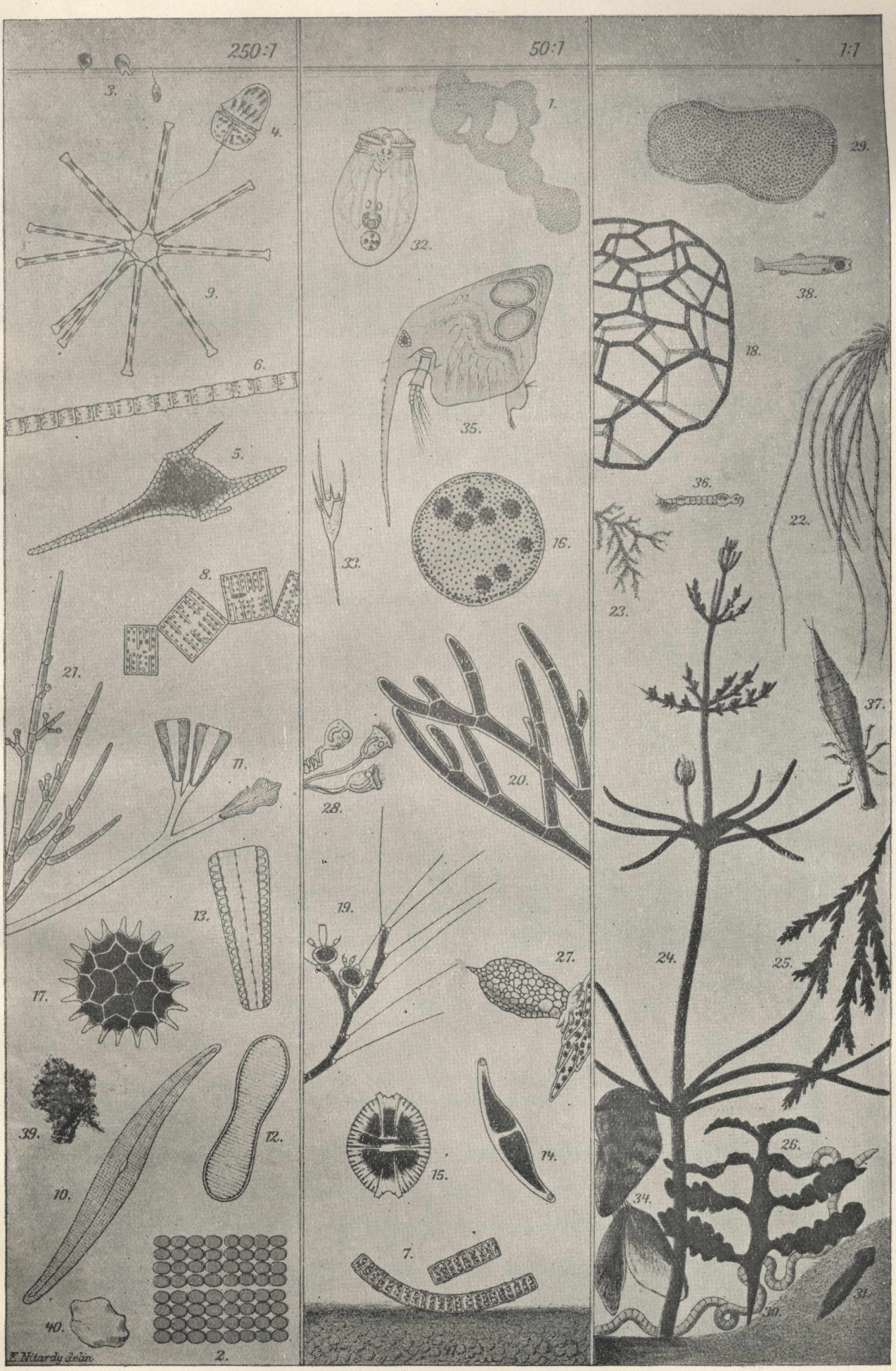
| Стр. | Строка. | Напечатано. | Слѣдуетъ. |
|---|---|---|---|
| 2 | 12 сверху | Пр. Проводникъ | Пр. Правдзикъ |
| 2 | 7 снизу | Zeitschrift | Journal |
| 4 | 4 снизу | песчаныхъ | песочныхъ |
| 5 | 16 снизу | 0,05—0,06 гр. | 0,5—0,6 мгр. |
| 5 | 7 снизу | взвѣшанныхъ | взвѣшенныхъ |
| 11 | 4 сверху | стклянки | стклянку |
| 11 | 3 снизу | Ca CO | $CaCO_3$ |
| 17 | 5 сверху | *опредѣлніе* | *опредѣленіе* |
| 21 | 19 снизу | *сотавѣ* | *составѣ* |


500:1
250:1.
1:1
3.
5.
4.
24.
20.
16.
8.
7.
23.
22.
2.
1.
11.
33.
19.
25.
17.
27.
28.
25/1.
30.
18.
34
15.
32.
21.
13.
26.
10.
6.
9.
14.
29.
12.
31
E. Nitardy delin.

Фиг. 146.


250:1
50:1
1:1
1.
2.
3.
4.
5.
6.
7.
8.
9.
10.
11.
12.
13.
14.
15.
16.
17.
18.
19.
20.
21.
22.
23.
24.
25.
26.
27.
28.
29.
30.
31.
32.
33.
34.
35.
36.
37.
38.
39.
40.
41.
42.
43.
44.
45.
46.
47.
48.
49.
Σ. Nazarij delin.

Фиг. 147.


250:1
50:1
1:1
3.
4.
9.
6.
5.
8.
21.
11.
13.
17.
39.
10.
12.
40.
2.
1.
32.
35.
33.
16.
28.
20.
19.
27.
15.
14.
7.
41.
29.
38.
18.
36.
22.
23.
37.
24.
25.
26.
34.
30.
31.
E. Ntardy delin.

Фиг. 148.