

АКАДЕМИЯ КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА
ПРИ СНК РСФСР

Д.Х.

Очистка сточных вод

О НТИ • 1984

32854 V

Д.Х.

06'

3 ТМО Т. 3.600.000 З. 2972—89

~~42~~
56 25/III 657 -

Д.Х.

94

~~1211~~ 2.57

32354



ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД
сборник статей
Замеченные опечатки

Стр.	Строка	Напечатано	Следует
12	6 снизу	Познаванию	Познанию
14	1 снизу	Доваля ($Al_2 O_3$)	Деволя
18	12 снизу	показано	доказано
20	Табл. 5, графы 4 и 9	$H_2 H_2$	$H_2S H_2S$
20	" 5 и 10	$H_3 H_3$	$NH_3 NH_3$
21	14 сверху	C CO_2 на известь	CO_2 с известью
23	6 снизу	нитрата	нитратов
33	17 снизу	$K_d = \frac{1539}{1325}$	$K_d = \frac{1537}{1325}$
38	10 сверху	за	за
50	7 сверху	13 м	13 см
55	10 снизу	176 мм/сек	1,76 мм/сек
69	10 сверху	осадков	осадок
72	4 снизу	разницы воды	разницы уровня воды
109	14 сверху	в 12 раза	в 1,2 раза
129	7 сверху	калориметрического	калориметрического
139	Табл. 86	1921 г.	1931 г.
140	7 снизу	(табл. 11 и 12)	(табл. 88 и 89)
143	Табл. 90, 9 графа	мм/л	мг/л
144	Табл. 91, Стойкость 5/XII	99	30
148	3 сверху	на	из
148	Табл. 97, графа E_h , первая цифра	+ 0,12	- 0,12
149	4 снизу	48	24
150	5 снизу	$K_{18} - 8,39 \cdot 10^{-4}$	$K_{18} = 8,39 \cdot 10^{-4}$
151	18 снизу	0,55 б	0,53 б

Стр.	Строка	Напечатано	Следует
152	Табл. 100, 10 графа	$E_0 = + 0,026$	$E_0 = - 0,026$
155	Примечание	стр. 199 и 200	стр. 197 и 198
157	15 снизу	окислительной мощности	окислительной работы
158	Табл. 101	Окисляемость 8,6	Окисляемость 18,6
160	31 снизу	стр. 197	стр. 196
173	6 снизу	Mahr'a (I)	Mahr (20)
188	18 снизу	1 см	1 см ³
189	Табл. 120, 18 графа, снизу	99,55	92,55
190	Табл. 121	1/XI 1932	1/XI 1931
191	5 снизу	$K = \frac{1}{t} - l_g \frac{n_1}{n_2}$	$K = \frac{1}{t} \cdot l_g \frac{n_1}{n_2}$
191	3 снизу	t_1	t
199	2 сверху	RSFFSR	RSFSR
202	4 сверху	Preliminav	Preliminary
202	19 снизу	от	of
205	15 сверху	0,25 : 0,30	0,25 or 0,30
205	2 снизу	$E_h = 0,10, V$	$E_h = - 0,10 V$
206	7 сверху	positive	positive
206	13 сверху	Unit	tank
207	12 сверху	N . . . p' . . .)	№ 03, p. 176
208	16 снизу	193	192

628-38.7

0-94



ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

СБОРНИК РАБОТ

ПОД РЕДАКЦИЕЙ
ПРОФ. С. Н. СТРОГАНОВА

1944 г.

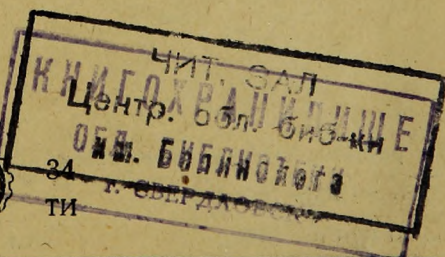
19

ОН



34

ТИ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ И СУДОСТРОЕНИЯ

Москва НКТП ГОССТРОЙИЗДАТ СССР Ленинград

698.3

Отв. редактор инж. М. И. Ковальский

Техн. редактор В. С. Дахнов

Сдано в набор 16/V 1934 г.

Подписано к печати 16/X—34 г.

Формат бум. $62 \times 94 \frac{1}{16}$

Кол. п. л. 13

Кол. бум. л. $6 \frac{1}{2}$

Знак. в 1 ш. л. 53856 Уполн. Главл. В—72 277 ГСИ № 584 Инд. С-51-5-4 Тир. 3500

1-я тип. Трансжелдориздата, Москва, Б. Переяславская, 46. Кар. 15740

О Г Л А В Л Е Н И Е

	Стр.
С. Н. Строганов, Исследовательская работа в области очистки сточных вод	5
Т. С. Нагибина, Влияние канальных газов на разрушение Люберецкого кирпичного канала	11
М. М. Дворецкий, Попытка выявить распределение напряжений в разрушающемся Люберецком канале	29
А. Т. Демина, Предварительные наблюдения над работой первичных отстойников вертикального типа	38
М. М. Дворецкий, Передача осадка сточной жидкости по трубам и лоткам	59
З. А. Орловский, О применении эрлифтов на станциях аэрации . . .	82
В. А. Бараш, Методика определения летучих жирных кислот в иловой жидкости метан-тэнков	98
К. А. Овсянникова, Обработка отбросов с решеток путем метанового брожения	104
Е. С. Попова, Определение органического вещества в сточных и очищенных водах	112
В. Г. Савич, Окислительно-восстановительный потенциал как контрольный метод при очистке сточных вод	125
Н. М. Попова и Т. С. Нагибина, Самоочищение р. Пехорки в нижнем течении и после спуска в нее дренажных вод с Люберецких полей фильтрации	155
English Abstracts	199

Исследовательская работа в области очистки сточных вод

Громадное значение вопросов канализации в проблеме реконструкции и санитарного благоустройства городов СССР заставило Академию коммунального хозяйства уделить особое внимание исследовательским работам в области очистки сточных вод.

Достаточно сказать, что число канализованных городов во второй пятилетке возрастает с 50 до 200. Количество сточных вод, подлежащих обработке, исчисляется в настоящее время в 442 тыс. $\text{м}^3/\text{сутки}$ (из них Москва дает около 270 тыс. $\text{м}^3/\text{сутки}$). К 1937 г. это количество подлежащих обработке сточных вод превысит 2 млн. м^3 , причем на Москву придется 935 тыс. м^3 . Практическим опытом в области очистки сточных вод располагает очень небольшое число городов: Москва, Одесса, Харьков, Тула, Симферополь.

Наблюдениями над действующими очистительными сооружениями и научно-техническим исследованием процессов очистки сточных вод за последние 28 лет систематически занималась только Москва.

В настоящее время лаборатория Треста очистки сточных вод Моссовета является единственным учреждением в СССР, где исследовательская работа строится на производственной базе вполне современного очистительного процесса и тесно связана с решением основных производственных зданий.

Приступив к работе над проблемами очистки сточных вод, Академия, естественно, не могла пройти мимо этих работ, поставив себе задачу использовать огромный накопленный материал Треста с целью углубить и расширить до общесоюзного значения проработку данных проблем и в то же время ускорить их выполнение.

В 1932 г. Академия на началах кооперации с лабораторией Треста прорабатывала 10 тем.

Подбор тем сам по себе представляет интерес, так как отвечает на очередные запросы канализационного хозяйства Москвы, а это последнее хорошо отражает в себе потребности других городов СССР.

Вполне естественно, конечно, что исследовательская работа направлена в сторону изучения современных сложных методов очистки, которые с чрезвычайным интересом разрабатываются за границей и отчасти уже вошли в практику Москвы и которым наряду с полями орошения предстоит широкое применение во многих городах СССР.

Основными направлениями исследования являются:

1. Изучение методов интенсификации биохимического окисления.
2. Изучение методов обработки осадка.

3. Изучение водоема в качестве приемника сточных и очищенных вод.

По первому вопросу (методу аэрации) был накоплен уже значительный материал. В порядке его разработки и развития этой темы в 1932 г. Академией совместно с лабораторией начала сравнительные наблюдения над аэротенками с механической и пневматической аэрацией. Работа эта продолжалась в 1933 г., а потому в настоящий сборник не входит.

Не входит также оконченная только в 1933 г. работа по изучению хлорирования сточной жидкости как средства повысить производительность перколяторов (Е. Ф. Константинова, Н. Г. Захаров, А. Д. Мусатова).

Включена в этот сборник работа по изучению эрлифтов для подъема активного ила из вторичных отстойников в аэротэнки (З. А. Орловский).

По второму вопросу (метановое брожение) в 1932 г. начато изучение метан-тэнков проточного типа, но работа продолжалась и в 1933 г. В данный сборник включены лишь две методологические работы из этой серии (В. А. Бараш и К. А. Овсянниковой).

Ближайшее отношение к этой основной теме имеет изучение работы действующих отстойников вертикального типа (А. Т. Демина) и наблюдения над передачей осадка по лоткам и трубам (М. М. Дворецкий и И. А. Шашкин). Обе эти работы даны в сборнике.

Третье направление — изучение водоема — нашло себе выражение в двух работах:

1. Наблюдение над замкнутым водоемом, использованным для очистки сточной жидкости в летнее время (И. П. Астахова и В. А. Мейен). Работа не кончена и войдет в следующий сборник.

2. Наблюдения над р. Пехоркой, принимающей сток с Люберецких полей (Н. М. Попова и Т. С. Нагибина). Работа включена в настоящий сборник.

Методологический характер носят помещенные в этом сборнике работы В. Г. Савича об окислительно-восстановительном потенциале, В. А. Бараш об определении кислот жирного ряда и К. А. Овсянниковой об определении клетчатки в осадке.

Несколько особняком среди работ этого сборника стоит статья об условиях разрушения кирпичного загородного канала (Т. С. Нагибина и М. М. Дворецкий). Конечно эта работа не имеет прямого отношения к процессам очистки сточных вод, но ее появление в ряду других легко объяснимо тем, что она выполнялась также в лаборатории Треста очистки сточных вод.

Все работы подвергались обсуждению в соответствующих производственных комиссиях Треста очистки сточных вод и в расширенных заседаниях канализационной секции Академии коммунального хозяйства.

Работы размещены в сборнике в порядке логической последовательности (от подводящего канала к водоему).

Все работы сопровождаются кратким рефератом на английском языке, чтобы облегчить ознакомление с ними иностранным специалистам.

Для суждения о ценности каждой работы, о смысле ее постановки и значении достигнутых результатов попытаемся дать самый краткий их обзор.

1. При постройке бетонных водоводов обычно большое внимание уделяют составу омывающих их снаружи грунтовых вод. Влияние газов, выделяющихся из сточной жидкости и из осадка, далеко не всегда учитывается строителями, хотя сероводород легко приводит к образованию гипса и соли Деваля в неомываемой жидкостью части каналов. И хотя тот же самый цемент применяют при кирпичной кладке, такие каналы не вызывают сомнений в своей прочности. Пример разрушения Люберецкого загородного канала, разбираемый в работах Т. С. Нагибиной и инж. М. М. Дворецкого, очень ярок. Изменения в составе цемента, разрушения кирпича, продольные трещины в своде канала — все это следствие сложного процесса, повидимому, микробиального характера. Попытка подсчитать внутреннее напряжение, возникающее в стенках канала, обращает внимание проектировщика на такие стороны дела, какие обычно к учету не принимаются. Другой пример такого разрушения нам известен в отношении канала г. Мельбурна (Австралия). Все это заставляет с большим вниманием пересмотреть наши взгляды на нерушимость кирпичных каналов и повысить требования к качеству работы и к характеру материалов, для них применяемых. В частности очень интересно участие в этом процессе микробов нитрификации, что подтверждает наблюдение проф. Исаченко, и роль автотрофных денитрификаторов в образовании гипса и соли Деваля.

В этой части наблюдения Т. С. Нагибиной расширяют представление о биологическом характере этого процесса, высказанное Buchanan'ом.

2. Наблюдения над работой вертикальных первичных отстойников проведены были А. Т. Деминой на действующей группе отстойников Кожуховской станции аэрации. Освоение этой новой очистной станции вполне естественно было начать с первичных отстойников.

Интересно, что даже экспериментальная часть работы проведена без нарушения обычного эксплуатационного режима станции.

Целый ряд конструктивных деталей получил освещение (глубина впускной трубы, положение щита и пр.). Проверены пропускная способность отстойников и основные элементы расчета. Все это уточняет задания для вновь проектируемых сооружений этого типа. Вместе с тем получены очень ценные данные по методологии подобных наблюдений, например недопустимость оценки работы отстойника по среднесуточным пробам; этой стороны дела, насколько мы знаем, ни наши, ни иностранные исследователи не учитывали. В гидравлической части заслуживает внимание указание на то, какое большое значение имеют в отстойниках данной конструкции при равных поверхности и расходе местоположение отражательного щита и ширина выпускной щели. Широкого обобщения о работе вертикальных отстойников наблюдения эти конечно дать еще не позволяют. Это составит задачу последующих наблюдений над вертикальными отстойниками иной конструкции и для другого осадка (активный ил).

3. Ни в нашей, ни в иностранной литературе нет сведений об условиях движения осадка (свежего и перегнившего) по лоткам и трубам. Не так давно проектировщик был связан нормой для уклона $i = 0,03$. Не было никаких представлений о влиянии содержания воды на текучесть осадка, о коэффициенте трения в лотках и трубах.

Работа инж. М. М. Дворецкого в сотрудничестве с инж. К. Ф. Разиковым и И. А. Шашкиным дает ряд решений по этим вопросам.

Очень интересны измерения внутреннего трения (вязкость) для осадка свежего и сброженного (их в иностранной литературе мы не встречали). Любопытны наблюдения над влиянием скорости движения осадка на изменения коэффициента шероховатости, что вероятно находит свое объяснение в том, что коэффициент вязкости для осадка, как и для коллоидных систем, оказывается функцией градиента скорости (Песков).

Вопрос об условиях движения по трубам приобретает большой интерес в связи с перекачкой осадка на значительное расстояние от отстойников (Москва, Ленинград). Что касается лотков, то полученные данные уже нашли свое применение в проектной работе Московского треста очистки сточных вод.

4. Эрлифт по простоте своего устройства и легкости обращения — прибор, очень удобный для аэрационных установок. Однако ни в нашей, ни в иностранной литературе нет данных для расчета эрлифта на подъем активного ила из вторичных отстойников.

Обследования нескольких форм эрлифтов Кожуховской станции и эксперименты с ними позволили инженерам З. А. Орловскому и П. Н. Клитину выяснить основные задания для эрлифтов, поднимающих активный ил на небольшую высоту, и установить, что наиболее подходящей для этого случая будет формула Меликова.

Эта работа, так же как обследование отстойников, может быть отнесена к техническим приемам освоения нового сооружения (Кожуховской станции). Строго гидравлическое изучение эрлифтов конечно этими сравнительно грубыми методами еще не решается, но в практику результаты этой работы уже введены перестройкой двенадцати эрлифтов станции.

5. Работа К. А. Овсянниковой „Обработка отходов с решеток путем метанового брожения“ носит главным образом методологический характер и вводит, повидимому, очень ценное расчленение в общую массу сбраживаемых веществ — определение альфа- и гемицеллюлозы.

По отношению к возможности обработки в анаэробных условиях отходов с решеток наблюдения подтверждают данные, ранее нами полученные, что и эти отбросы и так называемый „сухой“ мусор хорошо сбраживаются. Но данные количественного характера (дозы загрузки) и конструктивные особенности необходимых для такого отброса метан-танков — все это вопрос еще открытый.

6. В контроле процесса брожения в метан-танках мы приписываем большое значение определению летучих кислот жирного ряда, количество которых при хорошо координированной работе обеих микробиальных групп, участвующих в процессе, не должно быть высоко.

Особенно ценны эти наблюдения в период пуска метан-танков. Между тем общепринятый метод отгона (Дюкло) в качестве контрольного неудобен. Инж. В. А. Бараш разработала очень простое и легко выполнимое определение жирных кислот путем „прямого титрования“. Оно уже введено в практику нашего контроля.

7. Исключительное значение характеристики жидкости по биохимической потребности в O_2 в сильной степени ослабляется длительностью срока определения (5 суток), а для точных определений необходимостью установления собственной константы процесса. Поэтому в качестве контроль-

ного приема для определения количества органического вещества методы химического окисления более удобны.

Работа Е. С. Поповой в сотрудничестве с В. С. Поповой проводит сравнение между определением биохимической потребности в кислороде (БПК), широко у нас применяемой „окисляемостью по Кубелю“ и английским методом Abbott (бихромат). Метод Abbott для сточной жидкости Люберецких полей дает устойчивый коэффициент пересчета (82% от БПК с собственной константой), т. е. значительно выше, чем Кубель (30%).

Попутно выяснено, что для БПК нельзя применительно к московской жидкости принимать константу 0,1, принятую в США.

В наблюдениях Е. С. Поповой, Н. А. Базякиной и А. Т. Деминой большей частью эта константа около 0,2.

Для вод очищенных и речных не удается решить, какой из обоих химических методов ближе подходит к определению БПК.

8. Быстрая ориентировка в ходе окислительного процесса имеет огромное значение и в производственном контроле и в экспериментальных работах с таким сложным объектом, как сточная жидкость.

Для этой цели особенно подходят физические и физико-химические методы, допускающие быстрый отсчет результатов.

Для сложного биохимического процесса окисления сточной жидкости в особенности интересным представляется измерение окислительно-восстановительного потенциала.

Работа В. Г. Савича (в сотрудничестве с А. И. Булавинцевой и Н. Н. Лихачевой) — предварительное исследование сточной жидкости и очистительных сооружений по отношению к этому новому показателю. До настоящего времени ни в Америке, ни в Западной Европе измерение на-пряжения окислительно-восстановительного свойства растворов не проникло еще в область очистки сточных вод. Предстоит еще преодолеть ряд трудностей экспериментального характера, расшифровать корреляцию между окислительно-восстановительным ($O—B$) потенциалом и данными обычного анализа, но и теперь уже по материалам, собранным в этой работе, можно быть уверенным в том, что санитарная техника получает новый прием исследования одной из характернейших особенностей сточной жидкости — ее восстановительных свойств.

9. Последняя работа дает годичный цикл наблюдений над небольшим водоемом р. Пехоркой, принимающей с Люберецких полей фильтрации очищенную на них воду. Отношение расхода очищенных вод к речной 1:0,85.

Авторы (Н. М. Попова и Т. С. Нагибина при участии И. П. Астаховой и инж. М. М. Дворецкого) подходят к водоему как к очистительному „сооружению“, выполняющему задачу окончательной ликвидации химического и бактериального загрязнения, вносимого дренажными водами полей фильтрации.

Работа представляет значительный интерес в методологическом отношении, так как является попыткой впервые в СССР применить в наших условиях методику, разработанную американскими исследователями (Streeter and Frost), и взгляды Mahr'a. Определение коэффициента аэрации водоема, имеющее такое большое значение в установлении местных норм для спуска в водоем загрязняющих вод, на р. Пехорке с полной убедительностью поставило вопрос о необходимости учитывать при этом затрату кислорода на окисление аммонийных солей.

В работах американских исследователей с этой стороной дела не считались.

Ход переработки бактериального загрязнения также очень ясно выражен в р. Пехорке и к этому объекту оказалась применимой формула Setter'a для скорости отмирания бактерий, хотя фактор времени выражался всего часами. При этом замечательно, что скорость отмирания (K в формуле Setter'a) оказалась в 1931/32 г. того же порядка, что в 1912 г. до постройки полей фильтрации

Помимо этих общих вопросов наблюдения на р. Пехорке с полной очевидностью осветили громадную окислительную работу, какую выполняют Люберецкие поля фильтрации, защищая р. Пехорку от чрезмерного загрязнения сточными водами Москвы.

Работы этого типа, проведенные в различных условиях загрязнения и на разных реках СССР, дадут основания для решения целого ряда чисто санитарных и хозяйственных вопросов.

Одновременно проведена была работа по замкнутому водоему (торфяной карьер), законченная лишь осенью 1933 г., и работа по р. Москве ниже города (не кончена обработка материала).

В заключение, подводя итоги этой первой серии работ Академии коммунального хозяйства в области очистки сточных вод, можно констатировать следующее:

1. Тематика работ отвечает назревшим запросам санитарной техники и стоит на уровне современного развития техники за границей.
2. Решения поставленных задач привели во многих случаях к интересным и новым выводам.
3. Результаты многих работ уже используются на очистных сооружениях Треста очистки сточных вод или в лабораторной практике, так что освоение их началось еще до опубликования.

Большим удовлетворением для всех участников работы является выпуск настоящего сборника в начале второй пятилетки, так как это дает уверенность в том, что их труд войдет в качестве одного из камней в здание социалистической реконструкции городов нашего Союза.

Влияние канальных газов на разрушение Люберецкого кирпичного канала

Введение

Подача московских сточных вод на Люберецкие поля фильтрации от главной насосной станции идет по Люберецкому загородному водоводу, общая длина которого 17,48 км.

Так как наивысшая точка Люберецких полей фильтрации имеет отметку 30,36 м против московского нуля, то подача жидкости осуществляется перекачкой, и загородный водовод делится на напорную часть, по которой сточные воды поднимаются на высоту + 27,65 м (водораздел у с. Карачарова), и самоточную. Самотоком сточные воды идут остальные 10,93 км в кирпичном канале, условия разрушения которого и будут разобраны в настоящей работе.

Самоточная часть Люберецкого водовода¹ представляет собой круглую кирпичную трубу 1,98 м в диаметре, проложенную с уклоном $i = 0,00025$, который обеспечивает скорость течения жидкости 0,87 м/сек и расчетный расход воды 193 400 м³/сутки.

Но под д. Выхино, где по условиям рельефа канал проложен с уклоном $i = 0,0035$, сточные воды идут в нем со скоростью 2,25 м/сек, диаметр внутреннего сечения трубы был уменьшен до 1,22 м.

Люберецкий загородный водовод пущен в эксплуатацию с лета 1914 г. Внутренний осмотр канала производится во время весеннего перерыва в работе полей, когда сточные воды непосредственно у главной насосной станции спускаются во время половодья в р. Москву.

Описание разрушения Люберецкого водовода

Уже в 1920 г. инж. Л. И. Карагодиным было обращено внимание на разрушение цементных швов и кирпичной кладки внутреннего переката водовода. При каждом весеннем осмотре канала в последующие годы наблюдалось, что разрушение сооружения неизменно идет. Оно проявлялось в размягчении и выпучивании цементных швов кирпичной кладки и в отслаивании кирпичей более или менее мощными пластинами в верхнем своде канала выше уровня жидкости в нем.

В настоящее время разрушение Люберецкого водовода особенно велико в части с $d = 1,22$ м. Отслаивание кирпича на этом отрезке водовода

¹ Описание Люберецкого водовода дано по материалам инж. И. С. Бессонова.

идет у пят трубы вверх на 4—5 кирпичей от линии, переменнo оmyваемой сточной жидкостью. Кирпичи отслаиваются мощными пластинами в 3—4 см толщиной и во весь кирпич длиной. Местами отслаивание кирпича прошло на толщину первого переката. Об интенсивности разрушения этой части можно судить по количеству обломков кирпича, которые ежегодно откладываются в трубе $d = 1,98$ м и на интервале перехода канала от $d = 1,22$ к $d = 1,98$ м, где резко замедляется скорость течения жидкости в водоводе.

При внутреннем осмотре Люберецкого водовода весной 1932 г. лоток канала на протяжении 10—15 м был завален на высоту 50—60 см обломками кирпича. Вся эта масса кирпича отслоилась за один эксплуатационный год, так как весной 1931 г. канал был вычищен. В других частях водовода $d = 1,98$ м разрушение идет лишь в своде, причем интенсивность этого процесса на различных отрезках трубы различна. При осмотре канала (внутреннем) можно наблюдать различные стадии разрушения. Начало отслаивания кирпича обнаруживается лишь по звуку пустоты при простукивании кирпичной кладки. Местами видно уже выпирание отслоившейся кирпичной пластинки. Местами же встречаются свешивающиеся пластины кирпича, которые падают при легком прикосновении. Обломки кирпича составляют главную часть осадка в канале. Разрушение идет сильнее у смотровых колодцев; здесь острые углы, которыми сочленяется канал со смотровыми колодцами, заметно сглажены. Со свода кое-где свешиваются сталактиты натеков CaCO_3 , достигающие 10—20 см, а из боков трубы бьют в нескольких местах свищи грунтовой воды. Несколько лет назад свод водовода, как изморозью, был покрыт кристаллами. Теперь же с поднятием уровня жидкости в трубе внутренний свод уже покрыт не кристаллами, а белой сметанообразной массой измененного цемента. Лишь на отслоившихся пластинах кирпича можно видеть кору кристаллов.

Наружный осмотр Люберецкого канала, который был произведен впервые в 1927 г., показал, что водовод на всем протяжении покрыт трещинами различной мощности от мельчайших до крупных трещин шириной до 4 см и глубиной во всю толщу кирпичной кладки. Трещины открыты к периферии канала (рис. 1), а также рисунки 13, 14 и 15 на стр. 36 и 37.

Обнаруженные при осмотре канала трещины тогда же были зацементированы, но при раскопке канала через год оказалось, что на зацементированном участке трещины появились вновь.

Обзор литературы по разрушению кирпичных кладок

Литература по разрушению кирпичных кладок бедна. Зато имеющееся по данному вопросу исследование „О нитрификации на стенах и о разрушении вследствие этого кирпича“ проф. Б. Л. Исаченко,³⁾¹ дает чрезвычайно ценный материал к познанию причин этого явления.

По наблюдениям проф. Исаченко явление разрушения („выветривания“) кирпичных кладок в Ленинграде широко распространено. Автор описывает ряд случаев, когда разрушающиеся кирпичные стены домов, оранжерей, бань и пр. были покрыты кристаллическим налетом. При ближайшем исследовании таких налетов оказывалось, что собранные со стен выцветы

¹ Цифры в скобках — номер в списке литературы (стр. 27).

кристаллов в большинстве случаев нацело растворяются в воде и состоят главным образом из сернокислых и азотнокислых солей. По анализам Хельма содержание SO_3 в таких налетах колеблется от 3,7 до 56,2%.

Проф. Б. Л. Исаченко полагает, что сернокислые соли могли образоваться путем окисления серобактериями сероводорода, выделяемого в атмосферу городов с дымом из топок. Автор наблюдал развитие на кирпичных стенах *Thiobacillus thioparus* Бейеринка (см. Bavendam) ⁽¹⁵⁾.

Однако в данной работе проф. Б. Л. Исаченко останавливается главным образом на процессе нитрификации, который он считает более активным в деле разрушения кирпичных кладок. По наблюдениям автора разрушение кирпичных зданий особенно интенсивно идет у конюшен и скотных дворов, где обеспечено достаточное количество аммиака. Особенно мощное разрушение кирпичной стены одной из оранжерей Ленинградского ботанического сада остановило внимание проф. Исаченко и было им ближе исследовано.

В здании обычно пахло аммиаком и нитрификация шла настолько интенсивно, что в некоторых „гнездах“ кирпичи были нацело разрушены. Оставшиеся части изъеденных нитрификационным процессом кирпичей легко отламывались и крошились в руках. Если такие стены ремонтировались, то наложенная штукатурка скоро отваливалась.

Автор не останавливается на причинах наблюдаемого им разрушения кирпичей, но по его описанию можно думать, что разрушение идет как за счет кристаллизации солей в порах кирпичей, так и в результате действия на них азотной кислоты.

Посевы в стерильный раствор Виноградского ⁽¹²⁾ кусочков такого кирпича давали в опытах проф. Исаченко интенсивную нитрификацию уже на 5—7-й день после заражения. Это обстоятельство указывает, что образование нитратов в кирпичах шло в результате активной жизнедеятельности нитрифицирующих бактерий Виноградского (*B. Nitrosomonas* и *B. Nitrobacter*).

По предложению Управления городских водопроводов проф. Исаченко в 1911 г. было исследовано аналогичное разрушение кирпичной водонапорной башни в Ленинграде на Шпалерной улице. Кирпичные стены водонапорной башни были сильно разрушены; кирпичи отслаивались пластинками, легко крошились и были покрыты белым кристаллическим налетом. В стерильном растворе Виноградского, зараженном кусочками разрушенного кирпича из стены башни, так же как и в вышеописанном

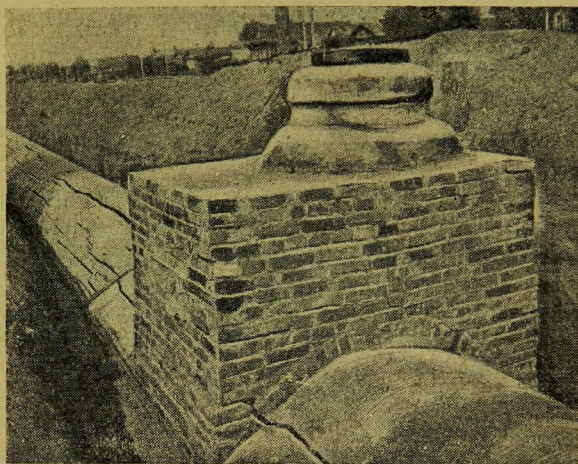


Рис. 1. Наружный вид трещин кирпичной кладки смотрового колодца на обнаженном Люберецком водоводе.

случае, наступало быстрое образование нитратов. Кроме личных наблюдений проф. Исаченко в излагаемой работе приводит интересные материалы О. Хельма. Хельм, анализируя кирпичи из стен старых зданий, находил в них до 5% нитратного N и вышеприведенные количества сульфатов.

Одновременно (в 1884 г.) с работой Хельма в трудах академии Линсеи (Accademia dei Lincei) было напечатано исследование Толомеи на ту же тему, который наблюдал интенсивную нитрификацию на стенах новых кирпичных зданий.

Большое распространение этого явления привело строителей Флоренции к необходимости строго браковать идущие на постройку камни, так как при загрязнении их азотосодержащим органическим веществом немедленно наступала нитрификация, что вело к разрушению зданий.

Кроме того по литературным данным XVIII века известно, что в Tougaine, где здания строятся из пористого кирпича, азотнокислые соли накапливались в таком количестве, что старые здания было выгодно покупать на слом для получения селитры.

Обзор литературы по разрушению бетонных водоводов

В санитарно-технической литературе по разрушению бетонных сооружений имеется ряд работ. Наиболее крупной работой на эту тему является монография Kleinogel'я („Die Einflüsse auf Beton“, 1925 г.), где дается исчерпывающая литература по разрушению бетонных сооружений. Материалы, собранные Kleinogel'ем в этой работе, вошли в учебники по строительным материалам.

Применение бетонных труб для прокладки городской канализации получило по словам инж. Н. Д. Доброхотова (¹⁴) еще в конце прошлого столетия широкое распространение. В нашей стране бетонными трубами были уложены канализационные сети Одессы, Перми, Н.-Новгорода и ряда курортных городов, Ялты, всей группы минеральных вод и др. Но после незначительного промежутка времени эксплуатация бетонных труб выявила их недостатки. В печати появились заметки о недолговечности бетона.

Тем не менее применение бетонных труб имеет и своих сторонников. Вопрос о применении бетонных труб для санитарно-технических целей не раз обсуждался на водопроводных съездах (²), но все же оставался нерешенным.

В 1924 г. инж. Н. Д. Доброхотовым был выпущен критический очерк „Бетонные трубы“. В своей работе автор детально разбирает вопрос о применении и условиях разрушения бетонных труб и делает ряд практических выводов, указывающих на необходимость осторожного применения бетонных труб для городской канализации.

Вопросу о бетонных трубах было уделено большое внимание на I Всесоюзном (XII) водопроводном и санитарно-техническом съезде 1925 г. в связи с большим повреждением крупного бетонного сооружения Шоллар-Бакинского водовода.

Разрушение бетонной 160-см трубы, питающей Баку чистыми шолларскими водами, через семь лет после начала ее эксплуатации вызвало большой интерес и дало ценные материалы к изучению причин разрушения бетона. Анализы инж. Г. К. Дементьева (¹⁰) показали, что размягчение бетона произошло за счет образования в нем гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{aq}$) и частью дальнейшего превращения этого соединения в двойную соль Деваля (Al_2O_3

$Al_2O_3 \cdot 3 CaO \cdot 3 CaSO_4 + 30aq$) с имеющимся в цементе алюминием. Образование солей Деваля идет с резким увеличением объема, что ведет к разрыву бетона.

По подсчетам инж. Дементьева измененный цемент Шолларского водовода содержал до 22% соли Деваля. Аналитические данные того же исследователя указывают также на значительное уменьшение в разрушенном материале кальция. Уменьшение кальция, как установлено соответственными определениями, совершалось в силу растворения углекислых и сернокислых солей этого элемента в просачивающейся через разрушенный бетон воде. Как установлено путем тщательного изучения, образование гипса в бетонных стенках водовода произошло вследствие взаимодействия извести с сульфатами сильно минерализованных вод, омывающих водовод на некоторых участках его пути.

Интересно отметить, что наиболее пострадавшие части водовода проходят в почвах с наиболее концентрированными грунтовыми водами (60—62 км).

Таким образом разрушение Шоллар-Бакинского водовода произошло в результате изменения цемента. Как выше указано, агентом разрушения явились сульфаты. Разрушение водовода шло снаружи под действием сильно минерализованных грунтовых вод из солончаковых почв, в которых водовод был проложен.

Между тем практика развивающегося санитарно-технического строительства требовала все большего применения бетона для санитарно-технических сооружений (отстойники, метан-танки, аэротанки и пр.) и ставила строителей в затруднение в смысле применения этого удобного, но часто недолговечного материала.

Такое положение нашло отражение в печати в статье инж. Я. Я. Звягинского⁽⁶⁾. Автор приводит целый ряд как отечественных, так и иностранных наблюдений по разрушению бетонных сооружений под влиянием газов, выделяемых сточными водами, и отмечает почти абсолютную неизученность этих явлений.

Инж. Я. Я. Звягинский в заключение приводит основные положения из брошюры инж. Н. Д. Доброхотова, которыми рекомендует руководствоваться.

Как бы в ответ на пожелания инж. Я. Я. Звягинского в 1928 г. в журнале „Строительные материалы“ появилась работа В. Кинда и инж. Александровского⁽⁷⁾, посвященная изучению „Условий образования сульфоалюмината кальция“. Авторами была проделана основательная экспериментальная работа с интересными практическими выводами по изучению влияния различных солей на образование солей Деваля.

В иностранной санитарно-технической печати имеется также немало работ по разрушению цемента в бетонных сооружениях. В 1913 г. The International clay products Bureau выпустило небольшой сборник американских работ, посвященных описанию разрушения бетонных труб и других санитарно-технических сооружений под действием газов и кислот из сточной жидкости.

Очень интересное наблюдение было сделано и описано инж. Cantell⁽⁸⁾, который обследовал катастрофическое разрушение магистральной канализационной трубы из бетона в St. Vital Man.

Разрушение трубы наступило через год после начала ее эксплуатации. Оно проявлялось в размятении и выпучивании материала, превратившегося

из твердого серого вещества в белую кашеобразную массу. Cantell причиной разрушения считает действие на известь цемента H_2S и CO_2 , выделяемых сточными водами.

Подобное же явление наблюдал инж. Benj. Brooks⁽¹⁷⁾ в Чикаго. Им описано разрушение крупной канализационной трубы выше уровня сточной жидкости под действием канальных газов. Приводимые в работе результаты анализа здорового и измененного цемента указывают на обычное в этом случае увеличение сульфатов.

Аналогичное разрушение бетонной канализационной трубы в Los Angeles описано инж. Н. Hamlin⁽²²⁾.

Наиболее интересной работой по данному вопросу является работа М. Barr и R. Buchanan⁽¹¹⁾. Исследователи наблюдали разрушение бетонных стен септиктенка выше уровня жидкости. Бетон, как и во всех уже описанных случаях, становился мягким, вспучивался, в некоторых частях появлялись кристаллы гипса. Авторам кроме обычных явлений разрушения удалось наблюдать выцветы свободной серы на стенах септика. Запах сероводорода над сооружением, большое количество сульфатов в жидкости септика, наличие серобактерий в коре над жидкостью и на стенах навели исследователей на мысль о биохимической природе разрушения.

Специальные опыты, проведенные ими, вполне подтвердили предположение Barr и Buchanan и показали, что выделение сероводорода из жидкости септиктенка идет как за счет разложения протеинов, так и в процессе десульфуризации имеющихся в ней сульфатов. Авторами была выделена из жидкости септика культура *Spirillum desulfuricans*. Дальнейшее окисление серы по мнению Barr и Buchanan идет при участии серобактерий (*Beggiatoa*), окисляющих H_2S в S и SO_3 , которые по наблюдениям авторов хорошо развивались на стенах септика.

В этой же работе Barr и Buchanan дают нижеследующие интересные цифровые материалы по изменению содержания свободной и окисленной серы в различных частях разрушенного цемента.

Таблица 1

Слои цемента	S	SO ₄
Первый или внешний слой около 1 мм .	19,7%	1,2%
Второй слой, непосредственно прилегающий к первому	7,2%	21,0%
Третий слой приблизительно на 5 см ниже поверхности	0,27%	6,75%

Материалы по изучению факторов разрушения Люберецкого водовода

Описание разрушения, наблюдаемого на Люберецком водоводе, очень сходно с большинством описанных в вышеприведенной литературе разрушений бетонных канализационных труб. То же изменение цемента в белую сметанообразную массу, его выпучивание и частичное вымывание, сталактиты натеков кальцита на сводах. Новым в изучаемом нами разрушении

канала является разрушение кирпича. Но характер разрушения кирпича в Люберецком водоводе все же различен от аналогичных явлений, описанных в работе проф. Б. Л. Исаченко⁽⁸⁾.

Химический анализ здорового и разрушенного цемента из Люберецкого канала показал, что изменение цемента при разрушении выражается резким обогащением его сульфатами (SO_2) за счет кремневой кислоты (SiO_2).

В противоположность литературным данным при разрушении цемента в Люберецком канале вымывания CaO не наблюдалось (табл. 2). Даже, наоборот, процентное содержание извести CaO в сильно измененных образцах цемента выше по сравнению с нормальным.

Таблица 2

Анализы Н. А. Базякиной.

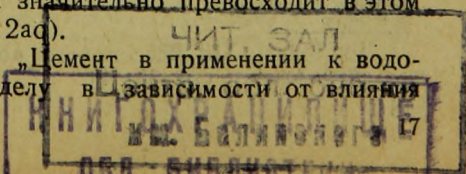
	№ ана- лиза	SO_3	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Потеря при про- калива- нии	Сумма
1. Нормальный цемент (из наружной штукатур.)	17	1,04	66,72	2,73	0,47	12,49	0,93	15,32	99,76
2. Малоизмененный цемент . .	22	7,90	50,44	13,68	0,64	17,50	1,29	8,76	100,21
—	7	8,60	62,46	8,94	1,69	10,96	1,12	6,03	99,81
3. Сильно измененный цемент . .	5	13,80	46,88	4,28	0,73	23,00	0,77	10,34	99,81
4. " " . .	14	26,80	40,85	1,27	0,01	18,92	0,26	11,50	99,61
5. " " . .	25	33,86	20,39	5,89	0,13	18,00	0,35	21,07	99,69
6. " " . .	3	42,95	10,52	1,21	0,35	30,71	0,30	14,00	100,04

При сопоставлении аналитических данных по CaO и SO_3 для одной и той же пробы оказывается, что чем сильнее разрушение цемента, тем ближе соотношение этих группировок подходит к их соотношению в молекуле гипса CaSO_4 . В наиболее же разрушенных образцах SO_3 оказалось больше, чем было обеспечено CaO . Таким образом и по результатам химического анализа изменение цемента в Люберецком канале в основном идет по тем же признакам, что и в случаях разрушения бетонных труб в вышеприведенном литературном обзоре (Benj. Brooks⁽¹⁷⁾, Cantell⁽¹⁸⁾, Barr и Buchanan⁽¹⁶⁾, Мямлина⁽¹⁰⁾ и пр.).

Обогащение цемента сульфатами, как известно, является наиболее губительным. В результате взаимодействия сульфатов с известью цемента идет образование гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) и двойной соли Деваля сульфалюмината кальция ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO} \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 30\text{aq}$), которую ряд исследователей называет „раком цемента“ по причине ее разрушительного действия на цемент и бетон.

Такое действие упомянутых соединений (гипса и соли Деваля) основано на значительном увеличении объема при образовании этих солей против исходных соединений, причем соль Деваля значительно превосходит в этом отношении сернокислый кальций ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{aq}$).

Инж Г. К. Дементьев в своей статье „Цемент в применении к водопроводно-канализационному и нефтяному делу в зависимости от влияния



на него грунтовых и буровых вод" дает схематическое изображение увеличения объемов при образовании соли Деваля и гипса в бетоне (рис. 2)¹.

Не менее показательно соотношение молекулярных объемов, входящих в указанные реакции компонентов.

Таблица 3

	Молекуляр- ный вес	Удельный вес	Молекуляр- ный объем
$\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{ aq}$	172,1	2,32	74,1
$\text{C}_6(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{ aq}$	236,2	19,0 при 15°	12,4
CaCO_3	100,0	2,9—2,7	36,0
$\text{C}_6(\text{OH})_2$	74,0	2,078	35,6
Al_2O_3	102,2	3,75—4,0	26,5
CaO	56,1	3,08	18,2
H_2O	18,0	1,00	18,0
$(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO} \cdot 3\text{CaSO}_4)$ + 30aq Соль Деваля	1218,8	1,52	801,8

Как видно из приведенных чисел, уже при образовании гипса объем увеличивается вдвое против исходного соединения, будь то $\text{Ca}(\text{OH})_2$ цемента или CaCO_3 , во что может перейти первоначальное соединение под действием угольной кислоты. При образовании же соли Деваля объем увеличивается в 22,5 раза.

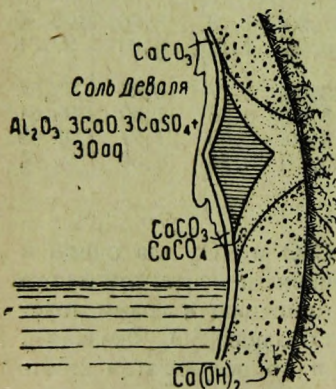


Рис. 2. Схема образования солей Деваля в бетоне.

Анализами кирпича из Люберецкого канала в пробах, взятых из участков кирпичей, находившихся на различном расстоянии от цементного шва, было констатировано значительное обогащение кирпича сульфатами. Как видно из приводимой ниже табл. 4, в анализируемых пробах тем больше SO_3 , чем ближе прилегала к цементному шву взятая для исследования часть кирпича.

Таким образом по химическим анализом как кирпича, так и цемента из Люберецкого водовода показано, что разрушение канала идет в результате образования в них сернокислых солей (гипса и соли Деваля).

Мы представляем себе механизм разрушительного действия сульфатов следующим образом: образование сульфатов начинается в цементе. В силу разности концентраций сульфаты распределяются в конденсационной воде, пропитывающей внутренний свод канала. По мере образования сульфатов концентрация в растворе, пропитывающем кирпичную кладку, увеличивается, и наступают условия, когда из насыщенного раствора выседают кристаллы. За счет увеличения объемов при этом начиналось распирающее окружающего материала, что вело к образованию трещин и отслаиванию кирпичей.

¹ „Труды XIII Всесоюзного водопроводного и санитарно-технического съезда" в Баку", вып. 1, стр. 39—48.

№ облом.	Описание обломков кирпича	№ проб	Описание проб	Химический состав				Потеря при пр. калев.	Сумма	Влаж-ность
				SiO ₂	FeO ₃ + Al ₂ O ₃	CaO	SO ₃			
I	Старый образец, вынутый в 1926 г. Пластика толщиной в 1,5 см от внутреннего свода канала из боковой стенки покрыта слоем осадка. С трех сторон—цемент. Внутренняя к кирпичу поверхность покрыта кристаллами. По стенкам, прилегающим к цементу, заметна простояка желтого цвета. Цемент видоизменен, легко крошится, цвет вместо серого—белый или светлосерый	1	Средняя проба из части пластинки от длинной стороны кирпича, прилегающей к цементному шву. Ширина—1,5 см	72,05	16,06	3,77	0,16	3,77	95,81	1,81
		4	Средняя проба слоя, прилегающего к кирпичу	71,94	17,50	3,25	2,87	—	98,51	—
		6	Средняя проба слоя, прилегающего к каналу	71,90	17,44	3,06	—	2,95	—	2,09
		1	Средняя проба из середины пластины вдали от цементного шва	73,74	16,32	2,52	0,37	3,27	96,22	1,73
		2	Средняя проба из части пластинки, прилегающей к цементному шву	75,74	—	—	0,32	4,87	—	2,62
		2	Средняя проба из части пластинки, прилегающей к цементному шву	74,99	12,41	3,87	1,57	3,80	96,64	2,84
II	Выемка произведена 14/VIII 1930 г. при переходе канала из 4 фут. в 6-фут. Отдельная пластинка кирпича от внутреннего свода канала. Верхняя часть пластинки покрыта кристаллами. Нижняя—налетом плесени и сырости	1	Средняя проба из верхней части кирпича, оставшейся цементированной, с верхними наружными сводами	77,16	—	—	0,26	1,06	—	0,17
		2	Средняя проба из отдельного обломка толщиной в 6 см, одной стороной прилегающего к трещине канала	74,76	19,00	2,63	0,29	0,59	97,27	0,53
III	Выемка произведена одновременно со II образцом. Кирпич нижнего свода канала при выемке весь рассыпался на мелкие куски. Кирпич прилегал к трещине канала толщиной в 1 см	3	Средняя проба из отдельного, обломка, прилегающего к цементному шву	77,61	16,38	1,60	0,30	0,62	96,51	0,39
		1	Средняя проба из верхней части кирпича	79,74	14,36	3,44	0,23	0,40	97,17	0,11
IV	Выемка произведена одновременно со II и III образцами. Кирпич верхнего наружного свода канала совершенно не разрушенный, цементная кладка не потревожена	2	Средняя проба из средней части кирпича	—	—	—	—	0,32	—	0,15
		4	Средняя проба из нижней части кирпича	79,77	14,71	2,39	0,23	0,37	97,47	0,09

При исследовании взятых проб из кирпичной кладки Люберецкого водовода можно было ясно наблюдать в цементном шве между кирпичами слои, обогащенные сульфатами. Кирпичи по плоскости излома, как уже отмечалось выше, были покрыты корой кристаллов, бывших причиной отслаивания.

Если произвести расчет по сульфату, принимая во внимание лишь образование гипса, мы получим значительное растяжение (от 1,6 до 3 см³) во внутреннем кольце верхнего свода водовода, чем, повидимому, и обусловлено образование вышеописанных раскрытых к периферии трещин канала.

Установив таким образом, что главным агентом разрушения Люберецкого водовода является образование в кирпичной кладке сернокислых солей, мы постараемся осветить условия их появления. В литературе по разрушению водоводов описаны случаи, когда разрушение происходило при действии на бетон сульфатсодержащих грунтовых вод⁽¹⁰⁾ (Баку-Шолларский водовод), но в большинстве описанных случаев образование сульфатов шло за счет окисления выделяемого сточными водами сероводорода H₂S (Cap-tell⁽¹⁸⁾, Benj. Brooks⁽¹⁷⁾, Barr and Buchanan⁽¹⁶⁾, и др.). Тот факт, что разрушение канала шло с внутренней поверхности первого кольца, исключает возможность действия грунтовых вод. А изучение состава газов в канале обнаруживает постоянное содержание в нем значительного количества сероводорода H₂S, что ясно указывает на то, что и в данном случае источником сульфатов является выделяющийся из сточной жидкости газ.

Таблица 5

Состав газов в Люберецком канале. Анализ Е. Д. Воробьевой и Е. М. Прейс, 1922—1926 гг.

	Колодец № 12					Колодец № 46				
	Объемный %			мг/л		Объемный %			мг/л	
	CO ₂	O ₂	CH ₄	H ₂	N ₂	CO ₂	O ₂	CH ₄	H ₂	N ₂
Среднее из 12 анализов . .	0,9	17,7	4,5	0,029	0,025	0,56	18,2	3,3	0,27	0,023
Максимальное .	8,0	19,6	15,0	0,067	0,064	6,2	19,9	14,5	0,36	0,060
Минимальное .	0,1	13,8	1,4	0,016	0,003	0,2	15,1	1,0	0,016	0,003

Как видно из приведенной сводки, исследование газового состава канала производилось у двух смотровых колодцев. Колодец № 46 лежит в конце самоточной части Люберецкого водовода перед выходом его на поля. В этой своей части канал имеет свободное сообщение с атмосферным воздухом. Колодец № 12 находится в части водовода, замкнутой двумя гидравлическими затворами (с одной стороны конец напорной части канала, с другой—перевод через р. Чурилиху).

Таким образом пробы газа для анализа брались из двух смотровых колодцев, находящихся в различных условиях аэрации, однако значительной разницы в составе газов в этих двух пунктах анализами не установлено.

Для пункта у колодца № 12 в составе газов можно отметить более высокое содержание CO₂, H₂S и NH₃ и некоторое уменьшение O₂ по сравнению с составом газов у колодца № 46. Но разница в содержании H₂S и NH₃ выражается лишь в сотых долях процента.

Взятие проб для газового анализа производилось во время нормальной работы водовода следующим образом: от пипетки, в которую проба газов набиралась, каучуковая трубка с воронкой на конце спускалась через смотровой колодец в канал, не касаясь уровня жидкости. Аспиратором через пипетку протягивалось 15—20 л воздуха из канала, после чего пипетка запиралась; взятая таким образом проба шла в анализ.

Содержание в атмосфере канала 18,7—18,2% кислорода обеспечивало протекание в его неомываемой части окислительных процессов, а наличие NH_3 давало энергетический материал для развития в кирпичной кладке нитрификации, результаты которой (нитраты) были констатированы (реакцией с дифениламином) в обломках кирпича и в цементе взятых проб при внутреннем осмотре канала. Как уже было отмечено, содержание H_2S в канале вело к образованию сульфатов. А в результате взаимодействия с CO_2 на известь цемента шло образование CaCO_3 .

Выделение сероводорода и аммиака из сточной жидкости идет обычно в результате гнилостного разложения протеинов. Кроме того интенсивное образование сероводорода в сточной жидкости, как показали исследования Огородникова, обусловливается биохимическим процессом десульфуризации. В этом случае сероводород образуется за счет восстановления имеющихся в сточной жидкости сульфатов, отдающих связанный кислород на окисление органического вещества по следующей схеме (ср. наблюдения Barr и Buchanan (¹⁶)): $2\text{C}_2\text{H}_5\text{O}_3\text{Na} + 3\text{MgSO}_4 = 3\text{MgCO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3 + 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 3\text{H}_2\text{S}$.

Данный процесс является результатом жизнедеятельности десульфуризирующих бактерий (*Spifillum desulfuricans*, *Microspira aestuarii* и пр.), описанных и изученных Бейеринком, Ван-Дельденом (²¹) и некоторыми другими исследователями.

Выделяемые из сточной жидкости газы частично растворяются в конденсационной воде, пропитывающей своды канала, где затем развиваются окислительные процессы.

По словам Оствальда при доступе кислорода „водный раствор сероводорода быстро мутится и выделяет белый осадок“ ($2\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{S}$), который является элементарной серой. Аналогичное явление можно обычно наблюдать при застаивании сточной жидкости в разводных канавах и первом отделении очистительных прудов. В природе обычно окисление сероводорода осуществляется окислительной деятельностью серобактерий *Beggiatoa*, *Thiotryx*, *Thiophysa* и др. [см. Bavendam (¹⁵)].

Barr и Buchanan в своей работе так же указывают, что образование сульфатов при обследованном ими разрушении бетонных стенок септиктэнка было обусловлено окислением сероводорода в результате жизнедеятельности обильно развивавшихся на стенах сооружения серобактерий (*Beggiatoa*).

Мы полагаем однако, что в условиях Люберецкого канала образование сульфатов идет главным образом в результате иного биохимического процесса.

В 1904 г. Бейеринком был описан своеобразный вид бактерий, названный им *Thiobacillus denitrificans*. Выделенный Бейеринком из сточной жидкости организм оказался способным энергично окислять элементарную серу в сульфаты за счет кислорода нитратов по следующей формуле: $6\text{KNO}_3 + \text{CaCO}_3 + 5\text{S} = 3\text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{CaSO}_4 + 2\text{CO}_2 + 3\text{N}_2$ с выделением 659,5 кал тепловой энергии, идущей на усвоение CO_2 . Наличие нитратов и свободной серы в поверхностных слоях верхнего свода канала обеспечи-

вало развитие аутотрофных денитрификаторов (*Thiobacillus denitrificans*) Бейеринка.

Мысль о том, что агентами разрушения Люберецкого водовода является *Thiobacillus denitrificans*, была высказана С. Н. Строгановым еще в 1921 г. Поставленные им опыты принесли полное подтверждение этого предположения. В стерильном растворе Бейеринка⁽¹²⁾, зараженном кусочками разрушенного цемента или кирпича из Люберецкого канала, С. Н. Строганов наблюдал появление целых друз кристаллов $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{aq}$ и полное исчезновение введенных в раствор нитратов.

Краткий исторический обзор литературы по серной денитрификации

С тех пор как явление аутотрофной денитрификации и ее возбудители (*Thiobacillus denitrificans*) были описаны, изучение этого явления мало подвинулось вперед. В 1911 г. Lieske в Лейпциге из ила пруда выделил идентичный с *Thiobacillus denitrificans* организм и повторил опыты первого исследователя. Позднее в 1914 г. появилась работа Геринга⁽²²⁾, посвященная изучению физиологии и распространению в природе денитрифицирующих серобактерий¹.

Исследования Геринга показали, что *Thiobacillus denitrificans* имеет широкое распространение, что указывает на заметную роль данного вида в круговороте серы в природе.

В 1930 г. из лаборатории микробиологии ленинградского университета вышла работа Тюльпановой-Мосевич⁽¹⁴⁾ на тему „О денитрификации в неограниченной среде“. Тюльпановой были получены чистые культуры *Thiobacillus denitrificans*, выделенные из прудового ила, с которыми был поставлен ряд физиологических опытов.

Наблюдения показали, что микроб серной денитрификации может развиваться в органических средах (причем заметно ослабевает денитрификационная активность организма) и окислять глюкозу, левулезу и молочнокислый сахар за счет кислорода нитратов. Небезинтересно указать на ошибку, вкравшуюся в один из разделов данной работы и вызванную тем, что биохимический процесс восстановления нитратов рассматривался безотносительно к единице времени, как принято в лабораториях Треста по очистке сточных вод, где фактор „скорости“ процесса² является одним из основных признаков для оценки протекающего процесса.

Тюльпановой-Мосевич даны следующие данные⁽¹⁴⁾.

1.	При 0,05% раствора	KNO_3	восстановление закончено в 14 дней	
2.	» 0,1	»	»	30
3.	» 0,5	»	»	38—40
4.	» 1,0	»	»	70
5.	» 2,0	»	»	135

Из приведенных данных автор делает заключение, что „скорее всего разлагается селитра, взятая в количестве 0,05%. С увеличением количества селитры процесс замедляется“. Пересчитав данные автора по вышеприведенной таблице, мы получили следующие скорости восстановления селитры KNO_3 :

¹ Омелянский, стр. 177 (2).

² Базякина Н. А. (27).

При 0,05%-ном растворе KNO_3 скор. денитрификации 35,7 мг KNO_3 в сут.

" 0,1 "	" "	" "	" "	33,3	" "	" "
" 0,5 "	" "	" "	" "	125,0	" "	" "
" 1,0 "	" "	" "	" "	142,8	" "	" "
" 2,0 "	" "	" "	" "	274,0	" "	" "

Как видно, скорость денитрификации возрастает, а не замедляется вопреки утверждению автора.

Таким образом литература по интересующему нас виду бактерий исчерпывается очень небольшим количеством работ. В учебниках по микробиологии об аутоτροφной денитрификации в большинстве случаев совсем не упоминается. Лишь акад. В. Л. Омелянский ⁽¹²⁾ в своем „Практическом руководстве по микробиологии“ дает указание для выделения *Thiobacillus denitrificans*. А между тем изучение физиологии данного вида имеет исключительный интерес, который еще больше усиливается тем, что серная денитрификация может быть причиной аналогичного вышеописанному разрушения.

Лабораторные опыты

Во время внутреннего осмотра Люберецкого канала весной 1932 г. были взяты в стерильную посуду пробы разрушенного цемента и кирпича. Небольшими комочками взятого материала было произведено заражение стерильных активных питательных растворов для выделения *Thiobacillus denitrificans* Beijer. В. *Nitrosomonas*, и *B. Nitrobacter* W.

В растворе Бейеринка (*Thiob. denitrif.*) уже через 4 дня после заражения началась денитрификация. Со дна колбочек (зараженных цементом или кирпичом из Люберецкого канала), покрытого осадком мела и серы, поднимались пузырьки освобожденного из нитратов азота, которые всплывали к поверхности раствора, увлекая с собой газированные кусочки серы и образуя на уровне раствора пену. Через 10 дней нитраты в культурах *Thiobacillus denitrificans*, выделенных из обломков Люберецкого канала, оказались полностью восстановленными. Вновь введенные в культуры порции KNO_3 были полностью восстановлены уже через 2 дня.

Гораздо менее активными оказались нитрифицирующие бактерии, внесенные с комочками цемента в соответственные питательные растворы. Хотя о наличии сравнительно мощной нитрификации в разрушающемся своде канала можно было судить по значительному содержанию нитратов (темносинее окрашивание с дифениламином) и аммиака (бурый осадок с реактивом Несслера) во взятых образцах. Но все же в пробах на *B. Nitrosomonas* W. аммонийная соль была полностью окислена, так же как в колбочках с нитритом; через месяц после посева были обнаружены лишь нитраты.

Проведенные затем серии наблюдений с *Thiobacillus denitrificans* показали, что выделенные из разрушенных стен канала бактерии чрезвычайно активно в лабораторных условиях окисляют элементарную серу с образованием сернокислых солей кальция ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{aq}$) и калия (K_2SO_4) по вышеприведенной формуле за счет кислорода нитрата (KNO_3), постоянно вводимых в культуру в виде стерильного 10% - ного раствора. Количественное определение сульфатов в культурах *Thiobacillus denitrificans* показало, что количество SO_3 , найденное в культурах, обычно значительно меньше, чем можно было ожидать, рассчитывая по уравнению, выражающему реакцию жизнедеятельности данного вида (табл. 6).

Таблица 6

№ культур	Питательн. раствор	Продолж. опыта в сутках	Колич. восстановлен. KNO_3 в г/л	Колич. SO_3 предпол. по расчет в г/л	Колич. SO_3 найден. в культ. в г/л	Расхожд. между факт. и теорет. содерж. O_2 в г/л	Средняя скорость денитрификации в ступки в мг/л
20	Раствор Бейеринка	30	6,0	3,95	4,72	+0,77	200
22	Стерил. сточн. жидк.						
	0,1% $\text{KNO}_3 + \text{CaCO}_3$	30	6,0	3,95	3,30	-0,65	200
24	Тот же питательный раствор	59	13,0	8,56	4,84	-3,72	220
25	Раствор Бейеринка	59	14,0	9,22	6,78	-2,42	250
26	Стерил. сточн. жидк. + 0,1% $\text{KNO}_3 + \text{CaCO}_3$	59	12,0	7,90	5,75	-2,15	200
29	Раствор Бейеринка	41	10,0	6,59	4,98	-1,66	240
32	Тот же питательный раствор	41	9,0	5,94	4,16	-1,80	220
34	Стерил. сточн. жидк. + 0,1% $\text{KNO}_3 + \text{CaCO}_3$	41	8,0	5,27	4,06	-1,21	200

То же явление было констатировано Бейеринком, который полагал, что некоторое количество селитры (KNO_3) восстанавливается в культурах *Thiobacillus denitrificans* Beijer. на окисление органического вещества из тел отмирающих бактерий. Наблюдения Тюльпановой-Мосевич, как выше отмечалось, говорят о возможности окисления органических соединений в чистых культурах возбудителей серной денитрификации.

Однако, несмотря на интенсивное восстановление нитратов, друз гипса в моих опытах не наблюдалось (исключая тех случаев, когда культуры частично испарялись) до тех пор, пока вместо KNO_3 не был введен в культуры $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. После восстановления первой же порции этого соединения, эквивалентной по N культуре с KNO_3 , осадок серы и мела в культурах покрывался игольчатыми кристаллами гипса. В старых культурах, восстановивших около 10 мг KNO_3 на 1 л, денитрификация заметно ослабевала. В таких культурах наблюдалось часто растворение мела, который переходил в более растворимый гипс.

Введение в культуры *Thiobacillus denitrificans* $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ обеспечивало образование $\text{CaSO}_4 + 2\text{aq}$ на все количество окисленной до SO_3 серы. В то время как в опытах с добавленной в культуры KNO_3 60% сульфатов давало по вышеприведенной схеме легко растворимое соединение K_2SO_4 (растворимость 26 г в 100 см³ горячей воды) для насыщения раствора требовалось восстановление соответственно большего количества нитратов.

В условиях же канала мы как раз имеем кальций в виде $\text{Ca}(\text{OH})_2$ нормального цемента или углекислого кальция CaCO_3 , в который легко переходит первое соединение под влиянием углекислоты, что обеспечивает количественный переход сульфатов в гипс. Морфологически *Thiobacillus denitrificans* грамположительная палочка в 1—2 мк длиной и 0,5—0,6 мк шириной хорошо красится разбавленным спиртовым фуксином.

По описанию Тюльпановой-Мосевич клетки *Thiobacillus denitrificans* снабжены длинным жгутом, превосходящим длину их тела втрое.

Таким образом на основании лабораторных опытов С. Н. Строганова и моих можно считать, что главным агентом образования сульфатов в кирпичных стенах Люберецкого водовода, обуславливающих их разрушение, является *Thiobacillus denitrificans*. Этот своеобразный вид бактерий является обычным компонентом очень богатой бактериальной флоры фекально-хозяйственных сточных вод. В московской сточной жидкости содержится от 1 до 100 млн. бактерий в 1 см³ по счету на мясо-пептонном агаре при 37°C.

Мы полагаем, что *Thiobacillus denitrificans*, так же как и нитрифицирующие бактерии, могли подняться из сточной жидкости на свод в силу капиллярности по кирпичным стенам. В неомываемой части водовода бактерии встретили благоприятные условия. Канальные газы, растворяясь в конденсационной воде, пропитывающей кирпичную кладку, давали необходимые для их жизнедеятельности вещества, а из разрушающегося при этом цемента поступало необходимое для нейтрализации образующихся кислот количество извести.

Можно думать, что в ряде описанных в литературе разрушений канализационных труб образование сульфатов шло в результате жизнедеятельности тех же агентов серной денитрификации, которые были выделены из Люберецкого водовода.

Разрушительная деятельность бактерий для биолога не новость. Ведь все в природе рано или поздно переходит во власть этих незримых существ, которые расщепляют сложные молекулы растительного и животного тела, как только организм перестает защищаться, и тем вводят вновь в круговорот веществ в природе те основные элементы, из которых эти сложные соединения были синтезированы в процессе жизни.

В заключение необходимо остановиться на тех практических выводах, какие можно сделать на основании проведенного исследования. Что может остановить дальнейшее разрушение канала и как избежать тех условий, в которых подобное разрушение может произойти в новом сооружении?

Не касаясь вопроса, стоящего вне нашей компетенции, о качестве применяемых для сооружений материалов, на основании имеющегося литературного и экспериментального материала ответить на поставленные вопросы нетрудно. Как уже было отмечено, весь процесс разрушения Люберецкого канала был сосредоточен в верхней неомываемой части трубы, где составом канальных газов было обеспечено протекание биохимических процессов, ведущих к образованию сульфатов. Следовательно по мере заполнения канала площадь разрушения должна уменьшаться.

Если бы Люберецкий канал с первых же лет его эксплуатации был использован на расчетную пропускную способность, то площадь подвергающейся разрушению поверхности была бы ничтожна.

Таким образом и для нового сооружения можно рекомендовать скорейшее использование расчетной пропускной способности, что позволит избежать развития вредных микробиальных процессов на внутреннем своде.

При невозможности быстрого заполнения канала, что имеет место в огромном большинстве случаев, единственной мерой предупреждения разрушения было бы применение для верхней части канала цемента со специальными добавками (трасс, пуццолана) и кирпича сильного обжига.

Некоторые авторы (Н. Д. Доброхотов, Cantell) полагают необходимым для сохранения водоводов снабжение их энергично действующей вентиляцией. Но в Люберецком канале наибольшее разрушение произошло у смотровых

колодцев, да и общий ход разрушения кирпичной кладки выше уровня указывает на то, что аэрацией процесса не остановить.

Возможно, что более надежным средством может оказаться предварительное хлорирование сточной жидкости, которое устранил бы выделение сероводорода.

Резюме

С первых лет эксплуатации Люберецкого загородного водовода было обращено внимание на начавшееся разрушение в верхней неомываемой части внутреннего переката канала.

Разрушение проявлялось в размягчении и выпучивании цементных швов кирпичной кладки и в отслаивании кирпичей плитками в 1 — 2 см толщиной. По плоскости отслаивания кирпичи были покрыты кристаллами.

По наблюдениям последних лет разрушение идет наиболее интенсивно у смотровых колодцев и в части водовода, где его внутренний диаметр переходит от $d = 1,22$ м к $d = 1,98$ м.

При раскопке канала в 1927 г. было обнаружено, что по всей его длине идет ряд трещин от волосных до сравнительно крупных шириной в 3 — 4 см и глубиной во всю толщу кирпичной кладки. Трещины были раскрыты к периферии трубы.

Химическим анализом разрушенного и здорового цемента было установлено, что изменение цемента при разрушении выражается резким обогащением его сульфатами SO_3 за счет SiO_2 . В нормальном цементе SO_3 — 1,0%, в сильно измененном цементе SO_3 — 42,95%.

Анализ кирпича из Люберецкого канала также констатирует обогащение его сульфатами и тем в большей степени, чем ближе взятая в анализ проба кирпича прилежала к цементному шву.

В литературе описан ряд случаев разрушения водопроводных и канализационных водоводов из бетона.

Разрушение канализационных труб обычно идет в верхней части внутреннего свода, как выше отмечено, и для Люберецкого водовода. Разрушенный цемент бетона обычно резко обогащен сульфатами, которые по мнению авторов получались в силу окисления выделяемой сточными водами H_2S .

Причиной разрушения (Шоллар-Баку) водовода, подающего питьевые воды, по Мямлину было действие на цемент грунтовых вод с высоким содержанием сернокислых солей. Как известно, действие сульфатов является наиболее губительным для цемента (и бетона), так как при взаимодействии SO_3 с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ цементного раствора образуется гипс, который с алюминием дает двойную соль Деваля (сульфалюминат кальция). Оба соединения обладают значительно большим молекулярным объемом, чем исходные, что вызывает расширение и разрыв цемента и кирпича, куда в процессе разрушения указанные соединения проникают.

Изучение состава газов в Люберецком канале было установлено постоянное присутствие H_2S , NH_3 , CO_2 , O_2 и CH_4 в атмосфере водовода. А развитие процесса разрушения с внутреннего свода указывало на то, что источником сульфатов в данном случае является сероводород, выделяемый сточной водой.

Обычно авторы, изучающие аналогичные разрушения водоводов и некоторых других санитарно-технических сооружений, не останавливаются на механизме окисления H_2S .

Лишь в работе Ваг и Buchenap этот процесс был изучен глубже. По мнению авторов окисление H_2S идет биохимическим путем в результате жизнедеятельности серобактерий (Beggiatoa).

Проф. Исаченко в работе „О нитрификации на стенах и о разрушении вследствие этого кирпича“ отмечает значение микробных процессов в разрушении кирпичных кладок.

При исследовании условий разрушения Люберецкого водовода была поставлена специальная работа по изучению микробных процессов, протекающих при разрушении кирпичных стен канала. Из взятых при внутреннем осмотре канала обломков кирпича и цемента был выделен своеобразный физиологический вид бактерий *Thiobacillus denitrificans*, впервые описанный Бейринком в 1904 г., окисляющий элементарную серу за счет кислорода нитратов по следующей схеме: $6KNO_3 + 2CaCO_3 + 5S = 3K_2SO_4 + 2CaSO_4 + 2CO_2 + 3N_2 + 659,5 \text{ кал.}$

Выделенный из Люберецкого водовода организм очень активно окислял в лабораторных условиях серу с образованием гипса. Одновременно поставленными на выделение нитрифицирующих бактерий опытами было установлено их присутствие в верхнем своде канала, где химическими реакциями не раз было констатировано наличие значительных количеств нитратов.

На основании вышеизложенного мы полагаем, что образование сульфатов в Люберецком канале идет главным образом в результате активной жизнедеятельности *Thiobacillus denitrificans*.

В литературе имеются указания на необходимость сильной вентиляции для хранения каналов, но это по нашим наблюдениям не остановит разрушения Люберецкого водовода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байков А. А., О влиянии на бетон органических и неорганических соединений, находящихся в воде, «Труды 1 Всесоюзного водопроводного и санитарно-технического съезда в Баку в 1926 г.», вып. 1, стр. 27—39.
2. Белов П. С., Вопросы применения бетона и железобетона в водопроводном и канализационном строительстве, там же, стр. 7—10.
3. Бессонов И. С., Описание люберецких полей фильтрации в техническом отношении, «Труды совещания по очистке сточных вод», вып. IX, 1928 г.
4. Доброхотов Н. Д., Бетонные трубы (критический очерк), «Вестник инженеров» № 8 за 1924 г.
5. Дроздов В. А., Влияние сточной жидкости и грунтовых вод на разрушение бетонных труб, «Труды 1 Всесоюзного водопроводного и санитарно-технического съезда в Баку в 1925 г.», вып. 1, стр. 48—53.
6. Звягинский Я. Я., Действие сточных вод на бетон, «Строительная промышленность» № 6, стр. 482.
7. Кинд В. и Александровский Н., «Условия образования сульфатоалюмината кальция», «Строительные материалы» № 11 за 1928 г.
8. Исаченко Б. А., О нитрификации на стенках и разрушение вследствие этого кирпича, «Журнал микробиологии», 1925 г. т. 11.
9. Менделеев Д. И., Основы химии, изд. 1928 г., т. II. стр. 68 и 288.
10. Мямлин А. Н., Дефекты бетонного водовода «Шоллар-Баку», «Труды 1 Всесоюзного водопроводного и санитарно-технического съезда в Баку 1925 г.», вып. 1.
11. Огородников А., Превращения соединений серы и их значение в биологическом способе очистки сточных вод. Приложение ко второму отчету комиссии по очистке сточных вод, 1909 г.
12. Омельянский В. Л., Практическое руководство по микробиологии.
13. Оствальд В., Основы неорганической химии, 1908 г.

14. Тюльпанова-Мосевич М. В., Денитрификация на неорганической среде, Архив биологических наук, том 30, вып. II, 1930 г.
15. Bavendam, Die Schwefelbakterien, 1924.
16. Bar W. and Buchanan R E., The production of excessive hydrogen sulfid in sewage disposal plants and consequent desintegration of the concrete. Bulletin № 26, Iowa State College of Agriculture and Mechanical Art.
17. Benj. Brooks, Sewer gas affects concrete above Water Line «Engineering News», 1916, № 11, vol. 76.
18. Cantell M. T., Defects in a concrete Sewer at St. Vital, Man. Rapid desintegration due to chemical action caused by the use of Limestone Aggregate and Porous Concrete „The Contract Record“ January 1917.
19. Chambers S. H., The effects of sewage and sewage gases on Portland-Cement Concrete. «Eng. Rec», May 14, 1910.
20. Dittoe W. H., The Effect of Sewage on Concrete. Letter to the editor. Edition of the inter Clay Products Bureau. The Action of sewer gases and acids on Cement and Concrete Pipes.
21. von-Delden A., Beitrag zur Kenntnis der Sulfatreduktion durch Bakterien. «Zentrbl. f. Bakt.» etc. Abt. 2, 1903.
22. Gehring Alf., Beiträge zur Kenntnis der Physiologie und Verbreitung denitrifizierender Thiosulfat-Bakterien. „Zentrbl. f. Bakt.“ etc. Abt. 2, Bd. 42, 1914, S. 42—438.
23. Hamlin H., Report on the Outfall Sewer of Los Angeles, California. „Engineering News“ № 8, 1900.
24. Kleinlogel, Die Einflüsse auf Beton, 1925.
25. Smith G., Bacteria and the Desintegration of Cement. Autoreferate. „Zentrbl. f. Bakt.“, Abt. 2, 1902, Bd. 8, S. 377.
26. Weston R. S., Effect of Sewage on Concrete. Letter to Editor.
27. Базякина Н. А., Аэрация с активным илом как метод очистки сточных вод, часть I. Труды совещания по очистке сточных вод, вып. III, Москва 1923 г.

Попытка выявить распределение напряжений в разрушающемся Люберецком канале

Самотечная часть водовода на Люберецкие поля фильтрации состоит из следующих укладок.

В сухих грунтах кладка кирпичного канала производилась без стула в два переката (кольца). В мокром грунте в местах пропуска внешних вод над каналом и в местах перехода одного диаметра трубы на другой канал уложен в два переката со стулом. В очень сыром плавучем грунте канал уложен со стулом на бетонном основании с дренажем.

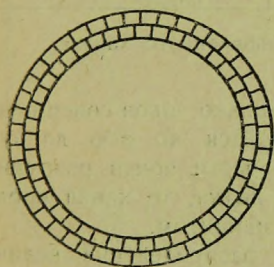


Рис. 3. Поперечный вид канала без стула.

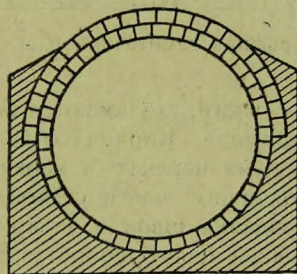


Рис. 4. Поперечный вид канала со стулом.

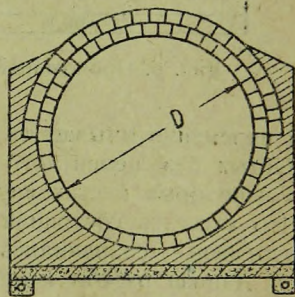


Рис. 5. Поперечный вид канала со стулом на бетонном основании с дренажем.

При переходе канала под Московско-казанской железной дорогой канал уложен в три переката. В месте перехода водовода через р. Чурилиху уложен дюкер из чугунных труб диаметром 1,07 м, протяжением 630,46 пог. м

Отдельные участки кирпичного канала имеют следующие размеры:

$D=1,98;$	$l=4376,78;$	$i=0,00025;$
$D=1,22;$	$l=952,73;$	$i=0,0035;$
$D=1,98;$	$l=931,04;$	$i=0,00025;$
$D=1,98;$	$l=3991,62;$	$i=0,00025;$

Глубина заложения канала различна в зависимости от рельефа местности и доходит местами до 10,50 м. Кладка канала произведена из простого кирпича на растворе из портландского цемента 1:3. Работы по устройству канала закончены в 1913 г. В период эксплуатации канала в течение ряда лет производились наблюдения за состоянием внутренних стенок канала. Осмотры показывают постепенное разрушение кирпичной кладки, выражающееся в отслаивании кирпича во внутреннем кольце. Кроме того обнаружены трещины местами во всю толщу стенок канала.

Трещины обнаружены независимо от типа укладок и от глубины заложения как в сухом, так и в сыром грунте. По всему своду канала замечается выпучивание швов вследствие размягчения цементного раствора.

Указанные разрушения наблюдаются исключительно лишь в неомываемой части канала. Особенно сильное разрушение внутреннего переката наблюдается в части перехода канала диаметром 1,22 м на диаметр 1,98 м

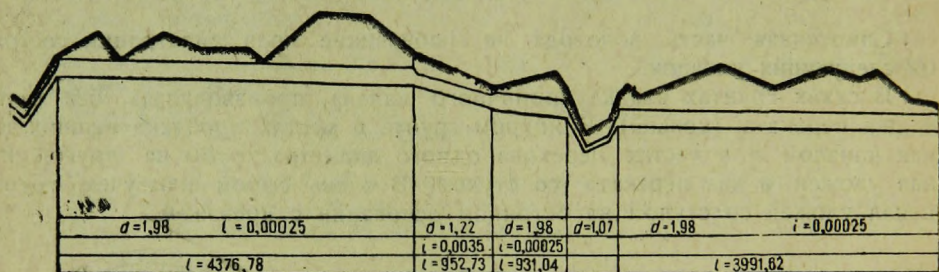


Рис. 6. Продольный профиль самотечной части Люберецкого канала.

в переменном омываемой его части, где имеются несколько швов совершенно пустых без цементного раствора. Кирпич отваливается во всю длину и в некоторых местах внутренний перекат в верхней части почти разрушен. Что касается состояния подводной части стенок и лотка, то канал вполне исправен — сохранились разделка швов и затирка цементом.

Данная работа имеет своей целью сопоставить распределение величин напряжений в кладке канала диаметром 1,22 м, уложенного без стула, в нормальном состоянии (оба переката целы) и в разрушенном, т. е. в предположении, что внутреннего переката в верхней части свода канала до горизонтального диаметра не существует.

Давление земли

При трубах большого диаметра, заложенных в землю, необходимо подсчитывать влияние этого давления на работу трубы. Давление земли стремится сплющить трубу, и усилия, возникающие от этого давления, должны быть восприняты частями трубы или опорами специальной формы, воспринимающими усилия, возникающие от внешней нагрузки.

Действующие нагрузки и расчетные данные

Силами, действующими на сооружение и определяющими величины напряжений, возникающих в стенах его, являются:

1. Давление засыпки, рассматриваемое как вертикальное давление P .

2. Боковое давление грунта как горизонтальная сплошная равномерная нагрузка q .

Собственный вес трубы, вес воды, заполняющей ее, и температурные колебания в расчет не принимаются.

Толщину слоя земли в месте наибольших разрушений трубы с учетом временных нагрузок, приведенных к слою земли, имеем $h = 3,00$ м. Засыпка принимается разрыхленной, полностью действующей на трубу с удельным весом 1 м^3 земли $\gamma = 1800 \text{ кг}$.

Угол естественного откоса $\varphi = 35^\circ$.

Давление земли является одной из существенных нагрузок на сооружение.

Ни одна из известных теорий давления земли на уложенные в земле трубы не дает точного указания распределения нагрузки на сооружение, поэтому принятый нами подсчет внешних сил не должен рассматриваться как бесспорный метод, служащий для установления теоретических величин внутренних напряжений в теле стенок трубы под влиянием внешних нагрузок.

Труба, уложенная непосредственно на грунт (без стула).

Нами принято:

I. Вертикальное давление:

$$P = \gamma h = 1,80 \cdot 3,0 = 5,40 \text{ т/м}^2.$$

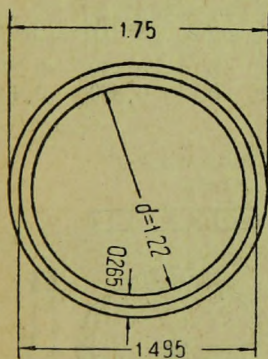


Рис. 7. Поперечные размеры элементов канала $d=1,22$ м.

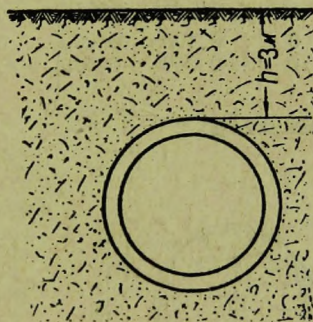


Рис. 8. Схема принятой для расчета глубины заложения канала.

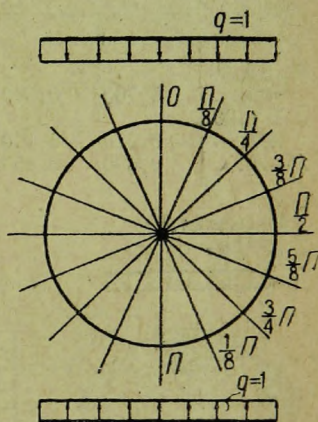


Рис. 9. Расчетная схема канала.

II. Боковое давление:

$$q = \gamma \left(h + \frac{D}{2} \right) \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) = 1,80 (3,00 + 0,875) \operatorname{tg}^2 27^\circ 30' = 1,9 \text{ т/м}^2.$$

Расчет производим при помощи тригонометрических рядов (ряды Фурье)¹.

Окончательное выражение для изгибающих моментов тангенциальных и радиальных перемещений по контуру кольца в случае равномерной симметричной нагрузки при значении $n = 2$ в выражениях обобщенных сил выражение моментов имеет вид:

¹ Вестник инженеров, 1928 г., № 6 и 7. Статья инж. В. Г. Лобачева.

$$M = \frac{r^2}{\pi} \cdot \frac{1.3 \cdot \pi}{(n^2 - 1)4} \cdot q_n \cos 2 \varphi = \frac{r^2}{4} q_n \cos 2 \varphi;$$

полагая $q_n = 1 \text{ т/пог. м}$, получим расчетную схему:

Таблица 7

φ	0	$\pi/8$	$\pi/4$	$3/8 \pi$	$\pi/2$	$5/8 \pi$	$3/4 \pi$	$7/8 \pi$	π
$\cos 2\varphi$	1,00	0,707	0	-0,707	-1,00	-0,707	0	0,707	1,00

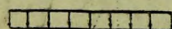
Значение $\frac{r^2}{4} = \frac{0,75^2}{4} = 0,1406$, где $r = \frac{1,22 + 0,265}{2} = 0,75 \text{ м}$.

Таблица 8

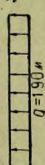
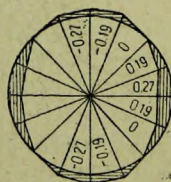
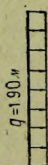
Сводка изгибающих моментов в тоннометрах для ненарушенной трубы (по схеме рис. 9).

φ	0	$\pi/8$	$\pi/4$	$3/8 \pi$	$\pi/2$	$5/8 \pi$	$3/4 \pi$	$7/8 \pi$	π
$P = 5,40$ т/м...	0,760	0,540	0	-0,540	-0,760	-0,540	0	0,540	0,760
$q = 1,90$ т/м...	-0,270	-0,190	0	0,190	0,270	0,190	0	-0,190	-0,270
$P + q$	0,490	0,350	0	-0,350	-0,490	-0,350	0	0,350	0,490

От действия „P“
 $P = 5,40 \text{ т}$



От действия „q“



От действия „P + q“
 $P = 5,40 \text{ т}$

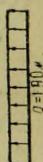
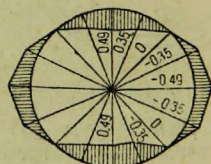
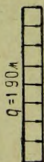
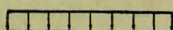


Рис. 10. Эпюры моментов.

По максимальному моменту находим напряжения в ключе свода трубы:

$$\omega_1 = b \cdot h = 26,5 \cdot 100 = 2650 \text{ см}^2;$$

$$W_1 = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{100 \cdot 26,5^2}{6} = 11 \ 704 \text{ см}^3;$$

$$M_{\max} = 49 \ 000 \text{ кг/см}; N = 1425 \text{ кг};$$

$$K = \frac{N}{\omega_1} \pm \frac{M}{W_1};$$

$$K_d = \frac{1424}{2650} + \frac{49\,000}{11\,704} = 4,73 \text{ кг/см}^2;$$

$$K_z = \frac{1425}{2650} - \frac{49\,000}{11\,704} = -3,67 \text{ кг/см}^2.$$

При условии разрушенного внутреннего переката (кольца) все усилия будут восприниматься только одним внешним перекатом:

$$P = 5,40 \text{ т/м}^2; r_2 = 0,61 + 0,75 \cdot 0,265 = 0,81 \text{ м};$$

$$q = 1,90 \text{ т/м}^2;$$

Таблица 9

Сводка изгибающих моментов в тоннометрах для нарушенной трубы
(по схеме рис. 9)

φ	0	$\pi/8$	$\pi/4$	$3/8\pi$	$\pi/2$	$5/8\pi$	$3/4\pi$	$7/8\pi$	π
P	0,885	0,626	0	-0,626	-0,885	-0,626	0	0,626	0,885
q	-0,311	-0,220	0	0,220	0,311	0,220	0	-0,220	-0,311
$P+q$	0,574	0,406	0	-0,406	-0,574	-0,406	0	0,406	0,574

По максимальному моменту находим напряжения в ключе свода трубы:
 $\Phi_2 = 26,5 \cdot 100 \cdot 0,5 = 1325 \text{ см}^2$

$$W_2 = \frac{100 \cdot 26,5^2}{6 \cdot 4} = 2926 \text{ см}^3;$$

$$M_{\max} = 57\,400 \text{ кг/см}; N = 1539 \text{ кг};$$

$$K_d = \frac{1539}{1325} - \frac{57\,400}{2926} = 20,77 \text{ кг/см}^2;$$

$$K_z = \frac{1539}{1325} - \frac{57\,400}{2926} = -18,45 \text{ кг/см}^2.$$

Допускаемые напряжения в кирпичной кладке на цементном растворе

на сжатие $K = 12 \text{ кг/см}^2$;

на растяжение $K = 2,50 \text{ кг/см}^2$.

В нашем случае при учете активного давления земли мы имеем напряжения, которые вызывают неизбежное раскрытие швов в средней вертикальной плоскости на внутренней поверхности канала, а в горизонтальной — соответственно на наружной поверхности.

Если же при указанных условиях работы трубы подобных разрушений не произошло, то, очевидно, пассивное сопротивление земли в достаточной мере обеспечивает невозможность смещения пятовых швов верхнего полукольца, работающего как полуциркульный свод с заделанными пятнами. Следовательно труба в форме круглого кольца может существовать только при условии наличия достаточного отпора земли.

Принимаемые при расчетах числовые значения нагрузок могут далеко не соответствовать действительности. Действие засыпки с течением времени

изменяется и может доходить до небольших значений благодаря сцеплению и трению частиц грунта между собой.

При известных условиях можно даже допустить удаление твердых стенок без обрушения земли. Боковое давление земли может также (сухой плотный грунт) не оказывать никакого действия на сооружение в смысле давления. Опасным моментом действия земли надо считать момент засыпки трубы, когда грунт разрыхлен. Так, в практике московской канализации наблюдалось, что в кирпичных трубах большого диаметра после их засыпки часто появлялись трещины.

Анализируя данные статического расчета и наблюдаемые разрушения в канале, приходится отметить, что кроме внешних сил, рассмотренных нами, в самой кладке канала имеют место дополнительные внутренние силы. Подтверждением данного положения является то, что мы наблюдаем появление трещин в наружном кольце в местах, близких по контуру, а также разрыв в кладке смотровых колодцев, где действие моментов внешних сил ничтожно.

В данном случае трещины в кладке могли появиться в результате идущих в внутреннем своде канала биохимических процессов, которые описаны в работе Т. С. Нагибиной (см. фотографии на стр. 13, 36 и 37).

На основании теоретических подсчетов Т. С. Нагибиной по изменению молекулярного объема при переходе извести цементного раствора в гипс и соли Деваля, в результате жизнедеятельности бактерий получается значительное расширение внутреннего переката свода.

Для канала диаметром 1,22 м за счет образования гипса получается удлинение в 16—30 мм, а за счет солей Деваля до 160 мм.

Попытаемся найти распределение напряжений в стенках канала под действием вышеуказанных биохимических процессов, для чего канал будет рассматриваться составленным из двух колец, надетых одно на другое. Действие внутренних сил примем как тонкие клинья, забиваемые одновременно во все внутренние швы в радиальных направлениях внутреннего верхнего полукольца.

Основанием принятого действия сил является то, что в первоначальной стадии развития биохимических процессов наблюдается и выпучивание цементного раствора в швах кирпичной кладки. По мере углубления клиннев внутреннее верхнее полукольцо будет удлиняться и на поверхности соприкосновения полуколец появятся давления, растягивающие внешнее полукольцо.

Предположим, что наружный радиус внутреннего полукольца больше внутреннего радиуса наружного полукольца (рис. 11) на величину δ . Пусть после удлинения внутреннего полукольца на поверхности их соприкосновения возникает давление X . Величина давления определяется из условия¹:

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 = \frac{Xb}{E} \cdot \left(\frac{b^2 + a^2}{b^2 - a^2} - \frac{1}{m} \right) + \frac{Xb}{E} \cdot \left(\frac{c^2 + b^3}{c^2 - b^2} + \frac{1}{m} \right),$$

откуда
$$X = \frac{E\delta}{b} \cdot \frac{(b^2 - a^2)(c^2 - b^2)}{2b^2(c^2 - a^2)}.$$

¹ См. проф. Тимошенко С. П. и инж. Лессельс, Прикладная теория упругости, изд. 1931 г., стр. 197.

Это давление будет вызывать сжимающие касательные напряжения во внутреннем полукольце и растягивающие касательные напряжения во внешнем полукольце. Если же кольцо подвержено действию равномерно распределенных внутренних и наружных давлений, то деформации будут симметричны относительно оси цилиндра и касательных напряжений не будет.

Выделим из стенки полукольца двумя радиальными и двумя concentрическими сечениями элемент $abcd$ (рис. 12), на который будут действовать силы P_r и P_φ — напряжения сжатия, причем P_φ всегда больше P_r .

Пренебрегая напряжением P_r , найдем напряжения от действия воображаемых клиньев, которые будем одновременно загонять на разные глубины в швы кладки внутреннего верхнего полукольца канала.

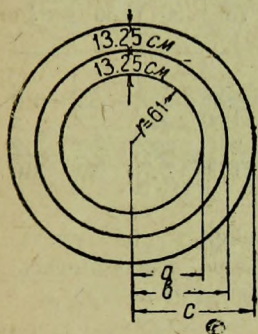


Рис. 11. Схема расчета напряжений от удлинения внутреннего полукольца.

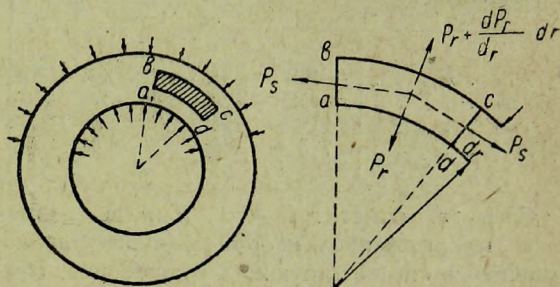


Рис. 12. Схема расчетного элемента канала.

Возможное удлинение:

$$\delta = \frac{n \cdot l}{E} = 0,174, \text{ где } l = \pi \cdot r = 192 \text{ см},$$

$$n = 25 \text{ кг/см}^2,$$

$$E_{\text{карп}} = 27\,800 \text{ кг/см}^2.$$

Увеличение внутреннего радиуса:

$$\delta = \frac{192,0 + 0,174}{3,14} - 61,0 = 0,055.$$

Напряжения P_φ для внутреннего полукольца получим по формуле:

$$(P_\varphi)_{r=a} = -\frac{2 X b^2}{b^2 - a^2};$$

$$(P_\varphi)_{r=b} = -\frac{X \cdot b^2}{b^2 - a^2} \cdot \frac{a^2 + b^2}{b^2}.$$

Напряжения для внешнего полукольца по формуле:

$$(P_{\varphi})_{r=b} = \frac{X(b^2 + c^2)}{c^2 - b^2};$$

$$(P_{\varphi})_{r=c} = \frac{2 b^2 X}{c^2 - b^2}.$$

По мере проникновения в толщу кладки увеличения объема раствора по указанным выше причинам определяем возможные усилия в рассматриваемых полукольцах. Величина этих усилий в зависимости от радиуса влияния приведена на табл. 10.

Таблица 10

Радиус влияния в см	61,5	62	63	64	65	66	70	75	80	85	87
$(P_{\varphi})_{r=a}$	-463	-431	-412	-391	-361	-352	-277	-190	-109	-35	-6,9
$(P_{\varphi})_{r=b}$	-458	-422	-398	-371	-340	-326	-242	-158	-86	-27	-2,3
$(P_{\varphi})_{r=b}$	11	24	40	59	75	94	152	211	260	299	312
$(P_{\varphi})_{r=c}$	7,3	16	27	41	53	68	118	179	237	290	310

Следует отметить, что данные напряжения получились не сразу, а в продолжение неопределенного времени, все время увеличиваясь, производя соответствующие разрушения. Так, в 1927 г. канал $d = 1,22$ м

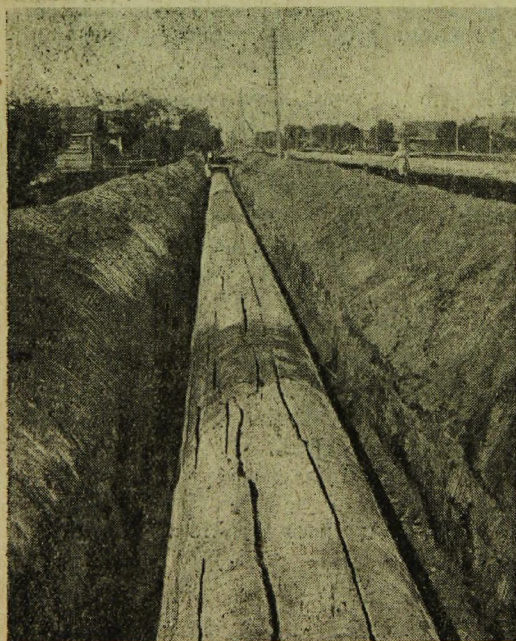


Рис. 13. Наружный вид трещин на Люберецком водоводе.

Рис. 14. Внутренний вид Люберецкого водовода, $d = 1,98$ м.

был раскопан и все обнаруженные трещины были заштукатурены цементным раствором. В 1928 г. канал был снова раскопан и вторично были обнаружены в штукатурке трещины, но меньшего размера в местах старых трещин, что говорит о продолжающейся работе сил, действующих в кладке канала.

В первое время после постройки канал находился только под действием внешних сил. По мере же эксплуатации канала, как уже было отмечено, под влиянием канальных газов в кладке канала появляются биохимические процессы, которые вызывают появление внутренних сил, проявляющихся в соответствующих напряжениях.

В известной стадии своего развития напряжения от внутренних сил уравниваются напряжениями от внешних сил и канал находится как бы в состоянии перенапряжения, представляя собой как бы сжатую пружину, заключенную в кольцо. Достаточно удалить это кольцо, как пружина быстро распустится, производя соответствующую деформацию.

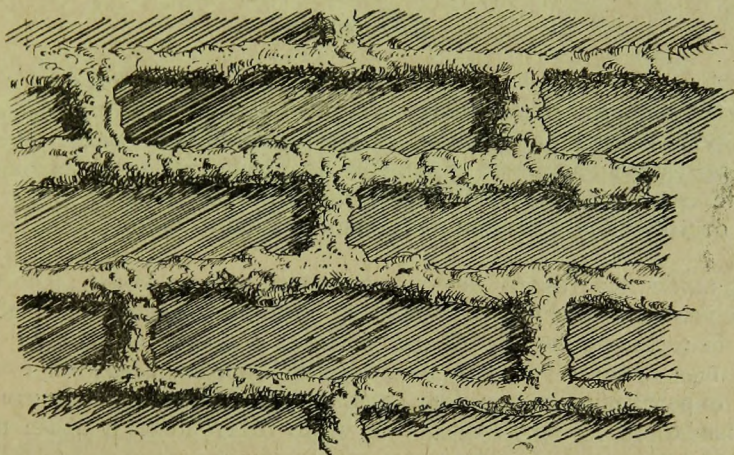


Рис. 15. Выпучивание цементных швов.

Подобное явление наблюдалось в Люблинском загородном канале. Когда канал был раскопан, то в нем мгновенно образовались трещины, появление которых сопровождалось сильным треском. Отсюда можно сказать, что раскопка каналов при известных условиях их работы небезопасна и может повести за собой разрушение канала.

Предварительные наблюдения над работой первичных отстойников вертикального типа

(по материалам лаборатории Кожуховской станции аэрации в Москве)¹

Введение

Отстойники вертикального типа в практике очистки сточных и питьевых вод находят себе все более широкое применение. Однако данных об их работе опубликовано на русском языке чрезвычайно мало. Мы считаем поэтому полезным изложить материалы по этому вопросу, накопившиеся в результате систематического и длительного наблюдения за работой вертикальных отстойников большой производительности на Кожуховской станции аэрации.

Материалом для такого изучения являются данные контрольного анализа проб сточной и очищенной жидкости, которые делались в лаборатории станции систематически 5—6 раз в месяц с начала ее работы (1929 г.) по настоящее время. Для суждения о работе предварительных отстойников делались определения количества взвешенных веществ объемным путем в сточной жидкости до прохождения ее через отстойник и после прохождения.

Для анализа бралась жидкость, смешанная из 12 проб, набранных в течение суток через двухчасовые промежутки времени. 1 л смешанной жидкости подвергался двухчасовому отстаиванию в специальных градуированных цилиндрах системы Лисенко. Через 1 час после начала отстаивания и за 15 мин. до отсчета цилиндры поворачивались несколько раз вокруг своей оси. Записи этих анализов были подвергнуты статистической обработке путем группировки анализов по количеству жидкости, проходящей через отстойник, и другим признакам.

Постоянно действующих приборов для измерения расхода сточной жидкости на Кожуховской станции не было. Замер расхода производился главной насосной станцией, которая подает сточную жидкость на Кожуховскую станцию аэрации. На напорном трубопроводе от насосной станции установлен счетчик системы Вентури с самописцем. Кроме того Кожуховская станция принимает еще самотеком сточную жидкость Ленинской слободы в количестве 2600—2700 м³/сутки, учитываемых периодически с помощью водослива. Поэтому для получения общего расхода сточной воды через Кожу-

¹ Наблюдательный материал был собран при участии сотрудников лаборатории станции В. М. Сафроновой и М. С. Манаева.

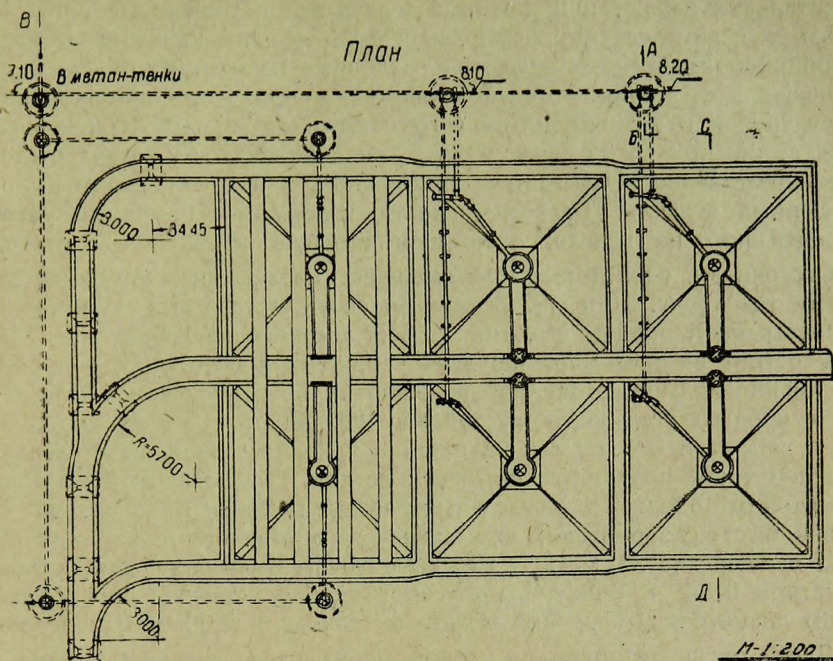


Рис. 16. План первичных отстойников Кожуховской станции аэрации.

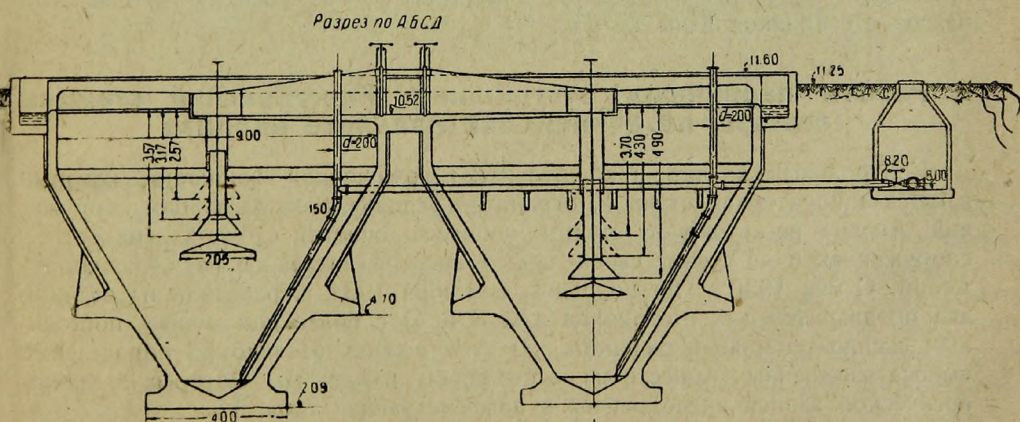


Рис. 17. Разрез первичных отстойников Кожуховской станции аэрации.

ховскую станцию берется сумма подачи главной насосной станции и само-
течной части.

Другим материалом для частоящего сообщения явились данные экспериментальных наблюдений, которые велись лабораторией станции в 1931 г. Целью экспериментальных наблюдений было уяснить влияние на задержку отстойником взвешенных веществ в различных положениях опускной трубы, подающей в отстойник сточную жидкость, и при различной ширине щели между трубой и нижним щитом (отражателем струй). Пробы брались 5—8 раз в сутки при постоянном расходе сточной жидкости через отстойники и непосредственно вслед затем определялось в них количество выносимых взвешенных веществ. Расход жидкости замерялся с помощью водослива, установленного на канале, отводящем сточную жидкость из отстойника.

Отстойники, на которых производились наблюдения, устроены следующим образом (рис. 16 и 17). В верхней своей части отстойник имеет форму четырехгранной призмы высотой 1,55 м, сторона основания 9 м. Нижняя часть состоит из трех пирамид: двух усеченных высотой 0,3 м и 5,85 м и простой пирамиды высотой 0,55 м. Рабочий объем отстойника 350 м³. Расчетная производительность отстойника 256 м³/час; средняя скорость движения жидкости 0,9 мм/сек на сечение призматической части. Жидкость к опускной трубе подводится бетонным лотком. Опускные трубы в третьем и четвертом отстойниках были сделаны железные раздвижные (диаметром 0,6 м), но они быстро заржавели, вследствие чего раздвинуть или сдвинуть их стало невозможно. В 1931 г. железные трубы были заменены деревянными диаметром 0,84 м. Внизу под опускной трубой укреплен щит (отражатель струй) диаметром 1,5 м при железных трубах и 2,05 м при деревянных.

Длина опускной трубы за период наблюдения менялась в пределах от 3,5 до 4,2 м; ширина щели от 0,3 до 0,7 м. Экспериментальные наблюдения, как будет указано ниже, показали, что длина трубы и ширина щели в этих пределах существенного влияния на работу отстойника не оказывают. Переливной порог в отстойнике первоначально был устроен с трех сторон, а затем сделан и с четвертой стороны. Удаление осадка из отстойника происходит через чугунную трубу диаметром 20 см. План и вертикальный разрез отстойников даны на рис. 16 и 17.

I. Работа первичных отстойников Кожуховской станции аэрации по данным контрольного анализа

Контрольный анализ проб сточной и очищенной жидкости, который ведется лабораторией станции, ограничен условиями эксплуатации сооружений. Анализ регистрирует стадии процесса очистки сточной жидкости в сооружениях и не ставит своей целью экспериментальное изучение сооружений. С мая 1930 г. до половины сентября 1931 г. работали на станции два предварительных отстойника (№ 3 и 4) с более или менее постоянным эксплуатационным режимом. За этот период сделано 53 определений выноса взвешенных веществ из отстойника, результаты которых в хронологической записи представлены в нижеследующей табл. 11.

Общее рассмотрение таблицы дает основание предполагать наличие зависимости между расходом жидкости через отстойник (нагрузкой) и выносом взвешенных веществ. Но в то же время на количество выносимых из отстойника взвешенных веществ, повидимому, влияют и другие факторы.

Таблица 10

Поступление и вынос взвешенных из первичных отстойников Кожуховской станции аэрации (записи контрольных анализов с 9/V 1930 г. по 11/IX 1931 г.)

Год, месяц и число	Нагрузка в м ³ /час		Взвешенн. вещества		% выноса		Год, месяц и число	Нагрузка в м ³ /час		Взвешенн. вещества		% выноса
	на станцию	на 1 отстой- ник	из предварит. отстойника в см ³ /д	до предварит. отстойника в см ³ /д				на станцию	на 1 отстой- ник	из предварит. отстойника в см ³ /д	до предварит. отстойника в см ³ /д	
1930 г.							1931 г.					
9—10/V . . .	156	78	0,4	11,5	3,5		23—24/I . .	410	205	1,0	9,9	10,1
14—15/V . . .	250	125	0,9	9,9	9,1		27—28/I . .	430	215	1,2	—	—
29—31/V . . .	272	136	0,7	8,3	8,4		2—3/II . . .	400	200	1,2	—	—
5—6/VII . . .	271	135	1,3	13,0	10,0		7—8/II . . .	455	227	1,6	—	—
13—14/VI . . .	277	139	0,8	11,8	6,8		12—13/II . .	452	226	0,9	9,6	9,3
18—19/VI . . .	264	132	0,8	—	—		20—21/II . .	428	214	0,5	8,0	6,2
23—24/VI . . .	280	140	0,7	11,2	6,2		26—27/II . .	430	215	1,2	—	—
7—8/VII . . .	131	115	0,6	5,5	1,1		3—4/III . . .	558	276	2,3	—	—
14—15/IX . . .	282	141	0,8	10,0	8,0		9—10/III . .	380	190	1,9	9,4	20,2
19—20/IX . . .	333	166	1,1	—	—		26—27/III . .	438	219	3,2	9,0	35,5
26—27/IX . . .	370	185	0,9	13,5	6,6		3—4/IV . . .	380	190	1,9	10,4	18,2
4—5/X	423	212	2,7	—	—		11—12/IV . .	425	212	1,6	—	—
13—14/X . . .	355	178	0,5	12,6	3,9		6—7/V	525	262	2,7	—	—
19—20/X . . .	364	182	1,0	11,5	8,7		19—20/V . . .	446	223	1,3	—	—
27—28/X . . .	429	215	0,8	—	—		24—15/VI . .	437	218	1,4	8,4	16,6
12—13/XI . . .	405	203	0,7	—	—		2—3/VII . . .	558	270	1,4	—	—
17—18/XI . . .	438	219	0,9	—	—		8—9/VII . . .	529	265	2,0	9,9	20,2
22—2/XI . . .	474	187	0,4	9,6	4,2		15—16/VII . .	591	295	1,0	—	—
28—29/XI . . .	430	215	1,9	—	—		22—23/VII . .	600	300	0,4	8,9	4,5
2—3/XII	436	218	3,7	—	—		1—2/VIII . . .	648	324	5,8	—	—
14—15/XII . .	430	215	0,8	9,9	9,0		6—7/VIII . . .	637	318	0,9	—	—
20—21/XI . . .	460	230	2,5	—	—		11—12/VIII . .	596	298	1,6	9,4	16,9
26—27/XII . .	450	225	1,4	11,2	12,5		26—27/VIII . .	629	315	1,7	10,2	16,6
							1—2/IX	667	334	2,2	—	—
1931 г.							5—6/IX	667	334	2,9	12,5	23,2
1—2/I	420	210	0,9	—	—		10—11/IX . .	554	277	4,0	—	—
6—7/I	384	192	1,3	9,5	13,6							
11—12/I	362	181	0,9	—	—							
17—18/I	332	191	3,1	—	—							

поскольку при одной и той же нагрузке вынос взвешенных веществ в отдельных пробах сильно отклоняется. Здесь могут сказываться различные случайные причины, например влияние отдельных эксплуатационных операций: несвоевременность выпуска осадка, прочистка лотков, поверхности отстойника и др. Кроме того в течение дня наблюдаются временами резкие колебания температуры поступающей сточной жидкости, что, как будет указано ниже, отзывается на работе отстойника. Затем на результатах определения взвешенных веществ сказывается концентрация сточной жидкости.

Статистическая обработка записей контрольного анализа, устраняя отдельные случайные отклонения, открывает возможность выделить те зависимости между явлениями, которые там имеют место. Обработка данных табл. 10 была произведена путем группировки отдельных анализов по ко-

личеству проходящей через отстойник жидкости (по нагрузке). Результаты обработки приведены в табл. 11. и на рис. 18 (стр. 48).

Таблица 11

Поступление и вынос взвешенных веществ из предварительных отстойников Кожуховской станции аэрации (группировка анализов с 9/V 1930 г. по 11/IX 1931 г. по расходу жидкости через отстойник)

Группы по нагрузкам в час	Число анализов	Средняя нагрузка в $\text{м}^3/\text{час}$		Средняя скорость движения жидкости в отстойнике в $\text{мм}/\text{сек}$	Взвешенные вещества		
		на станцию	на 1 отстойник		до предварит. отстойника в $\text{см}^3/\text{л}$	после предварит. отстойника в $\text{см}^3/\text{л}$	% выноса
100—200 м^3	2	143	71,5	0,24	8,5	0,5	5,9
200—300 „	7	262	131,0	0,45	10,8	0,9	8,3
300—400 „	10	369	184,5	0,63	10,9	1,3	11,9
400—500 „	21	431	215,5	0,74	9,4	1,7	18,1
500—600 „	7	559	279,5	0,96	9,7	2,2	22,7
свыше 600	6	641	320,5	1,1	10,5	2,3	21,9

Предполагаемая зависимость между собою рядов, характеризующих нагрузку и количество выносимых взвешенных веществ, находит в этой таблице достаточное подтверждение. Рост нагрузки сопровождается прямо пропорциональным увеличением количества выносимых взвешенных веществ из отстойника. Рис. 18, выражая содержание табл. 11, показывает наличие линейной зависимости между нагрузкой и выносом взвешенных веществ из отстойника, которая может быть выражена следующим уравнением: $A = KQ$, где A — количество куб. сантиметров взвешенных веществ в 1 л выходящей из отстойника жидкости (или же 1 л/м³), Q — нагрузка на отстойник в $\text{м}^3/\text{час}$, а K — коэффициент пропорциональности. Подставив в уравнение конкретные величины из табл. 11, получаем для коэффициента пропорциональности следующие значения:

$$\begin{aligned}
 1) K &= \frac{0,5}{71,5} = 0,0070; & 3) K &= \frac{1,3}{184,5} = 0,0070; & 5) K &= \frac{2,2}{279,5} = 0,0079; \\
 2) K &= \frac{0,9}{131,0} = 0,0069; & 4) K &= \frac{1,7}{215,5} = 0,0079; & 6) K &= \frac{2,3}{320,5} = 0,0072.
 \end{aligned}$$

Среднее из 6 определений $K = 0,0073$.

Обычно принято работу отстойников оценивать по проценту задержки взвешенных веществ от количества взвешенных веществ в поступающей жидкости. При выведении зависимости между нагрузкой и выносом мы не пользовались этим приемом по той причине, что число определений взвешенных веществ в поступающей жидкости не соответствовало числу определений в выходящей из отстойника жидкости: первое было в несколько раз меньше последнего, а потому выводы на основании недостаточного

числа наблюдений нам представляются ненадежными. Так как количество взвешенных веществ в поступающей жидкости колеблется сравнительно в малых пределах и среднее количество их близко к $10 \text{ см}^3/\text{л}$, то в этом случае при установлении зависимости не имеет значения, считать ли вынос взвешенных веществ по абсолютной величине или по проценту к количеству поступающих взвешенных веществ.

Пользуясь найденным коэффициентом, возможно вычислить, как велик будет вынос при любой нагрузке на отстойник, но конечно до известного предела, еще не выясненного в условиях эксплуатации Кожуховской станции аэрации. Найденная зависимость между нагрузкой и выносом взвешенных веществ для одной пары отстойников при достаточно широких колебаниях в нагрузках (от $71,5$ до $320 \text{ м}^3/\text{час}$ на отстойник) в позднейших материалах станции, когда в работу были введены новые отстойники той же конструкции и общая нагрузка на станцию была увеличена, нашла себе полное подтверждение. Коэффициент пропорциональности K остается величиной более или менее постоянной, отклоняясь в тех случаях, когда менялись условия эксплуатации. В нижеследующей табл. 12 приводятся средние данные о работе отстойников за различные периоды с вычисленным значением коэффициента K для каждого периода.

Таблица 12

Работа первичных отстойников Кожуховской станции аэрации с 15/IX 1931 г. по 1/XI 1932 г. (группировка по периодам)

Периоды наблюдения	Число анализов	Число раб. отстойников	Сред. нагрузка в $\text{м}^3/\text{час}$		Взвешенные вещ.			Промежутки между двумя спусками осадка из отстойника	K	Примечание
			на стан- цию	на 1 от- стой- ник	до отст. в $\text{см}^3/\text{л}$	после пер- вичн. отст. в $\text{см}^3/\text{л}$	% вы- носа			
1931 г.										
15/IX—16/X	9	4	564	141	13,0	1,5	11,5	2 суток	0,0106	При уменьшении расхода о ст. включали в из работы
22/X—28/XII	11	4	603	151	—	1,3	—	1 "	0,0086	
1932 г.										
3/VI—9/VI	2	6	654	109	11,5	0,85	7,4	1 "	0,0077	
13/VI—26/VII	7	6	892	149	8,4	1,1	13,1	1 "	0,0072	
3/VIII—25/X	9	6	1211	202	9,5	1,32	13,9	из 2-х—1 сут. из 4-х—1½ сут.	0,0065	

Первый период с 15/IX по 16/X 1931 г., когда были введены в работу новые два первичных отстойника (№ 1 и 6), дает для K повышенную величину 0,0106. Это отличие объясняется особым режимом эксплуатации отстойников. Нагрузка на отстойник в этот период была небольшая ($141 \text{ м}^3/\text{час}$): в два раза меньше, чем в предшествующий период; поэтому выпуск осадка из отстойника стал производиться через каждые двое суток. При таком длительном хранении осадка в отстойнике он всплывал на поверхность и вынос взвешенных веществ из отстойника при этом, естественно, увели-

чивался. Ожидаемого эффекта от введения в работу новой пары отстойников не получилось. Хотя абсолютная величина выноса взвешенных веществ стала меньше, но уменьшение выноса не было пропорционально уменьшению нагрузки, что и сказалось на увеличении за этот период коэффициента пропорциональности в уравнении $A = KQ$, $K = 0,0106$. Возврат к ежедневному выпуску осадка из отстойника в последующий период с 22/X по 28/XII улучшил работу отстойников, вынос взвешенных веществ уменьшился и коэффициент пропорциональности получился равным 0,0086, если считать, что в это время работали все четыре отстойника. На самом деле в этот период практиковалось при уменьшении притока сточной воды на станцию выключать 1—2 отстойника из работы, потому что точно вычислить коэффициент K для этого периода не представляется возможным.

В табл. 12 приводятся данные за период с 3/VI по 25/XI 1932 г. В это время в работу введена была третья пара отстойников (№ 2 и 5) и нагрузка на сооружение постепенно увеличивалась. Анализ за этот период при обработке разбиты на три группы-периода по величине нагрузки на сооружение (I группа от 600 до 800 м³/час, II группа от 800 до 1000 м³/час, III группа свыше 1000 м³/час). В первые два периода выпуск осадка из отстойников производился каждые сутки и коэффициенты пропорциональности получились 0,0077 и 0,0072, т. е. очень близкие к средней величине коэффициента 0,0073, выведенного из двухлетней работы двух отстойников в предшествующий период. В последний период из двух отстойников выпуск осадка производился каждые сутки, а из четырех — два раза в сутки. На работе отстойников более частый выпуск осадка сказался благоприятно. Образование корки и всплывание осадка наблюдались только в двух отстойниках, работавших со спуском осадка один раз в сутки. Коэффициент пропорциональности в уравнении $A = KQ$ равен 0,0065.

Итак, мы имеем достаточные основания сделать вывод, что для данной конструкции отстойников найденная зависимость между нагрузкой и выносом взвешенных веществ может считаться достаточно обоснованной. Зависимость выражается уравнением $A = KQ$, где A — число куб. сантиметров взвешенных веществ в 1 л среднесуточной пробы, выходящей из отстойника жидкости (после двухчасового отстаивания), Q — часовой расход жидкости через отстойник, K — коэффициент пропорциональности, равный 0,0073 (при условии ежедневного выпуска осадка из отстойника).

Уравнению можно придать более общий вид, если в нем часовой расход жидкости выразить через площадь поперечного сечения отстойника и через среднюю скорость движения жидкости в отстойнике, выраженную в мм/сек:

$$F \text{ — площадь поперечного сечения равна } 81 \text{ м}^2; Q \text{ м}^3/\text{час} = \frac{81 \cdot 3600 \cdot v}{1000}.$$

Подставив это выражение Q в уравнение $A = KQ$, получим, что

$$A = \frac{K \cdot 3600 \cdot 81 \cdot v}{1000}, \text{ т. е. вынос взвешенных веществ пропорционален средней скорости движения жидкости в отстойнике и } K = \frac{K \cdot 3600 \cdot 81}{1000} = 2,13.$$

Найденная зависимость между нагрузкой на отстойник и выносом взвешенных веществ из него носит чисто эмпирический характер и весьма возможно, что это только приблизительная характеристика связи между

изучаемыми явлениями, так как на исходном материале (результатах контрольного анализа) сказывался помимо нагрузки целый ряд других факторов, влияние которых трудно учесть. Здесь мы считаем нужным отметить одно существенное обстоятельство методического характера, которое (можно думать) не меняет характера связи между изучаемыми явлениями, но несомненно влияет на величину K в уравнении $A = KQ$. Взвешенные вещества при контрольном анализе, как сказано было выше, определяются в смешанной пробе из 12 единичных проб, набранных в течение суток через двухчасовые промежутки времени. До смешения отдельные пробы различный срок в зависимости от времени взятия стоят при температуре 15—20° Ц. За это время из сточной жидкости, свертываясь, выпадают тонкие взвеси, которые после смешения проб оседают вместе со взвешенными веществами, не задержанными отстойником, вследствие чего вынос взвешенных веществ получается повышенным. Для того чтобы получить представление о том, насколько выше получаются результаты при анализе среднесуточных проб, сделано было следующее наблюдение. В течение суток брались пробы сточной жидкости из предварительных отстойников и в одной части пробы сейчас же после взятия определялось количество взвешенных веществ, а в другой части — на утро следующего дня, когда обычно смешивалась для анализа среднесуточная проба.

Кроме того на утро следующего дня во взятых пробах определена была окисляемость жидкости по Кубелю для того, чтобы иметь представление о концентрации жидкости. Результаты этих наблюдений приводятся в нижеследующей табл. 13.

Таблица 13

Увеличение взвешенных веществ при анализе среднесуточных проб за счет свертывания тонких взвесей

День и час взятия проб	Взвешенные вещества в см ³ /л			Окисляемость
	определение при взятии пробы	определение 23/XI 9 час. утра	прирост за время стояния	
22/XI 1931 г.				
10	0,6	1,3	0,7	61,4
12	0,5	1,75	1,25	105,0
14	1,0	2,4	1,4	133,0
16	0,5	2,4	1,9	128,0
18	0,9	3,0	2,1	130,0
20	0,5	2,1	1,6	121,0
22	0,6	1,75	1,15	124,0
24	0,8	1,85	1,05	117,0
23/XI				
2	0,7	1,4	0,9	109,0
4	0,8	1,3	0,5	107,0
6	0,8	1,2	0,4	83,3
8	1,0	1,3	0,3	62,9
Среднее	0,7	1,8	1,1	106,0

Таким образом после стояния проб значительно возрастает количество взвешенных веществ. Среднесуточное из определений взвешенных веществ в свежевзятых пробах в $2^{1/2}$ раза меньше, чем среднесуточное из постоянных проб. Прирост взвешенных веществ за время стояния несомненно зависит от концентрации жидкости и от времени стояния пробы до определения. Чем больше время стояния пробы и чем больше окисляемость жидкости, тем больший получается прирост взвешенных веществ. Из этих наблюдений следует, что результаты определений взвешенных веществ по данным контрольного анализа значительно превышают действительный вынос взвешенных веществ из отстойника. Поэтому при расчете действительного выноса взвешенных веществ из отстойника по формуле $A = KQ$ надо значение коэффициента пропорциональности значительно уменьшить (приблизительно в 2 раза). Для того чтобы найти более или менее точный поправочный коэффициент для перехода от определений взвешенных веществ в среднесуточных пробах к действительному, необходимо сделать несколько параллельных наблюдений при различной концентрации жидкости и различной температуре. Установление поправочных коэффициентов необходимо, так как делать определения взвешенных веществ из проб в течение круглых суток технически представляет большие затруднения.

Найденная зависимость позволила при дальнейшем изучении работы отстойников элиминировать влияние нагрузки на задержку взвешенных веществ отстойником и выявить роль других моментов в его работе. Так, по данным нижеследующей табл. 14 можно увидеть влияние частоты выпуска осадка из отстойника на задержку взвешенных веществ.

Таблица 14

Значения коэффициента пропорциональности при различных промежутках времени между выпуском осадка из отстойника

Период наблюдений	Число работающих отстойников	Промежуток между выпуском осадка в сутках	Значение K	Примечание
9/V 1930 г.—11/IX 1931 г. . . .	2	1	0,0073	Длина трубы 3,5—42 м. ширина щели 0,3—0,7 м
15/IX 1931 г.—16/X 1931 г. . . .	4	2	0,0106	
3/VI 1932 г.—26/VII 1932 г. . . .	6	1	0,0076	
5/VIII 1932 г.—25/X 1932 г. . . .	6	4 отст. $1/2$	0,0065	
—	—	2 „ 1	—	

Выясняется, что более частые выпуски осадка благоприятно сказываются на работе. При проектировании отстойников Кожуховской станции предусматривалось двухдневное хранение осадка в отстойнике с ежедневным выпуском суточной порции его. Практика эксплуатации отстойников отступила от этих правил. Выпуск осадка производился ежедневно или два раза в сутки всегда до „чистой воды“, следовательно срок хранения осадка в отстойнике не превышал периода между выпусками. Явление всплывания осадка со дна отстойника и необходимость более частых выпусков его для предупреждения всплывания обнаружались до известной степени неожиданно при эксплуатации отстойников на Кожуховской станции

аэрации, тем более, что при эксплуатации близких по конструкции отстойников вертикального типа на Люберецких полях фильтрации всплывания не наблюдается.

Удовлетворительного объяснения этому явлению еще не найдено. Нам представляется более вероятным искать его в резких колебаниях температуры сточной жидкости, поступающей на Кожуховскую станцию. Отдельными наблюдениями отмечаются колебания температуры сточной жидкости в течение $1\frac{1}{2}$ — 2 час. на 4° . Круглосуточное наблюдение за температурой сточной жидкости обнаружило колебание на 5° . Колебание температуры сточной жидкости, поступающей на Люберецкие поля фильтрации, значительно меньше. Всплывание осадка особенно сильно заметно с наступлением осени, когда температура сточной жидкости начинает падать. Температура всплывающего осадка значительно выше, чем сточной жидкости; 10 октября 1931 г. замер температуры всплывших небольших кусков осадка дал $16,5^{\circ}$, температура выходящей из отстойника жидкости в это время была равна $13,1^{\circ}$. Колебания температуры поступающей сточной жидкости, изменяя плотность жидкости, сказываются вероятно на быстроте ее прохождения и следовательно на количестве выносимых взвешенных веществ. В нижеследующей табл. 15 приводятся наблюдения за температурой и за выносом взвешенных веществ из отстойника в течение трех дней: 2, 4 и 9 июля 1931 г.

Таблица 15

Влияние колебаний температуры поступающей в отстойник жидкости на вынос взвешенных веществ

2/VII 1931 г.			4/VII 1931 г.			9/VII 1931 г.		
Час дня	Температура	% выноса взвеш. веществ	Час дня	Температура	% выноса взвеш. веществ	Час дня	Температура	% выноса взвеш. веществ
0	17,5	9	$9\frac{1}{2}$	18,5	10,0	9	19,5	20,9
10	17,5	11,8	$10\frac{1}{2}$	18,8	12,7	10	19,8	15,6
11	17,5	14,3	11	18,9	6,0	11	19,3	12,8
$12\frac{1}{2}$	18,0	5,8	12	20,0	7,8	12	19,8	7,8
13	19,0	7,3	13	20,8	11,2	13	20,0	7,1
14	20,5	46,0	$13\frac{1}{2}$	22,4	45,8	14	20,0	5,9
15		45,6	$14\frac{1}{2}$	22,2	—	15	20,2	10,9
			15	20,3	30,0	16	20,3	12,8

Нарушения в работе отстойника, произведенные резкими изменениями температуры 2 и 4 июля, и, наоборот, более или менее ровная работа отстойника 9 июля при отсутствии скачков температуры наглядно иллюстрируются рис. 18, 19 и 20, вычерченными по данным табл. 15. Нагрузка на отстойник во время наблюдений поддерживалась на одном и том же уровне.

Изучение влияния температуры сточной жидкости на работу первичных отстойников вертикального типа должно составить предмет дальнейших исследований. В настоящее время мы считаем возможным только высказать предположение и привести отдельные наблюдения, которые удалось сделать.

Контрольным анализом совсем не охватывалась одна существенная операция в работе отстойников — не делалось замеров объема и концентрации

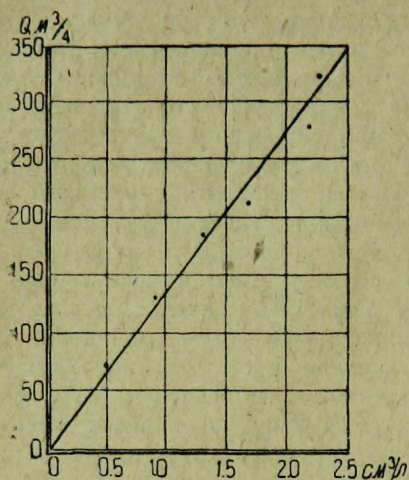


Рис. 18. Влияние нагрузки на вынос взвешенных веществ из отстойника.

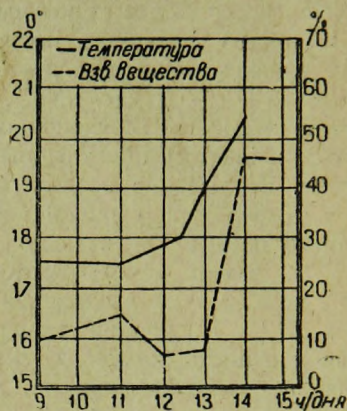


Рис. 19. Влияние колебаний температуры на вынос взвешенных веществ из отстойника. Наблюдение 2/VII 1931 г.

осадка (выпускаемого на иловые площадки) по той причине, что производство этих замеров представляло большие затруднения. Кроме того

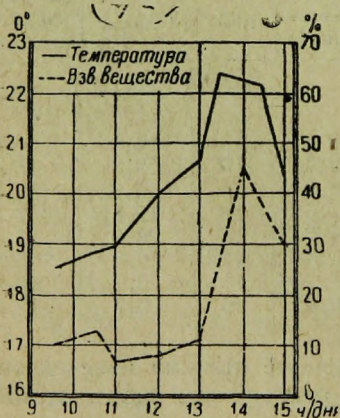


Рис. 20. Влияние колебаний температуры на вынос взвешенных веществ из отстойника. Наблюдение 4/VII 1931 г.

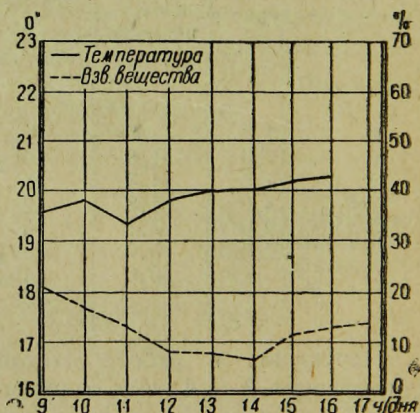


Рис. 21. Влияние колебаний температуры на вынос взвешенных веществ из отстойника. Наблюдение 9/VII 1931 г.

операция выпуска осадка непосредственно из предварительных отстойников на иловые площадки носила временный характер до пуска в работу метан-танков,

Выводы

В результате довольно длительных и систематических наблюдений за работой отстойников вертикального типа на Кожуховской станции аэрации явилась возможность установить некоторые постоянства и зависимости, которые могут быть сформулированы следующим образом.

1. Между количеством пропускаемой через отстойник сточной жидкости и выносом из него взвешенных веществ существует линейная зависимость, выражаемая уравнением $A = KQ$, где A — вынос взвешенных веществ в $см^3/л$, Q — часовой расход сточной жидкости через отстойник в куб. метрах. Коэффициент пропорциональности получается равным 0,0073, если выпуск осадка из отстойника производится ежедневно.

2. Вынос взвешенных веществ из отстойника увеличивается с удлинением времени хранения осадка в отстойнике (от полусуток до двух суток) вследствие всплывания его на поверхность. Было бы целесообразно производить более частое, а может быть и постоянное удаление осадка.

3. Определение взвешенных веществ в среднесуточных пробах дает повышенные количества за счет свертывания тонких взвесей в отдельных пробах при стоянии. С методической стороны правильнее было бы делать определение взвешенных веществ в каждой пробе отдельно сейчас же после взятия ее и из этих определений выводить уже среднесуточный вынос. Но так как технически это трудно осуществимо, то необходимо установить поправку к определению взвешенных веществ в среднесуточных пробах.

Наблюдения за работой вертикальных отстойников Кожуховской станции аэрации при различных положениях подающей жидкости трубы и щита

Конструкция и размеры подающей жидкостью трубы в действующих отстойниках вертикального типа настолько различны между собою, что можно предполагать отсутствие у строителей единого представления о роли ее в работе отстойника. Неодинаково также представление о значении и даже о самой необходимости щита под трубой, так как в некоторых конструкциях щита совсем нет¹. Наблюдения за работой отстойников Кожуховской станции при различных положениях подающей жидкостью трубы, излагаемые ниже, могут представить некоторый интерес и быть полезны при проектировании и эксплуатации отстойников вертикального типа. Постановка наблюдений вызвана была перебоями в работе отстойников при увеличении нагрузки свыше 125 м/час осенью 1930 г., когда замечено было временами значительное увеличение выноса взвешенных веществ. Возникло предположение, что отстойник сможет пропустить нужное количество сточной жидкости, если изменить погружение трубы. Так как по конструкции трубы нельзя было изменять длину трубы в одном отстойнике по всей глубине, то для обследования были взяты два отстойника с тем, чтобы в одном можно было обследовать верхнюю часть отстойника, а в другом — нижнюю. В предварительном отстойнике № 3 была обследована работа при трех погружениях трубы 2,55; 3,15 и 3,75 м; в отстой-

¹ Впервые щит был применен в опытах на Люберецких полях фильтрации по предложению С. Н. Строганова.

нике № 4 погружение трубы было 3,7; 4,3; и 4,9 м. Ширина щели между раструбом трубы и щитом могла колебаться как в том, так и в другом отстойниках от нуля до 1 м. Для того чтобы увязать наблюдения одного отстойника с другими, предполагалось установить трубы так, чтобы самое нижнее положение трубы в одном соответствовало самому верхнему положению в другом. При установке труб получилось незначительное расхождение в 13 см между нижним положением в одном отстойнике и верхним в другом. При испытании работы отстойника № 3 при нижнем положении и № 4 при верхнем получилась некоторая разница в результатах, что видно из следующей табл. 16.

Таблица 16

Сравнение работы отстойников № 3 и 4 при одинаковых погружениях трубы и щита

№ отстойников	Нагрузка в м ³ /час	Погружение трубы в м	Погружение щита в м	Вынос взвешенных веществ	
				в см ³	в % к поступающего количества
3	350	3,57	1,0	1,44	13,9
4	350	3,7	1,0	1,18	11,2

Эту разницу мы объясняем худшей работой системы лотков, отводящих сточную жидкость из отстойника № 3, вследствие неодинакового погружения переливных бортов. Это обстоятельство привело к неодинаковому выносу взвешенных веществ в различных частях переливных бортов отстойника. Там, где больше переливается жидкости, больше и вынос. Разница получалась очень значительная: в отдельных наблюдениях вынос с одной стороны в 4—5 раз превышал вынос взвешенных веществ с другой стороны. Это обстоятельство несомненно отрицательно сказалось на результатах работы отстойника № 3 при обследовании наименьших погружений подводящей сточную жидкость трубы.

Целью испытания, поскольку оно нужно было для эксплуатации станции, ставилось нахождение такого положения трубы в отстойнике, чтобы в условиях работы Кожуховской станции аэрации отстойники могли бы пропустить требуемое количество сточной жидкости. Собственно изучения каких-либо общих вопросов о значении трубы и щита в работе отстойника не предполагалось при организации испытания, поэтому должно быть понятно, что в результатах обработки полученных материалов не хватает некоторых сведений, касающихся главным образом накопления и распределения осадка в отстойнике.

Наблюдения велись таким образом, что отстойник держали при более или менее постоянной нагрузке круглые сутки при различной глубине погружения трубы и щита. Учитывая неравномерность притока сточной жидкости на станцию в течение дня, а также возможность перегрузки отстойников в летнее время, когда пропускная способность станции выше расчетной, испытание работы отстойников производили при нагрузке в 350 м³/час, что отвечает скорости движения жидкости 1,2 мм/сек. В течение дня брались пробы выходящей из отстойника жидкости, в которых немедленно

производилось определение взвешенных веществ. В пробах, взятых вечером и ночью, определение делалось на другой день. Последние определения давали повышенный процент выноса не за счет ухудшения работы отстойников, а за счет выпадения тонкой взвеси при стоянии проб, поэтому при обработке эти определения не взяты в расчет. Отклонения от принятой нагрузки бывали довольно значительные.

Колебания в притоке сточной жидкости на станцию в течение дня несомненно отражались на нагрузке наблюдаемого отстойника. Прочистка решетки перед отстойниками создавала значительные колебания в расходе, длившиеся, правда, небольшой промежуток времени.

В первый период наблюдений из-за отсутствия отдельного лица для взятия проб не определялись взвешенные вещества в поступающей жидкости, а только в выходящей через часовые промежутки времени. Во второй период наблюдений через каждые 15 мин. брались пробы поступающей и выходящей жидкости и из четырех проб бралась средняя проба за 1 час.

Наблюдения за температурой велись только в конце второго периода, когда выяснилось, что резкие температурные колебания сказываются на работе отстойников. Учета распределения и количества осадка во время производства наблюдений не велось.

При обследовании была испытана работа отстойника при 14 различных положениях трубы и щита. Результаты этих наблюдений-опытов приводятся в нижеследующей табл. 17.

Таблица 17

Влияние длины трубы и погружения щита на вынос взвешенных веществ из первичных отстойников

№ опытов	Число		Средняя нагрузка в $\text{м}^3/\text{час}$	Длина трубы в м^3	Щитина щели в м^3	Взвешенные вещества			Объем илов. про- странства под щитом в м^3	Площадь поперечного сечения на уровне щита (без центральной трубы) в м^2
	дней на-блюдения	проб				поступающей жидко-сти в $\text{см}^3/\text{д}$	выходящей жидко-сти в $\text{см}^3/\text{д}$	% выноса		
1	4	22	350	2,55	0,4	10 96	2,7	24,6	119,0	55,2
2	1	6	350	2,55	1,0	10,0	1,17	11,7	87,7	44,9
3	1	7	350	3,15	0,4	10 45	1,44	13,8	87,7	44,9
4	2	14	350	3,15	1,0	9,73	1,36	14,0	62,2	35,7
5	1	5	350	3,57	1,0	10,38	1,44	13,9	48,4	29,9
6	1	3	350	3,7	0,16	10,0	3,9	39,0	73,2	40,1
7	5	25	350	3,7	0,4	12,0	1,38	11,5	64,2	36,4
8	1	8	350	3,7	1,0	10,5	1,18	11,2	44,3	28,2
9	1	11	350	4,3	0,4	10,8	0,9	8,3	44,3	28,2
10	1	12	350	4,3	0,7	10,4	1,09	10,5	35,8	25,6
11	1	7	350	4,3	1,0	9,4	ок.10	100,0	29,7	21,8
12	2	14	350	4,9	0,4	—	„ 10	100,0	29,7	21,8
13	1	8	297	4,9	0,7	—	„ 10	100,0	23,1	17,7
14	1 1/2	10	325	4,9	1,0	—	„ 10	100,0	17,7	15,5

Рассматривая данные табл. 17, можно отметить, что за исключением 1, 6, 11—14 все остальные наблюдения дали близкие между собою величины выноса взвешенных веществ, несмотря на то, что погружение трубы менялось от 2,55 до 4,3 м и ширина щели менялась от 0,4 до 1 м. Во всяком случае разница между результатами отдельных наблюдений не настолько значительна, чтобы позволить утверждать о лучшей или худшей

работе отстойника при данном положении трубы и щита. Несколько меньший вынос при 7—10 положениях трубы и щита в отстойнике № 4 возможно объясняется, как уже указывалось выше, лучшим устройством лотков, отводящих сточную жидкость из отстойника. Отсюда можно сделать вывод, что изменение длины трубы от 2,55 до 4,3 м при нагрузке 350 м³/час не вносит существенных изменений в работу отстойника. Вынос взвешенных веществ колеблется от 1,17 до 1,44 см³/л (от 8,3 до 14%). Рис. 22 подтверждает этот вывод.

Наблюдения за работой отстойника при глубине погружения трубы 2,55 м и щели 0,4 м (первый опыт) говорят о том, что глубина погружения щита в 2,95 м недостаточна. Вынос взвешенных веществ 24,6% значительно больший, чем во втором опыте, отличающемся от первого только большим погружением щита—3,55 м. Что отрицательную роль в первом опыте сыграло недостаточное погружение щита, а не недостаточная ширина щели, доказывается третьим опытом, когда при увеличении длины трубы до 3,15 м и сохранении прежнего погружения щита 3,55 м ширина щели стала 0,4 м, как и в первом опыте. Эффект же работы отстойника в третьем опыте (вынос 13,8%) близок к показанию второго опыта, т. е. улучшение работы во втором опыте объясняется только более глубоким погружением щита.

Шестой опыт (глубина погружения трубы 3,7 м и щель до 0,16 м) говорит о том, что уменьшение ширины щели до 0,16 м существенно ухудшает работу отстойника. Точной цифры для выноса взвешенных веществ не было получено, поскольку ухудшение работы отстойника при уменьшении ширины щели до 0,16 м было очевидно. Вынос доходил до 8 см³, в среднем можно было взять 3,9 см³/л, тогда как при таком же погружении трубы, но при щели в 0,4 м вынос был 1,38 см³.

В табл. 18 приводятся выведенные из опытов 2—10 средние значения выноса взвешенных веществ из отстойника для различной ширины щели.

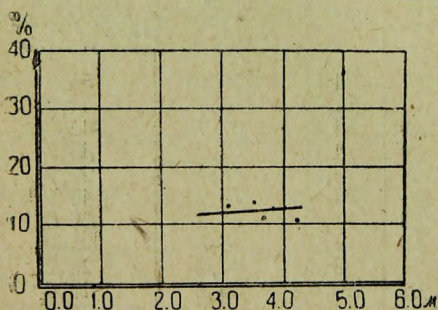


Рис. 22. Процент выноса взвешенных веществ из отстойника при различной длине опускной трубы.

Таблица 18
Влияние ширины щели на вынос взвешенных веществ из отстойника

Ширина щели в м	Нагрузка в м ³ /час	Вынос взвешенных веществ в см ³ /л
0,16	350	3,9
0,4	350	1,24
0,7	350	1,09
1,0	350	1,29

Опыты 2—10 взяты для вывода средних значений по той причине, что в этом интервале ни длина трубы, ни погружение щита не влияют на работу отстойника, следовательно здесь можно обнаружить влияние щели, если оно есть.

Данные табл. 18 и рис. 23 показывают, что ширина щели в пределах от 0,4 до 1 м не влияет на работу отстойника. Щель в 0,16 м при нагрузке 350 м³/час недостаточна, так как вынос при этом увеличивается.

При самых глубоких погружениях (11—14 опыты) получились результаты, отличающиеся от результатов рассмотренных выше наблюдений. В опытах 1—10, когда погружение щита не превышало 5 м при нагрузке 350 м³/час, колебания в выносе взвешенных веществ в отдельных пробах были сравнительно невелики во все время наблюдения.

В опытах 11—14, когда погружение щита было больше 5 м при той же нагрузке, мы наблюдаем резкий перелом в задержке взвешенных веществ отстойником. После некоторого промежутка времени, когда отстойник работает с обычным выносом взвешенных веществ (около 10%), наступает

резкое изменение, вынос взвешенных веществ вырастает до 10—15 см, т. е. отстойник перестает задерживать осадок. Спуск осадка в это время уменьшает только на короткое время вынос взвешенных веществ, так как вскоре же опять начинается массовый вынос осадка. Это обстоятельство ясно показывает, что при данной глубине погружения трубы и щита отстойник не может работать при данной нагрузке. Так как это явление произошло при увеличении глубины погружения щита, то естественно предположить, что оно вызвано уменьшением объема илового пространства. Но это предположение не имеет за собою достаточных оснований. Если бы дело было только в объеме илового пространства, которое (надо заметить) при опускании щита с 5 (10 опыт) до 5,3 м (11 опыт) уменьшилось только на 6 м³, то более частые выпуски осадка могли бы компенсировать недостаточность объема илового пространства. На деле же оказалось другое. Двукратные и даже трехкратные спуски осадка в течение дня не улучшали положения. Вынос осадка; возобновившийся во время спуска, вновь возобновлялся через короткий промежуток времени. Это обстоятельство показывает, что причина отказа отстойника работать при данной нагрузке заключается не в недостаточности объема илового пространства, а в неблагоприятных гидродинамических условиях, которые создаются в данном отстойнике при глубоком погружении щита.

Для того чтобы пояснить, в чем заключаются эти неблагоприятные условия, нам надо изложить предварительно наше представление о том, как протекает процесс отстаивания жидкости в вертикальном отстойнике.

Жидкость по выходе из трубы продолжает двигаться в том же направлении до щита. Щит меняет направление движения жидкости на горизонтальное. Выйдя из щели в горизонтальном направлении, жидкость меняет его на вертикальное и начинает подниматься вверх с какими-то скоростями, но средняя скорость на этом сечении определяется расходом жидкости и площадью живого сечения отстойника на уровне щита. Если труба и щит

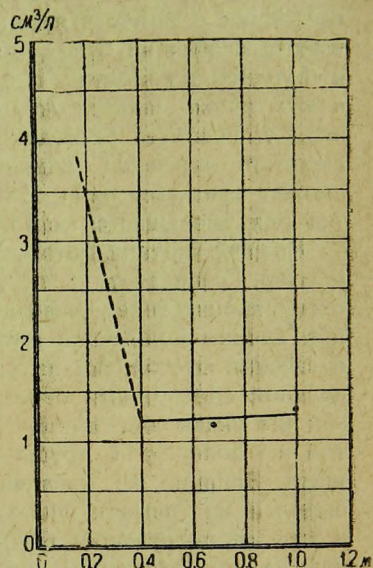


Рис. 23. Вынос взвешенных веществ из отстойника при различной ширине щели между щитом и концом трубы.

погружены глубоко в пирамидальную часть отстойника, где площадь поперечного сечения невелика, то при некотором расходе жидкости в этом сечении скорость движения жидкости вверх будет превышать скорость выпадения осадка, поэтому осадок вместе с жидкостью будет уноситься вверх. Попасть в иловое пространство он не может, хотя выше уровня щита с увеличением площади поперечного сечения скорость движения жидкости может сделаться меньше скорости выпадения осадка. В этих условиях осадок будет накапливаться выше конца трубы. Но уплотниться он не может, так как между частицами осадка все время будет двигаться жидкость со все увеличивающимися скоростями по мере накопления осадка, ибо с накоплением осадка уменьшается площадь живого сечения.

Осадок, накапливаясь постепенно в отстойнике, по мере подхода к верхней зоне начинает выноситься из него. Следовательно в этих условиях отстойник с момента пуска некоторое время будет работать хорошо и выноса осадка не будет, но через некоторое время осадок начнет выноситься в большом количестве, отстойник перестанет задерживать его. Спуск осадка в это время может оказаться полезным только в том случае, если при этом уменьшится расход жидкости через отстойник. Вынос прекратится, если скорость движения жидкости вверх уменьшится настолько, что осадок сможет двигаться вниз. Если же расход через сливные борта не уменьшится или уменьшается мало, то вынос будет продолжаться.

Внешне картина, которую мы наблюдали при производстве опытов (11—41 опыты), совпадает с той, которую мы сейчас изложили. Согласно этой схеме препятствием, ставящим предел пропускной способности отстойника при данном положении щита, является скорость движения жидкости вверх в сечении отстойника на уровне щита. Что решающее значение для пропускной способности отстойника имеет положение щита, обнаруживается, как мы указывали выше, первым и вторым опытами, когда при одном и том же положении трубы улучшилась работа отстойника при опускании щита. Влияние же увеличившейся при этом щели исключается, как это видно и из третьего опыта; 10 и 11 опыты произведены были при одном и том же погружении трубы на 4,3 м, но работа отстойника резко ухудшилась при опускании щита на 30 см. Что отрицательная роль принадлежит не увеличившейся при этом щели, доказывается 12 опытом, когда щель при одном и том же погружении щита была уменьшена за счет опускания трубы и это обстоятельство не увеличило пропускной способности отстойника; массовые выносы осадка наблюдались так же, как и в 11 опыте.

Таким образом при обследовании как верхней, так и нижней частей отстойника мы приходим к выводу, что решающим моментом в работе отстойника является глубина погружения щита. Рис 24 иллюстрирует этот вывод. Далее нужно было бы для подтверждения правильности представленной нами схемы работы отстойника показать, что именно скорость движения жидкости в сечении отстойника на уровне щита определяет предельную нагрузку на него.

Предельной при данной глубине погружения щита мы считаем такую нагрузку на отстойнике, при которой не происходит массовых выносов взвешенных веществ из отстойника. Согласно нашей схеме работы отстойника это значит, что в сечении отстойника на уровне щита при данной нагрузке есть места со скоростями движения жидкости вверх меньшими, чем скорость выпадения осадка. При дальнейшем же увеличении нагрузки скорости дви-

жения жидкости сделаются равными или же большими, чем скорость выпадения осадка, вследствие чего работа отстойника нарушится.

При обследовании работы отстойника при различных нагрузках и разной глубине погружения щита нам удалось получить некоторые данные для суждения о том, при каких скоростях в сечении отстойника на уровне щита отстойник не может работать. Данные эти приводятся в нижеследующей табл. 19.

Таблица 19

Зависимость между выносом взвешенных веществ из отстойника и средней скоростью движения жидкости в сечении отстойника на уровне щита

№ опы- тов	Средняя скорость движен. жидкости на уровне щита в мм/сек	Вынос взвешен- ных ве- ществ в %	Нагрузка в м ³ /час	Площадь попереч- ного сече- ния на уровне щита ¹ в м ²	Глубина погруже- ния щита в м	Ширина щели в м	Примечание
14	5,81	ок. 100	325	15,53	5,9	1,0	
11	4,68	" 100	368	21,83	5,3	1,0	
13	4,66	" 100	297	17,67	5,6	0,7	
12	4,64	" 100	365	21,83	5,3	0,4	
11a	4,14	" 100	325	21,83	5,3	1,0	
10	3,97	" 10,5	365	25,55	5,0	0,7	
10a	3,81	" 10,0	350	25,55	5,0	0,7	
12a	3,74	" 10,0	294	21,83	5,3	0,4	
9	3,72	" 8,3	378	25,99	4,7	0,4	
11б	3,44	ок. 10,0	270	21,85	5,3	1,0	
8	3,44	" 10,0	350	28,21	4,7	1,0	
5	3,25	" 13,9	350	29,93	4,57	1,0	
4	2,72	" 14,0	350	35,69	4,15	1,0	
7	2,67	" 11,5	350	36,4	4,1	0,4	
6	2,43	" 39,0	350	40,07	3,86	0,16	{ Недостаточ- ная ширина щели
3	2,17	" 13,8	350	44,87	3,55	0,4	
2	2,17	" 11,7	350	44,87	3,55	1,0	{ Недостаточ- ная глубина погружения щита
1	1,76	" 24,6	350	55,15	2,95	0,4	

В приведенной таблице опыты расположены в убывающем порядке величины средней скорости движения жидкости вверх в сечении отстойника на уровне щита. Скорость меняется от 5,81 до 1,76 мм/сек. Нарушение работы отстойника (100%-ный вынос взвешенных веществ) мы наблюдали в опытах, когда средняя скорость на уровне щита была 4,14 мм/сек и больше; при скорости 3,97 мм/сек и меньше массовых выносов взвешенных веществ не наблюдалось за исключением шестого опыта при ширине щели 0,16 м. Но в этом случае благодаря большим горизонтальным скоростям выхода жидкости из щели (143 мм/сек при расходе 350 м³/час, считая площадь щели $4,24 \times 0,16 = 0,68$ м; периметр раструба 4,24 м) распределение скоростей движения жидкости на уровне щита будет иное. При достаточной ширине щели распределение скоростей по сечению отстойника,

¹ Без площади центральной трубы.

как можно предполагать, будет такое: большие скорости в центре у трубы и малые по периферии отстойника, где и происходит переход осадка в иловое пространство. При недостаточной ширине щели распределение скоростей будет обратное: большие скорости по периферии отстойника и малые в середине. Но в середине осадок не может переходить в иловое пространство, так как нижележащая зона больших горизонтальных скоростей мешает этому.

Данные, приведенные в табл. 19, намечают предельную допустимую среднюю скорость движения жидкости в сечении отстойника на уровне щита около 4 м/сек. Этой скоростью ставится нижний предел для глубины погружения щита при данной нагрузке. Рис. 25 по данным табл. 19 иллюстрирует это явление.

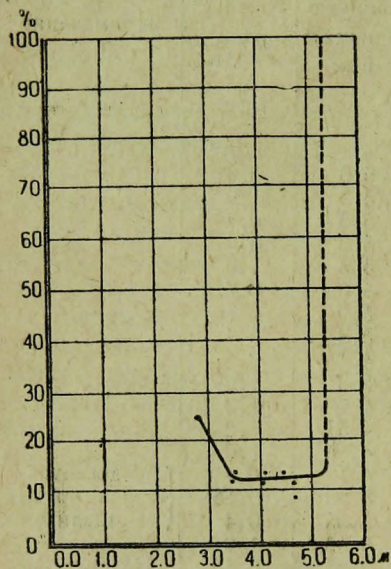


Рис. 24. Процент выноса взвешенных веществ из отстойника при различной глубине погружения щита.

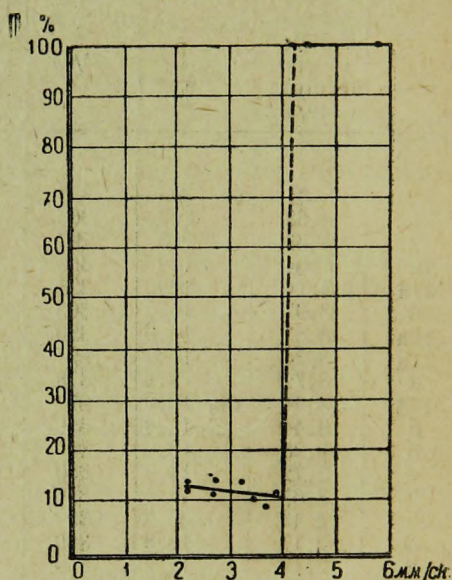


Рис. 25. Процент выноса взвешенных веществ из отстойника при различной величине средней скорости движения жидкости в сечении отстойника на уровне щита.

Помимо нижнего предела для погружения щита существует и верхний предел. Это доказывается первым опытом, когда мы имели дело с недостаточной глубиной погружения щита 2,95 м при той же нагрузке 350 м³/час. Трехметровой толщины слоя было недостаточно для того, чтобы неодинаковые скорости, с какими движется жидкость в сечении отстойника на уровне щита, успели достаточно выравняться ниже зоны, в которой сказывается влияние переливных бортов у лотков, отводящих жидкость из отстойника. С увеличением нагрузки на отстойник щит необходимо поднимать вверх, чтобы увеличилась площадь сечения на уровне щита. Но, с другой стороны, с увеличением нагрузки толщина слоя жидкости, необходимого для выравнивания скоростей, тоже должна увеличиться. В какой зависимости от нагрузки стоит минимальная глубина погружения щита, нашими опытами не установлено.

По приведенным в табл. 19 данным можно составить представление, что с уменьшением глубины погружения щита в пирамидальной части отстойника предельная пропускная способность отстойника увеличивается, так как при этом увеличивается площадь сечения отстойника на уровне щита. Данные табл. 20 подтверждают это представление для интервала глубины погружения щита от 5,9 до 5 м.

Т а б л и ц а 20
Влияние глубины погружения щита
на предельную пропускную способ-
ность отстойника

№ опы- тов	Глубина погруже- ния щи- та в м	Предель- ная на- гру-ка в м ³ /час	Вынос взвешен- ных веществ в %
14	5,9	< 325	100
13	5,6	< 297	100
11а	5,3	< 325	100
12а	5,3	< 294	около 10
10а	5,0	< 350	" 10
9а	4,7	< 378	" 10

Надо заметить, что возможность увеличения нагрузки с поднятием щита вверх понятна только для типа отстойника Кожуховской станции, в котором призматическая часть невелика в сравнении с пирамидальной.

Изложенная схема работы отстойника нуждается в дальнейшей экспериментальной проверке. Накопление материала прежде всего могло бы идти по линии наблюдений за распределением осадка в отстойнике при разных положениях щита и трубы. На данной стадии работы мы таких наблюдений сделать не могли.

Глубина погружения борта трубы в пределах от 2,55 до 4,3 м на работу отстойника заметного влияния не оказывает. Это положение справедливо только при том условии, что ширина щели между трубой и щитом не слишком велика. Мы имели возможность увеличивать ее до 1 м, но можно себе представить положение, когда щель настолько широка, что щит уже не определяет зоны перемены жидкостью направления своего движения, и оно будет происходить выше. В этом случае щит не будет играть никакой роли в работе отстойника, а определяющее значение остается за длиной трубы и скоростью движения жидкости в ней.

Средняя скорость движения жидкости в трубе в наших опытах при нагрузке 350 м³/час была 177 мм/сек. Соотношение площадей сечения отстойника и трубы $\frac{80,45}{0,55} = 146$.

На практике обычно даются значительно меньшие скорости в трубе, вследствие чего получаются менее выгодные соотношения площадей сечения отстойника и трубы. Нам представляется, что при наличии щита величина скорости движения жидкости в трубе имеет очень ограниченное значение, так как скорость движения жидкости по выходе из щели между трубой и щитом определяется расходом жидкости и шириной щели. В литературе¹

¹ Инж. Панов Н. Н., Вертикальные отстойники. Доклад в «Трудах Всесоюзного XIV водопроводного и санитарно-технического съезда в Харькове, 1927 г.

имеются указания, что вертикальная скорость движения жидкости в трубе не должна превышать 100 м/час (или $27,8 \text{ мм/сек}$).

Мы полагаем, что наличие щита под трубой позволяет сообщать большие скорости движения жидкости в трубе, чем 100 м/час , без ущерба для работы вертикального отстойника, как это и наблюдается в отстойниках Кожуховской станции аэрации.

Выводы

1. Недостаточная изученность вопроса о роли трубы и щита в работе отстойников вертикального типа позволяет на данной стадии изучения делать лишь предварительные выводы и обязывает накапливать экспериментальный материал для более широких обобщений.

2. Положение щита имеет решающее значение для работы отстойников, так как оно определяет зону, в которой нисходящий поток жидкости переходит в поток восходящий.

3. Предельная пропускная способность отстойника увеличивается с уменьшением глубины погружения щита в пирамидальной части отстойника, но до известного предела, который ставится необходимостью иметь выше щита достаточный слой для выравнивания скоростей движения жидкости.

4. Средняя скорость движения жидкости в поперечном сечении отстойника на уровне щита по нашим опытам не должна превышать 4 мм/сек .

5. Данные экспериментов при определенной нагрузке $350 \text{ м}^3/\text{час}$ (средняя скорость движения жидкости в призматической части отстойника $1,2 \text{ см/сек}$) обнаружили пределы в глубине погружения щита, за которыми работа отстойника резко нарушается.

Верхним пределом надо считать глубину погружения щита около $3,5 \text{ м}$. При изменении глубины погружения щита от $3,5$ до 5 м заметной разницы в выносе взвешенных веществ не получается.

Увеличение глубины до $5,3 \text{ м}$ и больше приводит к тому, что отстойник перестает задерживать взвешенные вещества.

6. Изменение глубины погружения трубы в пределах от $2,55$ до $4,3 \text{ м}$ не вносит существенных изменений в работу отстойника.

7. При нагрузке на отстойник $350 \text{ м}^3/\text{час}$ ширина щели между трубой и щитом $0,16$ (средняя скорость при выходе из щели 143 мм/сек) недостаточна. При этой же нагрузке ширину щели $0,4 \text{ м}$ можно считать достаточной. Увеличение ширины щели от $0,4$ до 1 м не влияет на работу отстойника.

Передача осадка сточной жидкости по трубам и лоткам

Задача исследования

Одной из важных задач в деле очистки сточных вод на очистных станциях и сооружениях того или иного вида является вопрос об удалении значительных количеств осадка, выделяемого из сточных вод при механической их обработке. Чем более совершенны способы обработки сточной жидкости, тем большее количество осадка скопится на очистных сооружениях, затрудняя эксплуатацию, ухудшая санитарные условия, обслуживающие и удорожая стоимость очистки.

Применяемые в практике СССР способы передачи осадка из одного сооружения в другое, а также способы удаления осадка от места его выделения до сушильных площадок, осуществлялись исключительно на небольшие расстояния, причем проектирование илопроводов базировалось на данных заграничной практики и теоретических рассуждениях с допуском уклонов для закрытых самотечных трубопроводов минимум $i = 0,03$ и как исключение для открытых лотков минимум $i = 0,02$.

В данном случае вопросы величины сопротивлений трений не играли существенной роли в экономической оценке малых сооружений (эмшер-колотцев и горизонтальных отстойников). При осуществлении же больших очистных сооружений, где имеет место значительное количество полученного осадка, появляется необходимость передачи осадка на значительные расстояния как по санитарно-техническим требованиям, предъявляемым к очистным станциям, так и в целях использования осадка как удобрения в сельском хозяйстве.

Полное отсутствие экспериментальных данных, характеризующих условия движения осадка по трубам и лоткам, а также условий эксплуатации илопроводов большой протяженности затрудняло санитарных техников в проектировании и в осуществлении мероприятий по передаче осадка на большие расстояния.

Опыты по передаче осадка сточной жидкости по трубам и лоткам были поставлены на Люберецких полях фильтрации в 1929 г. инж. К. Ф. Разиковым в связи с проектированием и устройством большого опытного метан-тенка и илопровода от четырех вертикальных отстойников на сушильные иловые площадки. Наблюдения производились над передачей сырого осадка из вертикального отстойника в метан-тэнк по закрытому чугунному и гончарному илопроводу; полученные инж. К. Ф. Разиковым материалы с дополнениями включены в настоящую статью.

Это исследование, посвященное отдельному частному вопросу, выдвинутому практическими требованиями эксплуатации, конечно не решило вопроса по существу. Но нужно сказать, что это предварительное исследование было положено в основу настоящей работы, посвященной практическим нуждам текущего момента.

Поставленные лабораторией Люберецких полей фильтрации совместно с Академией в 1932 г. исследования и наблюдения над передачей осадка сточной жидкости по трубам и лоткам имели своей целью:

1. Выяснить влияние содержания воды в осадке на условия движения по лоткам и трубам с различными уклонами в зависимости от расходов.

2. Дать сравнительную оценку величин сопротивлений при протекании по лоткам и трубам сточной жидкости свежего осадка из отстойников и сброженного из метантэнков.

3. Найти практически необходимые данные для проектирования и эксплуатации илопроводов, не дожидаясь окончательного экспериментального разрешения всей иловой проблемы в целом.

Наблюдения на установках проводились при помощи сотрудника лаборатории И. А. Шашкина.

К постановке вопроса

Условия движения гомогенных жидкостей по трубам и лоткам в настоящее время в гидравлике достаточно разработаны как с теоретической, так и с практической стороны.

В литературе имеется много данных, позволяющих с достаточной точностью заранее предвидеть конечный результат, а следовательно учесть все факторы, влияющие в той или иной мере на движущуюся жидкость.

Вопросы условий протекания осадка сточной жидкости до настоящего времени не разработаны и не исследованы. Вся трудность при определении условий движения осадков заключается в том, что единообразных, исчерпывающих данных в полной степени мы получить не можем, так как результаты опытов получаются весьма различные в зависимости от природы осадка, его структуры, процентного содержания в нем воды, степени газированности и температуры при одинаковых гидравлических элементах iR .

Общепринятые формулы для определения средней скорости течения водного потока при равномерном движении ставят среднюю скорость в зависимость от размеров и форм живого сечения потока, от материала и шероховатости стенок и от уклона. Кроме этих факторов на среднюю скорость потока без сомнения оказывает свое действие его замутненность, температура, вязкость и физико-химические свойства взвешенных веществ, т. е. средняя скорость водного потока при равномерном движении может быть выражена в общей формуле следующим отношением:

$$V = f(r, n, i, t, g, u)^1,$$

где r — величина, характеризующая размеры и форму живого сечения,

n — величина, характеризующая материал и шероховатость стенок,

i — уклон потока,

t — температура жидкости,

¹ При неизменном количестве растворенных и взвешенных веществ.

g — величина, характеризующая количество и состав взвешенных веществ и осадков,

μ — вязкость жидкости.

Из указанных величин только r, n, i, t для чистой воды оказывают свое влияние, остальные же величины значительного влияния не оказывают и при практических расчетах не учитываются.

Свойства же осадков сточной жидкости таковы, что требуют учета и остальных указанных величин, характеризующих условия протекания его по лоткам и трубам.

По вопросу о дополнительных факторах, влияющих на движение осадка, имеется достаточно данных в зарубежной практике и совершенно отсутствуют данные в русской.

Так, из английских работ по нахождению величины трения осадка сточной жидкости и его вязкости имеем:

William Clifford, Friction of sewage sludge in pipes. „Conference on sanitary Engineering“, London 1924, p. 59.

И; немецких работ: Stächer u. Keppener. „Gesundheits-Ingenieur“, 1932, № 36, s. 427.

Указанные работы ставили своей задачей найти величины потерь напора на трение по длине трубопроводов; о местных потерях и других факторах, влияющих на движение осадка, нет никаких точных указаний.

В своих наблюдениях по мюнхенской очистной установке Шгехер и Кепнер указывают, что коэффициент шероховатости λ в формуле:

Darcy $= h_e = \lambda \frac{e}{d} \cdot \frac{V^2}{2g}$ имеет следующие величины:

1. По наблюдениям над трубопроводом длиной 500 м, из которого 215 пог. м имеют диаметр 175 мм и около 300 пог. м $d = 200$ мм;

$\lambda = 0,80 — 0,90$ с оговоркой, что в отдельных случаях может быть и больше.

2. При движении осадка с содержанием воды в 89% по трубопроводу длиной 770 пог. м диаметром 200 мм и с расходом осадка 200 м³ в 5—6 час. говорится, что в 90% наблюдений $\lambda = 0,30 — 0,90$, в 10% наблюдений $\lambda =$ до 1,60.

Объекты наблюдения

Все опыты и наблюдения были проведены в условиях существующих илопроводов на Любэредских полях фильтрации, а также на специально построенных установках.

Из существующих илопроводов были взяты для наблюдения:

1. Деревянный открытый илопровод от вертикальных отстойников на сушильные площадки размером:

$$l = 180 \text{ м}; h = 0,55 \text{ м};$$

$$b = 0,40 \text{ м}; i = 0,012 \text{ м}.$$

2. Закрытый гончарный илопровод от отстойника и метан-танка на сушильные площадки:

$$l = 401,70 \text{ м};$$

$$d = 200 \text{ мм}.$$

3. Чугунный и гончарный илопровод, передающий сырой осадок из отстойника в метан-тэнк:

$$d = 150 \text{ мм}; l = 10 \text{ м};$$

$$d = 200 \text{ мм}; l = 9 \text{ м}.$$

4. Труба для удаления осадка из вертикального отстойника: $d = 200 \text{ мм}$. Из специально построенных установок объектом наблюдения были:

1. Деревянный лоток $e = 40 \text{ м}; b = 0,155 \text{ м}; h = 0,20 \text{ м}$ с уклоном, устанавливаемым по желанию.

2. Установка для определения потери напора и коэффициент шероховатости в трубах¹.

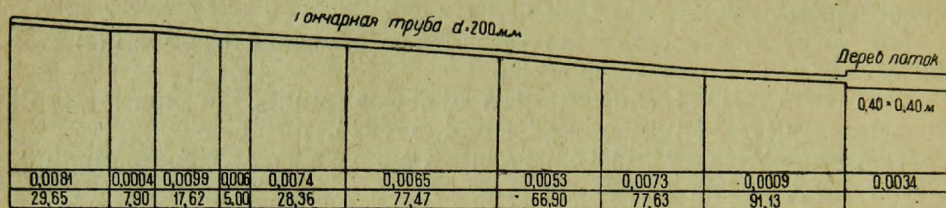


Рис. 26. Закрытый гончарный илопровод на сушильные площадки.

Наблюдения производились над движением по трубам и лоткам: сточной жидкости, сырого осадка из отстойников и сброженного осадка из метан-тэнка.

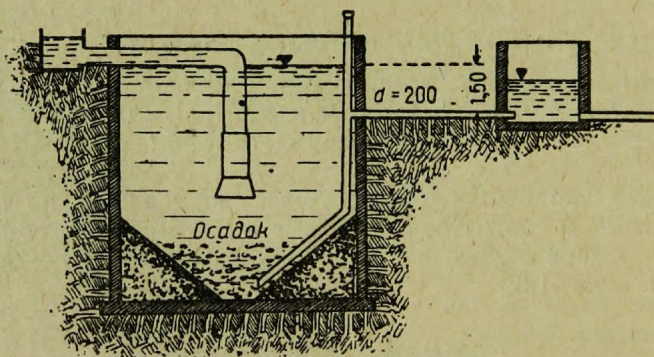


Рис. 27. Схема удаления осадка из вертикального отстойника.

Техника наблюдений

Во всех случаях наблюдений расходы сточной жидкости и осадков замерялись объемным способом. При небольших расходах—помощью тарированного бака, который подставлялся к месту истечения струи, а при больших расходах—путем определения объема наполняемого резервуара в сооружении. Время замерялось по секундомеру. Расход в $\text{м}^3/\text{сек.}$ определялся по формуле:

$$Q = \frac{V}{t}$$

¹ На данной установке наблюдения не закончены; частично полученный материал не обработан ввиду недостаточности наблюдений.

где V — объем, отсчитанный в баке или в резервуаре,
 t — время, в течение которого набирался в мерном сосуде объем.

Скорость движения находилась по формуле $V = \frac{Q}{\omega}$.

где Q — расход в $\text{м}^3/\text{сек}$,

ω — площадь живого сечения потока в кв. метрах.

Уклоны лотков и труб находились нивелировкой. При всех наблюдениях замерялась температура и определялось содержание воды в осадке в процентах.

Определение содержания воды в осадке производилось объемным способом, разработанным Н. М. Поповой, который заключается в следующем: берется 50 см^3 исследуемого осадка, вливается в мерный цилиндр емкостью 250 см^3 , дополняется чистой водой до 250 см^3 , взбалтывается и ставится на отстаивание в течение 15 мин. После этого определяется объем осевшего осадка путем отсчетов по градуировке цилиндра и, пользуясь формулой

$$V_1 = \frac{V (100 - P)}{(100 - P_1)},$$

находится процентное содержание воды в исследуемом осадке,

где V_1 — объем осадка через 15 мин. отстаивания,

V — 50 см^3 взятого осадка,

P — искомая величина,

P_1 — поправочный коэффициент, найденный опытным путем для люберецкого осадка:

для свежего осадка $P_1 = 3,20$;

для сброженного осадка $P_1 = 4,50$.

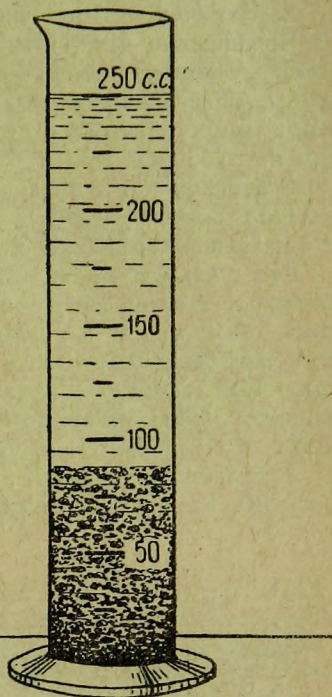


Рис. 28. Объемное определение влажности осадка (вид осадка через 15 мин.).

Влияние содержания воды и природы осадка на трение]

До тех пор пока жидкость находится в состоянии покоя, в ней имеют место только силы гидростатического давления. Как только жидкость начинает двигаться, в ней появляются силы взаимодействия между частицами, движущимися с различными скоростями.

Скорость истечения, наблюдаемая в действительности, даже и при придании сосудам формы, удовлетворяющей условиям идеальной жидкости струи, всегда оказывается меньшей теоретической скорости.

Причина этого несоответствия объясняется вязкостью — трением внутри жидкости и в особенности трением о стенки сосуда.

Наблюдения над потоками обнаруживают прежде всего следующие два явления:

1. Неравномерное распределение скоростей по поперечному сечению, а именно в цилиндрических трубах наибольшую скорость имеют частицы, протекающие в середине трубы; отсюда по направлению к стенкам скорость постепенно уменьшается и у самых стенок делается равной нулю: жидкость здесь как бы прилипает к стенкам.

2. Наличие потери напора во всех потоках.

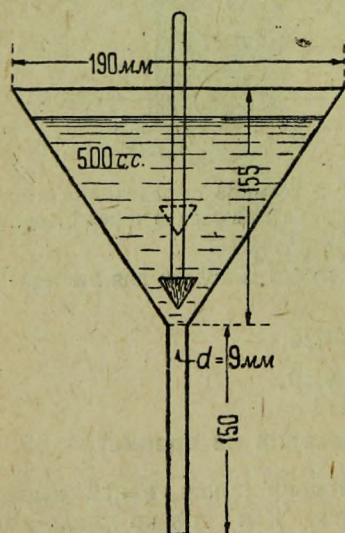
Совершенно ясно, что объяснением вышеуказанных явлений должно служить внутреннее трение (вязкость) в соединении с шероховатостью стенок трубы. В дальнейшем выяснится, что вязкость является также причиной необходимости затраты энергии для поддержания установившегося движения в трубе или лотке.

Главнейшей нашей задачей в последующем будет выявление свойств осадков сырого и сброженного с различным содержанием воды, а также в определении величин внутреннего трения.

Ряд опытов был проведен для определения вязкости осадка или, вернее, фактора, зависящего от его вязкости. Наблюдения производились следующим образом: в видоизмененный вискозиметр Энглера с выходной трубкой, внутренний диаметр которой 9 мм, а длина 150 мм, наливался исследуемый осадок в количестве 500 см^3 и замечалось время истечения данного объема. В каждом случае делалось 6—8 наблюдений, из которых было взято среднее время.

Результаты указаны в приводимой табл. 21, а также графически на рис. 30, где время истечения 500 см^3 чистой воды принято равным единице.

Таблица 21



Содержание воды в осадке в %	Время вытекания 500 см^3 в сек.		Примечание
	свежий осадок	сброженный осадок	
100	4,00	4,00	Наблюдения производились при температуре 15—17° Ц
99	4,08	4,04	
98	4,20	4,12	
97	4,50	4,28	
96	5,32	4,48	
95	6,20	4,61	
94	7,60	4,88	
93	10,00	5,20	
92	17,00	5,68	
91	—	6,32	
90	—	7,12	
89	—	8,96	
88,5	—	11,60	

Рис. 29. Видоизмененный вискозиметр Энглера.

Из полученных наблюдений видно, что величина внутреннего трения (вязкость) для сырого и сброженного осадков при одинаковом содержании воды различна. Данное положение объясняется тем, что осадок после брожения в метан-танке изменяет свои свойства и структуру по сравнению с сырым осадком.

В общем надо сказать, что зависимость внутреннего трения осадков сточной жидкости от взаимного соотношения количества воды и физической структуры взвешенных веществ настолько сложна, что сейчас мы не имеем не только теоретически обоснованных выражений этой зависимости, но даже эмпирических формул, имеющих более или менее общее значение. Это объясняется прежде всего трудностью выбора подходящих условий исследования, которое требует точного знания суммарного объема коллоидных частиц и заведомой их неизменяемости.

Говоря о температурном коэффициенте внутреннего трения для воды, мы знаем, что он имеет отрицательное значение, т. е. величина его падает с повышением температуры.

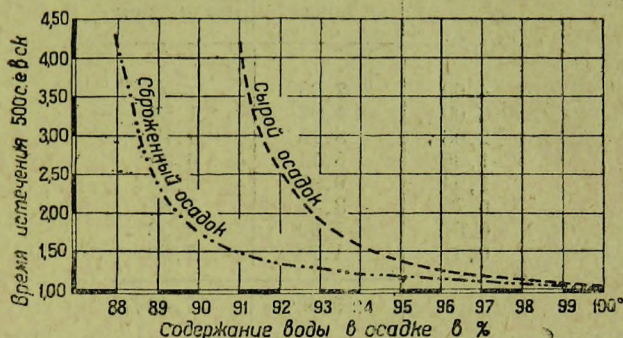


Рис. 30. Относительная вязкость сырого и сброженного осадков.

Определяя величины внутреннего трения для осадков в наших наблюдениях, мы имели один и тот же температурный коэффициент, а следовательно должны были получить прямую для данного осадка, параллельную оси абсцисс, в действительности же получается падающая кривая. Следовательно при определении величины внутреннего трения для осадка мы сталкиваемся с тремя переменными величинами:

1. Температурным коэффициентом.
2. Содержанием воды в осадке.
3. Природой и структурой осадка.

Проф. Н. П. Песков в своем труде: „Физико-химические основы коллоидной науки“¹ говорит: „основная особенность внутреннего трения лиофильных систем состоит в том, что коэффициент вязкости при всяких методах определения не является величиной постоянной, а оказы-

вается функцией градиента скорости $\frac{dv}{dx}$, причем с ростом этой вели-

чины коэффициент вязкости всегда падает, т. е. при увеличении скоростей движения слоев золь делается как бы менее вязким. В большинстве случаев можно в конце концов достичь такого градиента скоростей, при котором лиофильный раствор начинает вести себя уже как нормальная жидкость“. То же самое можно сказать и про осадок сточной жидкости, вязкость которого также уменьшается с увеличением скоростей. Так, при движении

¹ Госхимтехиздат, изд. 1932 г.

осадка по деревянному лотку с увеличением скоростей движения осадка вязкость в соединении с шероховатостью стенок лотка уменьшалась.

Свежий осадок благодаря наличию студенистых и коллоидальных веществ обладает большей вязкостью, чем, повидимому, и объясняется меньшая его подвижность по сравнению со сброженным осадком.

По данным механического анализа осадков при сортировке из крупных фракций получается:

Таблица 22

Размер в мм	З-держано на сите (в %)	
	свеж. осадок из отстой- ника	сброженный осадок из метан-танка
4,00	2,26	—
3,00	1,07	1,54
2,08	3,10	1,15
1,35	5,14	4,36
1,04	0,95	0,85
0,76	3,34	3,87
0,51	1,80	4,03
0,41	1,74	1,60
	19,40%	17,40%

По своей структуре сброженный осадок представляет собой более однообразную мелкозернистую массу, насыщенную мелкими пузырьками газа, и обладает большей подвижностью, чем сырой осадок.

Разница в текучести сырого и сброженного осадка наблюдается во всех случаях при одинаковом содержании воды в осадках.

Внутреннее трение того и другого осадка при содержании 1—2% твердых веществ незначительно отличается от чистой воды, при содержании же твердых веществ в сыром осадке до 7% и сброженном до 10% внутреннее трение резко увеличивается.

Движение по лоткам

Непосредственные измерения расхода и скорости при равных гидравлических элементах по лотку с уклоном $i = 0,015$.

Таблица 23

Наполне- ние лотка в м	Сточная жидкость		Сырой осадок 97,44%		Сырой осадок 94,23%		Сброженн. оса- док 93,00%	
	Q м³/сек	v м/сек	Q м³/сек	v м/сек	Q м³/сек	v м/сек	Q м³/сек	v м/сек
0,01	0,0006	0,39						
0,02	0,0019	0,60	осадок	не течет	осадок	не теч.	0,0010	0,31
0,03	0,0034	0,73	0,0030	0,67	0,0015	0,32	0,0023	0,51
0,04	0,0053	0,84	0,0047	0,75	0,0031	0,55	0,0040	0,64
0,05	0,00734	0,94	0,0065	0,84	0,0047	0,60	0,0059	0,76
0,06	0,00965	1,04	0,0084	0,90	0,0062	0,66	0,0079	0,84
0,07	0,0120	1,11	0,0108	1,00	0,0083	0,89	0,0101	0,93

Непосредственное измерение расхода и скорости при равных гидравлических элементах по лотку с уклоном 0,005.

Таблица 24

Наполнение лотка в м	Сточная жидкость		Сырой осадок 95,91%		Сброженный осадок 92,80%	
	Q м³/сек	v м/сек	Q м³/сек	v м/сек	Q м³/сек	v м/сек
0,15	0,0009	0,38	осадок	не	течет	
0,02	0,0013	0,41	"	"	"	
0,03	0,0021	0,43	"	"	"	
0,04	0,0078	0,45	"	"	"	
0,05	0,0043	0,55	0,0008	0,103		
0,06	0,0054	0,59	0,0119	0,204	0,001	0,108
0,07	0,0071	0,65	0,0031	0,27	0,0025	0,23
0,08	0,0086	0,70	0,0044	0,35	0,0041	0,33
0,09	0,0102	0,73	0,0057	0,407	0,0056	0,40
0,10	0,0119	0,77	0,0072	0,47	0,0073	0,47

При наблюдениях над движением осадка в деревянных лотках прямоугольного сечения с небольшими скоростями замечается расслоение по удельному весу взвешенных частиц, число которых увеличивается по мере приближения ко дну. Поток сам по себе как бы создает из осадка новое ложе с почти неподвижными стенками, особенно в нижних углах лотка.

С увеличением же скоростей указанное явление уменьшается и при значительных скоростях подобного расслоения не наблюдается.

Образовавшееся ложе из осадка является по отношению к движущемуся потоку дополнительной шероховатостью, задерживающей движение (самоторможение). При наличии указанных явлений поток осадка из равномерного движения при постоянстве уклона и ширине лотка при небольших скоростях по длине потока переходит в неравномерное движение, которое в данном случае характеризуется изменением скоростей и глубин наполнения в лотке, образуя явления набегающих по длине потока друг на друга волн.

Неоднократно также замечалось, что при передаче сброженного осадка с содержанием воды 92,8% по лотку $i = 0,015$ и наполнении в 0,03 м, а также по лотку с уклоном $i = 0,005$ и наполнением в 0,06 м по длине передвижения потока постепенно уменьшалась скорость движения, а по прошествии некоторого промежутка времени поток переставал двигаться бла-

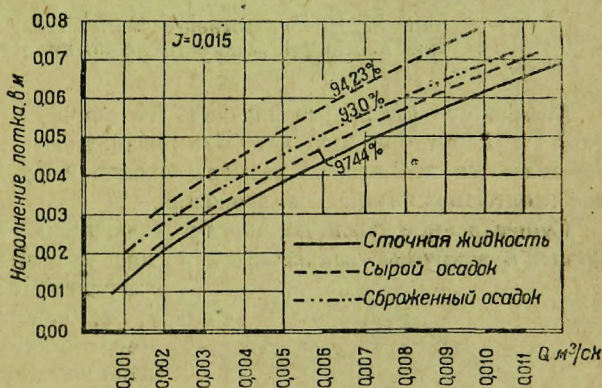


Рис. 31. Непосредственные измерения расходов осадков и сточной жидкости по лотку с уклоном 0,015.

годаря самоторможению со стороны крупных частиц, осевших на дно лотка,

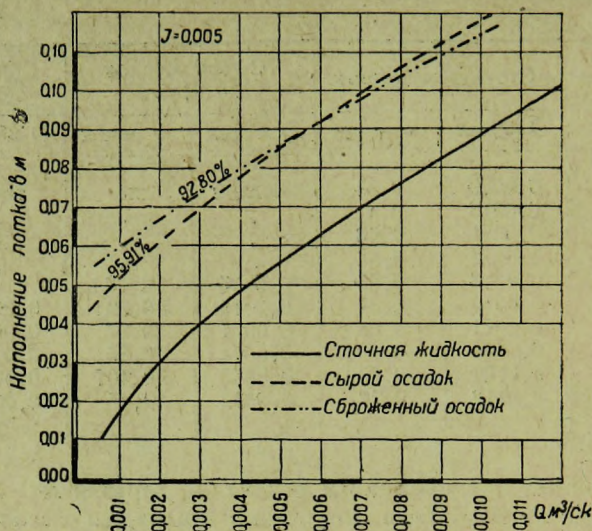


Рис. 32. Непосредственные измерения расходов осадков и сточной жидкости по лотку с уклоном 0,005.

Анализируя указанные явления, мы видим, что для различных по свойствам и структуре осадков при различном содержании воды в осадке определяются предельные размеры лотков и особенно уклоны, гарантирующие незатормаживающееся движение.

Существенное различие между движением чистой воды и осадков по лоткам и в трубах заключается в том, что вода движется с постоянными гидравлическими величинами i , n , ω , r , t . Наоборот, движущийся осадок имеет дополнительные меняющиеся гидравлические величины, зависящие, одной стороны, от расходов и уклонов, а с другой стороны, от рода и характера осадка.

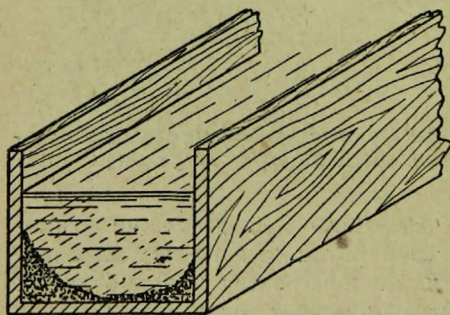


Рис. 33. Схема образования ложа осадка в лотке прямоугольного сечения.

В силу указанных обстоятельств, естественно, не представляется возможным при движении осадка выявить определенную зависимость указанных гидравлических величин i , n , ω , r , t , чем и объясняются по нашему мнению расхождение и несовпадение опытных данных в отношении осадка по сравнению с движением чистой воды.

Все гидравлические условия, определяемые шероховатостью стенок иловых лотков, дают параметр настолько переменный, зависящий от условий службы, соответствующей эксплуатации и пр., что является почти невозможным добиться одинаковой его (параметра) величины.

По сути дела не представляется возможным и необходимым точно предопределить движение осадка со строго определенными уровнями и скоростями. Задача проектирования заключается лишь в том, чтобы выбрать такие элементы (само собою без чрезмерного запаса), которые обеспечивали бы возможность свободного движения осадка, отвечающего нормальной эксплоа-

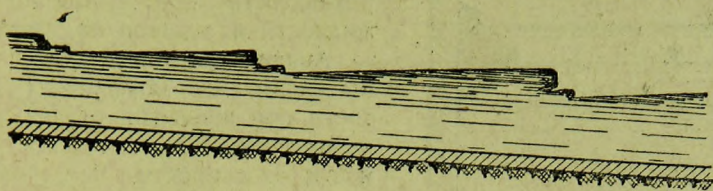


Рис. 34. Схема набегающих по длине потока друг на друга волн при движении осадка с небольшими скоростями.

тации илового хозяйства. Избранные коэффициенты должны быть обязательно взяты с запасом, обеспечивающим случайные дополнительные сопротивления, наличие которых в осадке трудно поддается учету. При этом надо каждый раз взвешивать весь комплекс принимаемых в основу проекта данных, характеризующих осадков, и устанавливать меру запаса.

Влияние температуры

Известно, что для всех без исключения жидкостей вязкость изменяется с температурой: при повышении температуры вязкость уменьшается и, наоборот, при понижении температуры увеличивается. Для осадка снижение температуры сказывается в большей мере. Так, осадок при значительном снижении температуры теряет свою текучесть, превращаясь в вазелинообразную массу.

При расчете илопроводов следует кроме обычных гидравлических величин принимать во внимание температуру воздуха и осадка и если илопровод проектируется для работы круглый год, то необходимо иметь данные о годовом изменении температуры, особенно это необходимо в отношении длинных илопроводов.

В условиях эксплуатации илопроводов на Люберецких полях фильтрации мы имеем следующие средние температуры:

	Летом	Зимой
Сточная жидкость, а также осадок из отстойков	15° Ц	8° Ц
Осадок из метан-танка	20—22° Ц	20—22° Ц

При передаче осадка по открытым деревянным лоткам в зимнее время при низких температурах наблюдалось намерзание осадка на стенках лотка в переменн-омываемой части при недостаточном утеплении лотков как сверху, так и с боков. Дело в том, что во времени наполнение в лотке колеблется, а осадок, обладая большой способностью налипания, медленно стекает с деревянных стенок и намерзает на них.

Заканчивая наш обзор, необходимо подчеркнуть, что вопрос о движении осадка сточной жидкости по лоткам требует самого основательного и систематического изучения, направленного на выяснение общего характера явлений, что в свою очередь может послужить основой для определения расчетных коэффициентов.

Но все же полученные нами результаты настолько показательны, что дают возможность дать общую характеристику условий движения по лоткам.

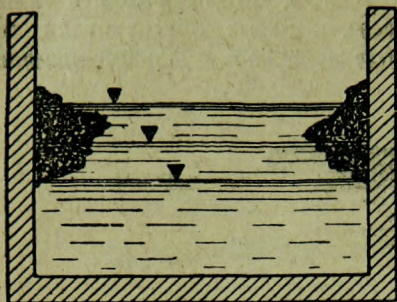


Рис. 35. Намерзание осадка к стенкам лотка в переменнотомываемой части.

Пользуясь таблицами непосредственных измерений расходов и скоростей (табл. 23 и 24), найдем коэффициенты шероховатости при движении сточной жидкости и осадков по лоткам.

Анализируя данные табл. 25 и 26, мы видим, что коэффициент шероховатости при движении осадка по лоткам не постоянен, а изменяется в зависимости от скорости. Чем больше скорость, тем чище стенки и тем меньше коэффициент шероховатости.

Таблица 25

Коэффициент шероховатости при движении осадка стойкой жидкостью по трубам

Уклон лотка $I = 0,005$

Род жидкости	Напол- нение лотка h в м	v м/сек	Q м ³ /сек	R в м	$C = \frac{v_{cp}}{\sqrt{RI}}$	К формуле Базена $\gamma = \left(\frac{87 \sqrt{RI}}{v_{cp}} - 1 \right) \sqrt{R}$	К формуле Маннинга $n = \frac{1}{v} R^{2/3} \sqrt{T}$
Сточная жидкость	0,03	0,43	0,0021	0,0216	41,3	0,162	0,0128
	0,04	0,45	0,0028	0,026	38,6	0,193	1,0138
	0,05	0,55	0,0043	0,0304	44,4	0,163	0,0125
	0,06	0,59	0,0054	0,034	45,0	0,170	0,0126
	0,07	0,65	0,0071	0,037	47,8	0,157	0,0121
	0,08	0,70	0,0086	0,0395	49,7	0,150	0,0117
	0,09	0,73	0,0102	0,041	50,7	0,150	0,0116
Сброженн. осадок 92,80%	0,10	0,77	0,0127	0,0437	52,0	0,142	0,0114
	0,06	0,108	0,0010	0,034	8,24	1,70	0,655
	0,07	0,23	0,0025	0,037	17,00	0,979	0,341
	0,08	0,33	0,0041	0,0395	23,30	0,542	0,249
	0,09	0,40	0,0056	0,041	27,7	0,435	0,212
	0,10	0,47	0,0073	0,0437	32,0	0,364	0,187
Сырой оса- док 95,91%	0,05	0,103	0,0008	0,0304	8,30	1,66	0,0570
	0,06	0,204	0,0019	0,034	15,60	0,847	0,0360
	0,07	0,27	0,0031	0,037	19,9	0,649	0,029
	0,08	0,357	0,0044	0,0395	24,7	0,500	0,0235
	0,09	0,407	0,0057	0,041	28,2	0,428	0,0215
	0,10	0,47	0,0072	0,0437	31,8	0,364	0,019

Как было отмечено раньше, с увеличением скоростей вязкость осадка уменьшается, что также подтверждается при движении осадка по лоткам.

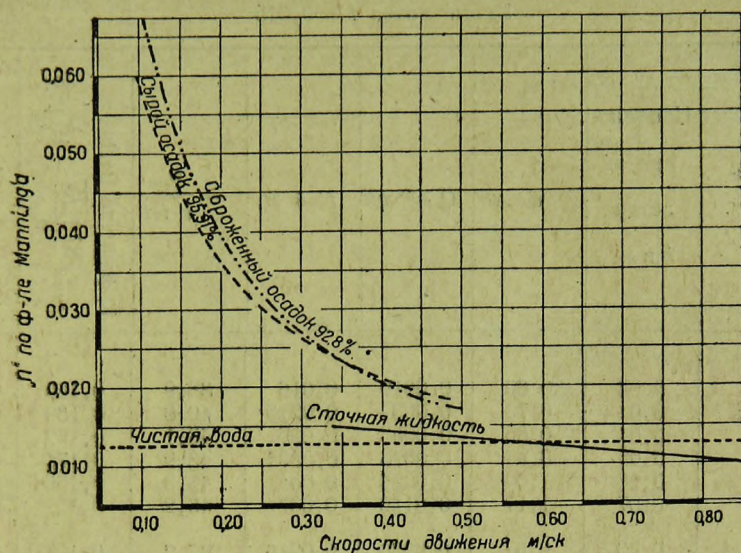


Рис. 36. Влияние скоростей течения на изменение коэффициента шероховатости для осадков при движении по лоткам.

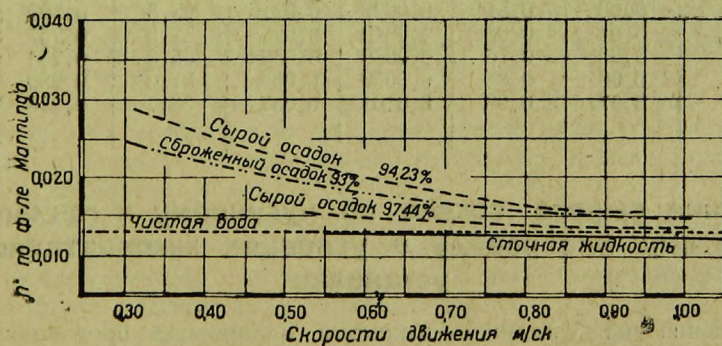


Рис. 37. Влияние скоростей течения на изменение коэффициента шероховатости для осадков при движении по лоткам.

Коэффициент шероховатости при движении осадка сточной жидкости по лоткам

Уклон лотка $I = 0,015$

Род жидкости	Наполнение от лотка h в м	v м/сек	Q м ³ /сек	R в м	$C = \frac{v_{cp}}{\sqrt{RI}}$	К формуле Bazina $\gamma = \left(\frac{87 \sqrt{RI}}{v_{cp}} - 1 \right) \sqrt{R}$	К формуле Manninga $n = \frac{1}{v} R^{2/3} \sqrt{I}$
Сточная жидкость	0,02	0,60	0,0019	0,016	38,9	0,155	0,013
"	0,03	0,73	0,0034	0,0216	40,0	0,169	0,012
"	0,04	0,85	0,0053	0,026	43,1	0,162	0,0127
"	0,05	0,94	0,0073	0,0304	43,9	0,175	0,0127
"	0,06	1,04	0,0096	0,034	45,8	0,166	0,0124
"	0,07	1,11	0,0120	0,037	46,2	0,167	0,01225
Сырой осадок 97,44%	0,03	0,67	0,0030	0,0216	37,2	0,197	0,01425
"	0,04	0,75	0,0047	0,026	38,1	0,206	0,0144
"	0,05	0,84	0,0065	0,0304	39,2	0,212	0,0142
"	0,06	0,90	0,0084	0,034	39,6	0,220	0,0143
"	0,07	1,00	0,0108	0,037	41,7	0,207	0,0136
Сырой осадок 93,23%	0,03	0,32	0,0015	0,0216	18,0	0,57	0,0297
"	0,04	0,55	0,0031	0,026	27,0	0,38	0,0204
"	0,05	0,60	0,0047	0,0304	28,0	0,367	0,020
"	0,06	0,66	0,0062	0,034	29,1	0,37	0,0195
"	0,07	0,89	0,0083	0,037	37,1	0,255	0,01525
Сброженный осадок 93,00%	0,02	0,31	0,001	0,016	20,1	0,418	0,0251
"	0,03	0,51	0,0028	0,0216	28,3	0,309	0,0187
"	0,04	0,64	0,0040	0,026	32,5	0,267	0,0168
"	0,05	0,76	0,0059	0,0304	35,5	0,254	0,0157
"	0,06	0,84	0,0079	0,034	37,0	0,250	0,0153
"	0,07	0,93	0,0101	0,037	38,7	0,238	0,0146

Движение сырого осадка по чугунному и гончарному закрытому илопроводу в условиях эксплуатационной установки

Наблюдения на указанном закрытом илопроводе производились при передаче осадка из вертикального отстойника в дозирующую камеру метан-тенка.

Передача осадка осуществилась за счет разницы воды в отстойнике и осадка в дозирующей камере.

Трубопровод, соединяющий упомянутые резервуары (отстойник и дозирующая камера), имеет чугунные трубы диаметром $d = 150$ мм, $l = 10$ пог. м;

$= 200 \text{ мм}$; $l = 9,00 \text{ пог. м}$, а также гончарные трубы $d = 200 \text{ мм}$, $l = 15,50 \text{ м}$. Кроме того на трубах $d = 150 \text{ мм}$ имеются:

1. Прямой тройник.
2. Плавное закругление в 90° .
3. Задвижка Лудло.

На трубе $d = 200 \text{ мм}$ поставлена того же диаметра задвижка Лудло.

Скорость наполнения дозирующей камеры осадком (а следовательно и расходы по илопроводу) определялась путем отсчетов через каждые 30 сек. на штанге поплавка, помещенного в дозирующей камере.

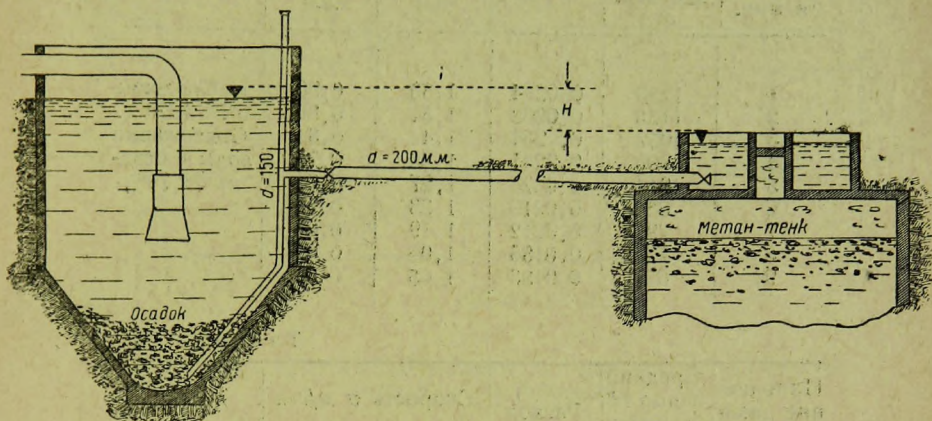


Рис. 38. Схема передачи осадка из вертикального отстойника в метан-танк по чугунной и гончарной трубе.

Гидростатическое давление (напор) H определялось из выражения: $H = H_1 + H_0 - H_2$, где H_1 — разность отметок верха отстойника и верха поплавкового ящика, равная $0,69 \text{ м}$ (нивелировкой),

H_2 — расстояние от горизонта жидкости в отстойнике до верха стенок отстойника, обычно замеряемое в начале и в конце каждого наблюдения,

H_0 — расстояние от горизонта осадка в дозирующей камере до верха поплавкового ящика.

Увязка отсчетов на поплавковой штанге с уровнем осадка в дозирующей камере, а следовательно и верха ящика осуществлялась во время одного из отсчетов путем определения расстояния от нанесенной отметки на штанге до уровня осадка.

Случаев засорения илопровода не наблюдалось (начиная с 1929 г.) ввиду нормальной эксплуатации его (соответствующей регулярной промывки труб сточной жидкостью). К тому же осадок имел довольно однообразную структуру: без крупных веществ, без тряпок и пр.

Удержание крупных веществ из осадка, засоряющих иловые трубы, упрощалось в данном случае решеткой с зазорами в 40 мм , поставленной перед входом сточной жидкости в отстойник.

Плотность осадка (содержание воды в нем) определялась, как было упомянуто, объемным способом.

При наблюдениях имели дело с осадком с содержанием воды от $93,41$ до $96,40\%$. Восемь наблюдений было произведено в первый год эксплоа-

тации указанного илопровода и ряд наблюдения после трехлетней работы.

Обработанный материал наблюдений сведен в нижеследующих табл. 27—35.

Таблица 27

Наполнение дозирующей камеры в мин.	Средний напор H в течение 1 мин. (в мм вод. ст.)	Расход Q м ³ /сек	Скорость v м/сек		Примечание
			$d = 150$ мм	$d = 200$ мм	
1	1230	0,0284	1,60	0,90	Наблюдение 5/IX 1929 г. Содержание воды в осадке 93,74%
2	1135	0,0268	1,51	0,86	
3	1057	0,0254	1,41	0,81	
4	990	0,0241	1,36	0,77	
5	914	0,0225	1,27	0,72	
6	850	0,0219	1,23	0,70	
7	791	0,0212	1,19	0,68	
8	728	0,0186	1,05	0,61	
9	671	0,0186	1,05	0,61	

Таблица 28

Наполнение дозирующей камеры в мин.	Средний напор H в течен. 1 мин. (в мм вод. ст.)	Расход Q м ³ /сек	Скорость v м/сек		Примечание
			$d = 150$ мм	$d = 200$ мм	
1	1183	0,0271	1,53	0,86	Наблюдение 6/IX 1929 г. Содержание воды в осадке 95,38%
2	1090	0,0268	1,51	0,85	
3	1000	0,0258	1,46	0,82	
4	917	0,0232	1,31	0,74	
5	843	0,0225	1,28	0,72	
6	768	0,0209	1,18	0,76	
7	702	0,0196	1,11	0,62	
8	641	0,0176	1,00	0,56	
9	578	0,0150	0,85	0,48	
10	540	0,0137	0,78	0,44	

Для сравнения указанных напоров непосредственных наблюдений для осадка с напором для тех же расходов сточной жидкости по формуле Маннинга с коэффициентом $n = 0,013$ составлена табл. 37.

Конечные результаты H и Q , определенные в табл. 27—36, изображены графически в виде двух кривых на двух нижеследующих диаграммах.

Сопоставляя полученные кривые для осадка с кривой для сточной жидкости, приходим к заключению:

1. С увеличением скорости движения осадка суммарное сопротивление стремится в большинстве наблюдений приблизиться к сопротивлениям для сточной жидкости при тех же расходах.

2. При меньших скоростях наблюдается обратное явление — увеличение сопротивления по сравнению со сточной жидкостью.

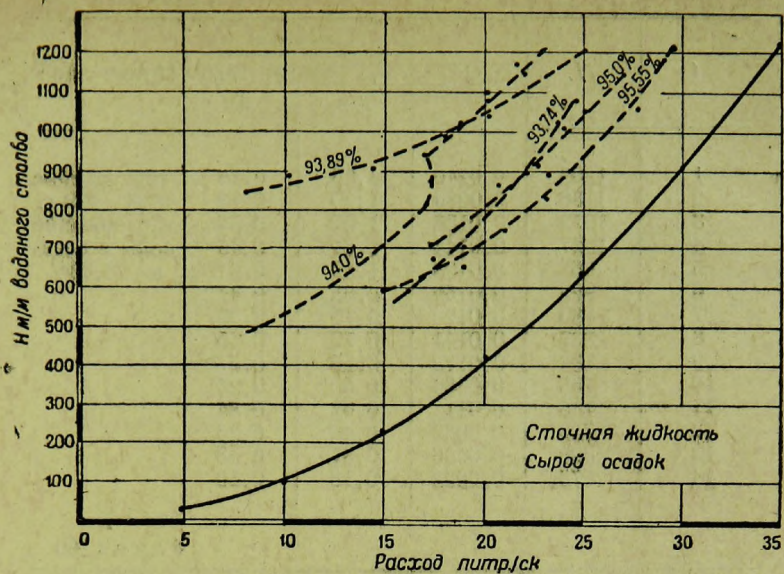


Рис. 39. Зависимость сопротивлений от расхода осадка по закрытому трубопроводу.

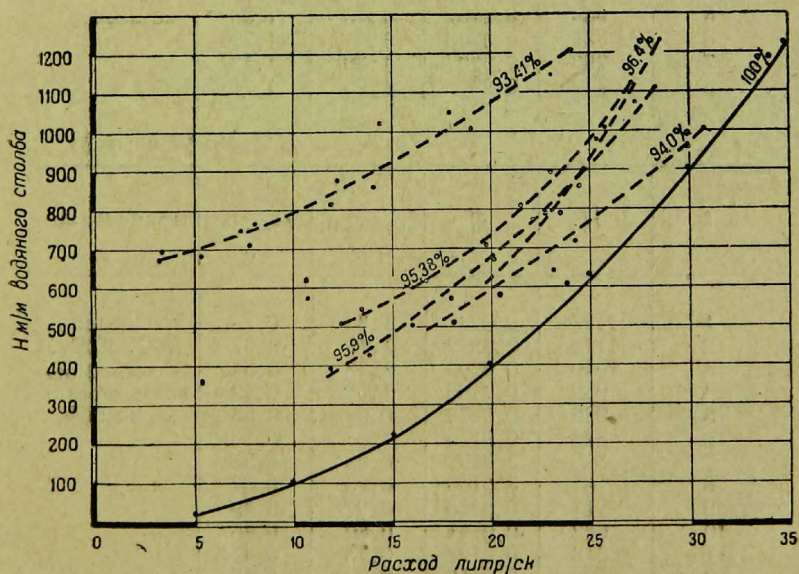


Рис. 40. Зависимость сопротивлений от расхода осадка по закрытому трубопроводу.

Таблица 29

<i>t</i>	<i>H</i>	<i>Q</i>	<i>v</i> м/сек		Примечание
			<i>d</i> = 150 мм	<i>d</i> = 200 мм	
1	1203	0,0240	1,35	0,76	Наблюдение 9/IX 1929 г. Содержание воды в осад- ке 96,43%
2	1136	0,0230	1,30	0,73	
3	1073	0,0186	1,05	0,59	
4	1027	0,0144	0,81	0,46	
5	968	0,0193	1,09	0,61	
6	922	0,0150	0,85	0,47	
7	880	0,0123	0,70	0,39	
8	837	0,0141	0,79	0,45	
9	798	0,0118	0,66	0,37	
10	768	0,0088	0,50	0,28	
11	735	0,011	0,61	0,34	
12	709	0,0082	0,46	0,26	
13	690	0,0056	0,31	0,18	
14	678	0,0033	0,18	0,10	

Таблица 30

<i>t</i>	<i>H</i>	<i>Q</i>	<i>v</i> м/сек		Примечание
			<i>d</i> = 150 мм	<i>d</i> = 200 мм	
1	1309	0,0327	1,86	1,04	Наблюдение 11/IX 1929 г. Содержание воды в осад- ке 96,40%
2	1211	0,0284	1,60	1,90	
3	1120	0,0265	1,51	1,84	
5	1037	0,0268	1,52	1,85	
5	953	0,9252	1,43	1,80	
6	865	0,0248	1,41	1,79	
7	786	0,023	1,30	1,73	
8	712	0,22	1,25	1,70	

Таблица 31

<i>t</i>	<i>H</i>	<i>Q</i>	<i>v</i> м/сек		Примечание
			<i>d</i> = 150 мм	<i>d</i> = 200 мм	
1	1197	0,023	1,30	0,73	Наблюдение 16/IX 1929 г. Содержание воды в осад- ке 94,00%
2	1114	0,0209	1,19	0,67	
3	1050	0,0199	1,13	0,64	
4	989	0,0186	1,06	0,59	
5	936	0,0173	0,98	0,55	
6	873	0,0176	1,00	0,56	
7	816	0,013	0,98	0,56	
8	761	0,0163	0,93	0,52	
9	711	0,0153	0,97	0,49	
10	662	0,0141	0,80	0,45	
11	618	0,0127	0,73	0,41	
12	580	0,0118	0,67	0,37	
13	544	0,0104	0,61	0,33	
14	511	0,0091	0,52	0,29	

Таблица 32

<i>t</i>	<i>H</i>	<i>Q</i>	<i>v</i> м/сек		
			<i>d</i> = 150 мм	<i>d</i> = 200 мм	
1	1223	0,0294	1,67	0,94	Наблюдение 13/IX 1929 г. Содержание воды в осад- ке 95,55%
2	1107	0,0287	1,63	0,91	
3	1021	0,0258	1,47	0,82	
4	939	0,0251	1,43	0,80	
5	866	0,0232	1,32	0,74	
6	786	0,028	1,30	0,73	
7	711	0,029	1,19	0,66	
8	653	0,0189	1,08	0,60	
9	596	0,0150	0,86	0,48	

Таблица 33

<i>t</i>	<i>H</i>	<i>Q</i>	<i>v</i> м/сек		
			<i>d</i> = 150 мм	<i>d</i> = 200 мм	
1	1087	0,0245	1,40	0,78	Наблюдение 19/IX 1929г. Содержание воды в осад- ке 95,00%
2	1007	0,0238	1,36	0,76	
3	946	0,0229	1,30	0,73	
4	889	0,0216	1,22	0,69	
5	834	0,0212	1,21	0,68	
6	779	0,0199	1,13	0,63	
7	733	0,0193	1,10	0,61	
8	690	0,0189	1,08	0,60	
9	646	0,0173	0,99	0,55	
10	602	0,0167	0,96	0,53	

Таблица 34

	<i>H</i>	<i>Q</i>	<i>v</i> м/сек		Примечание
			<i>d</i> = 150 мм	<i>d</i> = 200 мм	
1	1218	0,0278	1,58	0,89	Наблюдение 20/IX 1929г. Содержание воды в осад- ке 95,90%
2	1073	0,0278	1,58	0,89	
3	962	0,0255	1,45	0,80	
4	859	0,0245	1,39	0,78	
5	762	0,0222	1,26	0,71	
6	669	0,0203	1,15	0,65	
7	597	0,0180	1,02	0,57	
8	509	0,0157	0,89	0,50	
9	646	0,0137	0,78	0,44	
10	387	0,0121	0,69	0,39	

Таблица 35

t	H	Q	v м/сек		Примечание
			$d=150$ мм	$d=200$ мм	
1	956	0,030	1,71	0,96	Наблюдение 7/IV 1932 г. Содержание воды в осад- ке 94,00%
2	847	0,0248	1,41	0,79	
3	771	0,0235	1,34	0,75	
4	693	0,0242	1,37	0,77	
5	616	0,0232	1,32	0,74	
6	855	0,0180	1,02	0,57	
7	494	0,0180	1,02	0,57	

Таблица 36

t	H	Q	v м/сек		Примечание
			$d=150$ мм	$d=200$ мм	
1	1375	0,0343	1,95	1,09	Наблюдение 5/XI 1932 г. Содержание воды в осад- ке 93,89%
2	1281	0,0229	1,30	0,73	
3	1196	0,0252	1,43	0,80	
4	1128	0,0219	1,24	0,70	
5	1065	0,0199	1,13	0,63	
6	1005	0,0196	1,11	0,62	
7	950	0,0177	1,00	0,56	
8	901	0,0147	0,83	0,47	
9	866	0,0105	0,59	0,33	
10	839	0,0085	0,48	0,27	

Таблица 37

Qм³/ сек	v м/сек		С о п р о т и в л е н и е								h₅ вход в дози- рующую камеру	Σ h
			h₁ на вход 0,0286 v²	h₂ тройник 0,5 v²	h₃ закругл. в 90° 0,015 v²	h₄ на ед. длины		i l				
	i=0,00107 $\frac{v^2}{d^{4,75}}$											
	d=150	d=200				d=150	d=200	d=150 l=10,00	d=200 l=24,50			
0,035	1,98	1,11	0,112	0,196	0,059	0,0523	0,0113	0,523	0,276	0,063	1229	
0,030	1,70	0,96	0,082	0,144	0,043	0,0386	0,0086	0,386	0,206	0,047	908	
0,025	1,41	0,80	0,057	0,110	0,030	0,0266	0,0059	0,266	0,145	0,033	631	
0,020	1,13	0,64	0,037	0,064	0,019	0,0170	0,004	0,170	0,098	0,021	409	
0,015	0,85	0,48	0,021	0,036	0,011	0,0100	0,0021	0,100	0,051	0,012	231	
0,010	0,57	0,32	0,009	0,016	0,005	0,004	0,0009	0,043	0,022	0,005	100	
0,005	0,28	0,16	0,002	0,004	0,001	0,001	0,00023	0,010	0,006	0,001	24	

3. Соотношение сопротивлений осадка и сточной жидкости при скоростях в илопроводе $d = 150$ мм, $v = 1,40 — 1,10$ м/сек и для $d = 200$ мм, $v = 0,80 — 0,65$ м/сек равняется около 2.

4. При увеличении скоростей выше указанных соотношение упомянутых сопротивлений стремится к единице, но не достигает последней.

5. При уменьшении же скоростей в п. 3 соотношение сопротивлений осадка и сточной жидкости резко увеличивается, доходя при $v = 0,35 — 0,60$ м/сек до 7—8; при дальнейшем уменьшении скоростей соотношение сопротивлений увеличивается еще больше.

6. Характер кривых для осадка и взаимное расположение их между собою по нашему мнению зависит как от эксплуатационного состояния илопровода (регулярной промывки), так и от содержания воды в осадке, меняющегося в продолжение наблюдений.

Примечание. Содержание воды в осадке для каждого наблюдения определялось пробой, взятой в конце эксперимента.

7. Внезапный излом кривой в одном из сделанных наблюдений объясняется большой густотой осадка в первой половине наблюдения с последующим прорывом жидкого осадка, с которым и закончена была вторая половина наблюдений.

Применительно к проектированию подобных эксплуатационных илопроводов приходится сказать: проектировщиком должны быть приняты при определении сопротивлений в трубах (а также и для учета соответствующего монотрихического давления насосов) указанные изменения соотношений упомянутых сопротивлений в зависимости от скоростей и содержания воды в осадке при непременно учете предполагаемой нормальной эксплуатации илового хозяйства и соответствующего режима.

Отсутствие кратковременной промывки труб водой, которая должна проводиться после каждой иловой операции, ведет к тому, что внутренняя поверхность труб при движении по ним осадка сильно загрязняется. Загрязнение трубы увеличивает сопротивление по двум причинам:

1. Изменение шероховатости материала стенок.

2. Сужение сечения вследствие уменьшения диаметра трубы.

Действие первой причины в смысле влияния на изменение сопротивлений при больших скоростях движения не столь значительно, так как происходит постоянная чистка (полировка стенок). При известных условиях происходит сглаживание шероховатостей в стенках труб и разница в шероховатости труб из разных материалов (чугун, железо и др.) исчезает.

При небольших же скоростях происходит расслоение движущегося осадка, и более тяжелые песчаные частицы как бы вкрапливаются в слизь, покрывающую стенки, особенно в нижней части труб, и тем увеличивают шероховатость.

Вторая причина — сужение сечения — может все время прогрессировать и соответственно увеличивать со сроком службы потерю напора, которая для чистой воды при том же расходе обратно пропорциональна пятой степени относительного сужения:

$$h'_{\omega} = h^0_{\omega} \left(\frac{d_0}{d_1} \right)^5,$$

где d_0 — значение диаметра в первоначальном виде,
 d_1 — в покрытой осадком трубе.

Значение $\left(\frac{d_0}{d_1}\right)^5$ в зависимости от различных степеней сужения диаметра:

Таблица по „Weyrauch“, 1912

Таблица 38

$\left(\frac{d_0}{d_1}\right) 0,5$	0,6	0,7	0,8	0,85	0,90	0,93	0,95	0,98
$\left(\frac{d_1}{d_0}\right)^5 32,0$	12,8	5,95	3,06	2,27	1,69	1,48	1,29	1,18

Изменение площади сечения трубы от загрязнений при условии уменьшения ее диаметра на 6 мм.

Таблица 39

d в м	Площадь сечения при d_0	Площадь сечения при d_1	Площадь сечения загрязненного трубопровода меньше не загрязненной на
0,050	0,001904	0,001521	22,5%
0,100	0,007854	0,006940	11,6%
0,200	0,03142	0,02559	5,9%
0,300	0,07086	0,067837	4,0%
0,400	0,125664	0,121922	3,0%

Примечание. Уменьшение диаметра на 6 мм имеет место при эксплуатации в течение 10 лет люберецкого гончарного $d = 200$ мм илопровода длиной 400 пог. м.

Из таблицы видно, что сужение сильно влияет на трубы небольших диаметров. Следовательно слой осадков на стенках трубы при расчете должен быть принят в соображение при учете сопротивлений и при выборе диаметра илопровода, особенно при трубах небольшого диаметра.

Выводы

Последней нашей задачей является обобщение всего материала практических наблюдений в условиях опытного и эксплуатационного илового хозяйства на Люберецких полях фильтрации.

Открытые деревянные илопроводы

1. Уверенная эксплуатация иловых лотков обеспечивается при $i = 0,01$.
2. Минимальным уклоном при соответствующем нормальном режиме большого илового хозяйства следует считать $i = 0,005$.
3. Минимальными размерами указанных лотков по условиям практической очистки их следует считать $0,25 \times 0,25$ м.
4. Нормальными размерами иловых лотков при большом иловом хозяйстве являются на основании имеющегося опыта $0,40 \times 0,40$ и $0,30 \times 0,40$ м.

5. Для поддержания нормального эксплуатационного состояния лотков необходимо после каждой иловой операции, но не реже одного раза в день, производить кратковременную промывку лотков в зависимости от местных условий осветленной сточной жидкостью или чистой водой.

6. Зимой нормальная эксплуатация лотков при $i = 0,01$ и больших расходах осадка достигается утеплением только одними деревянными щитами, накрываемыми на лотки. Та же эксплуатация лотков с уклонами в $i = 0,005$ достигается более тщательным утеплением в виде присыпки земель, сухим осадком или навозом сверху перекрывающих лотки щитов.

7. При эксплуатации небольшого илового хозяйства с небольшим расходом осадка следует применять специальный промежуточный резервуар или иловой колодец для накопления осадка возможно большего объема с последующим выпуском его сразу в иловой лоток.

Закрытые илопроводы

1. Минимальными уклонами самоточных закрытых илопроводов следует считать $i = 0,01$, обеспечивающих спокойную и уверенную эксплуатацию илопроводов; возможно в исключительных случаях применение уклона $i = 0,005$, требующее однако тщательного и напряженного надзора во время эксплуатации.

2. Минимальным диаметром как самоточных, так и напорных илопроводов следует считать $d = 150$ мм для малых установок и $d = 200$ мм для средних и больших.

3. Минимальным напором для выдавливания осадка из сооружений (рис. 27) должен быть напор не менее 1,50 м; при меньших величинах обычно не обеспечивается начальный выпуск густого осадка со дна сооружения.

4. Нормальная эксплуатация закрытых самоточных и напорных илопроводов обеспечивается соответствующим надзором и уходом за ними, в частности обязательной промывкой. К тому же в целях удаления случайных засорений следует при проектировании предусмотреть в определенных точках илопровода ревизии путем постановки крестовин или тройников, закрываемых заглушкой.

5. В целях предупреждения замерзания осадка в закрытых илопроводах в зависимости от климатических условий местности следует применять соответствующее искусственное утепление или же заглубление в грунте на глубину непромерзания.

6. При практических расчетах илопроводов необходимо кроме структуры осадка и содержания в нем воды учитывать скорости движения, так как с увеличением скоростей уменьшается коэффициент шероховатости.

О применении эрлифтов на станциях аэрации

Работу производила бригада Кожуховской станции аэрации

Вводная часть

Очистка сточных вод на станциях аэрации в аэротэнках вызвала необходимость установки подъемных машин по перекачке активного ила из вторичных отстойников в регенераторы. В связи с тем, что метод очистки сточных вод в аэротэнках появился недавно, естественно, что наряду со многими неясными вопросами, возникающими при проектировке станции аэрации, выплывает также вопрос о способах перекачки активного ила. При изучении данного вопроса представляется возможным базироваться всего на трех установках, существующих у нас в СССР; это—опытная станция на Люблинских полях орошения, Кожуховская станция (в Москве) и Харьковская станция. На указанных установках перекачка активного ила производится двумя типами водоподъемных машин: центробежными насосами и эрлифтами.

На Люблинской станции перекачка производится эрлифтами, на Кожуховской станции—эрлифтами и центробежными насосами и на Харьковской—эрлифтами.

Несмотря на то, что по опыту Кожуховской станции центробежные насосы прекрасно справляются с задачей перекачки ила, все же поднят вопрос о замене их как на Кожуховской станции, так и при проектировке новых установок эрлифтами по следующим соображениям:

1) эрлифты прекрасно могут справляться с задачей под'ема жидкости на высоту 1,5—2 м;

2) эрлифты по своей конструкции весьма просты, удобны для прочистки и осмотра;

3) эрлифты представляют собой две простых трубы, выполняемых из дефицитного материала, а центробежные насосы представляют собой ценную машину, требующую точной работы при изготовлении, сравнительно дорогую по стоимости и изготавливаемую из дефицитного металла.

В связи с приведенными причинами представлялось вполне своевременным изучить работу эрлифтов на существующих установках, выяснить их конструктивные достоинства и недостатки, установить определенный метод расчета и тем самым дать возможность проектировщикам и работникам по эксплуатации правильно ориентироваться в данном вопросе. До настоящего

времени никаких работ по изучению этого вопроса не было опубликовано, что дает повод предполагать об отсутствии таковых.

В данном случае нам представилась возможность детально изучить работу эрлифтов на Кожуховской станции и Люблинской опытной станции.

Эрлифты Кожуховской станции аэрации

Группа аэротэнков и отстойников первой очереди, очищающая $12\,300\text{ м}^3/\text{сутки}$ сточной воды, обслуживается двумя центробежными насосами, перекачивающими активный ил из вторичных отстойников в регенераторы. Вторая очередь, очищающая также $12\,300\text{ м}^3/\text{сутки}$, обслуживается в настоящее время пятью эрлифтами. При проектировании второй очереди было установлено шесть эрлифтов по одному в каждом отстойнике. Вдоль отстойников были установлены желобы по одному на каждые три отстойника, по которым ил отводился от эрлифтов в регенераторы.

После пуска второй очереди выяснилось, что установленные эрлифты не перекачивают достаточного количества ила, которого должно быть около 40% от количества очищаемой воды. При часовой производительности второй очереди 500 м^3 сточной воды эрлифты подавали всего 90 м^3 , что ни в коем случае не могло обеспечить нормальную работу станции. Тогда были установлены еще два эрлифта № 4 и 5.

В то время как при установке эрлифтов № 1, 2, 3, 1₁, 2₁, 3₁, трубы их были опущены сверху непосредственно в отстойник и отсасывали ил с высоты около 1 м от дна, эрлифты № 4 и 5 были соединены с трубой с запасными иловыми трубами, выходящими из отстойника у его дна; вследствие того что эти эрлифты качали ил из трубы, соединяющейся со всеми отстойниками непосредственно, представлялось весьма затруднительным отрегулировать задвижки так, чтобы количество всасываемого ила всегда соответствовало необходимому; часто ил уплотнялся и приходилось спускать воду со всего отстойника для его очистки.

Все вышеуказанные причины привели к необходимости изменить существующее положение и производить откачку ила другими способами. Как будет видно дальше, указанные эрлифты потребляли большое количество воздуха неэкономно и эта причина также заставила обратить на себя внимание с целью рационализации работы эрлифтов.

Эрлифты № 1, 2, 3, 1₁, 2₁, 3₁

При проектировании отстойников второй очереди был сделан расчет эрлифтов и запроектирована конструкция эрлифта, основные данные которой следующие:

D воздушной трубы	75 мм
D под'емной трубы	150 "
Высота под'ема воды	1,686 м
Глубина погружения воздушной трубы H —	2,075 м

В процессе строительства некоторые размеры были изменены и в настоящее время эрлифты установлены согласно рис. 41. Основные данные этого эрлифта следующие:

D воздушной трубы	62 мм
D под'емной трубы	150 "
Высота под'ема воды	2 м
Глубина погружения воздушной трубы	2,03 м

Деталь устройства форсунки показана на рис. 41. Всего по длине трубы 22 ряда отверстий по 16 шт. в каждом ряду; D отверстия равно 5 мм, расстояние между рядами 16 мм.

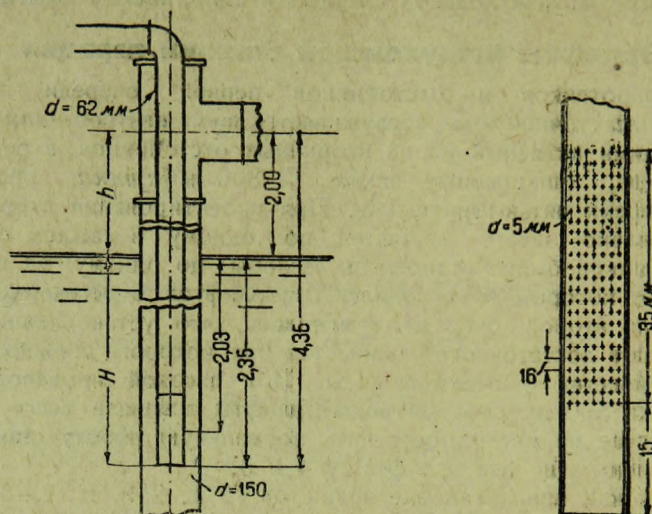


Рис. 41. Эрлифт Кожуховской станции (Москва) № 1—3.

Эрлифты № 4 и 5

Эрлифт № 4 был поставлен без предварительного расчета и сконструирован техническими работниками Кожуховской станции. Рис. 42 дает понятие о его конструкции. Так же, как и эрлифт № 4, был сконструирован и установлен эрлифт № 5, показанный на рис. 43.

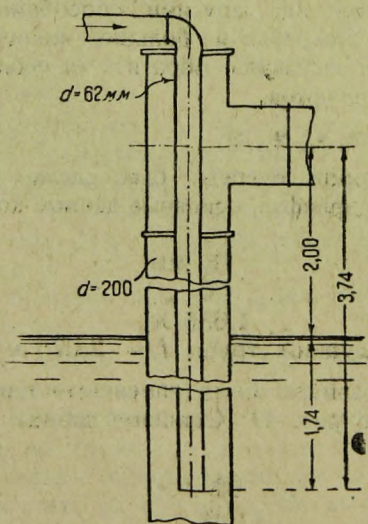


Рис. 42. Эрлифт Кожуховской станции № 4.

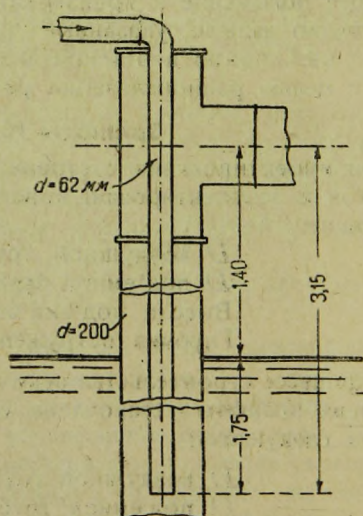


Рис. 43. Эрлифт Кожуховской станции № 5.

Производительность эрлифтов

Всестороннему изучению подвергались эрлифты № 1, 2, 3, 4, 5. Эрлифты № 1₁, 2₁, 3₁ не изучались так детально, так как они во всем сходны с 1, 2, 3, поэтому в дальнейшем о них разговор идти не будет. Производительность эрлифтов измерялась помощью мерного бачка.

Таблица производительности

Таблица 40

№ 1 —	15	м³/час	№ 1 —	15	м³/час
№ 2 —	16,4	"	№ 2 —	16,4	"
№ 3 —	14,06	"	№ 3 —	14,06	"
№ 4 —	46,7	"			
№ 5 —	50	"			
<hr/>			Итого 45,46 м³/час		
Итого 142,16 м³/час			№ 5 —	46,7	м³/час
			№ 4 —	50	"
			<hr/>		
			Итого 96,7 м³/час		

Как видим, в среднем первая группа эрлифтов, т. е. № 1, 2 и 3, дает по 15 м³/час, а вторая группа, т. е. № 4 и 5, по 50 м³/час. Разбирая разницу в конструкциях первой и второй группы, видим, что диаметры воздушных труб одинаковы, высоты под'ема и глубины погружения в некоторых эрлифтах отличаются, диаметр под'емной трубы в первой группе 150 мм, а во второй 200 мм; в дальнейшем мы еще вернемся к вопросу о значении диаметра под'емной трубы.

Определение расхода воздуха

Для выяснения вопроса о правильности конструирования эрлифтов и их экономичности является необходимым определить те количества воздуха, которые идут на перекачку воды эрлифтами. В процессе исследования нам пришлось воспользоваться тремя способами определения количества воздуха:

- 1) диафрагмой-соплом;
- 2) дисковой диафрагмой;
- 3) трубкой Пито.

В распоряжении станции имелись диафрагмы для труб диаметром 25, 37 и 62 мм. Диски изготовлялись нами соответствующих диаметров собственными силами. Подсчет количества протекающего воздуха производился для диафрагмы по формуле ЦАГИ:

$$v = F \sqrt{\frac{2gRTh}{P_0}} 3600 \text{ м/час},$$

где F — площадь отверстия диафрагмы в кв. метрах;
 g — ускорение силы тяжести, равное 9,81 м/сек²;
 R — газовая постоянная для воздуха, равная 29,27;
 T — абсолютная температура 273°;
 P_0 — давление воздуха до диафрагмы в кг/м²;
 h — разность давлений до и после диафрагмы в миллиметрах водяного столба;
 v — объем протекающего воздуха в м³/час.

Подсчет количества воздуха, протекающего через диафрагмы, производился по формуле, приведенной в книге Шахназарова „Естественный газ, его добыча и утилизация“ (ОНГИ, 1932 г., стр. 330):

$$W = \mu \frac{F}{F_1} \sqrt{\frac{2gh}{\gamma}},$$

где W — скорость газа в м/сек;

μ — постоянный коэффициент, зависящий от отношения $\frac{F}{F_1}$;

g — ускорение силы тяжести;

F — сечение диафрагмы;

F_1 — сечение трубы;

h — разница давлений до и после диска;

γ — удельный вес газа (для воздуха $\gamma = 1$).

Величина μ определяется из диаграммы, приведенной на той же странице. Трубой Пито скорость определялась по формуле:

$$v = \sqrt{\frac{2gh}{\gamma}}.$$

Последующие конструкции эрлифтов

После первого замера воздуха на эрлифте № 3 воздушная труба была укорочена на 0,50 м. Конструкция форсунки была оставлена прежней, остальные размеры также не были изменены. Этот эрлифт мы будем называть конструкцией № 1, и в дальнейшем при каждом изменении отдельных частей эрлифта будем нумеровать эрлифты, называя их: конструкция № ...

Таблица 41

№ эр- лифта	Произ- вод. в м³/час	Расход протек. воздуха в м³/час	D—под- емной трубы в мм	D—воз- душной трубы в мм
1	15	150	150	62
2	15	150	150	62
3	15	150	150	62
4	50	450	200	62
5	50	250	200	62
Конструкция № 1	15	170	150	62
№ 2	15	170	150	62

Конструкция № 2

С целью выяснить вопрос, в какой мере влияет на производительность эрлифта конструкция форсунки на конце воздушной трубы, мы проделали следующий опыт: в конструкции № 1 была снята форсунка дырчатая и заменена трубой одинакового диаметра с воздушной и открытым концом снизу. Длина трубы и глубина погружения были оставлены те же. При замере производительности эрлифта и количества протекающего воздуха выяснилось, что никакой разницы в обеих величинах не произошло, из чего можно сделать заключение, что форма и конструкция форсунки не влияют на производительность эрлифта и на количество потребляемого им воздуха.

Конструкции № 3 и 4

С целью выяснить вопрос, в какой мере влияет на производительность эрлифта количество воздуха, идущего на подъем жидкости, диаметр воздушной трубы эрлифта, нами были изменены эрлифты № 1 и 2.

В эрлифт № 1 была поставлена воздушная труба диаметром 37 мм (конструкция № 3) и в эрлифт № 2 была поставлена воздушная труба диаметром 50 мм (конструкция № 4). Глубина погружения в обоих случаях была принята такой же, как и в конструкции № 2. Таким образом мы получили три эрлифта, которые отличались друг от друга только диаметрами воздушных труб. В данных трех конструкциях диаметр подводящей воздух трубы был оставлен также одинаковым.

Таблица 42

№ конструкции	D — воздушной трубы	Производит. в $\text{м}^3/\text{час}$	Колич. протек. воздуха в $\text{м}^3/\text{час}$
3	37	15	130
4	50	15	155
2	62	15	170

Анализируя табл. 42, приходим к выводу, что в данном случае производительность эрлифтов непропорциональна количеству потребляемого воздуха. Объяснить одинаковую производительность при различных объемах воздуха можно тем обстоятельством, что для подъема воды не надо давать количества воздуха в 10 — 11 раз больше количества поднимаемой воды, а достаточно $8\frac{1}{2}$ объемов, как это и есть в третьей конструкции. В дальнейшем будет видно, что количество воздуха можно еще в большей степени уменьшить.

Конструкция № 5

Следующая конструкция, испытанная нами, являлась видоизменением конструкции № 3. С целью определить, в какой мере влияет на производительность эрлифтов высота погружения воздушной трубы в воду, нами было сделано следующее: к подводящей воздух трубе был присоединен резиновый шланг, который другим своим концом соединялся с верхним концом воздушной трубы. Воздушная труба диаметром 37 мм не была наглухо закреплена во фланце, прикрывающем тройник подъемной трубы, а была подвешена на нем помощью хомута.

Таким образом представлялась возможность поднимать и опускать воздушную трубу и тем самым регулировать глубину впуска воздуха. Диаметр подводящей трубы был взят также 37 мм. Увеличения производительности эрлифта при различных погружениях воздушной трубы не наблюдалось; при глубине 1,10 — 1,20 м воздух прорывался клубами и расход доходил до $150 \text{ м}^3/\text{час}$. При погружении до 1,70 — 1,80 м количество проходящего воздуха равнялось 90 — 100 $\text{м}^3/\text{час}$. При всех погружениях производительность не поднималась выше $15 \text{ м}^3/\text{час}$, уменьшаясь до $10 \text{ м}^3/\text{час}$ при погружении воздушной трубы до 1,10 м.

Конструкция № 6

Недостаточно ясным до сего времени оставался вопрос, в какой мере влияет высота под'ема ила на производительность эрлифтов. Для выяснения этого вопроса нами была установлена конструкция № 6 (рис. 44). От конструкции № 5 она отличалась только высотой расположения тройника отводной трубы над уровнем воды. В № 5 высота под'ема ила 2,00 м, в № 6 — 1,40 м.

Глубина погружения воздушной трубы в воду изменялась помощью резинового шланга, соединенного с воздушной трубой, и трубой, подводящей воздух.

При высоте под'ема 1,40 м производительность эрлифта увеличилась до $25 \text{ м}^3/\text{час}$ при расходе воздуха $80 \text{ м}^3/\text{час}$. При этом было замечено, что из отверстия тройника вода вытекает струей, заполняющей все отверстие. Это привело к мысли установить конструкцию № 7.

Конструкция № 7

Конструкция № 7 отличается от конструкции № 6 только тем, что вместо тройника $D=150 \text{ мм}$ непосредственно без переходной муфты на под'емной трубе была поставлена крестовина $D=200 \text{ мм}$. Поднятая вода

имела возможность вытекать из двух отверстий $D=200 \text{ мм}$. Воздушная труба оставалась диаметром 37 мм и глубину ее погружения можно было регулировать резиновым шлангом.

Таблица 43

Давление воздуха в воздушн. трубе в мм вод. ст.	Погруж. воздушн. трубы в воду в м	Произ-вод. эр-лифта в $\text{м}^3/\text{час}$
2000	1,40	26
2000	1,65	31
2000	1,84	36
2000	1,95	36

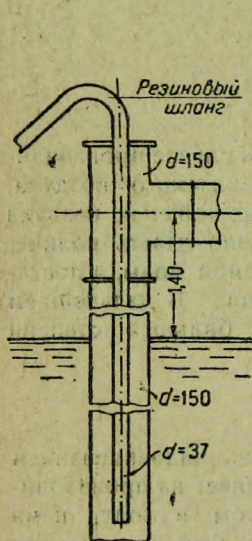


Рис. 44. Эрлифт «Конструкция № 6».

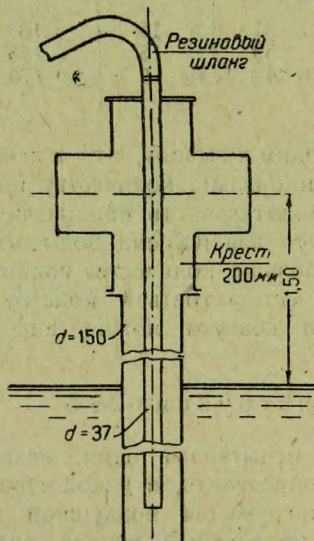


Рис. 45. «Конструкция № 7».

Конструкция № 7 показана на рис. 45. Как видно из табл. 43, производительность конструкции № 7 доходит до $36 \text{ м}^3/\text{час}$, т. е. в $2\frac{1}{2}$ раза больше, чем производительность конструкции № 5 с теми же диаметрами труб. Расход воздуха при этом равен $97 \text{ м}^3/\text{час}$.

Конструкция № 8

В конструкции № 8 сделан оголовок из отвода диаметром 200 мм, диаметр под'емной трубы 150 мм и воздушной 37 мм. Высота погружения воздушной трубы регулировалась резиновым шлангом. Высота под'ема воды 2 м.

Конструкция № 9

Конструкция № 9 отличается от конструкции № 8 только тем, что высота под'ема воды равна 1,80 м.

Конструкция № 10

Конструкция № 10 отличается от конструкции № 8 и 9 только тем, что высота под'ема жидкости равна 1,5 м. Данные о работе конструкций № 8, 9 и 10 сведены в табл. 44.

Таблица 44

№ кон- струк- ции	Высота под'ема ила в м	Погру- жен. воз- душн. трубы	Расход воздуха в м³/час	Произ- вод. эр- лифта в м³/час	Примечание
8	2	1,60	122	15	При погруже- нии воздушной трубы до 2 м и ниже воздух прорывается толчками и оп- ределить его ко- личество невоз- можно
8	2	1,80	98	18	
9	1,80	1,75	112	23	
9	1,80	1,55	120	18	
10	1,50	1,80	100	40	
10	1,50	2,00	—	12	
11	2,20	1,50	120	13	
11	2,20	1,75	112	15	
11	2,20	1,95	—	10	

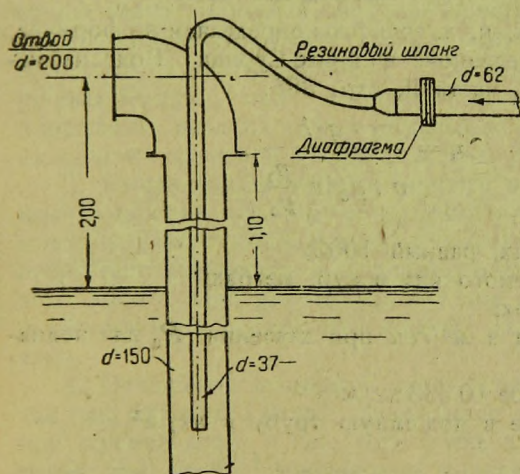


Рис. 46. «Конструкция № 8».

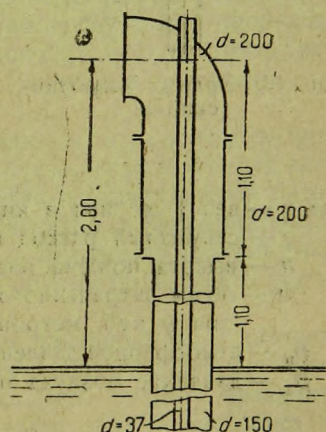


Рис. 47. «Конструкция № 11».

Конструкция № 11

С целью выяснить, как влияет на производительность эрлифтов увеличение диаметра подъемной трубы, в верхней ее части была установлена конструкция № 11. На высоте 1,10 м от уровня воды подъемная труба $D=150$ мм переходит в трубу $D=200$ мм. Высота под'ема ила получилась равной 2,20 м. К сожалению изменять высоту под'ема ила по техническим условиям не представилось возможным. Данные опытов представлены в табл. 44 (установку см. на рис. 47).

Люблинский эрлифт

На опытной станции в Люблине установлено пять эрлифтов, перекачивающих активный ил из вторичных отстойников в регенераторы. Все эрлифты совершенно одинаковы по конструкции и производительности, поэтому детальному обследованию подвергался только один эрлифт. Испытания производились при обычном давлении 2,5 м вод. ст. и пониженном 2 м. Данные исследования приведены в табл. 45 (установку см. на рис. 48).

Количество воздуха определялось диафрагмой для трубы $D = 37$ мм.

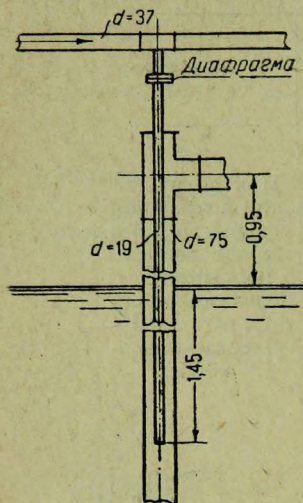


Рис. 48. Эрлифт «Люблинский».

Таблица 45

Давление воздуха до диафрагмы	Давление воздуха после диафрагмы	Расход воздуха в м³/час	Произв. в м³/час	Отношение объема воздуха к воде
мм вод. ст.				
2500	2200	36	11	3,3
2500	2350	25,5	7	3,6
2050	1870	28,0	6	4,7
2050	1900	25,5	5,5	4,6

Определение коэффициента полезного действия

К. п. д. эрлифтов определяем по формуле, приведенной в книге Сурина „Водоснабжение“, часть II, стр. 385:

$$\eta = \frac{\gamma \cdot q \cdot h}{v \cdot p_0 \ln \frac{p_1}{p_0}},$$

где γ — вес 1 м³ ила в килограммах, равный 1000;

q — секундный расход поднимаемого ила в куб. метрах;

h — высота подъема ила в метрах;

v — объем затраченного воздуха в м³/сек при давлении P_0 для поднятия q куб. метров ила;

p_0 — атмосферное давление, равное 10 333 кг/м²;

p_1 — давление воздуха при входе в подъемную трубу в кг/м².

Для конструкции № 7:

$$\eta = \frac{1000 \cdot 0,01 \cdot 1,5}{0,027 \cdot 10\,333 \ln \frac{12\,333}{10\,333}} = 0,30.$$

Для конструкции № 10:

$$\eta = \frac{1000 \cdot 0,011 \cdot 1,5}{0,028 \cdot 10\,333 \ln \frac{12\,333}{10\,333}} = 0,32.$$

Люблинский эрлифт:

$$\eta = \frac{1000 \cdot 0,003 \cdot 0,95}{0,01 \cdot 10\,333 \ln \frac{12\,533}{10\,333}} = 0,14.$$

При всех наших расчетах удельный вес ила принимался равным удельному весу воды, так как по справке, данной лабораторией Кожуховской станции, удельный вес ила очень незначительно отличается от удельного веса воды, и это различие практического значения не могло иметь в наших расчетах.

— о —

В результате исследования эрлифтов Кожуховской и Люблинской станций и экспериментальных установок мы постарались выяснить, как влияют отдельные детали конструкций, взаимоотношение диаметров, глубина погружения и т. д. на производительность эрлифтов и особенно на отношение объемов воздуха и воды. Последнее должно решить основной вопрос об экономической целесообразности эксплуатации эрлифтов. Мы пришли к следующим выводам:

1. Форма и конструкция форсунки для воздуха не играют заметной роли в деле производительности эрлифтов и затраты воздуха. Поэтому лучше всего применять наиболее простую конструкцию — открытую трубу.

2. Глубина погружения воздушной трубы в воду заметно влияет на производительность эрлифтов. При недостаточном погружении происходит прорыв воздуха, при излишнем — низкая производительность эрлифтов и прорывание воздуха в виде отдельных клубов. Наилучшее погружение при имеющемся давлении около 2 м вод. ст. равно 1,60 — 1,80 м.

3. Решающее значение в вопросе о производительности эрлифтов имеет высота под'ема ила. При сохранении выгодных соотношений между воздухом и водой удастся поднять воду на высоту 1,5 м. При увеличении этой высоты возрастает количество потребляемого эрлифтом воздуха непропорционально этой высоте. При высоте под'ема ила около 2 м отношение воздуха к воде приближается к десяти, что конечно делает невыгодным пользование эрлифтами.

4. Отношение диаметров воздушной трубы и под'емной имеет значение, так как благодаря этому уменьшается или увеличивается потеря на трение при под'еме воды. Кроме того очень важно подобрать диаметр воздушной трубы так, чтобы необходимое количество воздуха протекало через нее без регулировки краном, так как при небольшом заворачивании крана с целью уменьшить количество воздуха получается большая потеря напора, а при имеющемся в распоряжении напора всего 2 м это отзовется на производительности эрлифта. Практически лучшее соотношение диаметров воздушной трубы и под'емной трубы равно 0,25 — 0,30.

5. Количество воздуха, потребляемого на под'ем ила эрлифтами, должно колебаться в пределах трех объемов на один объем ила. Повышение давления не уменьшает необходимого количества воздуха, а увеличение количества его или не приносит пользы или действует отрицательно, создавая большие скорости истечения воздуха в под'емной трубе и прорыв воздуха сквозь воду.

Сводная таблица по обследованию эрлифтов

Таблица 46

№ п/п	№ эрлиф- тов	D — под'е- мные трубы в мм	D — воз- душ. трубы в мм	Отно- шен. диам. возд. трубы к под'- емной	D — трубы подво- дящ. воздух в мм	Пог- руж. возд. трубы в м	Высо- та под'е- ма во- ды в м	Отно- шен. $\alpha = \frac{H}{H+h}$	Тип фор- сунки возд. трубы	Количе- ство возд., потр бл эрлифт. в м³/час	Мак- сим. произ- вод. эрлиф- та в м³/час	Отно- шен. объема возду- ха к объему воды	Тип ого- ловка	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	150	62	0,41	62	2,03	2,00	0,50	Дырчатая	150	15	10	Тройник	
2	2	150	62	0,41	62	2,03	2,00	0,50	"	150	16,0	9,4	"	
3	3	150	62	0,41	62	2,03	2,00	0,50	"	150	14,0	10,7	"	
4	4	200	62	0,31	75	1,74	2,00	0,47	Откр. труба	450	50	9	"	
5	5	200	62	0,31	75	1,75	1,40	0,55	"	250	50	5	"	
6	Констр. 1	150	62	0,41	62	1,53	2,00	0,43	Дырчатая	170	15	11,3	"	
7	2	150	62	0,41	62	1,53	2,00	0,43	Откр. труба	170	15	11,3	"	
8	3	150	37	0,25	62	1,53	2,00	0,43	"	130	15	8,7	"	
9	4	150	50	0,33	62	1,53	2,00	0,43	"	155	15	10,3	"	
10	5	150	37	0,25	37	1,80	2,00	0,47	"	100	15	6,7	"	
11	6	150	37	0,25	37	1,80	1,40	0,56	"	80	25	5,0	"	
12	7	150	37	0,25	37	1,80	1,50	0,55	"	97	36	2,7	Крест. 200 мм	
13	8	150	37	0,25	37	1,80	2,00	0,48	"	98	18	5,5	Отвод. 200 "	
14	9	150	37	0,25	37	1,75	1,80	0,50	"	112	23	4,9	" 200 "	
15	10	150	37	0,25	37	1,80	1,50	0,55	"	100	40	2,5	" 200 "	
16	11	150	37	0,25	37	1,70	2,20	0,44	"	112	15	7,5	" 200 "	
17	Любл. тип	75	19	0,25	37	1,45	0,95	0,58	"	36	11	3,3	Тройник	на высоте 1,10 м воды 200 мм

Существующие расчеты эрлифтов и применение их на практике

Эрлифты № 1, 2, 3 Кожуховской станции проектировались инж. Родиным, давшим их расчет. Эрлифты № 4 и 5 были поставлены без расчета по практическому опыту работников станции. Конструкции экспериментальные устанавливались без расчета с целью выяснить влияние отдельных факторов на работу эрлифтов. Эрлифты Люблинской станции были установлены также без расчетов по практическому опыту работников станции. Попробуем проанализировать имеющиеся в нашем распоряжении формулы Лоренца, Сондерса, Меликова и других исследователей, занимавшихся изучением эрлифтов, применительно к нашим эрлифтам и конструкциям.

1. Расчет инж. Родина

В основу расчета было положено количество поднимаемого ила из каждого отстойника. Принимая коэффициент неравномерности загрузки эрлифта равным 1,5, каждый эрлифт должен был поднимать 18 л/сек, или 64,8 м³/час. Расчет производился по формуле:

$$V = \frac{h}{C \lg \frac{H+10}{10}} \quad (1)$$

где V — объем воздуха в куб. метрах, необходимых для под'ема 1 м³ ила;

H — глубина погружения воздушной трубы;

h — высота под'ема ила;

C — коэффициент, зависящий от отношения:

$$\alpha = \frac{H}{H+h} \quad (2)$$

Эта зависимость и формула (1) даны в докладе Тица (II Всесоюзный водопроводный съезд): α — принята 0,45; $h = 2,29$; $H = 1,875$; $C = 10,6$; V получается равным трем объемам.

Следовательно необходимое количество воздуха в 1 час равняется 64,8 · 3 = 196,4 м³/час.

Расчет воздуха сделан по этому заданию, причем скорости колеблются от 16 до 11 м/сек.

Диаметр воздушной трубы принят был в 75 мм.

Исходя из конструктивных возможностей, высота под'ема ила в дальнейшем была принята равной 1,686 м вместо расчетной величины 2,29, а глубина погружения воздушной трубы равна 2,075 м вместо расчетной 1,875. В процессе строительства высота под'ема ила была принята равной 2 м. Подробные данные приведены в начале статьи.

Можно определенно сказать, что при высоте под'ема ила 2,29 м расчетное количество не подавалось бы, так как даже при высоте 2 м и тех же диаметрах не удалось добиться повышения производительности более 15 м³/час. Диаметр под'емной трубы — 150 мм — был принят по аналогии с харьковскими эрлифтами, применяемыми для водоснабжения, при том же расходе воды, придерживаясь скорости движения жидкости в под'емной трубе 1,02 м/сек. В табл. 47 приведено сравнение эрлифтов, рассчитанных по формуле Тица с опытными данными.

II. Расчет по Лоренцу

Расчет эрлифтов по Лоренцу приведен в книге Сурина „Водоснабжение“, часть II, стр. 384. Необходимый объем воздуха определяется по формуле:

$$Y = \sqrt{\frac{2 g h F^2 + \xi_1 q^2}{1 + \xi_2}} + q^2, \quad (3)$$

где Y — потребный объем воздуха в куб. метрах для подема q куб. метров воды;

h — высота подема ила в метрах;

F — поперечное сечение трубы в кв. метрах;

ξ_1 — коэффициент сопротивления при входе ила в подъемную трубу, принимаемый около двух;

$\xi_2 = 0,02 \frac{l}{D}$ — дополнительный коэффициент сопротивления по длине подъемной трубы.

Мы попробовали произвести расчет нескольких наиболее типичных эрлифтов по формуле Лоренца с целью выяснить, сходятся ли данные формулы с опытными данными. Результаты приведены в табл. 47.

Таблица 47

№ эрлифтов и конструкций	Диам. возд. трубы в мм	Высота подема ила в мм	D —подъемной трубы в мм	Отношен. объем. возд. и воды	Отнош. объем. воз. и воды по Тицу	Отнош. объемов и.о Лоренцу	Отнош. объемов по Меликову	Точность по Тицу в % коп.тн. данн.	Точн. по Лоренцу в %	Точн. по Меликову в %	Скорость входа воды в подъемн. трубу в м/сек	Скорость истеч. смеси в м/сек
Эрлифты												
1	62	2	150	10	2,2	14,4	8	22	70	80	0,30	3,35
4	62	2	200	9	2,7	9,5	3,6	39	95	40	0,52	5,20
5	62	1,40	200	5	1,65	8	2,8	33	62	56	0,52	3,10
Констр.												
3	37	2	150	8,7	2,2	17,5	6	25	50	69	0,25	2,4
4	50	2	150	10,3	2,2	17,2	5,9	21	60	57	0,27	0,5
10	37	1,50	150	2,5	1,83	6	2,55	73	42	98	0,70	2,46
Люблин.	19	0,95	75	3,3	1,37	4	2,8	42	82	85	0,77	3,35

III. Расчет по Меликову

Расчет эрлифтов по Меликову производится по формуле, приведенной в книге „Добыча и утилизация газа“ Саркасыянца. В этой книге автор приводит формулы для газлифтов, т. е. подъемников, действующих сжатым газом, но формулы для газлифтов выведены, исходя из теории и опытных данных эрлифтов, и основными приняты формулы Меликова-Сокера.

Эти формулы следующие:

$$S_m = K \sqrt{D},$$

где S_m — скорость смеси воды и воздуха в $м/сек$, соответствующая максимальному теоретическому количеству жидкости, поднимаемому эрлифтом при непринятии во внимание влияния скольжения воздуха;
 K — коэффициент, равный 33, данный Свенон;
 D — диаметр подъемной трубы в метрах;

$$q_m = \frac{F S_m h}{2 H},$$

где q_m — максимальный расход воды в $м^3/сек$, который может пропустить подъемная труба площадью поперечного сечения F без учета скольжения воздуха;

h — глубина погружения воздушной трубы;

H — полная длина подъемной трубы в метрах от места ввода воздуха до отводящего тройника;

$$Q_m = 0,5 q_m \left(1 + \sqrt{\frac{4 S_1 F}{q_m}} \right),$$

где Q_m — расход воды в $м^3/сек$, который может пропустить подъемная труба площадью поперечного сечения F с учетом скольжения воздуха;

$S_1 = 0,25$ — относительная скорость воздуха или скольжение его в $м/сек$, принимаемая Свенон около 0,25;

$$\frac{\delta}{\delta_1} = \frac{2H}{h \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{q}{Q_m} \right)^2} \right] \left(1 - \frac{S_1 F}{q} \right)},$$

где $\frac{\delta}{\delta_1}$ — отношение среднего удельного веса жидкости в скважине к среднему удельному весу смеси жидкости с воздухом в подъемной трубе;
 q — количество подаваемой эрлифтом жидкости в 1 сек.;

$$v_0 = \frac{q \left(\frac{\delta}{\delta_1} - 1 \right) \left(\frac{p_1 - p_0}{p_1} \right)}{\ln \frac{p_1}{p_0}},$$

где v_0 — потребный объем воздуха в $м^3/сек$ для подъема Q_m $м^3/сек$ воды;

p_1 — рабочее давление воздуха у входа в трубу;

p_0 — атмосферное давление.

Анализируя данные табл. 47, приходим к заключению, что:

1. Метод расчета по Типу не дает достаточной точности не только при расчете эрлифта № 1, как это применил инж. Родин (хотя установка была немного видоизменена), но и при применении ко всем другим опытным установкам. Опытные данные значительно расходятся с теми, которые подсчитаны по формуле Типа. Уточняя этот вопрос, следует обратить внимание, что Тип приводит данные и формулы американские; формулы и коэффициенты Сондерса, Рикс-Абрамса, Ивенса, Андерсона отличаются друг от друга только различными коэффициентами C , которые один от

другого отличаются незначительно. По данным, приведенным в различных источниках, эти формулы оправдывают себя при больших под'емах воды из скважин при определенных (практически проверенных) диаметрах труб. При небольших под'емах диаметры эти не подходят и приходится прийти к заключению, что применять эти формулы к расчету эрлифгов с небольшим под'емом воды нецелесообразно; количество воздуха подается по расчету пропорционально требуемому количеству воды, а вода иногда в должном количестве не поднимается. Значит, здесь играют большую роль другие компоненты.

2. Метод расчета по Лоренцу также себя в достаточной степени не оправдал; данные расчета значительно расходятся с опычными данными и точность в среднем достигает всего 50%. Основные компоненты, необходимые для конструирования, введены в формулу; можно сомневаться в правильности коэффициентов, в частности ξ , применительно к условиям небольшого под'ема воды. Поэтому мы попробовали определить величину ξ_2 , считая, что в формуле (3) все данные за исключением ξ_2 известны, т. е. были взяты опытные данные эрлифгов, показавших лучшую производительность, а именно: № 5, конструкция № 10 и люблинский эрлифг

по Лоренцу $\xi_2 = 0,02 \frac{l}{D}$; мы считали, что коэффициент 0,02 слишком мал

для нашего случая. Определяя по формуле (3) ξ_2 , мы находили величину коэффициента числового вместо 0,02. Данные получились самые разноречивые, а именно:

Эрлифг № 5 — $\xi_2 = 0,61$.

Конструкция № 10 — $\xi_2 = 0,40$.

Люблинский — $\xi_2 = 0,05$.

Конечно приведенные разноречивые данные не могут служить основанием для вывода общей формулы по определению ξ_2 , хотя ясно видно, что при подсчетах эрлифгов с невысоким под'емом воды величина ξ_2 получается явно неверной. На основании сравнительно небольшого количества опытных данных, имеющихся в нашем распоряжении, мы не решились вывести общий закон для определения ξ_2 .

В связи с тем, что точность расчетов по Лоренцу неодинакова и колеблется от 36 до 22%, введение общего поправочного коэффициента в формулу применительно к нашим условиям не предоставляется возможным.

В книге Сурина „Водоснабжение“, часть II, приведена формула, рекомендуемая к применению (при $\alpha = 0,70$): $F = 0,511 q$, где F и q выражены в кв. и куб. метрах. Применяя ее к нашему случаю, мы видим, что она не дает точных данных. Так например, для эрлифга № 4, имеющего 200 мм под'емную трубу, рекомендуется всего 100 мм под'емная труба. Там же рекомендуются скорости входа воды в трубу от 1,8 до 3,7 м/сек и излива от 5,5 до 7,6 м/сек.

В наших лучших эрлифгах № 5 люблинская конструкция № 10, как это видно из табл. 47, скорость входа воды в трубу колеблется от 0,55 до 0,70 м/сек и скорость излива — от 2,46 до 3,35 м/сек.

Как видно из приведенных данных, практические скорости также не сходятся с рекомендуемыми. Приходится и здесь прийти к заключению, что рекомендуемые скорости хороши для эрлифга с большим под'емом воды и не годятся для наших условий.

3. Недостаточно точные результаты получаются также при расчете по формулам Меликова. В этих формулах учтены все необходимые компоненты, но они не во всех случаях дают правильные данные.

Попробуем проанализировать, не играют ли заметной роли в вопросе о производительности эрлифтов потери на трение. Теоретически рассуждая, высота столба эмульсии должна быть во столько раз больше столба воды над отверстием для выпуска воздуха, во сколько вес единицы объема эмульсии легче веса единицы объема воды. Можно считать, что вес воздуха в 1000 раз легче воды, и поэтому с приближением принимаем, что при трехкратном объеме воздуха на один объем воды высота столба эмульсии должна быть в три раза больше столба воды, уравнивающего его, т. е. в нашем случае подъем воды можно производить на высоту от 4,5 до 6 м. Потеря напора, подсчитанная по общепринятым формулам, не превышает 1,5 м, поэтому следовало бы ожидать, что вода свободно будет подниматься на высоту 3 м. В действительности же в эрлифтах с подъемной трубой 150 мм она поднимается всего на 1,5 м при отношении объемов около 3 и при 200 мм на 2 м. Повидимому, здесь потери следуют какому-то другому закону, о чем являются подтверждением приведенные в вышеупомянутой книге Сурина результаты многочисленных наблюдений Уорда и Кесслера; там сказано (§ 7, стр. 420): „Комбинированные потери от трения и обратного скольжения воды в подъемной трубе следуют особому закону, не совпадающему с законом движения воды или воздуха в трубах“. Следует указать, что этот закон авторами не приводится и поэтому надлежит обосновываться только на практических данных.

Выводы

1. Проектирование эрлифта с небольшими высотами подъема воды с большой точностью не представляется возможным по формулам, выведенным для эрлифтов с большим подъемом воды.

2. Из всех анализируемых и изученных формул ни одна не дает достаточных данных для расчета в нашем случае.

3. В связи с тем, что установка эрлифтов для перекачки ила из вторичных отстойников производится на станциях аэрации, что наиболее употребительная высота столба воды в аэротэнках равна 2 м, что в связи с последним необходимо давление воздуха применяется около 2 м вод. ст., можно рекомендовать для установки: а) эрлифты № 5, изученные и проверенные нами для расхода ила $50 \text{ м}^3/\text{час}$, б) конструкции № 10 для расхода ила $40 \text{ м}^3/\text{час}$ и в) люблинский тип для расхода $10 \text{ м}^3/\text{час}$, каковые требуют давления воздуха около 2 м вод. ст. и поднимают ил на высоту до 1,5 м с достаточно высоким к. п. д.

4. Для того чтобы не устанавливать особых компрессоров на станциях аэрации, в случае необходимости поднимать ил на высоту, большую 1,5 м при большом расстоянии от вторичных отстойников до аэротэнков, при проектировании станций аэрации рекомендуется располагать аэротэнки возможно ближе к вторичным отстойникам.

5. При проектировании эрлифтов особое внимание следует обратить на диаметр подъемной трубы (которую можно делать из деревянных звеньев труб или фанеры) и высоту подъема ила.

Методика определения летучих жирных кислот в иловой жидкости метан-тэнков

Процесс разложения осадка в метан-тэнках состоит в постепенном распаде органических веществ на более простые.

Конечными продуктами распада являются: метан, углекислота и аммиак.

Некоторые из этих веществ удаляются в виде газа, другие остаются растворенными в иловой жидкости, в силу чего состав последней изменяется.

Иловая жидкость над достаточно зрелым осадком отличается высокой щелочностью, высоким содержанием аммонийных солей и активной реакцией около 7,0, т. е. в нормально работающем метан-тэнке повышается щелочность среды.

Но кроме описанного щелочного распада органических веществ существует еще анаэробный распад кислотного характера, при котором отсутствует сбраживание образующихся при процессе в качестве промежуточного продукта низших жирных кислот, в силу чего происходит накопление последних в жидкости и изменение реакции в кислую с активной реакцией около 5,0.

Таким образом при контроле за работой метан-тэнков важным показателем качества их работы является количество летучих жирных кислот в иловой жидкости. Определение этих кислот дает возможность судить о направлении процесса брожения в метан-тэнках, так как при правильном щелочном брожении летучих жирных кислот должно быть очень небольшое количество и малейшее изменение брожения в сторону кислотного скажется увеличением содержания последних.

Определение летучих жирных кислот производится обычно методом отгона по Дюкло. Применение этого метода требует довольно много времени и довольно сложной аппаратуры, что при каждодневном контроле является большим минусом.

В силу этого обстоятельства желательно было бы ввести метод, более удобный для целей контроля.

В известной нам литературе для определения летучих жирных кислот обычно рекомендуется метод отгона по Дюкло и лишь в «Лабораторной практике» № 11—12 за ноябрь-декабрь 1931 г. в статье Павлова¹ имеется указание на определение органических кислот в кале по видоизмененному

¹ Павлов Д. И., Значение и техника количественного определения органических кислот, аммиака и аминокислот в кале и моче «Лабораторная практика», № 11—12, 1932 г.

методу Гуаффона. При применении этого метода кал измельчается, смешивается сводой и растирается до равномерной эмульсии, в полученную эмульсию прибавляется несколько капель 33%-ного водного раствора хлористого алюминия и СаО до щелочной по фенолфталеину реакции. Обработанная таким образом жидкость отстаивается несколько минут и фильтруется: в фильтрате, который должен быть лишь слегка опалесцирующим, полученные кальциевые соли органических кислот оттитровываются 1/10 *N* соляной кислотой с индикатором тропеолином 00.

Этот метод был испытан в лаборатории Кожуховской станции аэрофилтрации для определения летучих жирных кислот в иловой жидкости метан-танков, но не дал благоприятных результатов: при применении его для определения жирных кислот иловой жидкости зрелого осадка получались сильно преувеличенные результаты, причины этого установить не удалось, а более углубленное изучение метода Павлова было оставлено, так как в это время было приступлено к изучению более простого метода определения летучих жирных кислот — «метода прямого титрования».

При анализе иловой жидкости делается определение не только летучих жирных кислот, но и ее щелочности; определение щелочности наряду с определением летучих жирных кислот дает указание на характер брожения и состояние метан-танков.

Щелочность обуславливается, как уже было упомянуто, присутствием в иловой жидкости главным образом двууглекислых и углекислых солей аммония и в меньшей мере некоторых других соединений, образующихся за счет распада органического вещества осадка.

Щелочность жидкости определяется титрованием 1/10 *N* соляной кислотой при помощи индикатора метилрот (интервал которого 4,2—6,3) при нагревании до кипения¹.

Таким образом соединения, обуславливающие щелочность иловой жидкости, как имеющие рН, лежащий выше этого предела, все захватываются при этом титровании.

Если же вести титрование иловой жидкости, употребляя индикатор с более низким интервалом рН, то в это как бы новое определение войдут и химические соединения с нижележащим рН.

К. Н. Корольковым было высказано предположение, что если подобрать индикатор с надлежащим интервалом перехода, то можно захватить при титровании и летучие жирные кислоты, имеющиеся в иловой жидкости.

Первым для этой цели был применен индикатор хлорбромфенолблау, испытание которого подтвердило правильность высказанного предположения, но вместе с тем выяснилось, что титрование дает несколько пониженные результаты. Из летучих жирных кислот в иловой жидкости имеются главным образом уксусная и масляная кислоты, рН которых 2,87 для уксусной и 2,91 для масляной кислоты; для определения этих кислот таким образом будет пригоден индикатор с интервалом перехода ниже 3,0. Таким индикатором является тропеолин 00 с интервалом перехода от 1,3—3,2 и с p_m — 2,8; на этот индикатор как пригодный для титрования уксусной и других органических кислот есть указание и у Кольтгофа².

При проверке точности титрования тропеолином 00 точных растворов солей масляной и уксусной кислот и тех же растворов, прибавленных к

¹ Кольтгоф, Цветные индикаторы.

² Там же, стр. 161.

иловой жидкости, выяснилось, что эти органические кислоты вполне в этом случае оттитровываются соляной кислотой.

На основании этих предварительных испытаний можно было заключить, что предлагаемый метод определения летучих жирных кислот вполне возможен, и в дальнейшем предстояло уточнить „метод прямого титрования“, для чего необходимо было еще раз проработать более углубленно следующие вопросы:

1. Пригодность предлагаемого индикатора.
2. Влияние солевого состава иловой жидкости на точность титрования.
3. Сравнение предлагаемого метода с принятым ранее методом отгона по Дюкло.
4. Оформление метода.

Для проверки приемлемости индикатора тропеолина 00 предстояло претитровать точные растворы солей уксусной и масляной кислот с соляной кислотой этим индикатором, а влияние солевого состава и буферной среды иловой жидкости проверить двойным титрованием вначале иловой жидкости с индикатором тропеолином 00, а затем той же жидкости с прибавленным определенным количеством точных растворов испытуемых кислот.

Титрование точных растворов дало, как и нужно было ожидать, положительные результаты, испытание же влияния иловой жидкости на точность титрования дало результаты, указанные в табл. 48.

Таблица 48

Влияние иловой жидкости на точность определения летучих жирных кислот при титровании с тропеолином 00 соляной кислотой

Уксуснокислый Na		Маслянокисл. Na	
прибавл. в милли- эквив. на 1 л	получено в милли- эквив. на 1 л	прибавл. в милли- эквив. на 1 л	получ. в мил- лиэкв. на 1 л
100	100	47,2	48,1
100	104	47,2	47,2
100	100,6	47,2	47,9
100	100,1	47,2	46,0
100	99,2	47,2	—
100	103,0	—	—
100	101	47,2	47,3

Ошибка равна 1%, Ошибка равна 0,2%

Как видно из табл. 48, влияние иловой жидкости при определении летучих жирных кислот титрованием соляной кислоты с тропеолином 00 не является неблагоприятным фактором: при титровании солей уксусной кислоты мы имеем ошибку в 1%, а при титровании солей масляной кислоты в 0,2%.

Выяснив, что солевой состав иловой жидкости и ее буферные свойства уменьшают незначительно точность титрования, важно было сравнить предлагаемый метод с ранее употребляемым методом отгона по Дюкло.

Для этой цели был поставлен ряд параллельных определений по тому и другому методам. Полученные результаты по этим наблюдениям даны на табл. 49.

Таблица 49

Определение летучих
жирных кислот в ило-
вой жидкости метода-
ми отгона и прямого
титрования

Метод от- гона	Метод пря- мого титро- вания
72,6	73,4
57,7	54,3
44,2	37,1
17,9	17,9
19,5	17,8
8,0	7.10
6,9	7.0
7,8	6.6
7,65	7.65
7,70	6.30
6,75	7.05
6,70	5.70
7,80	7.10

Как видно из этих данных, величины, полученные при этих двух определениях, близки между собой и в среднем между полученным по методу отгона количеством летучих жирных кислот и полученным методом прямого титрования разница не является значительной, а для оценки работы метантенков эта разница не имеет никакого значения.

При сравнении результатов определения летучих жирных кислот указанными двумя методами необходимо иметь в виду, что при титровании в отгоне летучих жирных кислот едким натром с индикатором фенолфталеином момент окончания титрования очень неясен: красная щелочная окраска непостоянна и возникает вопрос, какой момент считать за конец титрования: первое ли покраснение, сохраняющееся около четверти минуты, или более стойкое длительностью около 1 мин.; разница между этими двумя точками титрования довольно значительна и достигает 1 см³, а иногда и 1,5 см³ 1/10 N едкого натра.

При проверке метода отгона точными растворами выяснилось, что наиболее правильным моментом для окончания титрования является некоторый промежуточный момент между указанными двумя точками, но все же каждый раз эта неясность в окончании титрования вызывает недоумение и может быть причиной неточности самого определения. Эта неясность вызвала затруднения и при сравнении и оценке методов прямого титрования и отгона по Дюкло; ввиду этого обстоятельства точность вводимого метода придется расценивать по точности определения испытуемых кислот в иловой жидкости с контрольными растворами.

На основании полученных результатов можно считать, что определение летучих жирных кислот методом прямого титрования является пригодным техническим методом для целей контроля работы метан-танков, а самый метод на основании проделанной работы принимает следующее оформление.

Берется 20 см³ фильтрованной иловой жидкости и титруется 1/10 *N* соляной кислотой с индикатором тропеолином 00 до переходной желтовато-розовой окраски и показание бюретки *a* записывается; затем берется вторая порция жидкости в 20 см³ и титруется тоже соляной кислотой с индикатором метилрогом при нагревании до кипения, т. е. определяется щелочность иловой жидкости до переходной оранжевой окраски, и показание бюретки *b* записывается.

Вычитая *b* из *a*, получим число куб. сантиметров соляной кислоты, причитающихся на летучие жирные кислоты в 20 см³ испытуемой жидкости.

Для пересчета содержания жирных кислот в 1 л жидкости полученное число куб. сантиметров соляной кислоты помножается на 50. Таким образом формула вычисления летучих жирных кислот в эквивалентах в мм/л будет:

$$\frac{(a-b) \cdot 50}{10},$$

самое же определение сводится к двум титрованиям соляной кислотой с двумя различными индикаторами, из которых одно вместе с тем служит и для определения щелочности.

Для анализа необходимы следующие реактивы: 1) 1/10 *N* соляной кислоты, 2) насыщенный водный раствор тропеолина 00, разбавленный спиртом в отношении 1:2 (одна часть спирта и две части насыщенного водного раствора тропеолина 00), 3) спиртовой раствор метилрога. Таким образом на все определение летучих жирных кислот затрачивается 15—20 мин. времени, в то время как при определении летучих жирных кислот методом отгона по Дюкло приходится затрачивать на каждое определение около 2 час.

Для точности определения важно отметить, во-первых, что оба титрования необходимо вести из общего объема испытуемой жидкости, ни в коем случае не пользуясь для титрования отдельными фракциями фильтрата, так как ввиду коллоидного характера иловой жидкости поры фильтра забиваются и определенные фракции фильтрата могут отличаться друг от друга и, во-вторых, определение летучих жирных кислот в фильтрате необходимо производить в день взятия проб, так как выяснилось при изучении метода, что летучие жирные кислоты довольно быстро изменяются и хотя разница при определении в день взятия проб и на другие сутки бывает незначительной, всего 2—3 миллиэквивалента, но все же, учитывая это свойство летучих жирных кислот, правильнее делать определения в день взятия проб.

Отмеченное уменьшение количеств летучих жирных кислот при стоянии дало возможность другим путем проверить, определяются ли методом прямого титрования действительно летучие жирные кислоты, так как изменение количеств кислот в сторону уменьшения или увеличения должно учитываться и методом отгона.

Поэтому был поставлен ряд наблюдений по определению летучих жирных кислот в день взятия проб и через сутки обоими методами параллельно; результаты наблюдений даны на табл. 50.

Таблица 50

Изменение летучих жирных кислот при стоянии

Методом отгона			Методом прямого титрования		
в день взятия пробы	через сутки	% изме- нения	в день взятия пробы	через сутки	% изме- нения
в миллиэквивалентах на 1 л			в миллиэквивалентах на 1 л		
2/X 6,9	5,65	-1,25	7,0	4,9	-2,1
6,75	5,25	-1,5	7,0	5,2	-1,8
8/X 6,7	6,3	-0,6	5,7	5,4	-0,3
10,8	9,9	-0,9	10,4	7,7	-2,7
10/X 7,9	8,25	+0,35	7,1	8,2	+1,1
9,2	9,7	+0,5	6,0	6,6	+0,6

Как видно из таблицы, изменения при стоянии очень незначительны и более учитываются методом прямого титрования, чем методом отгона, но если посмотреть на характер изменения, то видно, что это (хотя и незначительное) изменение имеет одно и то же направление или в сторону увеличения или в сторону уменьшения для обоих методов. Это наблюдение подтверждает, что метод прямого титрования определяет действительно содержание летучих жирных кислот в иловой жидкости.

Метод прямого титрования за неимением других объектов прорабатывался на иловой жидкости метан-танков, и удалось сделать лишь два определения летучих жирных кислот этим методом в жидкости из-под мочки конопли, причем в одном случае для замочки конопли служила та же иловая жидкость метан-танков (I), в другом случае (II) для этой цели была взята сточная жидкость.

Результаты определения летучих жирных кислот в этих двух жидкостях двумя указанными методами были следующие.

	для I	для II
Методом отгона	6,45	3,6
Методом прямого титрования	7,55	4,6

Выводы

1. Метод прямого титрования летучих жирных кислот в иловой жидкости для целей контроля работы метан-танков является технически приемлемым методом.

2. Метод прямого титрования как контрольный метод имеет преимущество перед методом отгона в большой экономии времени. В то время как при определении летучих жирных кислот методом отгона требуется для получения результатов затраты около 2 час., метод прямого титрования дает возможность получить эти же результаты через 15—20 мин.

3. Возможность применения этого метода для жидкости другого происхождения является еще невыясненным вопросом.

Обработка отбросов с решеток путем метанового брожения

Одним из методов предварительной очистки сточных вод является освобождение сточной жидкости от крупных взвешенных веществ с помощью решеток и сит. Удаление и утилизация отбросов с них играют значительную роль в канализационном хозяйстве, и вопрос нахождения наиболее эффективного метода уничтожения отбросов является одним из самых острых вопросов настоящего времени, требующих своего разрешения.

Сточная жидкость Москвы подается на Люберецкие поля фильтрации через насосную станцию, где крупные взвешенные вещества перед поступлением жидкости в насосы задерживаются решетками; отбросы с последних поступают в дробильную машину, откуда уже в измельченном виде снова сбрасываются в канал и вместе со сточной жидкостью и осадком поступают на Люберецкие поля фильтрации. Для предупреждения засаривания дюкеров и подающих сточную жидкость труб у вертикальных отстойников в различных местах главного загородного водовода близ вышеупомянутых сооружений поставлены решетки с отверстиями 40 мм у вертикальных отстойников и 180 мм у дюкеров.

Количество отбросов, собранных с решетки с отверстиями 180 мм, составляет около $1,2 \text{ м}^3/\text{сутки}$ при среднесуточном расходе сточной жидкости, проходящей через вышеупомянутую решетку, равном $45\,446 \text{ м}^3$. Содержание воды в собранных отбросах в среднем 80%. Годовое количество их составит 438 м^3 , причем на одного жителя в год приходится 0,85 л отбросов. Эта цифра является значительно преуменьшенной, так как главная масса грубых взвешенных веществ задерживается решеткой насосной станции.

Главная масса отбросов состоит из тряпок, бумаги, обрывков веревок, кожуры овощей, волос и т. д. — веществ, состоящих из клетчатки и ее производных. Способность распада целлюлозы при метановом брожении, естественно, приводит к мысли обработки отбросов с решеток в условиях метанового брожения осадка.

Первые наблюдения были поставлены по предложению С. Н. Строганова в 1930 г. на Спасской опытной станции в Москве, где к зрелому осадку опытного метан-танка были прибавлены сначала отбросы с решеток у сливной станции, а потом „сухой“ мусор, вывозимый на свалку. Кроме того в сетке был подвешен в камеру труп кошки. Опыт дал вполне удовлетворительные результаты распада загруженного материала, причем раз-

рушение тканей организма кошки было закончено в четверо суток. В августе месяце 1932 г. по инициативе С. Н. Строганова опыты с обработкой отходов с решеток путем метанового брожения были поставлены на Люберецких полях фильтрации.

Процесс протекал в камере объемом $4,5 \text{ м}^3$, наполненной смесью зрелого осадка из метан-танка (влажности 95,5%) и отходов с решеток.

Было проведено два опыта: первый при $t = 20^\circ \text{Ц}$ и второй благодаря снижению температуры окружающего воздуха (сентябрь) при $t = 7,5^\circ \text{Ц}$. Соотношение между количеством зрелого осадка и отбросами для каждого опыта было различно. Ежедневно происходило тщательное перемешивание смеси.

Каждые 10 дней брались пробы жидкости и осадка для анализа и замерялась температура.

Так как распад целлюлозы по данным Омелянского (1) сопровождается кроме выделения CH_4 (16,5%) образованием CO_2 (43,5%) и значительного количества (50%) летучих жирных кислот: муравьиной, пропионовой и масляной, то при наблюдениях над процессом распада органического вещества отходов определение реакции среды и количества жирных кислот в бродильной жидкости представляло значительный интерес. В наших наблюдениях определение этих ингредиентов сопровождалось также определением содержания двууглекислых солей (буферность жидкости) и азота аммонийного (табл. 52). Клеточные стенки растений, хлопок, бумага—все это преимущественно состоит из клетчатки и ее производных, подвергающихся в настоящем случае распаду, поэтому одним из главных факторов, характеризующих процесс, могло бы служить определение клетчатки. Методика определения ее в исследуемой смеси осадка и отходов была невыяснена, а потому пришлось в процессе работы заняться ее разработкой. Способ Rudolfs'a (2), применяемый Heukelekian'ом в его исследованиях над распадом целлюлозы (3), заключается в обработке испытуемого материала Швейцеровым реактивом и дает лишь количества α — целлюлозы, не затрагивая других полиоз, являющихся промежуточным звеном между собственно целлюлозой и крахмалом. Метод Геннеберга и Штомана (4) позволяет лишь разделить группу безазотистых составных частей на две части: на α -целлюлозу, трудно поддающуюся действию реактивов, и на группу экстрактивных безазотистых веществ, легко изменяющихся реактивами, в которую вместе с растворимыми углеводами (крахмалом и др.) входит много разнообразных безазотистых веществ.

Наконец наиболее подходящим методом определения целлюлозы оказался метод Кизеля-Семигановского (5), принятый Научным институтом удобрения для определения количества клетчатки в торфе. Принцип метода состоит в обработке целлюлозы минеральными кислотами и восстановлении фелинговой жидкости освобожденными альдегидными группами—продуктами гидролиза. С повышением концентрации применяемой кислоты и продолжительности воздействия диссоциация и гидролиз целлюлозы прогрессируют и конечным продуктом обработки является d -глюкоза, определяемая по Бертрану.

Описанный метод и был принят нами для определения клетчатки в смеси зрелого осадка и отходов, так как он позволяет получить более близкие друг к другу результаты (табл. 51) и позволяет выделить отдельно α -целлюлозу и гемицеллюлозу, благодаря чему может быть выяснен

вопрос, какая из целлюлез подвергается распаду в процессе брожения отбросов, и какая часть гемицеллюлезы участвует в этом процессе.

Таблица 51

Сравнение методов определения α -целлюлезы

Название пробы	Метод Кизеля-Семигатовского	Метод Рудольф-са	Метод Геннеберга-Штомана
Зрелый осадок опытного метан-танка . .	9,8% 10,4%	8,9% 10,7%	7,5% 9,66%

Наряду с анализами клетчатки были сделаны определения органического вещества (потери при прокаливании) и жира (по Сокслету) во взятых пробах.

К сожалению не было возможности вести наблюдения над количеством и составом газа, получающегося в результате брожения, в силу чего нельзя подвести баланса веществ, принимающих участие в процессе.

В первом опыте соотношение между числом килограммов загруженных отбросов и числом килограммов сухого вещества осадка составляло 1:7. В полученной смеси содержание воды равнялось 94,8%.

Наблюдения за процессом распада сухого вещества в смеси путем определения процентного содержания его в общей массе жидкости, осадка и отбросов в отдельных пробах содержимого камеры дают некоторое представление о постепенном уменьшении количества сухого вещества смеси вследствие распада.

Таблица 52

	Дата	% воды в смеси	% сух. вещ. в смеси	Примечание
Опыт № 1	4/VIII	94,8	5,2	Смесь осадка и отбросов
	10/VIII	95,3	4,7	
	20/VIII	96 0	4,0	
	5/IX	96,8	3,2	
	Прибавлена новая порция отбросов			
Опыт № 2	10/IX	96,2	3,8	
	20/IX	96,8	3,2	
	5/X	97,2	2,8	

Опыт № 1 мог считаться оконченным через 30 дней, так как содержимое камеры по внешнему виду представляло собою черную почти гомогенную массу без запаха, в которой не было заметно отдельных частей тряпок, преобладавших в загрузочном материале. К имеющейся массе снова было добавлено 64 кг отбросов с содержанием воды в них около 60%. Таким образом во втором опыте соотношение между новой порцией отбросов и осадком составляло 1:5,3. Процесс мог считаться оконченным через

25 дней: при внешнем осмотре выгруженной смеси не было заметно отдельных частей неразрушенных веществ. Черная масса осадка содержала лишь остатки волос, кожуры семян и пр.

Анализы жидкости, которые производились, как было выше упомянуто, каждую декаду в продолжение всего периода наблюдений, констатируют полную стабильность реакции среды и летучих жирных кислот.

Таблица 53

№ опыта	Дата	Температура	pH	Жирные кислоты	Щелочность	Азот аммон.
1	4/VIII	20,0°	7,3	3,0	59,4	285,0
	10/VIII	22,1°	7,0	4,5	59,8	—
	25/VIII	—	6,95	3,8	58,7	—
	5/IX	18,3°	7,1	3,7	53,3	—
2	20/IX	6,3°	7,0	—	58,4	300,4
	29/IX	10,0°	6,95	3,5	55,3	—
	5/X	6,0°	7,0	7,8	59,3	—

Стабильность активной реакции среды исследуемой жидкости объясняется, повидимому, значительной буферностью ее. Отсутствие же накопления жирных кислот свидетельствует об усиленной деятельности микробов метанового брожения осадка, разрушающих образующиеся при распаде целлюлозы кислоты. В настоящее время считается общеизвестным факт распада жирных кислот при нормальном типе брожения осадка в метан-танках [работы Bach'a (6), Sierp'a (7), Королькова (8)]; жизнедеятельность бактерий, вызывающих этот распад, должна рассматриваться как определенный и существенный фактор в нормально идущем процессе метанового брожения осадка. Наличием достаточного количества осадка и следовательно флоры, ведущей распад жирных кислот, мы создаем условия, при которых накопление кислот не имеет места.

Анализы взятых смесей осадка и отбросов с решеток в течение всего периода наблюдений дают до некоторой степени картину процесса распада.

Таблица 54

№ опыта	Дата	Потеря при прокал.	Остаток после прокал.	Жир	Клетчатка		Сумма	Примечание
					α - целлюлоза	Гемиллюлеза		
1	4/VIII	70,4	29,6	5,5	11,3	8,0	19,3	Осадок М—Т
	4/VIII	97,6	2,5	9,5	49,84	15,44	65,28	Отбросы
	10/VIII	79,5	20,55	15,67	19,61	13,4	33,01	Осад. + отбросы
	25/VIII	77,3	22,7	6,94	—	—	—	Данные выражены в проц. при пересчете на абсолютн. сухое вещество
2	5/IX	67,06	32,94	7,8	7,9	5,8	13,7	
	16/IX	68,4	31,6	—	—	—	—	
	5/X	68,25	31,75	5,08	11,46	11,01	22,47	

Так как в распаде отбросов принимает участие лишь органическое вещество материала, то, приняв числа „потери при прокаливании“ за

количество органического вещества, можем получить следующую картину распада целлюлозы, считая от органического вещества смеси.

Таблица 55

№ опыта	Дата	α-целлюлоза	Гемичеселлюлоза	Сумма	Жиры
		в %	от органич. веществ смеси		
1	4/VIII	15,6	11,4	27,0	7,8
	отбросы	51,0	15,8	66,8	9,7
	10/VIII	24,8	16,8	41,6	19,7
	25/VIII	—	—	—	8,9
	5/IX	11,7	10,2	21,9	11,6
Прибавлена новая порция отбросов					
2	5/X	16,8	16,4	33,1	7,4

Пересчитав данные анализов табл. 55 на количество сухого вещества (в килограммах) в имеющемся зрелом осадке и прибавленные отбросы с решеток, получим следующую картину распада отбросов в условиях метанового брожения осадка.

Таблица 56

№ опыта	Дата	Температура в Ц°	кг орг. вещества — отброс. + осадок	% убыли отбросов	Клетч. — отброс. + осадок в кг	% убыли клетчатки	Жиры в кг	% убыли жиров
1	4/VIII	—	154,0	—	52,9	—	12,5	—
	10/VIII	22,1°	152,2	1,2	50,0	5,3	—	—
	25/VIII	—	126,1	18,1	—	—	11,2	10,4
	5/IX	18,3°	91,1	40,9	19,95	62,2	10,6	15,2
2	5/IX	—	116,0 ¹	—	37,5 ¹	—	8,44 ¹	—
	16/IX	10,0°	106,0	8,63	—	—	—	—
	5/X	6,5°	78,0	32,8	25,5	32,0	5,77	31,6

Числа килограммов клетчатки даны из расчета на органическое вещество осадка.

Наступившие холода к сожалению не позволили продолжать наблюдения, но проведенные два опыта сбраживания отбросов уже говорят о положительном решении этого вопроса: из табл. 56 следует, что первый опыт обработки отбросов с решеток путем метанового брожения при температуре 20°Ц дает убыль органического вещества смеси 40,9%, причем на 154 кг органического вещества смеси 52,9 кг, т. е. 34,8% приходится на α-целлюлозу и близко стоящую к ней гемичеселлюлозу. В конце первого наблюдения убыль целлюлозы равна 62,2%. При этом из 91,1 кг оставшегося органического вещества на целлюлозу приходится лишь 19,9 кг (21,8%).

Убыль количества жиров составляет лишь 15,2%. „Жиры“ в данном случае мы называем вещества, экстрагируемые эфиром. Обычно осадок из отстойников², идущий в качестве загрузочного материала для метан-танков Люберецких полей фильтрации, содержит 16—18% экстрагируемых

¹ Начало опыта № 2. Данные по расчету.

² Называемый нами «свежим».

эфиром веществ. В результате распада в зрелом осадке количество жира составляет 5—7%. Более низких цифр содержания „жира“ в зрелом осадке метан-тэнка даже при длительном его хранении в камере, т. е. при брожении „до конца“, не наблюдалось (исследования Е. М. Прейс (9)). В исходном материале смеси осадка и отбросов мы имели цифры порядка, более приближающегося к цифрам зрелого осадка, нежели свежего (табл. 55); следовательно нужно думать, что в данном случае мы имели дело с веществами, либо не подвергающимися распаду либо распадающимися с меньшей скоростью, нежели клетчатка.

При температуре в среднем $7,5^{\circ}\text{C}$ в начале опыта мы имеем почти то же соотношение между количеством имеющегося органического вещества и количеством в нем целлюлозы, равном 32,2%. Но к концу опыта, повидимому, низкая температура сказалась на скорости процесса. Количество убывшего органического вещества упало в 1,2 раза (с 40,9 до 32,8%), причем, сравнивая данные по сбраживанию целлюлозы, получаем уменьшение в 1,9 раза (с 62,2 до 32,9%). Следует отметить, что в конце второго опыта соотношение между количеством органического вещества и содержанием в нем целлюлозы составляло 32%.

Интересно проследить, какая из целлюлез подвергается в главной массе распаду: α -целлюлеза или наиболее легко разрушающаяся химическими реагентами гемицеллюлеза? Пересчет данных табл. 55 и 56 дает следующую картину:

Таблица 57

Дата	Средн. темпер. опыта в $^{\circ}\text{C}$	кг α -целлюл. от орг. веществ. смеси	кг гемицеллюл. от орг. вещества смеси	% убыли α -целлюл.	% убыли гемицеллюл.
4/VIII 5/IX	20,0° —	32,8 10,65	20,04 9,3	67,56	53,6
Добавлено снова 12,65 кг α -целлюл. и 4,9 кг гемицеллюл.					
10/IX 5/X	7,5° —	23,3 12,7	14,2 12,8	— 45,5	— 9,8

В первом опыте при температуре 20° мы видим, что как α -целлюлеза, так и гемицеллюлеза отбросов сбраживались в почти равных количествах, что противоречит предположению Heukelekian'a о распаде лишь α -целлюлозы при разрушении клетчатки в условиях метанового брожения осадка (3). Понижение температуры до $7,5^{\circ}\text{C}$ значительно изменяет картину процесса по сравнению с первым наблюдением: процент сбраживания α -целлюлозы снижается в 1,2 раза (с 58,07 до 45,5%) и совершенно почти не затрагивается гемицеллюлеза (14,2 в начале второго опыта и 12,8 кг в конце его).

В табл. 55 обращают на себя внимание цифры содержания α - и гемицеллюлез в зрелом осадке метан тэнка и в смеси перебродивших отбросов и зрелого осадка в конце наблюдений 5/X. Соотношение между α - и гемицеллюлезой как в зрелом осадке метан-тэнка, так и в пробе смеси после окончания процесса составляет 1:1. Интересен факт подтверждения этого соотношения (1:1) в пробах зрелого осадка, взятых на Люберецких полях фильтрации во время нормальной работы опытного метан-тэнка.

Таблица 58

Название пробы	Дата	α -целлюл. %	Гемичеселлюл. %	Отношение α -к гемичеселлюл.
Зрелый осадок опытного метан-тэнка	21/VIII—1932 г.	11,4	11,6	1:1
	16/XI—1932 г.	9,24	9,55	1:1
Свежий осадок вертикального отстойника	10/VIII—1932 г.	6,9	12,8	1:1,8
	20/XII—1932 г.	10,5	17,8	1:1,7

Согласно табл. 58 отношение между содержанием α - и гемичеселлюлозы в свежем осадке вертикального отстойника составляет 1:1,8 и 1:1,7. Это явление невольно наводит на такую мысль: не может ли служить это соотношение между α - и гемичеселлюлозой критерием степени зрелости осадка? Однако это предположение ввиду малого числа наблюдений нуждается в проверке и может составить предмет дальнейшего исследования.

Полученные результаты сбраживания отбросов с решеток путем метанового брожения осадка к сожалению не могут быть сравнены с работой сооружений биологического распада мусора, т. е. с камерами Беккари, так как до настоящего времени в доступной нам литературе по этому вопросу совершенно нет точных и ясных описаний эксплуатации этих установок с учетом эффективности их работы. По данным Erhard'a и др. (10) в камерах Беккари процессы протекают в течение 25—30 дней, а в некоторых случаях, в местностях с умеренным климатом, длительность процесса доходит до 60 дней. Во время процесса наблюдается чрезвычайно быстро развивающийся подъем температуры до 65—80° Ц. В результате осадок камеры Беккари должен представлять собою черную гомогенную массу, лишенную запаха и идущую для удобрения.

В наших наблюдениях мы не нуждались в течение двух месяцев в выпуске осадка из опытной камеры. По окончании опыта выгруженная гомогенная черная масса легко могла бы быть подсушена на сушильных площадках, и возможность применения полученного осадка в качестве удобрения должна составить предмет дальнейшего исследования, так же как и эксплуатация опытного метан-тэнка, путем сбраживания в нем вместо осадка отстойников отбросов с решеток. Проведенные ориентировочные наблюдения позволяют сделать следующие выводы.

Выводы

1. В процессе распада отбросов одним из главных компонентов брожения их являются α - и гемичеселлюлозы:
 - а) при температуре 20° Ц идет сбраживания как α -, так и гемичеселлюлозы почти в равных соотношениях (58,0 и 53,6%);
 - б) при температуре 7,5° процесс сбраживания идет за счет распада α -целлюлозы (45,5 и 9,8%).
2. Длительность сбраживания отбросов при температуре 20° Ц составляет 30 дней, процент сбраживания равен 63, считая на клетчатку.
3. Понижение температуры опыта до 7,5° отражается на скорости процесса: процент убыли равен 38,8 при длительности наблюдений 25 дней.

ЛИТЕРАТУРА

1. Omelansky, — Die Cellulosegährung, Lafar's Handbuch der Tech. Mycologie, B. III, S. 252 — 57.
 2. Rudolfs, Soil Science, 1927, V. 17, p. 275.
 3. Heukelekians, De omposition of Cellulose in Fresh Sewage Solids „Industrial Engineering Chemistry“, 1927, V. 19, p. 928.
 4. Демьянов, Анализ растительных веществ, Определение клетчатки по Геннебергу и Штоману, Гиз 1923 г., стр. 54.
 5. Кизель-Семигановский, Способ определения клетчатки посредством количественного ее превращения в глюкозу. Труды Хим. фарм. института, 1927, вып. XVIII, стр. 33.
 - 6 и 7. Bach und Sierp, Untersuch. zur Frage der Sumpfgasbildung aus Abwasserklärslamm, „Zentralblatt für Bakteriologie“, II. Art., 10, 1924, p. 318 — 328.
 8. Корольков К. Н., Распад осадка сточной жидкости в анаэробных условиях, Труды Совещания по очистке сточных вод, вып. VIII, 1926 г., стр. 29.
 9. Прейс Е. М., Химизм метанового брожения осадка. Из неопубликованных трудов лаборатории Люберецких полей фильтрации.
 10. Erhard, Die Italienischen Mül.vergärungsverfahren, „Zeitschrift für Gesundheitstechnik und Städte hygiene“, 1932, Ausg. № 3/4, S. 107.
-

Определение органического вещества в сточных и очищенных водах

(из лаборатории Люберецких полей фильтрации)

Количество кислорода, идущее на окисление органического вещества содержащегося в сточной жидкости, величина, необходимая для расчета очистных сооружений и эксплуатации их.

Для оценки содержания органического вещества в сточной и очищенной водах применяется несколько методов, из которых наиболее употребительны в лабораториях СССР следующие:

1. Определение „биохимической потребности в кислороде“ методом избыточного разбавления или путем вычисления БПК в кислороде по относительной стойкости.

2. Определение окисляемости по Кубелю.

На основании заграничных литературных данных и исследований Н. А. Базякиной известно, что процесс окисления сточной жидкости идет по закону мономолекулярной реакции. Скорость биохимического окисления прямо пропорциональна концентрации восстанавливающих веществ; с уменьшением содержания органических веществ она непрерывно уменьшается и требует большого времени, чтобы дойти до нуля. По данным Phelps'a при температуре в 20°C константа скорости потребления кислорода равна 0,1, т. е. время, за которое успевает покрыться 99% всей потребности в кислороде, равно 20 суткам.

Биохимическая потребность в кислороде вычисляется по американской таблице, в основу которой положена константа скорости, равная 0,1. Процесс окисления московской городской сточной жидкости идет с большей скоростью и поэтому вычисление общей биохимической потребности с $K = 0,1$ может дать очень значительную ошибку. Определять же для каждой пробы константу скорости, для чего требуется целая серия определений, очень громоздко и затруднительно. Ошибка расчета будет тем меньше, чем больше срок инкубации. В практике принят срок инкубации в пять суток. Период в пять суток, а также неточность результатов, получаемых по этому методу вследствие меняющейся константы, являются серьезными недостатками этого способа.

Относительная стойкость есть отношение в процентах наличного содержания растворенного в воде кислорода и кислорода нитратов и нитритов к потребности в нем.

Определение стойкости (проба на загниваемость) основано на том, что метиленовая синька, прибавляемая в определенном количестве к исследуемой

жидкости, сохраняющейся в определенных температурных условиях, обеспечивается в начале загнивания.

Для вычисления стойкости употребляется та же американская таблица, по которой вычисляется БПК, в основу которой положена $K = 0,1$.

Зная стойкость, можно вычислить БПК по формуле:

$$S = \frac{0 \cdot 100}{D}, \quad (1)$$

где S — стойкость в процентах,

O — запас кислорода растворенного, нитратного и нитритного;

D — БПК.

Из уравнения (1) получаем:

$$D = \frac{0 \cdot 100}{S}. \quad (2)$$

По исследованиям Н. А. Базякиной совпадающие верные числа для биохимической потребности в кислороде, определенной двумя методами: 1) способом избыточного разбавления и 2) способом с метиленовой синькой, будут получаться для воды в том случае, когда константа скорости потребления кислорода равна 0,1.

Определение окисляемости основано на редуцирующей способности органических веществ по отношению к химическим окислителям.

В качестве окислителей чаще всего употребляется перманганат калия, реже иод и бихромат калия.

Количество кислорода, идущее на окисление органических веществ при определении окисляемости, отличается от того, которое затрачивается при биохимическом окислении, потому что в случае применения химического окислителя меняется направление реакции, меняются продукты реакции, окисляются вещества, которые не поддаются биологическому окислению, и, наоборот, останавливаются на промежуточных степенях окисления те окислительные процессы, которые биологически протекают с образованием высших степеней окисления.

Задачей настоящего исследования является сравнительная оценка методов (БПК методом разбавления с применением для вычисления $K = 0,1$ и собственной константы или путем пересчета по относительной стойкости и окисляемости по Кубелю), применяемых для определения количества кислорода, необходимого для окисления органического вещества, содержащегося в сточной и очищенной водах, а также изыскание нового способа, который был бы технически легко и быстро выполняем и давал результаты, совпадающие с БПК, или же устойчивый коэффициент пересчета.

В иностранной литературе мы встречаем применение бихромата калия в качестве окислителя органических веществ сточной жидкости и жидкости, находящейся на различных ступенях очистки (метод Abbott и Adeney¹), и сопоставление бихроматной окисляемости с БПК².

Метод Аббота нами был испытан еще в 1929 г. В настоящей работе этот метод применялся в том же виде, как в 1929 г., с изменениями, заключающимися в следующем:

¹ „Ind Eng. Chem.“, 1927 г., стр. 919.

² Попова Е. С., Бихромат калия для определения окисляемости московской сточной жидкости. Юбилейный сборник, посвященный 25-летию Совещания по очистке сточных вод, стр. 133; «Труды Совещания по очистке сточных вод», вып. XII, М. 1930 г.

1) для каждой пробы одновременно ставился контрольный опыт с реактивами, употребляемыми для окисления органического вещества, но без прибавления исследуемой жидкости;

2) избыток бихромата калия определялся только одним способом, состоящем в следующем: к окисленной жидкости, содержащей избыток бихромата калия, прибавлялся раствор иодистого калия и выделившийся иод оттитровывался серноватисто-кислым натрием в присутствии крахмала в качестве индикатора.

Понижение титра бихромата калия в контрольной пробе для каждого опыта и для двух параллельных определений одного и того же опыта неодинаково. Объясняется это тем, что при нагревании бихромата калия с крепкой серной кислотой вероятно происходит разрушение бихромата, а так как выпаривание производилось приблизительно до 0,7 и 1 см³, то в зависимости от концентрации раствора $K_2Cr_2O_7$ и H_2SO_4 и времени нагревания происходит разрушение разного количества бихромата.

Разбавление окисленной жидкости, содержащей избыток бихромата калия, а также и контрольной пробы производилось дистиллированной водой приблизительно в пробах № 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, а в пробах № 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 до 200 см³. Вследствие одинакового разбавления мы стали получать в контрольной пробе более постоянный расход бихромата калия, но только в параллельных пробах для одного и того же опыта, а для следующего опыта этот расход был другой.

Одновременно для тех же проб ставилось определение окисляемости по Кубелю, БПК с определением собственной константы и БПК с применением $K = 0,1$ (табл. 59).

Таблица 59

Результаты биохимического и химического окисления в сточной жидкости

Название пробы	Дата	№ проб	БПК с собственной K	БПК с $K=0,1$	K	Окисляем. по Абботу	Окисляем. по Кубелю	Время в сутках, через которое определ. раствор O_2	Отметка о начале нитрифик.
Сточная жидкость	7—8/IV	1	271	491	0,35	267	97,7	1—2—5	—
	26—27/V	2	230	490	0,46	253	81,6	1—2—5	Через 1 сут.
	7—8/VIII	3	235	421	0,26	171	65,6	1—2—5	" 1 "
	25—26/VII	4	207	340	0,35	179	54,5	1—2—5	" 1 "
	7—8/VIII	5	212	319	0,30	155	51,8	1—2—5	
	26—27/VIII	6	286	286	0,10	172	64,8	2—4—5	
	26—27/VIII	7	254	256	0,11	224	64,0	2—4—5	
	4—5/XI	8	256	320	0,20	212	82,6	2—4—5	
	4—5/XI	9	317	408	0,19	269	108,5	2—4—5	
	11/XI	10	308	456	0,16	220	88,4	2—4—5	
	11/XI	11	276	438	0,29	212	82,3	2—4—5	
	8—9/X	12	263	394	0,36	216	95,2	2—4—5	
	8—9/X	13	276	355	0,20	216	95,2	2—4—5	
	26—27/X	14	297	467	0,34	245	89,1	2—4—5	Через 1 сут.
	15/X	15	293	453	0,26	245	89,1	—	

В табл. 59 сведены наблюдения по окислению сточной жидкости биохимическим и химическим методами в хронологическом порядке и с обозначением номера каждой пробы. В последующих таблицах дата наблюдения

не ставится, а обозначается номер пробы, по которому можно получить из табл. 59 более подробные данные, относящиеся к рассматриваемой пробе.

В качестве объектов употреблялась сточная жидкость, освобожденная от грубых взвешенных веществ путем двухчасового отстаивания в конусе Имгофа или в аппарате Лисенко, а также речная (Пехорка) и дренажная (устье 1-й канавы) воды после получасового отстаивания в простой склянке.

Небольшая р. Пехорка до Люберецких полей фильтрации имеет расход около 40 000 м³/сутки. На своем пути в районе полей фильтрации она принимает значительный сток дренажных вод около 99 000 м³/сутки и приток (р. Черновку) с расходом воды, равным р. Пехорке выше полей фильтрации. Таким образом ниже полей фильтрации р. Пехорка имеет расход воды около 185 000 м³/сутки.

Из этого видно, что состав воды в этой реке очень сильно зависит от состава дренажной воды, а также вообще от стока с Люберецких полей фильтрации. Пробы брались ниже полей фильтрации в пункте у Арзамасского моста.

Пробы брались из первой канавы, одной из самых мощных на люберецких полях фильтрации по расходу воды. Расход воды в этой канаве около 74 000 м³/сутки.

Вода как в р. Пехорке у Арзамасского моста, так и в устье первой канавы на вид желтого цвета благодаря содержанию большого количества железа и других примесей.

Определение БПК с вычислением константы выходит очень громоздким, потому что пришлось определять растворенный кислород в пробе исследуемой воды и в разбавляющей воде в начале опыта, затем через 1—2—5 или через 2—4—5 суток, а для получения более полного материала при вычислении константы желательно определять поглощение растворенного кислорода еще большее количество раз и кроме того отмечать начало нитрификации.

В разбавляющей воде часто содержались небольшие количества нитратов и нитритов и через сутки наблюдалось увеличение количества их. В этих случаях кислород видимо расходуется одновременно и на биохимическое окисление органических веществ и на нитрификацию.

В пробах № 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 и 11 для разбавления исследуемой жидкости употреблялась водопроводная вода, которая аэрировалась в продолжение суток и стояла в термостате при 20° в течение двух недель, но так как водопроводная вода в усадьбе Некрасовка содержит много примесей (главным образом железа, аммонийных солей, хлоридов и т. д.), то процессы окисления этой воды идут медленно и в ней содержатся нитраты и нитриты.

Для устранения этого неблагоприятного явления в пробах № 13 и 15 для разбавления употреблялась специально приготовленная для этой цели дистиллированная вода. Те же пробы сточной жидкости, обозначенные в табл. 70 и 72, разбавлялись водопроводной водой и сравнивались результаты БПК сточной жидкости при употреблении для разбавления дистиллированной воды и водопроводной.

Приготовление дистиллированной воды для разбавления¹ исследуемой

¹ Mohlman F. E. ad Swope G. 1928, The use of buffers in BOD dilution water Indus. and Engin. Chem., 19 p., 342.

жидкости заключалось в том, что в 1 л дистиллированной воды растворялось 0,5 г NaHCO_3 для создания буферности, после чего она аэрировалась в течение получаса и ставилась в термостат при 20° на 15 дней. При разбавлении сточной жидкости водопроводной водой были обнаружены нитраты в начале опыта, при употреблении для этой цели дистиллированной воды нитратов совершенно не было с начала опыта до конца, а небольшое количество нитритов появилось на вторые сутки и количество их увеличилось только через 5 суток.

Таблица 60
Влияние разбавляющей воды на величину K и БПК

№ проб	Вода, употребляемая для разбавления	K	БПК с собственной K
12	Водопроводная . .	0,36	263
13	Дистиллированная	0,20	276
14	Водопроводная . .	0,34	297
15	Дистиллированная	0,20	292

Величина БПК очень мало изменяется от применения для разбавления водопроводной воды или дистиллированной, а скорость процесса уменьшается при разбавлении дистиллированной водой, что видно из табл. 60.

Таблица 61
Сравнение БПК с $K=0,1$ и БПК с собственной K

№ проб	БПК с $K=0,1$	БПК с собственной K	Собственная K	%-ное отношение БПК с собственной K к БПК с $K=0,1$
7	256	254	0,11	99
6	286	286	0,10	100
5	19	212	0,30	66
8	320	256	0,20	80
4	340	207	0,35	60
13	355	276	0,20	77
12	394	263	0,36	66
9	408	317	0,19	77
3	421	235	0,26	55
11	438	276	0,29	63
15	453	293	0,26	64
10	456	308	0,16	67
14	467	297	0,34	63
2	490	230	0,46	47
1	491	271	0,35	55
сред. 0,26				средн. 69

Табл. 61 показывает, что величина константы скорости потребления растворенного кислорода имеет значительные колебания; в 13 из 15 определений она выше 0,1 и в среднем равна 0,26, поэтому БПК, вычисляемая на практике с константой 0,1, дает числа, сильно преувеличенные сравнительно с действительными. Если БПК с $K = 0,1$ принять за 100%, то БПК с собственной константой K составит в среднем 69% и в отдельных опытах 47%, т. е. БПК с $K = 0,1$ больше БПК с собственной константой в среднем на 31%, а в отдельных наблюдениях на 53%.

При сравнении результатов БПК с $K = 0,1$ с окисляемостью по Абботу мы получаем, что окисляемость по Абботу составляет в среднем 56% к БПК с $K = 0,1$, т. е. окисляемость по Абботу дает числа на 44% ниже, причем средняя величина выводится из чисел с большими колебаниями.

Таблица 62

Сравнение результатов БПК с $K = 0,1$, с окисляемостью по Абботу

№ проб	БПК с $K = 0,1$	Окисляемость по Абботу	%-ное отношение окисляемости по Абботу к БПК с $K = 0,1$
7	256	224	87
6	286	172	60
5	319	155	48
8	320	212	66
4	340	179	52
13	355	216	60
12	394	216	54
9	408	269	65
3	421	171	40
11	438	212	48
15	453	245	54
10	456	220	48
14	467	245	52
2	490	253	51
1	491	267	54
			средн 56

Таблица 63

Сравнение результатов БПК с $K = 0,1$ с окисляемостью по Кубелю

№ проб	БПК с $K = 0,1$	Окисляемость по Кубелю	%-ное отношение окисляемости по Кубелю к БПК с $K = 0,1$
7	256	64,0	25
6	286	64,8	22
5	319	51,8	16
8	320	82,6	25
4	240	54,5	16
13	355	95,2	26
12	394	95,2	24
9	408	108,5	26
3	421	65,6	16
11	438	82,3	18
15	453	89,1	19
10	456	88,4	19
14	467	89,1	19
2	490	81,6	17
1	491	97,7	20

Из табл. 63 видно, что процентное отношение окисляемости по Кубелю к БПК с $K = 0,1$ можно разделить на две части. В первой из них (пробы № 6, 7, 8, 9, 12, 13) БПК с $K = 0,1$ равна 256 — 408, а окисляемость по Кубелю дает числа выше 20% к БПК с $K = 0,1$. Во второй (пробы № 1, 2, 3, 10, 11, 14, 15) БПК возрастает с 408 до 491, а окисляемость по Кубелю дает числа не больше 20% к БПК с $K = 0,1$, поэтому вывести из всех этих процентных отношений среднее не представляется возможным.

Если сравнивать результаты БПК с собственной константой с БПК с $K = 0,1$, принимая БПК с собственной константой за 100%, то получаем очень значительные колебания процентных отношений в отдельных опытах, из которых почти невозможно вывести среднее. Таким образом табл. 61, 62, 63 и 64, в которых приведены результаты сравнения БПК с $K = 0,1$ с БПК с собственной константой и с окисляемостью по Абботу и по Кубелю, не дают приемлемых результатов, потому что величина БПК с $K = 0,1$, с которой сравниваются все остальные, очень далека от действительной

вследствие того, что константа скорости в большинстве случаев не есть, 0,1. Между тем метод определения БПК с $K = 0,1$ дает результаты не раньше, чем через 5 суток, что представляет большие неудобства, когда надо быстро дать оценку количества органических веществ, содержащихся в сточной жидкости.

Таблица 64

Сравнение результатов БПК с собственной K с БПК с $K=0,1$

№ проб	БПК с собственной K	K	БПК с $K=0,1$	0/о-ное отношение БПК с $K=0,1$ к БПК с собственной K
4	207	0,35	340	163
5	212	0,30	319	150
2	230	0,46	490	213
3	235	0,26	421	179
7	254	0,11	256	100
8	256	0,20	320	125
12	263	0,36	394	149
1	271	0,35	491	181
11	276	0,29	438	158
13	276	0,20	355	128
6	286	0,10	286	100
15	293	0,26	453	154
14	297	0,34	467	157
10	308	0,16	456	148
9	317	0,19	408	128

Таблица 65

Сравнение результатов БПК с собственной K с окисляемостью по Абботу

№ проб	БПК с собственной K	Окисляемость по А	0/о-ное отношение окисляемости по А к БПК с собственной K
4	207	179	86
5	212	155	73
2	230	253	110
3	235	171	72
7	254	224	88
8	256	212	82
12	263	216	82
1	271	267	98
11	276	212	76
13	276	216	78
6	286	172	60
15	293	245	84
14	297	245	83
10	308	220	71
9	317	269	84

средн. 82

Табл. 65 показывает, что окисляемость по Абботу дает числа, которые в среднем составляют 82% к БПК с собственной константой, причем если исключить две пробы № 2 и 6, дающие наибольшие отклонения от среднего, то получаем довольно постоянный коэффициент пересчета, т. е. окисляемость по Абботу составляет $\frac{4}{5}$ БПК с собственной константой.

Окисляемость по Кубелю составляет в среднем 30% к БПК с собственной константой, тогда как окисляемость по Абботу в среднем дает 82%, а так как и то и другое среднее выводятся из чисел с отклонениями в ту или другую сторону, то, применяя второй коэффициент пересчета, т. е. 82% от окисляемости по Абботу к БПК с собственной константой, мы допустим меньший процент ошибки, чем применяя второй—большой коэффициент пересчета, т. е. 30% от окисляемости по Кубелю к БПК с собственной константой.

Если сравнивать результаты БПК с собственной константой с пятисуточным потреблением растворенного кислорода, то видим, что там, где константа не выше 0,2, пятисуточное потребление дает числа, меньшие 100% по отношению к БПК с собственной константой за исключением одного опыта № 10, в котором пятисуточное потребление равно 100% к БПК с собственной константой, хотя константа равна 0,16; во всех остальных опытах, где константа скорости выше 0,2, потребление растворенного кислорода за 5 суток дает числа или равные или более высокие, чем БПК с соб-

Таблица 66

Сравнение результатов БПК с собственной К с окисляемостью по Кубелю

№ проб	БПК с собственной К	Окисляемость по Кубелю	‰-ное отношение окисляем. по Кубелю к БПК с собственной К
4	207	54,5	26
5	212	51,8	24
2	230	81,6	35
3	235	65,6	28
7	254	64,0	25
8	256	82,6	32
12	263	95,2	36
1	271	97,7	36
11	276	82,3	29
13	276	95,2	39
6	286	64,8	22
15	293	89,1	30
14	297	89,1	30
10	308	88,4	28
9	317	108,5	34
			средн. 30

Таблица 67

Сравнение результатов БПК с собственной К с 5-суточным поглощением растворенного кислорода

№ проб	БПК с собственной К	5-уточн. поглощ. раствор. кислорода	‰-ное отношение 5-сут. чн. потребл. к БПК с собственной К	К	Отметка о начале нитрификации
4	207	231	111	0,35	Через
5	212	217	102	0,30	сутки
2	230	332	144	0,46	—
3	235	286	121	0,26	Через
7	254	174	68	0,11	сутки
8	256	218	85	0,20	
12	263	268	101	0,36	
1	271	334	123	0,35	
11	276	298	107	0,29	
13	276	242	87	0,20	
6	286	195	68	0,10	
15	293	308	105	0,26	Через
14	297	318	107	0,34	сутки
10	308	310	100	0,16	
9	317	278	87	0,19	

ственной константой. В пробах № 2, 3, 4, 14 и 15 мы имеем высокие константы скорости потребления растворенного кислорода, и в этих же пробах обнаружено начало нитрификации через сутки. Очевидно, высокие константы мы получаем там, где первая фаза процесса (окисление органического вещества) идет совместно со второй (нитрификация), начиная через сутки после инкубации, и поэтому в этих случаях пятисуточное потребление или равно общей БПК с собственной константой или выше ее.

Окисляемость по Кубелю составляет в среднем 37% по отношению к окисляемости по Абботу.

Пользуясь этим процентным отношением, можно, имея окисляемость по Кубелю, вычислять окисляемость по Абботу, что может быть использовано во всех случаях, когда определение окисляемости по Абботу нельзя применить по техническим условиям.

Несколько другую картину в смысле коэффициента пересчета мы получаем при сравнении результатов определения органического вещества в речной и дренажной воде методом определения окисляемости по Кубелю, по Абботу и опре-

Таблица 68

Сравнение результатов окисляемости по Абботу и по Кубелю

№ проб	Окисляемость по Абботу	Окисляемость по Кубелю	‰-ное отношение окисляемости по Кубелю к окисляемости по Абботу
5	155	51,8	33
3	171	65,6	38
6	172	64,8	37
4	179	54,5	30
8	212	82,6	38
11	212	82,3	38
12	216	95,2	44
13	216	95,2	44
10	220	88,4	40
7	224	64,0	28
14	245	89,1	39
15	245	89,1	39
2	253	81,6	32
1	267	97,7	36
9	269	108,5	40
			средн. 37

деления БПК с применением для вычисления собственной константы и $K = 0,1$ (табл. 69).

Таблица 69

Результаты биохимического и химического окисления органических веществ в речной и дренажной воде

Название проб	Дата	БПК с собст- вен- ной K	БПК с $K=0,1$	K	Окис- ляем по Аббо- ту	Окис- ляем по Ку- белю	Время в сутках, через ко- тор. оп- редел. ра. тв. O_2	Отметка о нитрифика- ции	№ проб
. Пехорка . .	2/VIII	4,3	12,0	0,45	42	13,4	1—2—5	Через 1 сут.	1
1 канава устье	2/VIII	7,3	19,7	0,59	39	19,6	1—2—5	"	2
Р. Пехорка . .	21/VIII	5,2	5,6	0,14	44	11,4	2—4—5	—	3
1 канава устье	21/VIII	4,5	4,5	0,10	53	20,1	2—4—5	—	4

В табл. 69 сведены данные, полученные по окислению органического вещества, содержащегося в речной и дренажной водах, биохимическим и химическим способом в хронологическом порядке с обозначением номера каждой пробы, причем в последующих таблицах характеристика воды указывается номером пробы.

Таблица 70

Сравнение результатов БПК с $K = 0,1$ и БПК с собственной K в речной и дренажных водах

№ проб	БПК с $K = 0,1$	БПК с собствен- ной K	K	%-ное отно- шение БПК с собствен- ной K к БПК с $K = 0,1$
4	4,5	4,5	0,10	100
3	5,6	5,2	0,14	93
1	12,7	4,3	0,45	36
2	19,7	7,3	0,59	37

На табл. 70 обращают на себя внимание пробы № 1 и 2 с очень высокими константами скорости потребления растворенного кислорода. В этих пробах нитриты и нитраты были с самого начала опыта, и, очевидно, за счет быстро идущей нитрификации мы получаем такие высокие константы и большое расхождение в числах БПК с собственной константой и с $K = 0,1$. Процентное отношение БПК с собственной константой к БПК с $K = 0,1$ в этих пробах почти одинаково, но числа БПК с собственной константой составляют в среднем только 36,5% по отношению к БПК с $K = 0,1$.

Что касается двух других проб № 3 и 4, в которых константы скорости ниже, чем в двух предыдущих, мы имеем близкое процентное отношение БПК с собственной константой к БПК с $K = 0,1$.

Таблица 71

Сравнение результатов БПК с $K=0,1$ и окисляемости по Абботу

№ проб	БПК с $K = 0,1$	Окисляемость по Абботу	%-ное отношение окисляемости по А к БПК с $K=0,1$
4	4,5	53	1177
3	5,6	44	785
1	12,0	42	350
2	19,7	39	198

Таблица 72

Сравнение результатов БПК с $K=0,1$ и окисляемости по Кубелю

№ проб	БПК с $K = 0,1$	Окисляемость по Кубелю	%-ное отношение окисляемости по Кубелю к БПК с $K=0,1$
4	4,5	20,1	446
3	5,6	11,4	203
1	12,0	13,4	111
2	19,7	19,6	99

Таблица 73

Сравнение результатов БПК с собственной K и с $K = 0,1$

№ проб	БПК с собственной K	K	БПК с $K = 0,1$	%-ное отношение БПК с $K = 0,1$ к БПК с собственной константой
1	4,3	0,45	12,0	279
4	4,5	0,10	4,5	100
3	5,2	0,14	5,6	107
2	7,3	0,59	19,7	270

Сравнивая БПК с $K = 0,1$ с окисляемостью по Абботу и окисляемостью по Кубелю, мы видим, что числа окисляемости по Абботу приблизительно раз в 10 выше БПК, а числа окисляемости по Кубелю занимают промежуточное положение между БПК и окисляемостью по Абботу. Объяснить такое явление можно тем, что при биохимическом окислении идет разрушение нестойких органических соединений, а в хорошо очищенной воде остаются только прочные органические соединения (гуминовые вещества и др.), которые не поддаются биологическому окислению, разрушение их происходит при химическом окислении.

Окисляемость по Кубелю дает числа ниже, чем по Абботу, потому что по Абботу идет более энергичное окисление с концентрированной серной кислотой при температуре водяной бани в течение большего времени, чем при определении окисляемости по Кубелю (табл. 71 и 72).

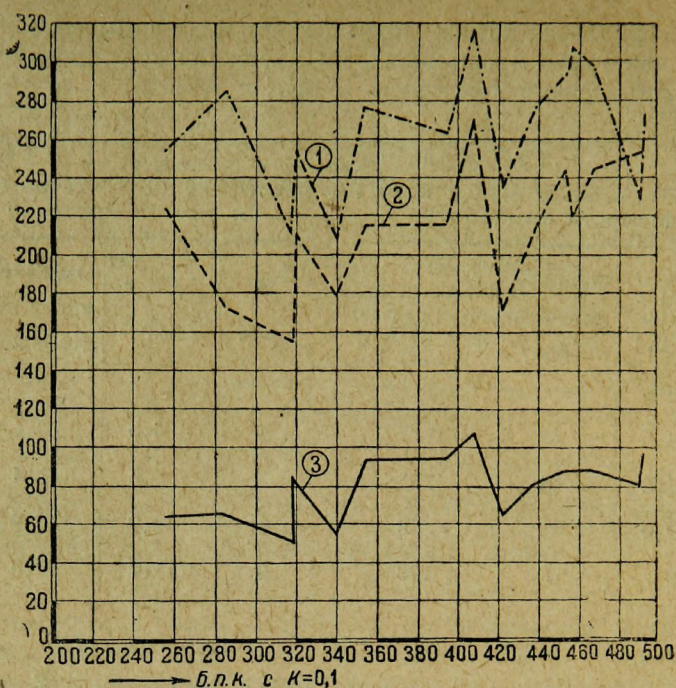


Рис. 49. Сравнительное определение в сточной жидкости: 1—БПК с собственной K , 2—окисляемости по Абботу и 3—окисляемости по Кубелю с БПК с $K=0,1$, нанесенной на абсциссу.

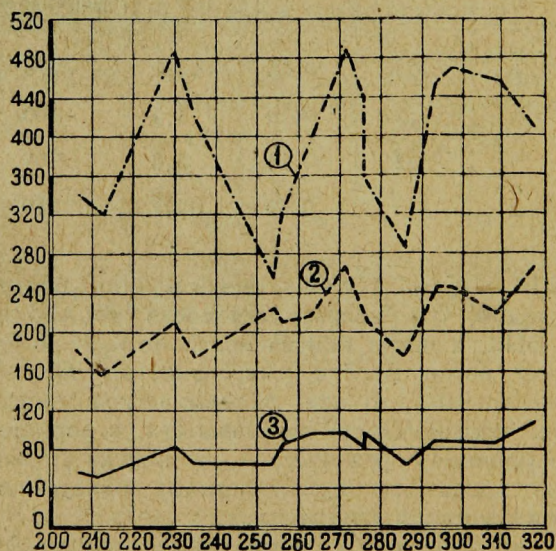


Рис. 50. Сравнительное определение в сточной жидкости: 1—БПК с $K=0,1$, 2—окисляемости по Абботу, 3—окисляемости по Кубелю с БПК с собственной константой, нанесенной на абсциссу.

Если сравнивать результаты определения БПК с собственной константой с БПК с $K = 0,1$ с окисляемостью по Абботу и по Кубелю, то мы не получаем сопоставляемых отношений, очевидно, потому, что реакции окисления органического вещества при химическом и биохимическом способах идут в разных направлениях и с разной интенсивностью (табл. 73, 74, 75 и 76).

При сравнении результатов химического окисления по Абботу и по Кубелю получаем более близкое процентное отношение, но так как экспериментальный материал небольшой, то трудно сделать определенный вывод (табл. 77).

Таблица 74

Сравнение результатов БПК с собственной K и окисляемости по Абботу

№ проб	БПК с собственной K	Окисляемость по Абботу	%-ное отношение окисляемости по Абботу к БПК с собственной K
1	4,3	42	976
4	4,5	53	1177
3	5,2	44	846
2	7,3	39	534

Таблица 75

Сравнение результатов БПК с собственной константой и окисляемости по Кубелю

№ проб	БПК с собственной K	Окисляемость по Кубелю	%-ное отношение окисляемости по Кубелю к БПК с собственной K
1	4,3	13,4	311
4	4,5	20,1	446
3	5,2	11,4	219
2	7,3	19,6	268

Таблица 76

Сравнение результатов БПК с собственной K и 5-суточным поглощением растворенного кислорода

№ проб	БПК с собственной K	5-суточн. поглощен. раствор. кислорода	%-ное отношение 5-суточного поглощения O_2 к БПК с собственной K
1	4,3	8,2	190
4	4,5	3,1	69
3	5,2	3,8	73
2	7,3	13,4	183

Таблица 77

Сравнение результатов окисляемости по Абботу и по Кубелю

№ проб	Окисляемость по Абботу	Окисляемость по Кубелю	%-ное отношение окисляемости по Кубелю к окисляемости по Абботу
2	39	19,6	50
1	42	13,4	32
3	44	11,4	26
4	53	20,1	38

На основании экспериментально полученного материала мы можем сделать следующие выводы.

1. Определение БПК сточной жидкости методом избыточного разбавления с применением константы скорости 0,1 неприемлемо, так как приводит к результатам, сильно преувеличенным сравнительно с действительными вследствие меняющейся константы.

2. Определение БПК с собственной константой желательно, но технически трудно выполнимо, особенно в повседневных контрольных анализах.

3. Окисляемость по Абботу — метод, технически значительно легче и быстрее выполнимый, чем БПК, и дает результаты, составляющие в среднем 82 % по отношению к БПК с собственной константой.

4. Окисляемость по Кубелю — метод, технически легче и быстрее выполнимый, чем окисляемость по Абботу, и дает результаты, составляющие в среднем только 30 % по отношению к БПК с собственной константой.

5. Метод определения окисляемости по Абботу и по Кубелю желательно применять для определения органического вещества в сточной жидкости, но предпочтительнее метод определения окисляемости по Абботу, потому что дает меньший коэффициент пересчета, чем окисляемость по Кубелю, а там, где меньший коэффициент пересчета, меньше процент ошибки.

6. Для оценки количества органических веществ в водах речной и дренажной, имеющих очень незначительную БПК, определения окисляемости по Абботу, по Кубелю и БПК не дают сопоставляемых друг с другом результатов и поэтому сказать трудно, какой метод дает результаты, более близкие к действительным.

Технически же легче выполнимо определение по Кубелю. Поэтому для речной и дренажной воды целесообразнее пока сохранить метод Кубеля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ind. Eng. Chem., 1927, стр. 919.
2. Scientific Proceedings of the Royal Dublin Society, 1926, стр. 199.
3. Ind. Eng. Chem., 1928, стр. 406.
4. Mohlman F. E. and Iwope G. 1928, The use of buffers in B. O. D. dilution Water., „Indus. and. Chem.“, 19; 242.
5. Е. С. Попова, Бихромат калия для определения окисляемости моск. сточной жидкости. Юбил. сбор., посвящ. 25-летию совещания по очистке сточных вод, стр. 133. „Тр. Сов. по оч. ст. вод“, вып. XII, М. 1930 г.

Окислительно-восстановительный потенциал как контрольный метод при очистке сточных вод

Введение

Окислительные процессы, а также процессы брожения играют самую существенную роль при биологической очистке сточной жидкости. Поэтому изучение окислительно-восстановительных свойств сточной жидкости и изменения этих свойств с ходом очистки важны не только для понимания биохимизма очистки, но также и для расчета и контроля за очистными сооружениями.

В этих случаях нельзя ограничиться учетом только общего количества кислорода или другого окислителя, участвующего в процессе, которые определяются обычными методами химического анализа (содержание кислорода, окисляемость и т. д.), но необходимо знать также и восстановительное или окислительное напряжение в данной среде, т. е. кроме фактора „емкости“ учитывать также и фактор „интенсивности“.

Попытки подойти к характеристике сточной жидкости с этой стороны можно усматривать в том, что за последнее время в практику санитарного анализа введены такие понятия как „стойкость“, которую нужно рассматривать как „процентное отношение общего количества кислорода, находящегося в жидкости (в растворенном или химически связанном виде) и способного участвовать в биохимических процессах, иначе сказать, отношение потенциально активного кислорода к тому количеству его, которое необходимо для полного биохимического окисления данной жидкости“, (Базякина) и „биохимическая потребность в кислороде“, по которой можно судить о восстановительных свойствах жидкости, так как конечно чем больше биохимическая потребность в кислороде данной среды, тем сильнее и ее восстановительные свойства.

За последние 10—15 лет благодаря работам Кларка и других исследователей в практику биологических исследований введены методы точного определения окислительно-восстановительных свойств водной среды с помощью окислительно-восстановительного потенциала и им же выдвинуто значение факторов „емкости“ и „интенсивности“ при изучении биологических окислительных процессов.

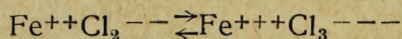
Таким образом очередной задачей при изучении восстановительных свойств сточной жидкости и тех процессов, которые имеют место при ее очистке, явилось изучение окислительного потенциала, тем более, что в настоящее время под окислением понимается не только присоединение кислорода или отнятие водорода, но также и всякая потеря окисляемым атомом электронов.

Задачей настоящего предварительного исследования в этом направлении было: 1) выяснить, с какими величинами окислительно-восстановительного потенциала придется иметь дело при исследовании сточной жидкости и как эти величины изменяются при ее очистке; 2) сопоставить полученные данные с данными обычного санитарного анализа. Целью последних наблюдений являлось выяснение возможности применения этого метода при контроле за очистными сооружениями, так как определения окислительно-восстановительного потенциала (в особенности электрометрическим методом) отличаются своей простотой и доступностью и кроме того при их применении не приходится вводить в исследуемую жидкость никаких посторонних веществ, что дает возможность судить об истинном окислительном или восстановительном напряжении данной среды. В то же время приемы обычного химического анализа очень часто отличаются своей громоздкостью, причем в процессе анализа приходится почти всегда вводить те или иные вещества (или например разбавления при определении биохимической потребности в кислороде), что заставляет иногда с некоторой осторожностью делать те или иные выводы.

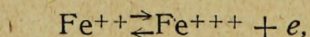
В настоящей работе нет возможности подробно останавливаться на теории окислительно-восстановительного потенциала, тем более, что с этой стороны вопрос хорошо освещен в статье Некрасова, а также ряд теоретических замечаний можно найти в работах Кузнецова¹ и Ремизова, не говоря уже о многочисленных работах иностранных авторов, из которых монография Михаэлиса имеется в настоящее время в переводе на русский язык. Но все же основные понятия из теории окислительно-восстановительного потенциала здесь будут предварительно изложены.

Теория и методика исследования окислительно-восстановительного потенциала

Согласно современным воззрениям всякий окислительный процесс связан с отдачей электронов, а процесс восстановления — с присоединением электронов. Возьмем обычную химическую реакцию, например переход закисного железа в окисное:

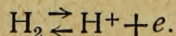


В этом случае закисное железо, окисляясь, получает вместо двух три положительных заряда и следовательно теряет один электрон. Обратно, при переходе окисного железа в закисное железо получает вместо трех два положительных заряда и следовательно приобретает один электрон. Для железа можно написать следующую формулу:



где e — электрон.

С этой точки зрения переход молекулярного водорода в ионизированный является также процессом окисления, так как при этом водород теряет один электрон:



¹ См. список русской и иностранной литературы в конце статьи.

Следовательно каждый окислительно-восстановительный процесс сопровождается перемещением электронов.

При погружении электрода из индифферентного металла (платины, золота и др.) в раствор сильного восстановителя, например в раствор с избытком солей закиси железа, такой раствор будет стремиться выделять большое количество электронов, которые, ударяясь о платиновую пластинку, будут заряжать ее отрицательно. Наоборот, в растворе с окислительными свойствами, например в растворе с преобладанием солей окиси железа, та же платиновая пластинка будет заряжена положительно, так как такой раствор будет стремиться отнимать электроны у пластинки.

Таким образом заряд, который получает при этом платиновая пластинка, не зависит от свойства металла, из которого она сделана, а определяется исключительно свойствами данного раствора. Тот потенциал, который при этом образуется, и называется окислительно-восстановительным потенциалом или просто потенциалом данного раствора (H. Plotz et Z. Geloso 4). Потенциал отдельного электрода измерить нельзя, а поэтому измеряется разность потенциалов по отношению к какому-либо другому электроду, обычно по отношению к насыщенному каломельному электроду. На основании полученной величины вычисляется потенциал измеряемого электрода по отношению к нормальному водородному электроду; потенциал последнего приравнивается нулю. Символ E_h и показывает, что потенциал определяется по отношению к нормальному водородному электроду. Величина E_h дается непосредственно в вольтах и характеризует окислительно-восстановительное напряжение данной среды; чем величина E_h больше, тем сильнее окислительные свойства среды; чем она меньше, тем сильнее восстановительные свойства данной среды.

Соотношение величины E_h с другими свойствами раствора определяется формулой Нернста:

$$E_h = E_0 + \frac{RT}{nF} \cdot \ln \frac{[\text{Ox}]}{[\text{Red}]},$$

в которой R — газовая константа,

T — абсолютная температура,

F — электрохимическая константа (96 640 кулонов),

n — валентность реагирующего вещества, проявляемая в данной реакции

\ln — натуральные логарифмы,

$[\text{Ox}]$ — концентрация окисленной формы,

$[\text{Red}]$ — концентрация редуцированной формы,

E_0 — константа, характерная для данного вещества. Она равна тому потенциалу, который принимает раствор, если концентрации окисленной и восстановительной формы равны, что ясно из приведенной формулы, так как в этом случае выражение, в которое входит \ln , превращается в нуль, а следовательно $E_h = E_0$.

Из приведенной формулы видно, что величина окислительно-восстановительного (O/R) потенциала прежде всего зависит от соотношений концентраций окисленной и восстановленной формы. Так, для железа имеем:

$$E_h = E_0 + \frac{RT}{F} \cdot \ln \frac{[\text{Fe}^{+++}]}{[\text{Fe}^{++}]},$$

следовательно E_h определяется отношением концентраций окисного и закисного железа.

Если в данном растворе смешаны различные окислительно-восстановительные системы, то после наступления химического равновесия потенциалы, зависящие от каждой окислительно-восстановительной системы в отдельности, будут равны между собой; поэтому совершенно безразлично, через концентрацию каких веществ, присутствующих в растворе, будет выражена величина O/R -потенциала.

Так как в каждом водном растворе всегда присутствуют ионы H^+ и OH^- , причем H^+ соответствует H_2 как восстановленная форма, а OH^- соответствует $O_2 + H_2O$ как окисленная форма, то проще всего O/R -потенциал выражать через концентрацию этих ионов, т. е. имеем:

$$E_h = E_0 + \frac{RT}{4F} \cdot \ln \frac{[O_2]}{[OH^-]^4} = \frac{RT}{2F} \cdot \ln \frac{[H^+]^2}{[H_2]}.$$

В настоящее время принято выражать E_h через концентрацию водородных ионов, т. е. в каждом водном растворе величина E_h вполне определяется соотношением концентраций H^+ и H_2 .

Следовательно $[H_2]$, выражающая в атмосферах давление недиссоциированного водорода в растворе, и дает представление о восстановительной и следовательно также и об окислительной способности раствора. По предложению Кларка вместо величины $[H_2]$, выраженной в атмосферах, введен символ rH , представляющий собой логарифм $[H_2]$, взятый с обратным знаком подобно тому, как pH является отрицательным логарифмом концентрации водородных ионов. Так, если давление водорода равно 1 ат , т. е. 10^0 ат , то $rH = -\lg \cdot 10^0 = 0$; если давление водорода $= 0,001 \text{ ат}$, то $rH = -\lg 10^{-3} = 3$ и т. д. Таким образом величина rH также дает возможность судить об окислительно-восстановительных свойствах данной среды. При этом чем величина rH меньше (больше величина $[H_2]$ — давление недиссоциированного водорода), тем сильнее восстановительная способность раствора, и обратно, чем величина rH больше, тем сильнее его окислительные свойства. Нейтральным пунктом в смысле окислительно-восстановительных свойств водных сред нужно считать $rH = 28$, исходя из уравнения $[H_2]^2 \cdot [O_2] = 10^{-85}$, показывающего соотношение между молекулярными водородом и кислородом, подобно тому как формула $[H^+] \cdot [OH^-] = 10^{-14}$ показывает соотношение между H^+ и OH^- -ионами.

Прямого способа определения rH не существует; поэтому экспериментально определяются величины E_h и pH и по формуле:

$$E_h = \frac{RT}{2F} \cdot \ln \frac{[H^+]^2}{[H_2]}$$

вычисляется величина rH . Для этого формула решается следующим образом. Натуральные логарифмы переводятся в десятичные согласно выражению

$$\ln a = \frac{\lg a}{0,4343},$$

затем вместо констант подставляются их числовые величины. Тогда выражение $\frac{RT}{2F \cdot 0,4343} = \frac{0,058}{2}$ (при температуре 18°). Если это выражение

подставить в вышеупомянутую формулу, то после незначительных преобразований получим:

$$E_h = 0,029 (rH - pH),$$

откуда $rH = \frac{E_h}{0,029} + 2pH$ (при температуре 18°). Эта последняя формула и служит для вычисления величины rH .

Что же касается величины E_h , то из двух методов, служащих для ее определения, — калориметрического и электрометрического, в настоящей работе был применен последний. Для этих измерений можно воспользоваться обычной установкой для определения концентрации водородных ионов хингидронным методом; для целей этого исследования оказалась удобной модификация хингидронного метода, выпущенная кооперативным товариществом „Агроном“ с небольшими изменениями, позволившими вести параллельно целый ряд измерений. Как обычно, определения ведутся по методу компенсации электродвижущих сил: одну часть полуэлемента представляет платиновый электрод, опущенный в испытуемую жидкость, другую — насыщенный каломельный электрод. Соединение производится помощью U-образных агаровых трубок на насыщенном хлористом калии. Электродвижущая сила этого элемента вычисляется по формуле

$$E = \frac{A \cdot 1,0184}{B},$$

где A — отсчет на мостике с исследуемым элементом, B — отсчет на мостике с нормальным элементом и 1,0184 — электродвижущая сила нормального элемента.

Для получения величины окислительно-восстановительного потенциала, выраженной в вольтах, необходимо полученную величину привести к нормальному водородному электроду с помощью особых поправок, зависящих от температуры.

В качестве электродов брались неплатинированные платиновые пластинки размером 0,25 см², впаянные в стеклянные палочки; для каждого отдельного определения употреблялось обычно три таких электрода ввиду того, что, как показывает опыт [ср. например W. W. Efimoff, N. I. Nekrassoff und Alexandra W. Efimoff (5)], обычно показания отдельных электродов несколько отличаются друг от друга.

В дальнейших главах будут изложены результаты измерения окислительно-восстановительного потенциала неочищенной сточной жидкости и сточной на различных ступенях очистки. Предварительные же результаты этих наблюдений были доложены на IV Всесоюзном водопроводном и санитарно-техническом съезде в ноябре 1931 г. в Свердловске. Все химические контрольные анализы в этой работе выполнены А. И. Булавинцевой и Н. Н. Лихачевой и другими сотрудниками лабораторий треста „Мосочиствод“.

Характеристика сточной жидкости по величине E_h

Одним из основных свойств неочищенной сточной жидкости являются почти полное отсутствие в ней кислорода и сильно выраженная способность к гниению, следовательно она должно обладать сильными восстановительными свойствами. Это в действительности и подтвердилось измерением ее окислительно-восстановительного потенциала, дающего возможность судить

также и об интенсивности восстановительных свойств, характерных для сточной жидкости различной концентрации.

Определения E_h сточной жидкости производились в течение 1931—1932 гг. главным образом в жидкости, поступающей на Люблинские поля фильтрации; ряд определений был сделан также с жидкостью, поступающей на Кожуховскую станцию аэрации и на Люберетские поля фильтрации.

Сточная жидкость для таких определений бралась прямо с осадком нефилтрованная и без отстаивания. Результаты некоторых из них приведены на табл. 78, 80, 81 и 82.

Из рассмотренных таблиц видно, что почти всегда E_h сточной жидкости является величиной отрицательной и колеблется в пределах от $E_h = -0,10$ до $E_h = -0,35$ в.

Необходимо только отметить, что такое значение потенциал сточной жидкости принимает не сразу, а именно в продолжение нескольких часов (рис. 53). В начале измерений потенциал часто имеет положительную

Таблица 78

E_h сточной жидкости из разводных канав в вольтах

Сутки Место и время	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Люблино 3/XII 1930 г., 14 час.	-0,02	-0,31	-0,33	-0,34	—	—	—	—	—
Люблино 20/II 1931 г., 10 час.	+0,17	-0,06	-0,12	—	—	—	—	—	—
Люблино 20/II 1931 г., 14 час.	-0,10	-0,24	-0,23	—	—	—	—	—	—
Люблино 6-7/X 1931 г., среднесуточн.	—	—	—	-0,14	-0,16	-0,17	—	-0,18	-0,17
Люберцы 29/X 1931 г.	+0,01	—	-0,21	-0,22	—	—	—	-0,24	-0,16
Кожухово 24/IX 1931 г., 10-11 час.	+0,12	-0,16	-0,15	-0,13	-0,13	—	-0,21	—	—
Кожухово 25/X 1931 г., 10-11 час.	+0,09	—	-0,10	+0,03	—	-0,19	-0,26	-0,19	—
Люблино 7-8/XII 1932 г., среднесуточн.	+0,07	—	—	-0,18	—	-0,29	-0,26	—	—

величину, доходящую в отдельных случаях даже до $+0,20$ в. До тех пор пока не сделано параллельных физико-химических и биологических анализов, ничего нельзя сказать о причинах этого явления. Возможно, что в данном случае имеет значение то обстоятельство, что потенциал сточной жидкости не устанавливается сразу. Это наблюдалось для некоторых биологических сред мало забуференных в окислительно-восстановительном отношении [W. W. Efimoff, N. I. Nekrassoff und Alexandra W. Efimoff (5). Ремизов (12)].

Во всяком случае потенциал сточной жидкости, приняв определенную величину (различную для отдельных проб), держится на этой величине в продолжение долгого времени почти без изменения. Наблюдения велись иногда в продолжение десяти дней и больше. Некоторые колебания окислительно-восстановительного потенциала возможны главным образом в сторону повышения, если исследования производятся в сосудах, открытых для

доступа воздуха, в особенности, когда жидкость, в которую погружены электроды, приводится в движение хотя бы при взятии пробы для определения рН.

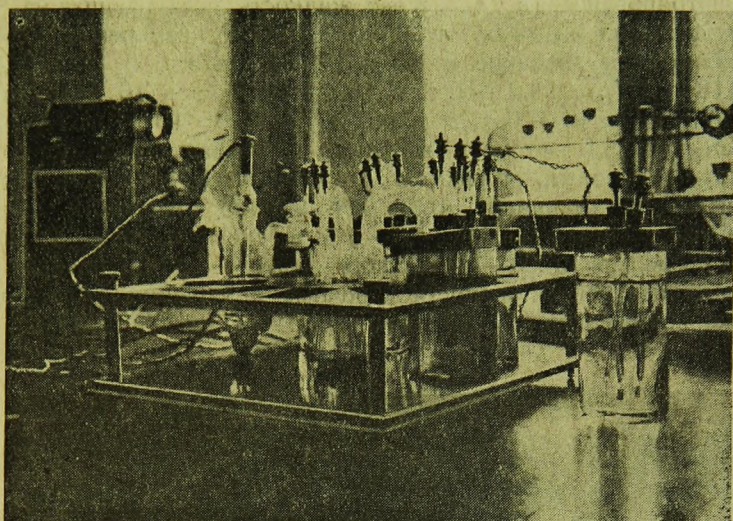


Рис. 51. Электроды для определения E_h .

В смысле понижения на величину E_h оказывает большое влияние присутствие в сточной жидкости осадка, что видно из сопоставления потенциалов сточной жидкости с осадком и фильтрованной (табл. 79).

Таблица 79

E_h сточной жидкости, среднесуточные пробы 6—7/X 1931 г.

	10/X	11/X	12/X	15/X	17/X	19/X	20/X
С осадком	—0,14	—0,16	—0,16	—0,18	—0,17	—0,18	—0,18
Фильтрованная . . .	—0,08	—0,03	—0,03	+0,22	+0,21	+0,26	+0,24

Потенциал сточной жидкости с осадком остается неизменным в продолжение очень долгого времени. E_h сточной жидкости фильтрованной повышается до +0,22 уже на девятый день исследования. Такая разница согласуется с данными контрольного анализа. Так например, биохимическая потребность в кислороде сточной жидкости после отстаивания гораздо ниже, чем той же жидкости с осадком. Для вышеприведенного примера БПК для жидкости с осадком равнялась 940,9 m^2 O_2 , для жидкости без осадка — 529,1 m^2 O_2 . Конечно для выяснения степени влияния осадка на величину E_h необходимы специальные исследования.

Измерения O/R -потенциала, произведенные до настоящего времени, дают возможность наметить зависимость величины Eh от концентрации

сточной жидкости. Из сопоставления изменения удельной электропроводности сточной жидкости в течение суток с кривой E_h и rH (табл. 80 и рис. 54) ясно, что жидкость менее концентрированная (в 9—12 час. утра) обладает менее выраженными восстановительными свойствами, чем жидкость более концентрированная (в 14—18 час. жидкость, поступающая на Люблинские поля фильтрации). Так, 4 апреля 1931 г. измерения потенциала сточной жидкости в Люблине в 10 и 12 час. дали: $E_h = -0,20$ в и $E_h = -0,18$ в ($K_{18} = 13,8 \cdot 10^{-4}$ и $16,4 \cdot 10^{-4}$), а в 16 и 18 час. дали $E_h = -0,30$ в и $E_h = -0,31$ в при $K_{18} = 21,6 \cdot 10^{-4}$ и $K_{18} = 20,7 \cdot 10^{-4}$. Так как рН сточной жидкости в течение суток остается приблизительно одинаковым, только в дневные часы жидкость поступает с менее щелочной реакцией, то и rH сточной жидкости с 8,1—9,5 в утренние часы спускается до 4,9—4,3 в дневные часы. Та же самая картина наблюдалась и 10—11 ноября 1931 г. и 30 ноября 1931 г. Увеличение концентрации жидкости в ночные и утренние часы сопровождается также понижением E_h (см. анализ 10—11 ноября 1931 г.).

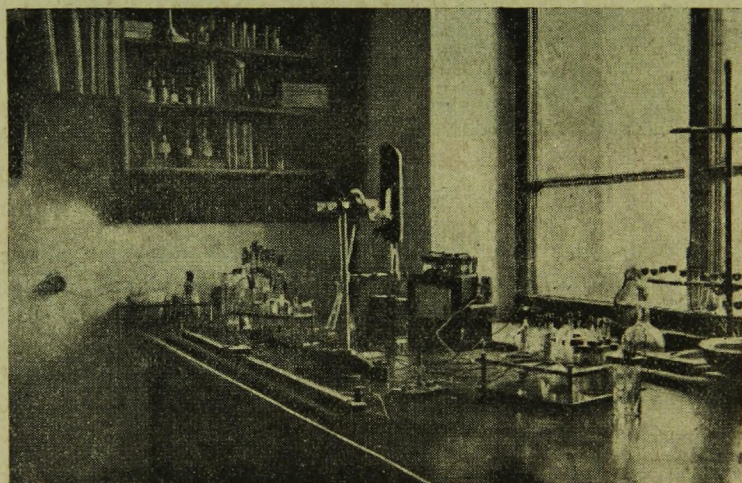


Рис. 52. Установка Люблинской лаборатории для определения E_h .

Конечно, в данном случае нельзя говорить о прямой зависимости величин E_h и rH от удельной электропроводности. Величина удельной электропроводности сточной жидкости очень хорошо определяется общим содержанием солей и главным образом хлоридов. Но вместе с общим увеличением концентрации сточной жидкости увеличивается и концентрация тех веществ, которыми обусловлены ее восстановительные свойства. Представляется затруднительным установить связь E_h сточной жидкости с величиной окисляемости ввиду условности самого понятия окисляемость. Гораздо больше дает сопоставление E_h с содержанием аммонийного азота, так как углекислый аммоний является одним из исходных веществ при процессах нитрификации, имеющих место в сточной жидкости при ее очистке.

Сточная жидкость из разводных канав, часовые пробы

Время взятия пробы	Люблино 4—5/IV 1931 г.				Люблино 10—11/IX 1931 г.				Люблино 30/IX 1931 г.			
	E_h	pH	rH	$K_{18} \cdot 10^4$	E_h	pH	rH	$K_{18} \cdot 10^4$	E_h	pH	rH	$K_{18} \cdot 10^4$
8	—	—	—	12,7	-0,27	7,50	6,0	17,2	—	—	—	14,8
9	—	—	—	10,8	-0,20	7,80	8,2	13,5	-0,15	7,95	10,9	13,9
10	-0,20	7,75	8,1	10,9	-0,20	7,50	8,0	13,8	—	—	—	14,6
11	—	—	—	11,0	—	—	—	15,6	-0,17	7,74	9,9	17,2
12	-0,18	7,77	9,5	11,7	-0,12	7,52	11,0	16,4	—	—	—	17,6
13	—	—	—	16,2	-0,25	7,52	7,0	22,2	-0,20	7,68	8,5	20,0
14	-0,26	7,79	6,7	20,3	-0,27	7,50	6,0	21,4	—	—	—	20,3
15	—	—	—	20,3	—	—	—	20,3	-0,24	7,56	7,1	22,1
16	-0,30	7,56	4,9	21,6	-0,28	7,38	5,5	19,8	—	—	—	19,4
17	—	—	—	19,4	—	—	—	19,0	-0,22	7,62	7,8	19,1
18	-0,31	7,44	4,3	20,7	-0,23	7,25	6,7	18,5	—	—	—	18,4
19	—	—	—	21,2	—	—	—	17,7	-0,05	7,38	12,6	18,4
20	-0,27	7,44	5,7	17,7	-0,26	7,61	6,4	18,9	—	—	—	17,7
21	—	—	—	17,7	—	—	—	16,6	-0,19	7,55	8,7	18,1
22	—	—	—	18,1	-0,23	7,35	6,8	17,3	—	—	—	17,6
23	—	—	—	17,7	—	—	—	16,9	-0,21	7,50	7,9	17,6
24	—	—	—	17,7	-0,26	7,42	6,0	16,6	—	—	—	18,5
1	—	—	—	16,9	—	—	—	17,3	-0,27	7,44	6,9	17,2
2	-0,26	7,42	6,0	16,9	-0,33	7,25	3,3	17,6	—	—	—	18,5
3	—	—	—	15,6	—	—	—	16,8	-0,19	7,47	8,4	21,2
4	—	—	—	16,2	-0,29	7,32	4,9	16,9	—	—	—	17,2
5	—	—	—	15,9	—	—	—	18,2	-0,25	7,56	6,8	17,3
6	-0,29	7,52	5,0	15,6	-0,10	7,46	11,6	18,4	—	—	—	16,5
7	—	—	—	14,6	-0,30	7,43	5,8	19,4	—	—	—	16,2

Окисленной формой вещества по отношению к углекислому аммоний являются нитраты и нитриты. Последние обычно не обнаруживаются при анализе сточной жидкости, и только в менее концентрированной сточной воде имеются иногда следы этих соединений. Поэтому скорее всего E_h сточной жидкости в большей степени определяется концентрацией солей аммония. Во всяком случае сопоставление содержания азота аммонийного с величинами E_h и rH показывает, что чем выше содержание аммонийного азота, тем сильнее восстановительные свойства сточной жидкости, тем меньше значения E_h и rH в ней (табл. 81 и 82). Эта разница становится резче, если потенциал сточной жидкости измерять не в первые дни после взятия пробы, а через более или менее продолжительное время. Тогда после длительного отстаивания в присутствии воздуха в сточной жидкости могут начаться процессы окисления (а может быть и процессы нитрификации), которые в пробах с меньшим содержанием аммонийного азота идут быстрее чем в пробах с более концентрированной в данном отношении жидкостью. И действительно, просматривая например анализы от 25—26 марта 1932 г., когда определения E_h были сделаны между прочим и на 20-й день, мы видим, что в это время E_h сточной жидкости поднимается очень значительно, доходя до 0,01 в, принимая даже положительную величину (+0,32) в утренние часы от 9—12 час., когда содержание аммонийного азота колебалось от 37,0—66,6 мг N. В то же время, начиная с 13 час., когда содержание аммонийного азота увеличилось до 112,0 мг N и выше, E_h сточной остается приблизительно на прежнем уровне E_h равно от 0,26 до 0,29 в. Соответственно значения rH в утренние часы колебались от 10,9 до 26,5 и в часы с 13—21 не поднимались выше 6,8 (от 5,0 до 6,8).

Благодаря отсутствию параллельных химических определений нельзя конечно с определенностью высказаться, какими причинами вызвано в данном случае повышение E_h , так как в утренние часы обычно меньше взвешенных веществ, так что повышение O/R -потенциала могло быть вызвано тем, что процессы поглощения кислорода илом здесь кончились быстрее и в испытуемой жидкости образовался избыток кислорода.

Резюмируя все вышесказанное относительно потенциала сточной жидкости, можно прийти к следующим заключениям.

Сточная жидкость характеризуется сильно выраженными восстановительными свойствами, так как ее окислительно-восстановительный потенциал в зависимости от концентрации колеблется в пределах от $E_h = -0,10$ до $E_h = -0,35$ в. В соответствии с этим rH сточной жидкости в среднем 5, повышаясь в редких случаях до 10 и в некоторых случаях спускаясь до 3; pH сточной жидкости очень мало изменяется в связи с концентрацией, оставаясь на слабощелочной реакции (от $pH = 7,00$ до $pH = 7,9$).

Установившийся потенциал сточной жидкости обладает достаточной устойчивостью даже в условиях определения при доступе воздуха, что служит указанием на то, что здесь имеют место обратимые окислительно-восстановительные системы. Но более подробно установить, какой окислительно-восстановительной системой обусловлена данная величина потенциала возможно только при параллельном изучении E_h и других физико-химических, химических и биологических свойств сточной жидкости. Кроме того необходимо и более точное измерение величины E_h без доступа воздуха в атмосфере чистого азота.

Таблица 81

Сточная жидкость из разводных канав. Часовые пробы

Время взятия пробы	Люблино 9—10/II 1932 г.						Люблино 25—26/III—1932 г.					
	Азот амм.с.	E_h	pH	rH	Окис- лям.	$K_{18} \cdot 10^4$	Азот амм. с.	E_h	pH	rH	Окис- лям.	$K_{18} \cdot 10^4$
8	53	+0,06	7,42	16,9	54,6	12,2	—	—	—	—	—	—
9	44	+0,15	7,46	20,2	52,7	19,3	54	+0,32	7,62	26,5	43,9	12,7
10	56	+0,13	7,56	21,2	56,4	12,7	37	-0,11	7,89	19,6	26,5	9,8
11	51	+0,18	7,44	21,2	63,1	11,6	49	-0,01	7,88	15,3	39,1	11,1
12	56	-0,02	7,50	9,1	70,4	12,8	67	-0,14	7,88	10,9	60,0	14,3
13	87	-0,26	7,91	6,9	83,6	16,4	112	-0,26	7,80	6,5	66,3	17,9
14	106	-0,23	7,49	7,0	143,6	21,9	121	-0,28	7,74	5,7	83,7	20,1
15	105	-0,25	7,40	5,9	129,1	21,1	128	-0,25	7,71	6,8	111,5	19,5
16	123	-0,25	7,65	6,7	141,5	21,0	115	-0,28	7,66	5,6	91,5	19,5
17	109	—	—	—	130,4	18,5	92	-0,29	7,70	5,3	95,0	17,8
18	90	-0,20	7,00	7,1	139,1	18,6	89	-0,29	7,70	5,3	99,2	17,6
19	—	—	—	—	—	—	81	-0,28	7,70	5,5	98,2	17,1
20	79	-0,18	7,15	7,9	130,9	17,8	76	-0,29	7,65	5,2	95,5	17,1
21	80	—	—	—	125,1	17,2	79	-0,29	7,60	5,0	91,2	16,5
22	81	-0,22	7,44	7,8	125,5	17,4	81	-0,20	7,70	8,3	82,9	16,7
23	85	—	—	—	110,7	16,9	83	-0,27	7,69	5,8	87,2	16,5
24	82	-0,21	7,35	7,3	111,8	16,7	80	-0,21	7,69	8,0	63,3	15,5
1	85	—	—	—	111,5	16,9	96	-0,23	7,57	7,2	86,0	17,1
2	82	-0,16	7,17	8,7	107,3	17,6	82	+0,01	7,68	15,6	76,3	16,0
3	95	-0,07	7,32	12,0	122,7	18,6	94	+0,18	7,67	21,7	93,2	17,9
4	76	-0,16	7,47	9,3	101,8	15,8	87	-0,23	7,68	7,3	83,4	16,5
5	81	—	—	—	107,3	17,0	87	+0,07	7,65	17,9	77,1	16,0
6	82	-0,18	7,46	6,9	90,7	16,7	93	-0,26	7,53	6,0	70,4	17,1
7	82	—	—	—	73,6	15,2	75	-0,22	7,66	7,8	65,5	17,1
	—	—	—	—	—	—	58	-0,23	7,75	7,4	60,8	13,5

Сточная жидкость из разводных канав. Часовые пробы

Время взятия пробы	Азот амм. сол.	E_h	pH	rH	Окис- ляе- мость	$K_{18} \cdot 10^4$	Азот амм. сол.	E_h	pH	rH	Оки- сляе- мость	$K_{18} \cdot 10^4$
8	87	-0,23	7,36	6,8	52,5	15,7	63	-0,27	7,88	6,2	22,7	11,4
9	69	-0,21	7,46	7,7	39,4	12,9	53	-0,26	7,79	6,6	17,8	10,3
10	65	-0,26	7,46	5,9	59,6	12,7	59	-0,26	7,88	7,9	38,8	10,1
11	65	-0,29	7,73	5,6	38,7	12,4	73	-0,29	7,70	5,7	28,6	12,6
12	79	-0,30	7,19	4,0	39,9	14,0	105	-0,29	7,70	5,2	42,5	15,7
13	115	-0,29	7,56	5,1	62,0	17,0	120	-0,30	7,72	5,0	56,4	17,9
14	114	-0,28	7,61	5,8	70,2	17,0	160	-0,27	7,88	6,3	84,6	20,4
15	111	-0,25	7,61	6,5	66,1	18,1	117	-0,29	7,62	5,1	81,2	17,9
16	84	-0,29	7,73	5,4	65,3	16,5	106	-0,30	7,56	4,8	70,3	20,0
17	79	-0,29	7,61	5,2	76,5	16,2	84	-0,21	7,88	8,6	70,3	15,9
18	76	-0,28	7,69	5,8	82,2	16,5	88	-0,10	7,88	11,3	67,2	16,3
19	68	-0,29	7,63	5,4	83,4	16,0	82	-0,20	7,83	7,0	54,9	14,9
20	69	-0,31	7,54	4,5	72,4	16,2	79	-0,16	7,83	10,1	62,2	15,1
21	68	-0,30	7,61	4,9	70,2	15,7	80	-0,23	7,80	7,5	59,5	14,8
22	69	-0,30	7,64	5,0	57,9	14,5	83	-0,26	7,83	7,6	64,2	14,8
23	74	-0,33	7,42	3,6	69,9	15,3	77	-0,11	7,83	12,0	59,5	14,7
24	73	-0,29	7,30	5,5	74,3	14,8	94	-0,17	7,83	11,2	55,6	14,2
1	75	-0,29	7,30	4,6	62,0	14,8	99	-0,13	7,80	13,2	51,8	15,5
2	85	-0,32	7,30	3,6	68,6	15,7	95	-0,21	7,80	9,7	67,2	18,7
3	98	-0,33	7,39	3,5	62,9	16,1	88	-0,06	7,80	12,8	62,6	15,7
4	80	-0,33	7,30	3,2	62,9	14,1	96	-0,18	7,80	9,5	50,2	17,4
5	113	-0,31	7,33	3,9	84,2	18,5	101	-0,07	7,80	13,2	54,6	15,9
6	96	-0,32	7,47	3,9	39,5	15,7	101	+0,25	7,70	6,5	50,6	17,0
7	133	-0,31	7,39	4,1	73,9	18,8	78	-0,21	7,80	22,8	36,3	14,5

Изменение E_h сточной жидкости в связи с процессом очистки

Второй задачей настоящей работы было установить, насколько изменяется величина E_h сточной жидкости в процессе ее очистки в аэробных условиях.

1. Наблюдения на действующих очистных сооружениях

Вопрос этот решался как измерением E_h на действующих очистных сооружениях (Люблинская опытная станция, Кожуховская станция аэро-фильтрации, Люблинские поля фильтрации), так и на модели аэротенка в лаборатории.

а) Люблинская опытная станция

Наблюдения, производившиеся на Люблинской опытной станции (табл. 83—84 и рис. 55), прежде всего показывают, что потенциал сточной

Таблица 83

Люблинская опытная станция

	11/V' 1931 г.				19/VII 1931 г.			
	$K_{18} \cdot 10^4$	E_h	pH	rH	$K_{18} \cdot 10^4$	E_h	pH	rH
Первичный отстойник	10,7	-0,27	7,21	5,2	—	—	—	—
Поступающая на перколятор № 20 . .	15,1	-0,29	7,74	5,6	15,6	-0,13	7,30	10,1
Поступающая на перколятор № 21 . .	16,2	-0,27	7,66	5,8	15,3	-0,10	7,60	12,0
Перколятор № 20 . .	16,2	+0,25	7,66	23,8	14,1	+0,31	7,30	25,0
Перколятор № 21 . .	16,4	+0,25	7,66	23,8	14,6	+0,32	6,95	24,7
Аэрофильтр № 1 . .	—	—	—	—	13,8	+0,34	6,99	25,5
„ № 2 . .	—	—	—	—	14,1	+0,34	6,98	25,4
„ № 3 . .	17,3	+0,09	7,52	18,1	14,9	+0,33	7,27	25,7
„ № 4 . .	16,5	+0,24	7,63	23,6	14,8	+0,33	7,27	25,7

Таблица 84

Люблинская опытная станция. Среднесуточные пробы 19—20/VII 1931 г.

	$K_{18} \cdot 10^4$	E_h	pH	rH	А з о т			Общая потребность в O_2	Стоимость (в %)
					аммон. солей	нитратов	нитритов		
Поступающая на фильтр № 20 . .	14,6	-0,15	8,37	11,8	63	0	0	368	—
Поступающая на фильтр № 21 . .	15,3	-0,13	8,14	11,9	63	0	0	263	—
Перколятор № 20	13,5	+0,39	8,01	29,1	41	11,6	8,75	42	99
Перколятор № 21	14,1	+0,36	8,34	28,6	43	1,8	10,63	48	99
Аэрофильтр № 1 .	13,5	+0,39	7,32	28,8	34	21,4	3,62	42	99
„ № 2 .	13,5	+0,37	8,30	29,0	29	21,9	2,12	38	99
„ № 4 .	14,4	+0,36	8,35	28,4	55	5,3	4,8	42	99

жидкости меняется только очень незначительно после прохождения через отстойники. Величина E_h почти во всех случаях остается отрицательной и лежит в пределах от $E_h = -0,10$ до $E_h = -0,29$ в. Отличие от сточной из разводных канав заключается только в том, что при измерении в течение нескольких суток E_h сточной из отстойников повышается через более короткий промежуток времени аналогично тому, что наблюдалось при измерении E_h в сточной жидкости без осадка. Это и понятно, так как с химической стороны во время отстаивания наблюдаются очень незначительные изменения. Так, в бачках, подающих воду на непрерывные фильтры, среднесуточные пробы 19—20 июля 1931 г. дают содержание азота аммонийного 63 мг N на 1 л и БПК равна 368 и 263 мг O_2 на 1 л. Такие же пробы 10 октября 1931 г. дают 92—91 азота аммонийного и БПК

равной 339,7 мг O_2 (табл. 83 и 84). Только 1 октября 1932 г. в вертикальном отстойнике наблюдалось повышение O/R -потенциала до значения $E_h = +0,06$ в, когда имело место и понижение БПК до 75 мг O_2 на 1 л (вода поступала на 20 фильтров хлорированная), в то время как значение E_h для воды, поступившей на 21 фильтр при БПК 178,0 мг O_2 , оставалось равным $-0,23$ в ($rH = 6,8$).

После прохождения через непрерывные фильтры или через аэрофильтры потенциал сточной жидкости резко поднимается и получает уже поло-

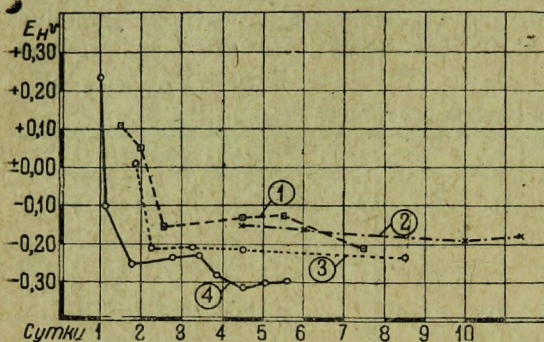


Рис. 53. E_h сточной жидкости из разводных канав. Измерения в течение нескольких суток, Люблинские поля фильтрации: 1—проба, взятая в 14 час., 2—среднесуточная проба, 3—Люберецкие поля фильтрации, 4—Кожуховская станция аэрации.

жительное значение, достигая в среднем до $+0,30$ в и поднимаясь в отдельных случаях почти до $+0,40$ в. При этом величина E_h отличается большим постоянством и остается без изменения в течение нескольких суток, имея скорее тенденцию к повышению, чем к понижению. Для характеристики работы перколяторов и аэрофильтров эта величина должна иметь большое значение, так как она прямо указывает на напряжение, на интенсивность тех окислительных процессов, которые имеют место на сооружении.

Совпадение с данными контрольного анализа здесь полное. Так например, 11 апреля 1931 г. (табл. 83) из всех фильтров только аэрофильтр № 3 дал сравнительно низкую величину $E_h = +0,03$ в ($pH = 7,52$; $rH = 18,1$) Параллельных химических анализов на этот раз сделано не было, но анализ за одну декаду до этого (31 марта 1931 г.) уже показывал уменьшенную стойкость в этом перколяторе — 87%, а в июне того же года при возобновлении работы он давал загнивающую воду (даже 2 июля 1931 г. стойкость 30%), в то время как аэрофильтр № 4 все время работал хорошо (стойкость 99%).

В то же время при хорошей работе окислителей (табл. 84—86) при стойкости 100%, низкой биохимической потребности и при большом содержании нитратов вода, выходящая из них, характеризуется величиной E_h , лежащей в пределах от $E_h = +0,36$ до $E_h = +0,39$. Соответственно

Таблица 85

Люблинская опытная станция, среднесуточные пробы 10—11/X 1931 г.

	$K_{18} \cdot 10^4$	E_h	pH	rH	А з о т			Общая потреб- ность в O_2	Стой- кость в %
					аммон солей	нит- ратов	нит- ритов		
Вода, поступ. на фильтр № 20 . .	17,7	-0,23	7,27	9,3	92	0	0	587	—
Вода, поступ. на фильтр № 21 . .	17,9	-0,12	7,47	14,0	91	0	0	340	—
Перколятор № 20	17,4	+0,26	7,44	24,3	80	6,8	3,4	75	95,5
Перколятор № 21	17,5	+0,28	7,59	24,6	80	6,3	4,1	79	98,3
Аэрофильтр № 1 .	17,9	+0,29	7,67	25,0	87	3,9	1,4	75	55,0
№ 2 .	17,7	+0,18	7,46	20,8	85	3,6	1,7	87	44,0
№ 3 .	18,3	+0,27	7,56	24,5	90	3,0	2,1	76	71,5
№ 4 .	17,8	+0,31	7,68	25,5	86	4,4	1,4	44	82,0

Таблица 86

Люблинская опытная станция, среднесуточные пробы 10—11/X 1931 г.

	$K_{18} \cdot 10^4$	E_h	pH	rH	А з о т			Общая потреб- ность в O_2	Стой- кость в %
					аммон солей	нитра- тов	нитри- тов		
Разводная канава	20,6	-0,27	7,38	5,3	—	—	—	—	—
Вертикальный от- стойник	10,2	+0,05	7,53	16,9	41	0	0	75	—
Поступ. на фильтр № 20	9,9	+0,06	7,98	18,1	41	0	0	75	—
Поступ. на фильтр № 21	11,8	-0,23	7,54	6,8	55	0	0	178	—
Перколятор № 20 .	9,3	+0,36	7,03	27,0	26	15,8	28,5	29	99
№ 21 .	10,2	+0,47	7,66	29,6	38	11,5	40,0	40	99

сравнительно более щелочной реакции (pH больше 8) величина rH на этот раз была выше 28 (от 28,4 до 29). Принимая во внимание, что при $rH = 28$ имеет место в водных растворах равновесие в окислительно-восстановительном отношении, такая величина показывает преобладание в это время в фильтрах интенсивных окислительных процессов. Когда же в октябре наступило некоторое ухудшение в работе окислителей (табл. 85 пробы 10—11 октября 1931 г.), а именно повысилась биохимическая потребность, снизилась стойкость, а также и содержание нитратов и нитритов, то это сейчас же отразилось на величине E_h в смысле ее понижения. В аэрофильтре № 4 потенциал снизился до $E_h = +0,31$, во всех же остальных фильтрах до E_h меньше +0,29, а в аэрофильтре № 2 определения E_h дали цифру +0,18 ($rH = 20,8$). Как раз для этого окислителя химический анализ дал наименьшую стойкость 44% и наибольшую величину для БПК 86,8 мг O_2 .

б) Кожуховская станция аэрофильтрации

Картина, описанная сейчас для Люблинской опытной станции, вполне подтвердилась на материале, полученном на Кожуховской станции аэрофильтрации (табл. 87). Поэтому на этом материале можно долго не останавливаться, тем более что для сравнения мы не имеем параллельных химических анализов, относящихся к тем же дням. Нужно только отметить, что в то время как вода, выходящая из первичного вертикального отстойника, дает приблизительно ту же картину, что и неочищенная сточная жидкость, окислительно-восстановительный потенциал воды из вторичного отстойника после обработки в аэротенке имеет часто уже положительное значение и абсолютную величину, близкую к той, которая наблюдается для воды, выходящей после фильтров (например 18/IX 1932 г. $E_h = +0,32$ в). O/R -потенциал сточной жидкости, выходящей с фильтров, в исследованных нами случаях на Кожуховской станции лежал в пределах от $E_h = +0,20$ до $E_h = +0,43$ в, соответственно с этим и величина rH между 23—29,5.

В этой же таблице приводятся данные, характеризующие с окислительной стороны сточную жидкость с фильтров, проходящую через пруд, перед впуском ее в водоем, а также и самый водоем, служащий для спуска сточной жидкости со станции, — Москву-реку в районе Кожухова. Эти данные показывают, что Москва-река в этом месте иногда обладает более сильно выраженными восстановительными свойствами, чем очищенная жидкость, поступающая в нее, что часто подтверждается и химическим анализом.

в) Люблинские поля фильтрации

Несколько подробнее необходимо изложить результаты систематического исследования окислительно-восстановительного потенциала в канавах, отводящих очищенную сточную воду с Люблинских полей фильтрации. Наблюдения эти производились с июня по декабрь 1931 г., и отдельные анализы имеются также для конца 1932 г.

Исследования дают возможность сравнить по интенсивности окислительно-восстановительных процессов, с одной стороны, хорошо фильтрующие участки полей (Удельные поля — канавы № 41 и 43) и участки с пониженной фильтрующей способностью (Верхние поля — канава № 30) и, с другой стороны, участки полей, плохо фильтрующие, на которых очистка жидкости производится преимущественно помощью очистных проточных прудов (Нижние поля; Тальвег и Осушительная).

Вода канав № 41 и 43, собирающих воду с Удельных полей, характеризуется высоким O/R -потенциалом в течение всего года. Для канавы № 41 измерения показали, что E_h лежит в пределах от $E_h = +0,39$ до $E_h = +0,49$ в и rH в пределах от 28 до 33 ($pH = 7,2—7,9$), для канавы № 43 в пределах от $E_h = +0,38$ до $E_h = +0,47$ в и rH в пределах от 27 до 32 ($pH = 7,2—8,4$) (табл. 11 и 12). Химические же анализы дают для этих канав незначительное содержание азота аммонийного при сравнительно большом содержании азота нитратного (табл. 88 и 89 и рис. 56 и 58).

Определения E_h в канаве № 30, характеризующей работу Верхних полей, показывают, что вода в ней обладает менее резко выраженными окислительными свойствами не только по сравнению с описанными выше

Кожуховская станция аэрофльтрации

Таблица 87

	E_h						pH						rH					
	28/VI 1931 г.	27/VII 1931 г.	24/IX 1931 г.	25/X 1932 г.	18/IX 1932 г.	30/X 1932 г.	28/VI 1931 г.	27/VII 1931 г.	24/IX 1931 г.	25/X 1931 г.	18/IX 1932 г.	30/X 1932 г.	28/V 1932 г.	27/IX 1931 г.	24/IX 1931 г.	25/X 1931 г.	18/IX 1931 г.	27/VII 1932 г.
Сточная до отстойников	-0,16	-0,15	-0,21	-0,26	-0,29	-0,23	7,58	7,21	7,69	7,80	7,46	7,64	9,8	9,4	8,2	6,7	4,8	7,2
После предварит. отстойников	-0,16	-0,13	-0,11	-0,16	-0,21	-0,26	7,60	7,35	7,58	7,21	7,31	7,42	9,8	9,3	11,6	8,9	7,3	5,7
После вторичн. отстойников	-0,16	+0,15	-0,06	+0,22	+0,32	+0,25	7,60	7,79	7,74	7,16	7,58	7,64	9,9	20,3	13,4	21,8	26,5	24,1
После фильтров	+0,34	+0,20	+0,26	+0,43	+0,39	+0,12	7,58	7,77	7,75	7,54	7,37	8,25	26,6	22,2	24,2	29,4	28,3	23,8
Конец пруда	+0,32	+0,16	+0,31	—	+0,39	+0,24	7,82	7,60	7,72	—	7,67	7,88	26,4	20,5	25,8	—	29,1	21,2
Сток в Москву-реку	+0,30	+0,18	+0,03	—	+0,35	+0,25	7,84	7,60	7,61	—	7,76	8,81	25,8	21,1	16,3	—	27,7	24,8
Москва-река	+0,18	+0,22	+0,14	—	+0,48	+0,29	7,82	7,68	7,46	—	7,55	7,81	21,9	22,7	19,6	—	32,0	26,8

	Азот аммонийных солей						Азот нитратов и нитритов						Общая потребность в кислороде					
	25/VI 1931 г.	22/VII 1931 г.	21/IX 1931 г.	23/X 1931 г.	15/IX 1932 г.	25/X 1932 г.	25/VI 1931 г.	22/VII 1931 г.	21/IX 1931 г.	23/X 1931 г.	15/IX 1932 г.	25/X 1932 г.	25/VI 1931 г.	22/VII 1931 г.	21/IX 1931 г.	23/X 1931 г.	15/IX 1932 г.	25/X 1932 г.
Сточная до отстойников	57	41	62	71	55	—	—	—	—	—	—	—	401	313	371	553	372	—
После предварит. отстойников	57	45	62	71	56	48	—	—	—	—	—	—	383	241	354	399	368	384
После вторичн. отстойников	52	41	56	66	52	47	—	—	—	—	—	—	117	—	189	241	206	220
После фильтров	28	21	48	59	37	43	23,8 8,6	20 2,3	14,7 1,7	7,2 1,32	14,0 3,65	10,8 1,85	—	—	—	—	—	—

Таблица 88

Люблинские поля фильтрации, Удельные поля

Канавы № 41	E_h	рН	rH	А з о т			Окисля- емость
				аммон. солей	нитра- тов	нитри- тов	
23/VI 1931 г. . .	+0,47	7,23	30,4	13	9,7	0,34	6,2
18/VII 1931 г. . .	+0,47	7,19	30,3	15	15,1	0,33	5,8
16/IX 1931 г. . .	+0,39	7,21	27,7	16	16,4	0,16	10,5
17/X 1931 г. . .	+0,42	7,51	29,3	19	14,7	0,18	8,6
17/XII 1931 г. . .	+0,43	7,79	30,7	16	13,5	0,14	8,0
16/IX 1932 г. . .	+0,49	7,92	32,2	21	0,1	0,13	10,3
14/X 1932 г. . .	+0,37	7,37	27,6	18	8,0	0,17	10,8

Таблица 89

Люблинские поля фильтрации, Удельные поля

Канавы № 43	E_h	рН	rH	А з о т			Окисля- емость
				аммон. солей	нитра- тов	нитри- тов	
28/VI 1931 г. . .	+0,45	7,22	29,5	20	12,2	0,20	6,6
18/VII 1931 г. . .	+0,39	7,20	27,4	19	16,1	0,36	8,8
16/IX 1931 г. . .	+0,41	7,20	28,2	19	20,0	0,27	7,5
17/X 1931 г. . .	+0,39	7,50	28,0	22	12,4	0,16	6,5
17/XII 1931 г. . .	+0,38	7,70	28,5	22	12,0	0,16	6,4
16/IX 1932 г. . .	+0,45	7,42	32,5	22	10,6	0,13	8,2
14/X 1932 г. . .	+0,47	7,29	31,1	21	11,6	0,15	7,6

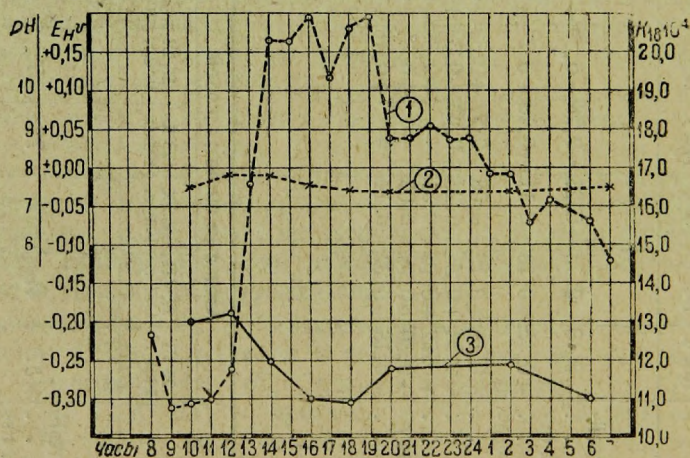


Рис. 54. Часовые пробы сточной жидкости из разводных канав:

1 — $K_{18} \cdot 10^4$; 2 — pH; 3 — E_h .

канавами, но также в летние месяцы и по сравнению с Тальвегом и Осушительной (табл. 90 и рис. 56). Потенциал этой канавы колеблется в пределах

от $E_h = +0,25$ до $E_h = +0,39$ в. Соответственно с этим и rH в этой канаве никогда не поднимается выше 28 — колебания от $rH = 24,2$ до $rH = 27,8$. Причина этого явления в настоящее время еще не выяснена. Но во всяком случае содержание азота аммонийного в ней всегда выше, чем в других канавах, и держится на постоянной величине в пределах от 30,4 до 38 мг N; при этом содержание нитратов сравнительно небольшое — не выше 6,5 мг N.

Таблица 90

Люблинские поля фильтрации, Верхние поля

Канавы № 30	E_h	pH	rH	А з о т			БПК	Окис- ляем. мм/л	Стой- кость в %
				аммон. солей	нитра- тов	нитри- тов			
14/VI 1931 г. . .	+0,25	7,74	24,2	35	—	—	—	—	99
23/IV 1931 г. . .	+0,30	7,22	24,5	32	6,2	0,23	19	15,4	99
8/VII 1931 г. . .	+0,34	7,46	26,4	30	—	—	—	—	99
18/VII 1931 г. . .	+0,33	7,57	26,6	34	6,4	0,17	14	15,4	99
28/VII 1931 г. . .	—	—	—	36	—	—	—	—	99
7/VIII 1931 г. . .	+0,25	7,48	26,9	34	—	—	—	—	99
9/IX 1931 г. . .	+0,39	7,40	27,8	35	—	—	—	—	99
16/IX 1931 г. . .	+0,33	7,28	25,8	35	6,3	0,05	23	21,1	99
26/IX 1931 г. . .	+0,39	7,41	27,9	36	—	—	—	—	99
6/X 1931 г. . .	+0,16	7,45	20,2	33	—	—	—	—	99
17/X 1931 г. . .	+0,22	7,44	22,3	37	3,5	0,07	8	15,3	99
3/XI 1931 г. . .	+0,32	7,34	26,2	35	—	—	—	—	99
5/XII 1931 г. . .	+0,34	6,87	25,7	—	—	—	—	—	99
17/XII 1931 г. . .	+0,29	7,76	25,8	38	4,3	0,46	28	16,5	99
16/XI 1932 г. . .	+0,39	7,88	27,4	33	4,3	0,08	5	17,5	99
14/X 1932 г. . .	+0,34	7,43	27,0	33	3,7	0,13	15	19,3	99

Из вышеизложенного понятно, что вода Водоотводной канавы, собирающей воды вместе с Удельных и Верхних полей, по своим свойствам представляет собой нечто среднее между канавами № 41 и 43, с одной стороны, и канавой № 30, с другой. И действительно, O/R -потенциал этой канавы лежит в пределах от $E_h = +0,30$ до $E_h = +0,48$ в, величина rH — в пределах от $rH = 25,9$ до $rH = 32,4$ (pH — от 7,4 до 7,9). С химической стороны водоотводная характеризуется стойкостью в 99%, незначительной биохимической потребностью и содержанием азота аммонийного в пределах от 18 до 30 мг N на 1 л. Только один раз за все время исследований в Водоотводной канаве наблюдалось снижение стойкости до 30% (5/XII 1931 г.) и это сейчас же сказалось на величине E_h : измерения в этот день показали для $E_h = +0,04$ в, при pH = 7,46 и $rH = 15,1$ (см. табл. 91 и рис. 56).

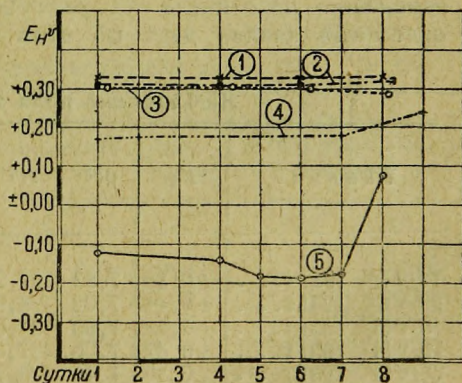


Рис. 55. Люблинская опытная станция определила E_h : 1, 2, 4 — воды, очищенные на аэрофильтрах; 3 — воды из перколятора № 20; 5 — сточная жидкость.

Наконец результаты измерения O/R -потенциала в Тальвеге и Осушительной канаве, из которых последняя несет воду главным образом из

Таблица 91
Люблинские поля фильтрации, Удельные и Верхние поля

Водоотводная канава	E_h	pH	rH	А з о т			БПК	Окисляемость	Стойкость в %
				аммон. солей	нитратов	нитритов			
14/VI 1931 г. . .	+0,35	7,89	27,8	20	—	—	—	—	99
23/VI 1931 г. . .	+0,40	7,53	28,6	33	8,20	0,33	19	18,0	99
8/VII 1931 г. . .	+0,40	7,60	28,9	22	—	—	—	—	99
18/VII 1931 г. . .	+0,48	7,31	30,9	19	14,2	0,30	19	12,7	99
28/VII 1931 г. . .	+0,40	7,52	28,6	22	—	—	—	—	99
7/VIII 1931 г. . .	+0,38	7,59	27,9	20	—	—	—	—	99
9/IX 1931 г. . .	+0,46	7,73	30,9	23	—	—	—	—	99
16/IX 1931 г. . .	+0,37	7,52	27,4	19	8,9	0,34	13	12,3	99
26/IX 1931 г. . .	+0,48	7,57	32,4	18	—	—	—	—	99
6/X 1931 г. . .	+0,38	7,74	28,1	20	—	—	—	—	99
17/X 1931 г. . .	+0,43	7,77	30,0	22	10,3	0,21	18	11,0	99
3/XI 1931 г. . .	+0,35	7,46	27,9	21	—	—	—	—	99
5/XII 1931 г. . .	+0,04	7,46	15,1	—	—	—	—	—	99
17/XII 1931 г. . .	+0,30	7,79	25,9	22	6,6	0,21	17	12,5	99
16/IX 1932 г. . .	+0,47	7,35	31,4	21	8,1	0,27	19	11,8	99
14/X 1932 г. . .	+0,37	7,66	28,5	19	7,4	0,17	12	15,2	99

проточных очистных прудов, позволяют подразделить весь период исследования на два. В летнее время, до середины сентября, пока пруды еще работали на очистку, E_h Осушительной канавы имеет высокие значения и лежит в пределах от $E_h = +0,34$ в до $E_h = +0,42$ в (rH = от 26,6 до 29,1). В задачу настоящего исследования не входил вопрос об изменении потенциала на различных ступенях пруда. Приводимый нами отдельный анализ дает об этом некоторое представление (табл. 94)

Таблица 92
Люблинские поля фильтрации, Нижние поля

Тальвег	E_h	pH	rH	А з о т			БПК	Окисляемость	Стойкость в %
				аммон. солей	нитратов	нитритов			
14/VI 1931 г. . .	+0,33	7,83	27,2	1	—	—	—	—	99
23/VI 1931 г. . .	+0,44	7,02	28,9	9	16,1	0,49	5	17,4	99
8/VII 1931 г. . .	+0,49	7,60	31,8	1	—	—	—	—	99
18/VII 1931 г. . .	+0,32	7,08	27,6	30	17,0	0,33	11	17,7	99
28/VII 1931 г. . .	+0,30	7,46	25,2	25	—	—	—	—	99
7/VIII 1931 г. . .	+0,32	7,51	25,8	23	—	—	—	—	96
9/IX 1931 г. . .	+0,40	7,59	28,9	33	—	—	—	—	97
16/XI 1931 г. . .	+0,33	6,40	25,9	39	3,6	0,08	76	60,5	—
26/IX 1931 г. . .	+0,12	7,66	19,3	34	—	—	—	—	80
6/X 1931 г. . .	+0,12	7,64	19,3	40	—	—	—	—	50
17/X 1931 г. . .	—0,11	7,56	12,3	45	2,5	1,25	70	34,2	37
3/XI 1931 г. . .	—0,21	7,16	7,3	61	—	—	—	—	37
5/XII 1931 г. . .	—0,25	7,46	6,0	—	—	—	—	—	11
17/XII 1931 г. . .	—0,21	7,38	7,4	79	0	0,06	302	63,9	11
16/IX 1932 г. . .	+0,37	7,60	29,4	32	2,8	0,16	27	30,2	94
14/X 1932 г. . .	+0,38	7,43	28,3	37	3,1	0,33	36	30,2	97

Люблинские поля фильтрации, Нижние поля

Осушительная канава	E_h	рН	rH	А з о т			БПК	Окисляемость	Стойкость в %
				аммон. солей	нитратов	нитритов			
14/VI 1931 г. . .	+0,36	7,83	28,1	32	—	—	—	—	99
23/VI 1931 г. . .	+0,42	7,22	29,1	32	5,5	0,28	10	24,7	99
8/VII 1931 г. . .	+0,40	7,60	28,8	32	—	—	—	—	99
18/VII 1931 г. . .	+0,42	7,34	28,9	40	2,2	0,39	23	31,1	99
28/VII 1931 г. . .	+0,41	7,44	28,9	34	—	—	—	—	99
7/VIII 1931 г. . .	+0,36	7,60	27,4	39	—	—	—	—	99
9/IX 1931 г. . .	+0,39	7,66	28,5	54	—	—	—	—	82
16/IX 1931 г. . .	+0,34	7,64	26,4	56	1,6	0,13	32	27,9	90
26/IX 1931 г. . .	+0,35	7,49	26,6	58	—	—	—	—	60
6/X 1931 г. . .	+0,22	7,71	22,9	64	—	—	—	—	60
17/X 1931 г. . .	-0,04	7,52	16,2	73	0,3	0,12	48	29,2	37
3/XI 1931 г. . .	-0,18	7,16	8,2	81	—	—	—	—	21
5/XII 1931 г. . .	-0,21	7,40	7,7	—	—	—	—	—	11
17/XII 1931 г. . .	-0,13	7,47	10,5	77	1,9	0,29	224	56,3	11
16 IX 1931 г. . .	+0,44	7,86	31,2	51	1,4	0,18	21	27,9	94
14/X 1931 г. . .	+0,37	7,62	28,2	63	0,5	0,14	40	38,2	64

Таблица 94

Пруды — Люблинские поля фильт.		E_h	рН	rH	Н аммонийных солей
I	Отдел. пруда .	-0,25	7,40	6,3	83
II	" " .	-0,13	7,49	10,6	77
III	" " .	+0,28	7,73	25,3	65
IV	" " .	+0,39	7,73	29,1	56

Таблица 95

Люблинские поля фильтрации, Общий сток

	E_h	рН	rH	А з о т			БПК	Окисляемость	Стойкость в %
				аммон. солей	нитратов	нитритов			
14/VI 1931 г. . .	+0,40	7,83	29,3	21	—	—	—	—	99
23/VI 1931 г. . .	+0,40	7,32	18,3	23	8,0	0,37	13	17,8	99
8/VII 1931 г. . .	+0,52	7,41	32,5	23	—	—	—	—	99
18/VII 1931 г. . .	+0,53	7,20	32,3	27	7,8	0,40	20	26,0	99
28/VII 1931 г. . .	+0,46	7,42	30,4	27	—	—	—	—	99
7/VIII 1931 г. . .	+0,36	7,54	27,4	37	—	—	—	—	99
9/IX 1931 г. . .	+0,36	7,67	27,5	44	—	—	—	—	99
16/IX 1931 г. . .	+0,35	7,46	27,7	44	3,7	0,28	53	29,3	92
26/IX 1931 г. . .	+0,35	7,44	27,2	49	—	—	—	—	80
6/X 1931 г. . .	+0,19	7,63	21,7	54	—	—	—	—	75
17/X 1931 г. . .	+0,02	7,68	16,9	66	1,7	0,60	53	27,9	37
3/XI 1931 г. . .	+0,02	7,48	15,6	71	—	—	—	—	37
5/XII 1931 г. . .	+0,09	7,36	17,9	—	—	—	—	—	11
17/XII 1931 г. . .	+0,00	7,60	15,2	66	3,1	0,16	220	51,5	11
16/IX 1932 г. . .	+0,42	7,83	30,5	41	3,0	0,20	23	27,3	99
14/XI 1932 г. . .	+0,35	7,58	27,3	40	4,0	0,23	34,2	33,0	99

и показывает, что значение E_h для воды, очищенной в прудах, того же порядка, как и на полях.

Что касается Тальвега, то в летний период и эта канава характеризуется высоким O/R -потенциалом в пределах от $E_h = +0,32$ до $E_h = +0,49$ в (rH — от 25,2 до 31,8). Начиная же с середины сентября, когда пруды перестают работать в качестве очистных сооружений, E_h воды обеих этих канав начинает быстро падать и принимает отрицательное значение. По абсолютному значению в декабре E_h представляет величины, близкие к тем, что наблюдались для сточной жидкости (табл. 92 и 93). Как видно из табл. 92 и 93, параллельно с изменением E_h и rH идет изменение различных химических ингредиентов, а именно увеличивается биохимическая потребность в кислороде, содержание азота аммонийного возрастает почти до 90 мг N на 1 л, стойкость падает с 99 до 11 % (рис. 57 и 59).

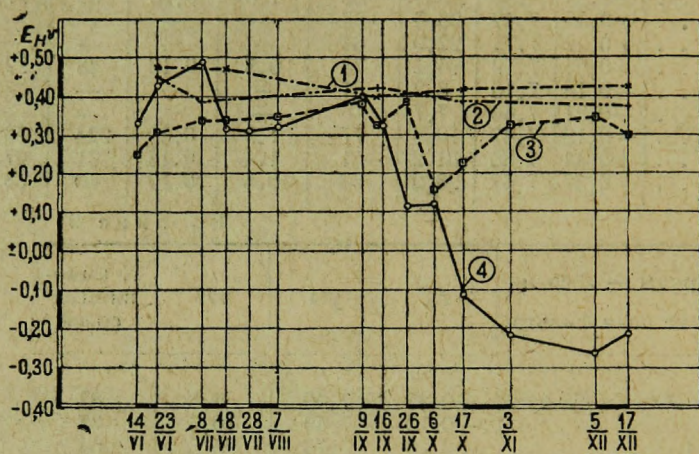


Рис. 56. E_h воды из осушительных канав Люблинских полей фильтрации. Канава № 43—1; канава № 41—2; канава № 30—3 и Тальвег—4.

Параллельное изменение различных химических свойств сточной жидкости с изменением O/R -потенциала наблюдалось также и в Общем стоке, принимающем с одной стороны воды Тальвега и Осушительной, с другой—Водоотводную канаву (табл. 95).

Влияние Водоотводной канавы на Общий сток очень значительно, причем здесь нельзя говорить о простом механическом смешении жидкости, так как в некоторых случаях (табл. 95) O/R -потенциал Общего стока выше, чем потенциал отдельных канав, смесь которых он представляет. В других же случаях при взятии проб по разрезу можно было прямо проследить, в каком месте Общего стока влияние Водоотводной канавы сказывается значительнее, как показывает нижеследующая табл. 96.

Поэтому при рассмотрении данных, приводимых в табл. 95, нужно принять во внимание, что все измерения в Общем стоке сделаны в середине его живого сечения. Из таблицы видно, что в Общем стоке величина E_h в летние месяцы колеблется в пределах от $E_h = +0,53$ до $E_h = +0,35$ в (rH —в пределах от 27,2 до 32,5) и начинает заметно падать только с октября, но никогда не спускается ниже $E_h = -0,02$ в (17/X 1931 г.).

Люблинские поля фильтрации 3/XI 1931 г.

К а н а в ы	$K_{18} \cdot 10^4$	E_h	pH	rH
Тальвег	17,6	-0,21	7,16	7,3
Осушительная	18,1	-0,18	7,16	8,2
Водоотводная	14,1	+0,35	7,46	27,9
Общий сток:				
правая	17,9	+0,07	7,47	12,7
середина	17,3	+0,02	7,47	15,6
левая	16,2	+0,20	7,50	23,5

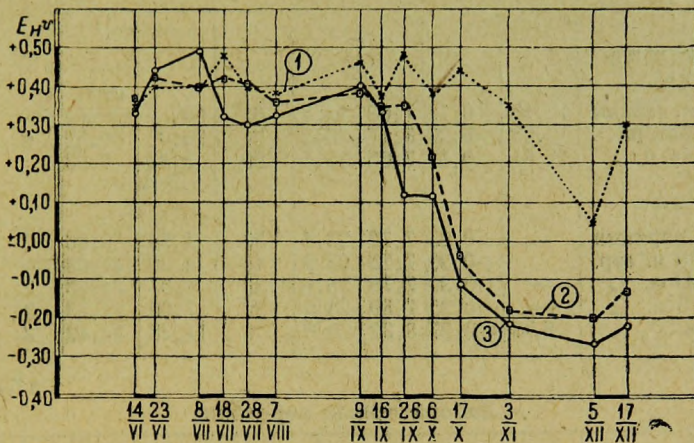


Рис. 57. E_h воды из осушительных канав Люблинских полей фильтрации: Водоотводная—1, Осушительная—2, Тальвег—3.

Таким образом благодаря влиянию Водоотводной канавы восстановительные условия в Общем стоке в зимнее время выражены гораздо менее значительно, чем в канавах Осушительной и Тальвеге. Компенсирующая роль Водоотводной не раз отмечалась по данным химического анализа. Определения E_h это положение подтверждают.

Лабораторная установка аэротэнка

Результаты, сходные с только что описанными для действующих очистных сооружений, были получены при измерениях окислительно-восстановительного потенциала на пробной установке аэротэнка. Но опыты, изложенные ниже, носят пока предварительный, ориентировочный характер.

В качестве аэротэнка для этих опытов была взята обыкновенная 5-литровая материальная банка.

Воздух продувался с помощью водоструйного насоса через помещенные на дно банки фильтры. Интенсивность дутья первые 5—6 час. 70 л/час воздуха на 5 л жидкости; затем интенсивность продувания воздуха

снижалась до 60 л/час на меньший объем жидкости благодаря взятию проб для химического анализа.

Активный ил для опытов был взят на регенератора на нижней опытной станции в Люблине, причем сточная жидкость, которая попадает в аэротэнк с активным илом из регенератора, обладает высоким потенциалом. Так, в опыте от 3/XII 1932 г. $E_h = +0,33$ в при довольно высокой щелочности: в первом опыте $pH = 8,17$ и во втором $pH = 9,1$ (табл. 97 и 98).

Таблица 97

Лабораторный аэротэнк

3/XII 1932 г.	$K_{18} \cdot 10^4$	E_h	рН	rH	А з о т			БПК	Окисляемость	Стойк. в %
					аммон. солей	нитратов	нитритов			
Сточная жидкость										
1. Из разводн. канавы	12,18	+0,12	7,68	11,3	61	0	ничт. следы	—	43,7	—
2. Из регенератора.	12,88	+0,29	8,17	26,2	21	23,0	59,52	6	47,8	99
3. То же + акт. ил.	11,84	+0,12	7,65	19,5	50	3,33	7,93		43,7	37
Аэротэнк										
Через 15 час. аэрации	—	+0,23	7,72	23,4	50	4,83	9,66	2	38,9	37
„ 1 ч. 45 м. аэр.	—	+0,30	7,73	25,9	44	4,00	11,66	—	20,4	37
„ 4 ч. 20 м. „	—	+0,30	7,78	25,8	33	5,33	21,93	2	23,6	27
„ 6 ч. 15 м. „	—	+0,25	7,80	24,2	22	7,00	22,73	3	61,4	99
„ 24 часа „	8,83	+0,27	8,32	26,0	0	11,28	34,42	3	60,5	99

Таблица 98

Лабораторный аэротэнк

11/XII 1932 г.	$K_{18} \cdot 10^4$	E_h	pH	rH	E_h	pH	rH	А з о т			БПК	Окисляемость	Стойкость в %
								аммон. с. лей	нитратов	нитритов			
Сточная жидкость													
из разводн. канавы	10,83	+0,24	7,86	24,2	-0,02	7,73	16,3	56	0	21	260	65,9	—
из регенерат.	11,37	+0,32	9,1	29,4	+0,33	8,75	29,0	—	—	—	—	—	—
Активный ил	10,18	+0,15	7,75	20,6	-0,03	8,05	15,1	35	4,75	12,50	146	61,1	30
Аэротэнк													
Через 1 час	10,69	+0,15	7,88	20,9	-0,03	8,05	15,1	42	5,43	12,50	140	38,6	96
" 3 часа	10,69	+0,28	7,95	24,4	+0,16	7,83	21,2	33	5,49	22,22	34	41,8	99
" 5 часов	9,93	+0,48	8,11	32,9	+0,25	8,02	24,8	14	6,09	33,33	48	41,8	99
" 48 "	8,39	+0,30	7,81	25,9	+0,28	7,98	25,7	0,46	20,0	7,94	30	29,8	99

Для обоих приводимых ниже опытов количество активного ила, отстоявшегося в течение 30 мин., составляло приблизительно 25% от объема всей жидкости.

В первом опыте платиновые электроды в количестве 3 шт. были опущены для измерения потенциала непосредственно в аэротэнк. Электроды были впаяны в длинные стеклянные трубки, вставленные в резиновую

пробку. Соединение с каломельным элементом было сделано с помощью длинных U-образных КСI-агаровых трубок. Определения rH производились в отдельных пробах одновременно с химическим анализом.

Так как сточная жидкость в этом опыте (так же как и во втором) была малой концентрации, то E_h ее равнялся $-0,12$ в. После же смешения с активным илом потенциал в исходной жидкости до аэрирования измерялся величиной $E_h = +0,12$ в. Химический анализ исходной жидкости показывает в ней большое сравнительно содержание нитратов и нитритов, хотя и гораздо меньшее, чем в сточной жидкости из регенератора (табл. 97). После 15-минутного аэрирования наблюдается значительное повышение потенциала до $E_h = +0,23$ в, которое после 2-часового аэрирования доходит до $E_h = +0,30$ в. Затем потенциал несколько снижается, и

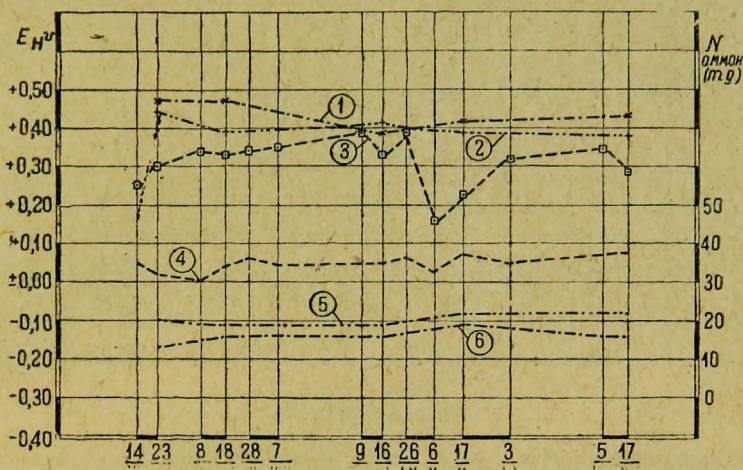


Рис. 58. Канавка № 43: E_h —1, азот аммонийный 6.
 „ № 41: E_h —2, „ „ 5.
 „ № 30: E_h —3, „ „ 4.

к концу опыта, через 24 часа, когда в сточной жидкости нельзя было обнаружить следы аммонийного азота, потенциал опущенных в аэротэнк электродов опять незначительно повышается и измеряется величиной $E_h = +0,27$ в. В данном опыте понижение потенциала к концу нитрификации, когда стойкость жидкости равна 99%, по всей вероятности объясняется тем, что электроды, погруженные в жидкость с активным илом, обладающим, как известно, свойством интенсивно поглощать кислород, загрязняются частицами этого ила. Это обстоятельство и влияет на изменение потенциала в указанном направлении. Подтверждение этому можно найти и в том, что при измерении потенциала в тех же самых пробах жидкости, но только вне аэротэнка электродами, не загрязненными илом, получаются несколько другие числа. Так, измерение потенциала в таких пробах в опыте от 3/XII 1932 г. дало через 15 мин. $E_h = +0,24$ в (вместо $+0,23$ в) и через 48 час. аэрации $E_h = +0,35$ в (вместо $+0,27$ в).

Учитывая вышеизложенное, во втором опыте 11/XII 1932 г. (табл. 98) измерения O/R -потенциала делались не в аэротэнке, а в отдельных пробах параллельно с химическим анализом. И на этот раз также была взята

утренняя сточная жидкость с еще более низкой концентрацией ($K_{18} = 10,88 \cdot 10^{-4}$) и соответственно с этим с еще более высоким потенциалом ($E_h = -0,02$ в). Более высоким потенциалом обладала и жидкость из регенератора, но при смешении с активным илом потенциал снижается до величины $E_h = -0,03$ в, меньшей, чем в первом опыте. На этой величине потенциал держится и после аэрации в течение часа; химический

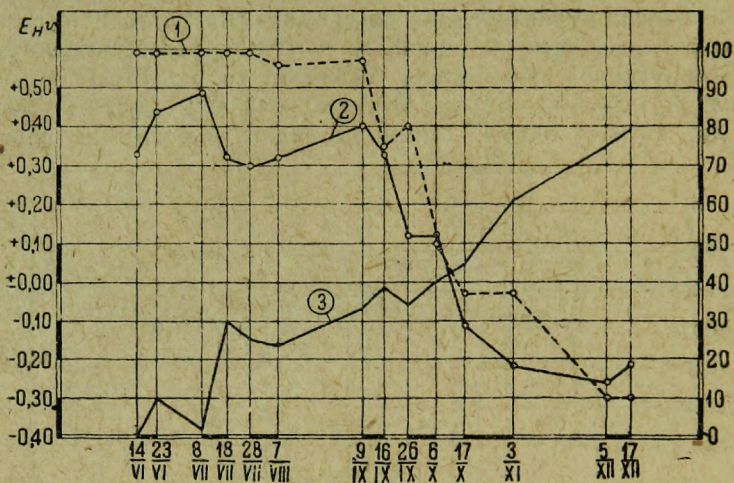


Рис. 59. Тальвег: «Стойкость»—1, E_h —2 и азот аммонийный—3.

анализ показывает, что за это время имело место главным образом разрушение органического вещества: окисляемость воды сильно снизилась; количество же нитратов и нитритов, а также биохимическая потребность в кислороде остались на прежнем уровне. По истечении же 3 час. аэрации потенциал имеет уже значительно более высокую положительную величину ($E_h = +0,16$ в), которая к концу опыта поднимается до $+0,28$ в.

За это время процесс нитрификации идет энергичнее, появляются в жидкости в большем количестве сначала нитриты и потом нитраты. Окончательное исчезновение азота аммонийных солей в этом опыте не наблюдалось. Нужно отметить также, что при измерении потенциала тотчас же после взятия пробы из аэротенка цифры получаются гораздо более высокие. Это показывает, в какой степени на величину потенциала влияет присутствующий в большом количестве в аэротенке кислород воздуха (табл. 98).

Обращает на себя внимание и то, что как при смешении сточной жидкости с активным илом, так и в дальнейшем с ходом ее очистки значительно падает удельная электропроводность сточной жидкости: в первом опыте — с $K_{18} = 10,84 \cdot 10^{-4}$ до $K_{18} = 8,83 \cdot 10^{-4}$; во втором — с $K_{18} = 10,18 \cdot 10^{-4}$ до $K_{18} = 8,39 \cdot 10^{-4}$. Для выяснения причины этого явления конечно необходимы отдельные исследования.

В задачу настоящей работы не входило исследование окислительно-восстановительного потенциала в тех случаях, когда очистка жидкости идет в анаэробных условиях. Но отдельные наблюдения, сделанные в данном

направлении, показывают, что в этих условиях, например в условиях распада осадка в метан-тэнках, потенциал сточной остается на прежнем уровне и если изменяется, то скорее в сторону падения, как показывает нижеприводимый анализ (табл. 99).

Таблица 99
Люберецкие поля фильтрации

Пробы 29/X 1931 г.	$K_{13} \cdot 10^4$	E_h	pH	rH
Сточная из разводной канавы	19,45	—0,24	7,36	6,8
Сточная из отстойников	24,95	—0,22	7,02	6,6
Сточная из метан-тénка	60,62	—0,25	7,65	6,8
Дренажная вода	22,37	+0,40	7,98	29,5

В то время как потенциал в дренажных канавах имеет величину того же порядка, что и во всех вышеизложенных наблюдениях, окислительно-восстановительный потенциал в метан-тэнках даже несколько ниже, чем в неочищенной сточной жидкости. Величина rH остается той же благодаря тому, что увеличивается щелочность воды. Удельная же электропроводность сточной жидкости в условиях метанового брожения в противоположность тому, что наблюдалось в аэротэнках, очень сильно повышается в связи с образованием большего количества углекислых солей.

Заключение

Измерения окислительно-восстановительного потенциала на различных очистных сооружениях, работающих в аэробных условиях, а также и на лабораторной установке аэротénка, показывают: 1) что потенциал сточной жидкости, прошедшей через очистные сооружения, очень сильно поднимается, причем особенно значительные повышения потенциала наблюдались в условиях естественной биологической очистки (до $E_h = +0,55$ в), и 2) что изменение потенциала идет параллельно с изменением ряда химических показателей.

Пока на основании изложенных здесь наблюдений нельзя установить строго количественные взаимоотношения, тем более, что при сильно меняющихся концентрациях сточной жидкости не всегда бывает просто определить идентичность жидкости, поступающей и выходящей с данного сооружения, а среднесуточные и одиночные анализы дают обычно несколько расходящиеся результаты [ср. пробы от 19/VII 1931 г. в 10 час. утра (табл. 83) и среднесуточные от 19—20/VII 1931 г. (табл. 84)]. Проще всего вопрос этот может быть разрешен при изучении потенциала на лабораторных моделях аэротénка при условии более точного учета влияния на потенциал кислорода, растворенного в воде. Исследования в этом направлении продолжаются в лаборатории Люблинских полей фильтрации.

Но все же и сейчас сопоставление с некоторыми данными химического анализа, изложенными в настоящей работе, позволяет сделать ряд заключений о значении и применимости метода измерения окислительно-восстановительного потенциала как контрольного при очистке сточных вод.

Прежде всего по величине E_h (или rH) как характеризующей восстановительные свойства жидкости можно с большей точностью судить о способности данной сточной жидкости к загниванию, так как конечно, чем восстановительный потенциал меньше, тем скорее должна загнить такая жидкость. Следовательно по величине E_h можно судить о „стойкости“, так как чем больше значение E_h для сточной жидкости, тем больше должна быть и ее „стойкость“. Правда, приведенные в работе примеры не устанавливают еще строгой закономерности между величиной „стойкости“ и значениями E_h . Но это и понятно, так как последняя величина дает гораздо более точное представление о способности данной жидкости к процессам окисления и восстановления. Кроме того и само определение „стойкости“ нуждается в пересмотре с точки зрения окислительно-восстановительного потенциала, так как при этих определениях очень мало обращается внимания на реакцию среды. А между тем согласно работам Кларка величина E_h метиленовой синьки (а также и других окислительно-восстановительных индикаторов), а следовательно и момент ее обесцвечивания стоят в большой зависимости от величины pH , как показывает это приводимая ниже таблица.

Таблица 100

Значение E_0 метиленовой синьки при 30° для pH между 5,0—9,0
(по Кларку и Михаэлису)

pH	5,0	5,4	5,8	6,2	6,6	7,0	7,4	7,8	8,2	8,6	9,0
E_0	+0,101	+0,077	+0,056	+0,039	+0,024	+0,011	+0,02	+0,014	+0,026	-0,028	-0,050

Далее, приводимые в этой работе материалы показывают, что величина E_h (при сильно восстановительных условиях) довольно хорошо сопоставляется с количеством аммонийного азота в сточной жидкости; изменения же величины E_h в сторону повышения служат указанием на то, насколько далеко подвинулся вперед процесс нитрификации при очистке сточной жидкости, так как из приводимых выше примеров ясно, что, чем меньше азота аммонийного и больше азота нитратов в сточной жидкости, тем выше в ней значения E_h . Как было указано выше, в условиях естественной биологической очистки на полях фильтрации эта величина в некоторых случаях повышается до значения $E_h = +0,53$ в. Данные эти совпадают с данными, приведенными в работе Кононовой, изучавшей изменение окислительно-восстановительных свойств в почве в зависимости от налива затоплением или инфильтрацией. При больших исходных количествах азота нитратов в этой работе приводятся и большие величины потенциала (до $E_h = +0,67$ в) при самом начале увлажнения почвы. Затем в случае некапиллярного увлажнения почвы потенциал падает до $+0,18$ в в связи с появлением в почве аммонийного азота.

Может быть гораздо труднее будет установить связь величины E_h с биохимической потребностью в кислороде, тем более, что в настоящее время в литературе сравнительно очень мало разработан вопрос о влиянии на величину E_h растворенного в воде кислорода. Но и здесь намечается известная корреляция между величинами E_h и биохимической потребностью в кислороде, так как в общем эта последняя уменьшается вместе с увеличением E_h .

Исходя из вышеизложенного, задачей дальнейших исследований будет установить более точные количественные взаимоотношения во всех перечисленных выше случаях. Но при дальнейших исследованиях в области применения окислительно-восстановительного потенциала при изучении очистки сточной жидкости необходимо выдвинуть также вопрос о том, насколько зависит от величины E_h само направление процессов, имеющих место в данном случае. В настоящее время накапливается в литературе все больше и больше данных, показывающих, насколько сильна зависимость микробиальных процессов от окислительно-восстановительных свойств среды. Как пример можно привести работу Кузнецова, показавшего, что в культурах *Aspergillus niger* образование лимонной кислоты наблюдается в том случае, если потенциал среды падает ниже $rH = 17$; если потенциал понизить до $rH = 12,8 \div 14$, то начинается уже образование этилового спирта. Правда, тот же исследователь (Кузнецов, 9) показал, что разложение мочевины до аммиака возможно в очень широких пределах в смысле окислительных условий от $rH = 28$ до $rH = 0,8$. Но во всяком случае чрезвычайно важно выяснить, в каких окислительно-восстановительных условиях возможна жизнедеятельность тех микроорганизмов, которые участвуют в процессе очистки сточной жидкости как в аэробных, так и в анаэробных условиях.

Выводы

На основании всего вышеизложенного можно сформулировать следующие выводы:

1. Московская сточная жидкость обладает сильно восстановительными свойствами. Потенциал ее после наступления равновесия приобретает значения от $E_h = -0,10$ до $E_h = -0,35$ в. Соответственно с этим наименьшая из наблюдавшихся величин $rH = 3,2$.

2. Величина E_h сточной жидкости в значительной степени определяется ее концентрацией и главным образом совпадает с изменениями в содержании солей аммония: чем больше аммонийного азота, тем меньше и значения E_h .

3. На величину E_h в смысле ее понижения оказывает влияние находящийся в сточной жидкости осадок.

4. После прохода сточной жидкости через различные очистные сооружения потенциал ее резко повышается и приобретает положительное значение.

При этом:

а) в воде первичных отстойников повышение потенциала наблюдалось только в том случае, если его измерения производить через несколько суток после взятия пробы;

б) в воде после перколяторов и аэрофильтров потенциал приобретал значения от $E_h = +2,18$ до $E_h = +0,39$ в;

в) в воде осушительных канав полей фильтрации величина потенциала $E_h = +0,25$ до $E_h = +0,53$ в;

г) в лабораторной установке аэротенка потенциал очищенной жидкости повышается до значения $E_h = +0,30$ в (предварительные опыты).

5. Повышение E_h идет параллельно с изменениями ряда химических свойств сточной жидкости: увеличивается „стойкость“, уменьшается биохимическая потребность в кислороде, уменьшается количество азота аммонийного, и увеличивается количество азота нитратов и т. д. Понижение величины E_h сопровождается изменением тех же химических показателей в направлении, характеризующем плохую работу сооружений.

6. Сравнение результатов обычного санитарного анализа с определениями по методу окислительно-восстановительного потенциала указывает на желательность применения последнего при контроле за очистными сооружениями, так как он дает совершенно точное представление об окислительных и восстановительных свойствах сточной жидкости, очень различных на различных ступенях ее очистки. Метод этот не требует введения в испытуемую жидкость никаких посторонних веществ, и потому определения отличаются своей простотой и доступностью, что дает возможность его применения в более широких пределах, чем обычный химический анализ.

ЛИТЕРАТУРА

1. W. M. Clark. Studies on Oxidation-Reduction I — X. Hygienic Laboratory Bulletin No 151.
2. W. M. Clark, The determination of Hydrogenions, Baltimore 1928.
3. L. Michaelis, Oxydanions-Reductions-Potentiale, Berlin 1929.
4. H. Plotsz et J. Geloso, Relation entre la croissance des microorganismes anaérobics et le potentiel du milieu du culture. Annales de l'Institut Pasteur. V. XLV, 1930.
5. W. W. Efimoff, N. J. Nekrasoff und Alexandra W. Efimoff, Die Einwirkung des Oxydationspotentials und der Ionenkonzentration auf die Vermehrung der Protozoen und Abwechslung ihrer Arten. Biochem. Zeitsch. Bd. 197, H. 1—3 1928.
6. Н. И. Некрасов, Физико-химические основы определения окислительно-восстановительного потенциала и его значение в биологии. Успехи эксперимент. биологии, т. VI, вып. III—IV, 1927 г.
7. Л. Михаэлис, Окислительно-восстановительные потенциалы и их физиологическое значение, пер. В. В. Эпштейна, 1932 г.
8. Карзинкин Г. С. и Кузнецов С. И., Новые методы в лимнологии, Тр. Лимнологической станции в Косине 13—14, 1931 г.
9. С. И. Кузнецов, Зависимость мочевого брожения от окислительно-восстановительного потенциала среды, Тр. научн. по удобрениям, вып. 76, 1930 г.
10. С. И. Кузнецов, Сдвиги окислительно-восстановительных процессов у *Aspergillus niger* в связи с изменениями потенциала среды, «Микробиология», Т. 1, В. 1, 1932 г.
11. Кононова, Окислительно-восстановительный потенциал как метод характеристики почвенных условий при различных способах орошения, «Почвоведение» № 3, 1932 г.
12. Н. П. Ремезов, Динамика окислительно-восстановительного потенциала в подзолистых почвах, Научный институт по удобрениям, вып. 77, 1930 г.
13. В. Г. Савич, Характеристика сточной жидкости по величине E_h . Доклад на IV Всесоюзном (XVI) водопроводном и санитарно-техническом съезде в ноябре 1931 г. в Свердловске.
14. Н. А. Базякина, Значение американской пробы «относительной стойкости» при оценке очистки сточных вод. Тр. I Всесоюзного водопроводного и санитарно-технического съезда в Баку, Москва 1927 г.

Самоочищение р. Пехорки в нижнем течении после спуска в нее дренажных вод с Люберецких полей фильтрации

Часть I

Введение

Крупным очистным сооружением для сточных вод Москвы являются Люберецкие поля фильтрации, принимающие в сутки в среднем 130 — 150 тыс. м³ (10 — 13 млн. ведер) сточной жидкости.

Люберецкие поля фильтрации расположены в 18 км от Москвы, в бассейне р. Пехорки, куда и спускаются очищенные дренажные воды. Пехорка представляет собой очень извилистый со значительными уклонами приток р. Москвы.

Как известно, вопрос о водоеме, принимающем очищенные на сооружениях воды, является одним из наиболее важных, а потому еще до начала постройки очистных сооружений р. Пехорка подвергалась тщательному обследованию со стороны как гидрографической, так и биологической (2,9)¹ для выяснения пригодности ее к тому, чтобы стать основным резервуаром для спуска очищенных вод. Использование этого водоема осложнялось условиями протекания р. Пехорки в районе дачных местностей.

Проведенные наблюдения показали, что река обладает совершенно отчетливой способностью к самоочищению, но наряду с этим отмечалось, что как бы глубоко ни изучалась самоочистительная активность водоема перед началом эксплуатации, предвидеть ее изменение в связи с поступлением в нее больших количеств богатых солями дренажных вод невозможно и поэтому необходимо продолжать изучение процесса самоочищения во время эксплуатации полей фильтрации, так как все же окончание окислительных процессов возлагается на водоем.

Ряд первых лет эксплуатации полей орошения показал, что очистка сточных вод происходит вполне удовлетворительно и влияние спускаемых дренажных вод на состояние р. Пехорки сказывается весьма слабо (3).

Постепенно, с увеличением площади полей фильтрации и с увеличением притока сточных вод из Москвы степень очистки начала снижаться, а количество выпускаемых дренажных вод сильно увеличилось в сравнении с предыдущими годами. Все эти факторы заставляли обращать серьезное внимание на качество спускаемых дренажных вод и одновременно возникал вопрос о пределах самоочистительной способности р. Пехорки в районе полей

¹ Цифры в скобках — ссылки на соответственные порядковые номера в списке литературы, помещенном на стр. 199 и 200.

фильтрации, так как перегрузка реки дренажными водами должна была сказаться на качестве воды нижележащих дачных районов, пользующихся рекой для купания и хозяйственных нужд.

В 1924 г. проведена была работа⁽⁸⁾ по изучению бактериального самоочищения р. Пехорки в районе полей фильтрации, где имеется несколько спусков дренажных вод. Работа привела к результатам, показывающим, что река справляется с загрязнениями, поступающими с дренажными водами, давая в среднем 50% уменьшения числа бактерий с резким изменением соотношения между отдельными группами бактерий.

Особенно сильную перегрузку на 20—25% выше нормальной нагрузки получили поля фильтрации с 1930 г., что сказалось немедленно на качестве спускаемых в водоем дренажных вод. Опасения окончательного загрязнения Пехорки и превращения ее в отводной зловонный канал заставили обратить серьезное внимание на состояние реки в ее нижнем течении и определить по возможности ее предельную самоочистительную способность. Для решения этого вопроса лабораторией Люберецких полей фильтрации поставлена была работа по обследованию р. Пехорки от полей фильтрации до устья (20,8 км) методом химического и бактериологического анализов.

Прежде чем обратиться к изложению результатов данного обследования, необходимо сделать краткий обзор работы полей фильтрации за 1931—1932 г. и дать общую картину гидрографического состояния р. Пехорки в данный период.

Работа Люберецких полей фильтрации за период 1931—1932 гг.

За промежуток времени с мая 1931 г. по апрель 1932 г. поступило из Москвы на поля фильтрации 40 500 тыс. м³ сточной жидкости. При расчете потребления воды на жителя, присоединенного к канализации, в среднем приходится в 76,6 л/сутки; годовое потребление на жителя выражается в количестве 28 м³. На полях фильтрации работа по очистке воды ведется не круглый год, а с перерывом, рассчитанным на весенний спуск сточных вод во время паводка. В 1931/32 эксплуатационном году поля работали в течение 317 дней. Благодаря этому приходится брать годовой расход воды, поступающей на поля фильтрации от одного жителя, не в 28 м³, а в $76,6 \cdot 317 = 24,28$ м³. При таком расчете получается, что поля фильтрации обслужили в течение 1931/32 г. население в 1668 тыс. человек. Эта цифра является несколько преувеличенной, так как в общую сумму поступления сточных вод на поля фильтрации включено некоторое количество грунтовых вод, попадающих в канал. Если исключить это количество грунтовых вод, то общий приток на поля снизится до 40 478 тыс. м³, а число обслуживаемого полями фильтрации населения уменьшится до 1667 тыс. человек.

Во всех дальнейших расчетах будем принимать все же цифру в 1668 тыс. человек, так как потребность жидкости в кислороде мы имеем для смешанной воды сточной и грунтовой.

Биохимическая потребность в кислороде отстоянной в течение 2 час. сточной жидкости по среднемесячным анализам с истинной константой составляет 260 мг/л, или 260 г/м³. Потребность 1 чел.-дня составит таким образом $0,26 \cdot 76,6 = 19,92$ г О₂. Цифра эта сильно

преуменьшена против истинной, так как в данные расчеты не вошли взвешенные вещества сточной жидкости. По приблизительным подсчетам общая биохимическая потребность в O_2 составляет около 800 мг/л^1 . При таком расчете потребность 1 чел.-дня составит $0,8 \cdot 76,6 = 61,3 \text{ г}$. По американским данным для ряда городов биохимическая потребность в O_2 сточной жидкости в среднем 110 г ($0,24$ фунта) на человека в сутки, а по данным Магг'a для германских городов биохимическая потребность в O_2 равна $30—40 \text{ г}$ на 1 чел.-день, но эти данные Магг считает несколько пониженными. Имея в руках такие данные, можно составить себе представление о той работе, которую должны принять на себя поля фильтрации, окисляя органическое вещество всего количества поступающих сточных вод.

Все расчеты окислительной работы мы вели только на первую стадию окисления углеродсодержащих веществ, а принимая во внимание, что поля захватывают и вторую стадию окисления азотсодержащих веществ, мы получим цифры потребности жидкости в кислороде, еще более повышенные. Имея в сточных водах общее количество азота в среднем 100 мг/л и помножая на коэффициент окисления до азота $1,71$, получим цифру на 1 чел.-день, равную $1,71 \cdot 0,1 \cdot 76,6 = 13 \text{ г}$ кислорода. Прибавляя эту величину к полученной ранее по окислению углеродсодержащих веществ, мы имеем таким образом цифру в $74,3$ общего количества кислорода, необходимого для полного окисления сточной жидкости 1 чел.-дня.

Дренажная вода после полей фильтрации имеет сильно измененный против сточной жидкости химический и бактериологический состав. Процессы окисления, проходящие в почве, как сказано выше, не только затрагивают углеродистую часть органических загрязнений, но в толще почвы идут интенсивно процессы окисления азотистой части загрязнения.

На Люберецких полях фильтрации биологические процессы очистки сточных вод проходят очень напряженно, в результате чего дренажная вода имеет высокую степень очистки.

Для характеристики работы полей фильтрации приведем данные химических и бактериологических анализов сточной жидкости и дренажных вод в различные периоды их работы (см. табл. 10i).

Из данных этой таблицы можно видеть, что поля несут очень большую окислительную работу. Выражая в процентах эффект окислительной мощности полей фильтрации для различных районов, характеризующихся различными канавами, мы получаем для 1924/25 г. в среднем 95% , а для 1932/33 г. — 90% .

Остающееся количество неокисленных органических соединений, находящееся в дренажных водах, естественно, спускается в р. Пехорку, где попадает под влияние двух факторов, из которых первый — разбавление речной водой верхнего течения р. Пехорки и ее притока Черновки, второй фактор — продолжение окислительной работы под действием самоочистительной способности реки. Оба эти фактора играют решающую роль при выработке норм спуска сточных или очищенных вод в тот или другой водоем.

До настоящего времени мы не имеем точных данных о нормах спуска неочищенных и очищенных вод в водоем. Исследования, изучающие самоочистительную способность рек, имеют только местное значение и проводятся

¹ В основу расчета положено соображение, что на окисление осадка требуется вдвое больше кислорода, чем на окисление отстаиваемой жидкости.

Средние годовые данные по составу сточной жидкости и дренажных вод (в мг/л)

Сточная жидкость	Год	А з о т			Окисляемость	Хлор	БПК	Количество бактерий	
		аммон. солей	нитратов	нитритов				рост на агаре	рост на сред. энд.
Сточная жидкость . . .	1924/25	85,65	нет	нет	60,0	118,0	—	6 000 000	2 500 000
	1931/32	76,9	нет	нет	87,0	224,0	424,0	1 700 000	580 000
Дренажные воды . . .	1924/25	7,0	11,9	—	13,3	76,9	колебания в пределах от 10 до 50 мг	9 625	4 900
Канавы 1 . . .	1931/32	28,2	7,3	0,28	18,8	178,8			
Дренажные воды . . .	1924/25	4,23	13,4	—	15,1	86,9			
Канавы 4 . . .	1931/32	6,4	14,7	0,49	8,6	191,8			
Дренажные воды . . .	1924/25	13,7	17,3	—	18,1	121,0		12 400	4 180
Канавы 7 . . .	1931/32	41,6	10,0	0,44	34,7	215,9			
								91 970	29 700

Примечание. Для сравнения взяты данные за 1924/26 г. как последний год нормальной нагрузки на поля фильтрации.

пока довольно редко. В русской литературе мы находим работы по изучению процессов самоочищения на р. Северном Донце в 1924/25 г. (11), р. Москве, р. Уводи в 1912/13 г., на р. Доне в 1927 г. (13), р. Клязьме в 1926 (31) и 1928 гг. (1) и некоторые другие.

Работа по Северному Донцу была проведена весьма обстоятельно: материал собран по химическим, биологическим и бактериологическим исследованиям. Результаты годичных наблюдений позволили сделать авторам ряд ценных выводов и констатировать самоочищение реки. Но определение величины этой работы реки авторы не ставили своей задачей.

В 1926 г. проведено было обследование р. Клязьмы в районе Богородского и Орехово-Зуевского уездов по данным химического и биологического обследования для выяснения самоочистительной способности реки после спуска в нее больших количеств производственных и фекальных вод. При разбавлении спускаемых загрязнений Клязьмой приблизительно в 40—80 раз река вполне справляется с вносимыми загрязнениями и через 50 км дает воду, по качеству приближающуюся к составу воды исходного пункта исследования, т. е. выше спусков производственных вод.

В 1928 г. проводилась работа также на р. Клязьме в районе г. Владимира по данным биологического обследования для определения самоочистительной способности реки. Однако здесь мы встречаем чрезвычайно благоприятные условия разбавления сточной жидкости водой Клязьмы приблизительно в 1700 раз, что совершенно исключает возможность изучения самоочищения.

В иностранной литературе работ по изучению процессов самоочищения водоемов имеется значительно больше. Крупные работы мы находим по изучению больших рек: Огайо (Ohio), Миссисипи (Mississippi), Иллинойс (Illinois) и Потомак (Potomac), где изучение загрязнения и процессов самоочищения продолжалось в течение ряда лет (22, 24, 17). Водоемы эти очень многоводны и берега густо заселены, так что загрязнения, с одной стороны, и очищение, с другой стороны, протекают очень интенсивно

благодаря большому разбавлению, большим скоростям движения воды и пр. Из рек, средних по величине, на которых производилось изучение самоочистительной способности водоемов, упоминаются в американской литературе три реки: (Дилоуэр) Delaware River, (Коннектикут) Connecticut River, (ручей Брандивайн) Brandywine Creek (23). Спуск сточных вод в эти водоемы производится без предварительной очистки, и благодаря сравнительно небольшим расходам рек авторам работ удается проследить идущие в водоемах процессы самоочищения по данным как химического, так и бактериологического анализов. И наконец имеется еще одна работа Westen'a и Turner'a по изучению процесса самоочищения очищенных на фильтрах сточных вод после спуска их в маленькие незагрязняемые водоемы. К сожалению достать эту работу нам не представилось возможным. Из немецких работ известны исследования Mahr'a, который рассматривает реку как очистное сооружение и дает расчет предельных нагрузок на водоем (20 и 21).

Однако полученные расчеты не дают возможности без экспериментальной проверки перенести формулу расчета допустимой нагрузки на наш водоем. Совокупность всех факторов (глубина водоема, величина поверхности, скорость течения, перепады, плотины, температура, разбавление, характеристика биологической жизни водоема, зеленая растительность в реке) составляет общий фон, на котором вырисовывается самоочистительная работа водоема, проявляемая в большей или меньшей степени в зависимости от характера загрязнений, спускаемых в реку.

Под словами „характер загрязнений“ мы имеем в виду большее или меньшее количество легко окисляющихся углеродсодержащих веществ, так как известно, что напряженность деятельности бактерий прямо пропорциональна действительному снабжению их пищей (формула Phelps'a), т. е. чем больше в воде легко окисляющихся углеродсодержащих веществ, тем интенсивнее идут процессы раскисления, а следовательно и процессы реэрации.

Особенность нашего водоема состоит в том, что он принимает воду, уже очищенную на полях фильтрации, т. е. лишенную большей части легко окисляющихся веществ, но несущую довольно значительное количество азотсодержащих загрязнений.

По данным Theriault'a (26) процесс нитрификации является второй стадией распада органических загрязнений, выражающейся в дополнительном потреблении кислорода, но идущей с уменьшенной скоростью сравнительно с первой стадией окисления органического вещества.

Все это и побудило лабораторию Люберецких полей фильтрации поставить работу по изучению процессов самоочищения в нижнем течении Пехорки и выяснить по возможности коэффициент реэрации водоема.

Работниками лаборатории регулярно в течение ряда лет ведутся гидрометрические работы по учету поступления сточных вод на поля фильтрации и учету дренажных вод, спускаемых в Пехорку. Одновременно с этими работами производятся замеры расхода Пехорки выше полей фильтрации и расхода притока Пехорки р. Черновки. Все эти данные позволяют выяснить фактор разбавления речной водой очищенных дренажных вод с полей фильтрации.

Из табл. 102, где приведены данные по расходу воды, видно, что коэффициент разбавления снижается в зависимости от увеличивающихся количеств дренажных вод.

Таблица 102

Среднесуточный приток сточной жидкости на Люберецкие поля фильтрации, количество дренажных вод и расходы воды р. Пехорки выше полей и р. Черновки

	Количество воды в м ³ /сутки		Коэф. разбавле- ния дренажн. вод речной	
	1924/25 г.	1931/32 г.	1924/25 г.	1931/32 г.
Сточная жид- кость	48 000	130 000		
Дренажн. воды	36 000	99 500		
р. Пехорка вы- ше полей	Гидрометрических замеров не было, количество речных вод принято, как и в 1931/32 г.	38 250	2,31	0,84
р. Черновка		45 000		
Всего речн. вод	83 250	83 250		

Гидрографическое описание р. Пехорки

(См. карту на стр. 197)

Пехорка берет свое начало в Реутовском районе, Московской обл. в 2 км к северо-западу от с. Пахры-Покровского и течет в южном направлении.

Общая длина речной долины определяется в 38 км, но русло реки очень извилистое с коэффициентом извилистости около 2.

Весь бассейн реки охватывает площадь 478 км². В верховьях река протекает через ряд прудов, созданных запрудами: через два пруда в районе бумагопрядильной фабрики при ст. Балашиха и один пруд в районе ст. Кучино Московско-Нижегородской ж. д., а также через ряд небольших прудов.

Перед входом на Люберецкие поля фильтрации, в северной их части, в р. Пехорку с правой стороны впадает речка Криста с притоком р. Чечерой. От истока до границы полей р. Пехорка имеет длину около 18 км и среднюю ширину в 5—7 м. В отдельных местах река обладает значительными уклонами и ввиду этого быстрым течением.

Средний суточный расход реки при входе на поля фильтрации около 40 тыс. м³. Пехорка, пересекая территорию полей с севера на юг, имеет длину 7,5 км и на своем пути принимает с левой стороны р. Черновку с общей длиной речной долины в 16 км, водосборной площадью в 180 км² (см. карту).

Средний суточный расход р. Черновки перед впадением в р. Пехорку около 45 тыс. м³. В пределах полей фильтрации в Пехорку впадает ряд осушительных каналов, несущих дренажные воды с общим среднесуточным расходом в 100 тыс. м³ (в отдельные месяцы отчетного периода 1931/32 г. указанный расход дренажных вод был значительно больше). При выходе из полей фильтрации река имеет общий среднесуточный расход в 185 тыс. м³ с отношением дренажных вод к речным 1:0,85.

В районе Люберецких полей фильтрации река имеет в ширину 7—8 м и глубину на перекатах до 0,50 м и омутах до 2 м.

Средний уклон реки 0,0008 и средняя скорость течения 0,18 м/сек.

Следующий участок реки от выхода с полей до входа в Михневский пруд имеет протяжение 8,5 км и имеет небольшие притоки: с правой стороны р. Сатовку и Кобыленку, а с левой — р. Змеевку, общий расход которых около 3 тыс. м³/сутки. Ширина реки 9—10 м. На данном участке река мало заросла и только местами встречаются заросли тростника и других прибрежных растений.

Михневский пруд образовался в результате устроенной запруды с целью использования воды для гидросиловой установки и для снабжения фабрики водой для производственных целей. Пруд имеет длину в 600 м и ширину в 200 м; площадь водного зеркала около 12 га. Глубина пруда при входе реки до 2,20 м, перед плотиной — 1,30 м. В береговых частях пруд сильно зарастает болотными растениями и поверхность пруда местами покрыта зелеными растениями (*Nymphaea alba*, *Typha latifolia*, *Numphag* и др.).

Выйдя из пруда, река протекает около 3 км в сильно заболоченной местности, изрезанной осушительными канавами.

Недалеко от д. Вереи река врезывается в пойму Москвы-реки и в совершенно непроходимом болоте распадается на два рукава.

Правый рукав принимает сточные воды суконной фабрики б. Сувилова и впадает в Москву-реку. Длина рукава — около 3,5 км; средняя ширина достигает в отдельных местах, считая с зарослями прибрежных растений, 6—7 м.

Расход воды при впадении, каковой был замерен в июле 1932 г., равен 107 308 м³/сутки и средняя скорость течения составляет 0,19 м/сек.

Русло левого рукава (Балкан) ниже д. Вереи сильно расширяется, образуя зарастающий пруд. Весь рукав имеет длину около 9,50 км, ширина же весьма различна. В отдельных местах русло реки сильно сужено, имея значительную глубину, но ширину всего в 5—6 м. В таких местах река совершенно свободна от зарослей.

Довольно часто встречаются расширения русла до 60—70 м, которые в большинстве покрыты сплошной зарослью водяных растений. Значительно ниже с. Коловец до устья река течет быстро в узком русле и довольно высоких берегах, имея ширину русла в 6—7 м.

Расход воды при впадении, замеренный в июле 1932 г., равен 124 157 м³/сутки, и средняя скорость течения составляет 0,14 м/сек. Вообще говоря, Пехорка до устройства полей фильтрации представляла собой маловодный приток р. Москвы и только теперь в связи с увеличивающимся количеством дренажных вод имеет большую скорость и большой расход, но протекает в пойме, представляющей собой почти исключительно заболоченные луга. Местами встречаются заросли ольхи, ивняка-кустарника, образуя типичные трясины, причем деревья подходят к самому берегу. Дно реки в большей части заткнуто илом, отложение которого всего больше по направлению к Михневскому пруду.

Наступление весеннего половодья и его продолжительность бывают весьма различны. Из многолетних наблюдений можно считать как средние: замерзание 20 ноября, вскрытие 11 апреля, продолжительность ледостава — 142 дня.

Необходимо отметить, что река в пределах Люберецких полей фильтрации и ниже на 3—4 км зимой не замерзает из-за поступления теплых дренажных вод, что заметно повышает температуру воды в реке. К началу исследований 1931/32 г. мы имели таким образом следующую картину гидрографического состояния р. Пехорки.

Длина р. Пехорки, считая по руслу реки от Арзамасского моста до устья левого рукава, 20,8 км. Общий расход р. Пехорки в среднем $Q=2,5 \text{ м}^3/\text{сек.}$ Средняя скорость течения $v=0,17 \text{ м/сек.}$ Время прохождения воды от Арзамасского моста до устья приблизительно равно 35 час. Средняя глубина реки—1,5 м. Средняя ширина реки—10,3 м. Общая площадь зеркала реки—21,5 га.

Пехорка на всем нижнем течении была разделена на 5 отрезков с характерными для каждого интервала скоростями и длиной.

I отрезок. Арзамасский мост—д. Пехорка (длина 5,5 км) имеет довольно спокойное течение со средней шириной 10 м. Недалеко от д. Пехорки впадает приток Змеевка с незначительным расходом.

II отрезок. Деревня Пехорка—поселок Михнево (длина 3,6 км). Река характеризуется несколько большей глубиной, перед пос. Михнево переходит в большой пруд, сильно заросший и частично загрязняемый Михневской фабрикой. Пункт взятия проб находится ниже пруда.

III отрезок. Поселок Михнево—деревня Верея (длина 3,5 км). Ширина в среднем 15 м. Около д. Вереи река разветвляется на 2 рукава. Правый рукав, проходя мимо суконной фабрики, впадает в р. Москву, а левый проходит еще д. Быково и впадает в р. Москву значительно ниже правого рукава.

IV отрезок. Деревня Верея—мост в Быкове (длина 1,2 км).

V отрезок. Быково—устье р. Пехорки (длина 7,7 км) со средней шириной реки в 8 м.

Результаты химических наблюдений

Познакомившись с общей картиной работы полей фильтрации и гидрографическим состоянием р. Пехорки от полей до устья, перейдем теперь к главному вопросу, поставленному перед нами—к выяснению величины самоочистительной способности данного водоема.

Возвращаясь к данным табл. 102, мы видим, что в наших условиях не приходится надеяться на разбавление речной водой, так как дренажных вод почти столько же, как и речных, разбавление получается меньше, чем 1:1, так что плохое качество очистки сейчас же скажется на составе воды реки ниже полей фильтрации. Систематический же спуск недостаточно очищенных вод вызовет постепенное отравление водоема и прекращение идущих в нем процессов самоочищения, как только скорость раскисления будет больше скорости реэрации водоема.

Наблюдения для изучения самоочистительной способности реки начаты были 15/V 1931 г., т. е. до начала эксплуатационного года на Люберецких полях фильтрации после весеннего паводка. В период весеннего половодья река хорошо промылась от зимних загрязнений и весенних спусков сточной жидкости и имела вполне удовлетворительный химический и бактериологический состав воды.

Все нижнее течение до устья разделено было на ряд отрезков большей или меньшей длины, смотря по характеру русла (см. карту), и каждый отдельный интервал рассматривался как имеющий свои особенности.

На всем протяжении р. Пехорки мы имели 7 пунктов для взятия проб. Регулярно два раза в месяц совершались поездки для выемки химических и бактериологических проб. Пробы брались с берега ковшом, насаженным на раздвижную двухметровую палку, с глубины 20—30 см. В отдельные

склянки брались пробы воды на растворенный кислород, на стойкость, и общая склянка — для всех остальных химических определений. Пробы воды для бактериологического анализа брались в стерильные пробирки и до привоза в лабораторию хранились в ручном леднике. На месте выемки проб производились определения температуры, реакции воды (рН) и предварительная обработка проб для определения растворенного кислорода, т. е. прибавлялись 0,5 см³ серной кислоты (1:3) и необходимое количество марганцевокислого калия $KMnO_4$ 0,1 N для разрушения легко окисляющихся (нитриты, закисное железо) веществ. Все остальные определения производились в лаборатории в среднем через 4—6 час. после выемки проб. Анализы производились по методам, описанным в „Стандартных методах исследования питьевых и сточных вод“ (15) химиком И. П. Астаховой.

В табл. 103—109 приводятся результаты полученных химических данных по всем пунктам наблюдений за весь период исследования. Для характеристики воды р. Пехорки выше полей и Черновки приводятся данные контрольных анализов, производившихся по одному разу в месяц химиком Е. С. Поповой.

Таблица 103

Состав воды р. Пехорки выше полей фильтрации и р. Черновки в мг/л

Месяц, число и год	Температура воды в °Ц	Хло- риды	А з о т			Окис- ляе- мость	Кислород		Стойкость в %
			аммон. солей	нитра- тов	нит- ритов		раст- вор	дефи- цит в %	
Р. Пехорка выше полей:									
1931 г. 17/VI	15,6	9,4	0	0	0,01	6,7	9,6	4,5	99
24/VII . . .	19,9	10,5	0,27	0	0,05	10,0	3,6	60,6	99
16/VIII . . .	15,6	10,7	0,47	6,0	0,05	—	8,0	20,4	99
15/IX. . . .	8,4	15,5	0	4,8	0,03	5,04	10,4	11,6	99
15/X	7,4	9,2	0	4,8	0,02	4,8	9,72	19,5	99
23/XI. . . .	0,1	17,9	0,6	следы	0,02	5,6	12,0	18,2	99
19/XII . . .	0,1	10,3	0,5	3,0	0,03	4,2	9,1	37,9	99
1932 г.									
19/I	0,1	9,6	1,4	1,4	0,03	5,1	10,3	29,4	99
27/II	0,1	10,8	2,0	0,8	0,06	7,4	7,9	45,7	99
20/III	0,1	10,8	3,3	1,24	0,08	4,02	11,01	24,6	99
1931 г.									
17/VI	р. Черновка	6,2	0	0	0	6,0	9,5	7,8	99
24/VII		14,9	0,3	7,6	0	17,0	4,7	40,9	99
16/VIII . . .		20,6	0	5,4	0	6,5	7,3	26,8	99
15/IX. . . .		15,8	0	6,2	0	5,04	9,91	14,2	99
15/X		9,2	0	3,0	0	7,9	9,28	21,7	99
23/XI		8,0	0,3	следы	0	6,8	11,9	18,9	99
19/XII . . .		0,1	следы	0	0,88	4,2	5,8	60,5	99
1932 г.									
19/I	р. Черновка	5,9	следы	1,1	следы	3,6	8,2	43,8	99
27/II		0,1	следы	0,9	0,05	5,4	7,1	51,3	99
20/III		0,1	5,9	0,78	0,06	6,6	3,7	74,4	99

Река Черновка—приток р. Пехорки в районе полей, но дренажные воды с Люберецких полей фильтрации в нее не попадают.

Пункт „у Арзамасского моста“ принят был нами за начальный как первый, характеризующий состав смешанных дренажных и речных вод.

Соответственно цели наших исследований были намечены следующие положения для выяснения работы водоема:

- 1) величина разбавления притоками и добавочного загрязнения речных вод нижнего течения по данным химического анализа;
- 2) режим растворенного кислорода в нижнем течении реки;
- 3) выяснение коэффициента реэрации водоема;
- 4) скорость естественного отмирания бактерий в реке.

Величину разбавления р. Пехорки впадающими в ее нижнем течении притоками мы считаем по хлору, принимая, что содержание хлора в притоках ничтожно по сравнению с содержанием хлора в воде р. Пехорки. Анализ воды притока р. Змеевки был произведен всего один раз и дал содержание хлора 21,7 мг/л. Спуск грязных стоков мы обнаружили только в районе д. Быково, где имеется непосредственный спуск фекальных вод без предварительной очистки из Дома отдыха. Число отдыхающих в среднем составляет 200 — 250 человек, так что загрязнение — очень ничтожное и сказывается на составе воды весьма слабо. Летом мы иногда встречаемся с случайными повышениями аммонийного азота, окисляемости и биохимической потребности в O_2 , что может быть объяснено случайными загрязнениями, вносимыми в реку при пользовании ею как водоемом для купания и бытового пользования. Выводя средние данные содержания хлора во всех исследуемых пунктах за летние и зимние месяцы, мы получаем такой ряд цифр:

Название пунктов	Июнь—ноябрь	Декабрь—март
	в мг. на 1 л воды	
I. Арзамасский мост	106	122
II. Дер. Пехорка	93	109
III. Дер. Михнево	87,7	110
IV. Дер. Верея, правый рукав . . .	85,0	107
V. Дер. Верея, левый >	84,4	109,3
VI. Дер. Быково	86,6	107,1
VII. Устье р. Пехорки	79,1	96,3

Приведенные данные по хлору показывают, что мы имеем к устью р. Пехорки приблизительно 25% разбавляющей воды летом и 20% для зимнего периода. Эти количества указывают на незначительные притоки поверхностных вод, разбавляющие весьма ничтожно главную массу воды р. Пехорки. Спуск фекальных вод выше д. Быково находит себе слабое отражение в смысле повышения хлора.

В своих дальнейших рассуждениях мы не будем принимать во внимание разбавление в силу его незначительности, а всю работу будем относить за счет самоочистительной способности водоема. Обращают на себя внимание самые цифры по хлору в течение летних и зимних месяцев: концентрация хлора увеличивается в первом пункте приблизительно на 15%, что указывает на разницу стока грунтовых вод в различное время года.

О самоочистительной работе исследуемого водоема мы считали возможным судить по данным биохимической потребности в O_2 , по окисляемости, по растворенному кислороду и по изменению азотсодержащих соединений от аммиака до нитратов и нитритов.

В литературе по самоочищению водоемов мы находим исключительно данные по окислению углеродистой части загрязнения, а окисление азотистой части остается в большинстве работ без внимания.

Месяц, число и год	Темпера- тура воды в °C	Реакция	Хлориды	А з о т			Окисле- мость	К и с л о р о д				Стойкость в %	Примечания
				аммон. солей	нитра- тов	нитри- тов		раство- ренный	дефицит в %	потреб- ность за 5 суток	общая потреб- ность		
15/V—1931 г. .	10,4	7,3	40,0	3,7	6,6	0,08	12,4	6,87	38,3	—	—	99	Сильные ливни
19/VI—1931 г.	12,2	7,25	98,0	13,3	1,11	0,56	29,3	4,63	57,2	—	—	80	
2/VII—1931 г.	13,9	—	120,5	29,25	10,6	0,5	15,4	3,35	67,7	31,96	47,0	95	
21/VII—1931 г.	17,6	7,1	87,8	9,6	7,11	0,29	15,6	2,24	73,7	13,12	19,3	96	
4/VIII—1931 г. .	15,8	7,2	113,8	21,5	6,47	0,33	11,6	2,08	79,1	10,91	16,04	95	
24/VIII—1931 г.	13,9	7,25	113,2	15,1	10,9	0,27	11,7	3,44	66,9	8,64	12,7	94	
5/IX—1931 г. .	12,7	7,1	113,3	16,1	15,6	0,27	9,12	3,73	64,9	17,07	25,1	99	
22/IX—1931 г. .	10,4	7,3	90,43	14,25	5,29	0,11	9,13	6,22	43,8	11,15	16,4	98	
7/X—1931 г. .	8,0	7,35	107,3	15,9	4,6	0,22	11,03	6,33	46,5	7,01	10,3	98	
26/X—1931 г. .	6,8	7,15	110,2	13,7	5,89	0,19	10,8	6,52	46,6	20,06	29,3	90	¹ При определении потребности в кислороде—слишком большая поправка на разбавляющую воду ² Пробы на кислород взяты из общей бутылки
27/XI—1931 г. .	1,5	—	107,59	17,25	3,5	0,12	12,3	10,74 ²	—	9,52	14,0	95	
10/XII—1931 г.	2,4	7,2	112,9	18,5	9,6	0,12	9,2	7,69	48,4	4,96	7,3	99	
26/XII—1931 г.	3,2	7,0	117,0	22,5	7,2	0,10	9,02	3,42	74,6	15,03	22,1	99	
9/I—1932 г. . .	2,9	7,05	127,3	18,5	3,2	0,16	12,45	3,25	76,7	13,06	19,2	90	
27/I—1932 г. .	2,2	7,0	120,6	19,1	1,51	0,23	11,7	6,56	52,0	28,22	41,5	74	
19/II—1932 г. .	2,4	7,0	134,5	24,19	следы	0,14	21,49	4,11	70,0	51,4	85,67	33	
4/III—1932 г. .	2,5	7,0	122,06	23,7	0,83	0,13	43,0	4,19	69,3	59,0	86,76	32	
25/III—1932 г. .	3,0	7,0	138,6	32,9	0,46	0,13	33,43	2,08	84,6	107,8	154,9	16	

2. Состав воды р. Пехорки у д. Пехорки в мг/л

Таблица 105

Месяц, число и год	Темпера- тура воды в °С	Реакция	Хлориды	А з о т			Окисле- мость	К и с л о р о д				Стойкость в %	Примечания
				аммон. солей	нитра- тов	нитри- тов		раство- ренный	дефицит в %	потреб- ность за 5 суток	общая потреб- ность		
15/V—1931 г.	12,1	7,4	29,1	3,3	6,0	0,11	13,9	7,03	34,6	—	—	99	Сильный ливень
19/VI—1931 г.	14,9	7,35	20,8	11,5	6,85	0,29	22,7	3,52	65,4	—	—	80	
2/VII—1931 г.	17,2	—	95,7	21,75	7,8	0,49	10,25	5,64	42,1	18,29	26,9	95	
21/VII—1931 г.	18,4	7,2	77,2	8,4	10,87	0,33	14,9	1,19	87,3	—	—	96	
4/VIII—1931 г.	18,6	7,3	88,5	14,5	9,11	0,69	12,2	1,45	87,58	—	—	95	
24/VIII—1931 г.	15,5	7,3	97,1	12,8	8,4	0,4	10,25	1,67	83,4	—	—	94	
5/IX—1931 г.	14,2	7,3	102,7	11,4	7,9	0,10	8,04	5,28	52,0	—	—	99	
7/X—1931 г.	7,8	7,35	96,35	13,35	6,0	0,21	8,95	6,11	50,5	—	—	98	
26/X—1931 г.	6,6	7,2	104,7	11,9	14,0 ¹	0,15	10,8	4,43	63,8	—	—	98	
27/XI—1931 г.	0,6	—	98,3	15,0	2,1	0,12	7,2	11,19 ¹	—	—	—	90	¹ 27/XI кисло- родные пробы взя- ты из оошей бу- тыли
10/XII—1931 г.	0,3	7,3	98,77	20,2	8,2	0,10	7,2	6,98	51,1	—	—	95	
26/XII—1931 г.	1,6	7,1	98,7	16,7	7,0	0,107	7,08	7,7	43,1	—	—	99	
9/I—1932 г.	1,7	7,1	110,3	16,5	3,0	0,18	9,7	5,67	58,9	—	—	95	
27/I—1932 г.	1,2	7,1	115,9	18,9	1,83	0,19	8,96	7,06	50,3	23,19	34,1	90	
19/II—1932 г.	0,1	7,05	112,7	18,29	н. сл.	0,12	14,73	5,07	65,2	28,2	47,0	44	
4/III—1932 г.	0,3	7,05	116,68	23,1	0,58	0,12	35,8	4,18	71,2	42,4	62,35	21	
25/III—1932 г.	1,0	7,05	117,0	35,2	0,37	0,14	29,45	1,25	91,1	83,2	122,4	11	

3. Состав воды р. Пехорки у д. Михнево в мг/л

Таблица 106

Месяц, число и год	Темпера- тура воды в °С	Реакция	Хлориды	А з о т			Окисле- мость	К и с л о р о д				Стойкость в %	Примечания
				аммон. солей	нитра- тов	нитри- тов		раство- ренный	дефицит в %	потреб- ность за 5 суток	общая потреб- ность		
15/I—1931 г. .	12,6	7,3	29,1	2,63	10,4	0,14	16,15	8,29	20,6	—	—	99	Сильные ливни
19/VI—1931 г. .	17,4	7,35	76,6	11,4	9,0	0,34	9,84	4,82	49,8	—	—	80	
2/VII—1931 г. .	20,0	—	92,1	16,8	4,8	0,44	14,7	4,37	52,4	—	—	95	
21/VII—1931 г. .	20,4	7,1	63,18	6,7	переб. щелоч.	0,31	14,57	2,37	74,2	8,09	11,9	96	
4/VIII—1931 г. .	19,2	7,25	95,76	13,7	3,6	0,60	9,39	1,16	87,3	11,02	16,2	95	
24/VIII—1931 г. .	16,4	7,3	95,25	11,9	7,75	0,35	9,42	2,07	79,1	9,04	13,3	24	
5/IX—1931 г. .	14,4	7,2	92,6	11,5	7,6	0,28	8,0	3,38	67,2	7,34	10,8	99	¹ При определении потребности в O ₂ — большая поправка на разбавленную воду
22/IX—1931 г. .	10,4	7,4	86,8	12,6	5,03	0,17	8,42	6,44	42,5	21,22	31,2	98	
7/X—1931 г. .	7,2	7,4	89,08	12,3	6,0	0,11	8,59	6,06	50,1	5,37 ¹	7,89	97	
26/X—1931 г. .	5,8	7,3	93,7	12,3	6,85	0,082	8,63	7,64	39,5	5,92	8,7	90	
27/XI—1931 г. .	0,3	неопред.	90,9	11,6	3,4 ²	0,087	6,63	10,9 ³	—	7,0	10,3	95	
10/XII—1931 г. .	0,1	7,15	107,6	16,7	7,0	0,09	6,8	4,34	70,0	5,37	7,9	99	
26/XII—1931 г. .	0,8	7,1	98,7	18,0	7,0	0,091	6,9	6,4	53,3	4,88	7,17	95	² Определение ни- тратов производи- лось колориметри- чески с бруцином
9/I—1932 г. .	0,6	7,2	113,9	17,5	1,55	0,18	9,38	3,59	75,6	9,52	14,0	90	
27/I—1932 г. .	1,0	7,15	102,3	18,9	1,7	0,13	8,56	7,45	47,7	11,63	17,1	99	
19/II—1932 г. .	0,2	7,0	118,2	19,24	нет	0,12	15,33	3,13	78,5	31,1	51,84	30	³ Пробы на ки- слород из общей бутыли
4/III—1932 г. .	0,2	7,05	116,68	23,8	0,38	0,07	33,8	3,16	78,3	37,6	55,29	22	
25/III—1932 г. .	0,3	6,95	117,0	30,5	0,18	0,08	25,47	1,13	92,2	90,2	132,6	12	

4. Состав воды р. Пехорки — левый рукав у д. Верей в мг/л

Таблица 107

Месяц, число и год	Темпера- тура воды в °С	Реакция	Хлориды	А з о т			Окисляе- мость	К и с л о р о д				Стойкость в %	Примечания
				аммон. солен.	нитра- тов	нитри- тов		раство- ренный	дефицит в %	потреб- ность за 5 суток	общая потреб- ность		
15/V—1931 г.	12,0	7,2	30,9	2,5	2,8	0,18	15,7	7,43	31,4	—	—	99	Сильные ливни
19/VI—1931 г.	118,6	7,4	53,4	3,65	6,49	0,47	8,29	6,94	26,2	—	—	80	
2/VII—1931 г.	21,2	—	99,2	13,05	7,4	0,5	10,6	6,23	30,0	—	—	95	
21/VII—1931 г.	21,9	7,1	56,16	3,8	6,17	0,43	16,27	2,62	70,5	9,72	14,3	95	
4/VIII—1931 г.	19,4	7,2	101,18	8,41	4,54	0,42	12,53	1,31	85,92	11,36	16,7	95	
24/VIII—1931 г.	16,5	7,2	98,9	7,14	4,16	0,26	9,84	1,98	79,8	11,22	16,5	94	
5/IX—1931 г.	15,0	7,2	87,5	7,6	8,4	0,33	8,9	1,46	85,7	7,82	11,5	99	
22/IX—1931 г.	10,3	7,4	86,82	11,55	17,2	0,20	8,04	4,25	65,1	11,09	16,31	98	
7/X—1931 г.	7,0	7,4	5,44	8,1	6,8	0,11	8,04	5,04	58,4	10,0	14,7	99	
26/X—1931 г.	5,4	7,2	93,7	8,47	10,06	0,07	10,0	5,90	53,1	4,42	6,5	90,6	
27/XI—1931 г.	0,1	неопред.	81,6	11,3	4,0	0,038	7,99	7,04	51,2	8,3	12,2	95	
10/XII—1931 г.	0,1	7,2	111,1	15,0	11,0	0,04	5,2	2,056	86,0	7,68	11,3	99	
26/XII—1931 г.	0,4	7,1	96,9	16,5	5,0	0,051	6,12	3,8	73,6	5,58	8,2	—	
9/I—1932 г.	0,1	7,1	112,9	16,5	2,1	0,12	12,1	3,16	78,4	7,75	11,4	90	
27/I—1932 г.	0,2	7,2	100,5	17,3	1,53	0,076	6,9	6,3	56,8	10,68	15,7	99	
19/II—1932 г.	0,2	7,0	121,8	20,54	нет	0,09	15,33	2,05	85,9	26,0	43,3	30	
4/III—1932 г.	0,2	7,0	113,09	23,1	0,3	0,07	33,8	1,51	89,6	37,8	35,59	30	
25/III—1932 г.	0,2	6,95	119,6	30,6	нет	нет	20,3	0,38	97,4	82,8	121,8	13	

Месяц, число и год	Темпера- тура воды в °С	Реакция	Хлориды	А з о т			Окисле- мость	К и с л о р о д				Стойкость в %	Примечания
				аммон. солей	нитра- тов	нитри- тов		раство- ренный	дефицит в %	потреб- но. ть за 5 суток	общая потреб- ность		
15/V—1931 г.	13,2	7,3	27,3	1,73	16,2	0,18	16,9	9,96	17,0	—	—	99	Проба воды взя- та у Коломца на мосту Сильный ливень
19/VI—1931 г.	19,9	—	74,8	4,9	5,65	0,55	7,52	9,64	пересы- щен.	—	—	80	
2/VII—1931 г.	21,6	—	109,8	12,15	8,0	0,66	10,94	5,35	38,4	—	—	90	
21/VII—1931 г.	23,0	7,1	49,14	1,49	8,15	0,45	14,57	2,0	76,2	—	—	96	
4/VIII—1931 г.	20,6	7,2	92,14	11,21	6,47	0,33	19,96	1,29	85,74	—	—	95	
24/VIII—1931 г.	17,9	7,3	97,09	7,81	7,27	0,33	9,42	2,83	70,1	—	—	94	
5/IX—1931 г.	15,8	7,2	84,07	6,17	7,8	0,31	9,1	2,99	70,0	—	—	99	
22/IX—1931 г.	10,9	7,4	95,86	8,93	15,35	0,25	8,42	4,74	57,1	—	—	98	
7/X—1931 г.	7,0	7,4	85,44	8,5	7,4	0,12	10,23	6,04	50,1	—	—	98	
26/X—1931 г.	5,2	7,3	93,7	8,34	14,7	0,06	9,02	7,03	45,1	—	—	90	
27/XI—1931 г.	0,1	—	83,47	13,95	3,6	0,035	7,2	7,26	50,3	—	—	95	
10/XII—1931 г.	0,6	7,15	111,7	18,25	11,4	0,04	7,2	2,24	84,1	—	—	99	
26/XII—1931 г.	0,3	7,0	91,4	13,8	6,7	0,04	6,12	3,65	74,8	—	—	99	
9/I—1932 г.	0,2	7,1	112,9	17,3	2,4	0,12	8,9	2,94	79,8	—	—	90	
27/I—1932 г.	0,4	7,15	96,8	15,06	1,58	0,08	6,97	5,9	58,4	—	—	99	
19/II—1932 г.	0,7	7,05	116,4	17,86	нет	0,07	12,34	1,84	87,2	—	—	30	
4/III—1932 г.	0,3	6,95	114,88	23,4	0,23	0,06	33,4	1,08	92,6	—	—	22	
25/III—1932 г.	0,2	6,9	129,6	28,8	нет	нет	24,68	0,11	99,2	—	—	12	

6. Состав воды р. Пехорки — устье (левый рукав) в мг/л

Таблица 109

Месяц, число и год	Темпера- тура воды в °C	Реакция	Хлориды	А з о т			Окисле- мость	К и с л о р о д				Стойкость в %	Примечания
				аммон. солей	нитра- тов	нитри- тов		раство- ренный	дефицит в %	потреб- ность за 5 суток	общая потреб- ность		
15/V—1931 г.	13,2	7,6	24,5	0,76	7,05	0,17	20,3	8,37	18,2	—	—	99	Сильные ливни
19/VI—1931 г.	19,6	7,85	81,8	4,35	—	0,51	7,9	6,95	25,3	—	—	80	
2/VII—1931 г.	22,4	—	85,1	3,3	8,4	1,19	10,77	7,38	16,7	—	—	95	
21/VII—1931 г.	22,8	7,1	45,63	0,53	9,44	0,36	—	1,69	74,8	21,49	31,6	96	
4/VIII—1931 г.	22,7	7,3	86,72	4,6	8,64	0,66	10,65	2,47	71,7	9,93	14,6	95	
24/VIII—1931 г.	18,8	7,3	87,93	3,8	—	0,38	9,84	2,57	72,4	7,79	12,9	94	
5I/X—1931 г.	16,2	7,2	73,1	2,4	8,2	0,36	8,1	3,47	64,95	10,4	15,3	99	
22/IX—1931 г.	10,8	7,4	85,01	6,38	8,89	0,31	7,75	4,79	56,6	14,89	21,9	98	
7/X—1931 г.	6,8	7,5	78,17	6,75	6,2	0,11	5,15	5,68	52,9	7,68	11,3	98	
26/X—1931 г.	5,4	7,5	88,2	6,5	8,5	0,07	8,82	8,5	33,3	3,54	5,2	90	
27/XI—1931 г.	0,1	неопр.	37,1 ¹	7,5	4,6	0,024	8,38	11,2 ¹	—	4,92	7,23	95	¹ Пробы на кисло- род взяты из общей бутыли
10/XII—1931 г.	0,35	7,15	97,0	13,95	12,4	0,02	8,0	1,52	89,4	8,5	62,5	99	
26/XII—1931 г.	0,2	7,1	87,7	14,2	7,1	0,015	5,47	3,76	74,6	2,04	3,0	95	
9/I—1932 г.	0,1	7,2	95,9	11,3	3,1	0,04	9,7	6,45	55,8	6,53	9,6	90	
27/I—1932 г.	0,1	7,2	87,75	13,06	1,58	0,037	8,57	6,24	56,8	10,2	15,0	99	
19/II—1932 г.	0,5	7,0	104,5	16,31	нет	0,015	9,95	0,41	97,2	6,7	11,11	22	
4/III—1932 г.	0,1	6,95	104,11	23,8	»	0,03	13,9	0,14	99,0	26,8	39,41	20	
25/III—1932 г.	0,1	6,85	126,0	27,3	»	нет	19,8	0,06	62,6	62,6	92,1	11	

Снабжение кислородом воды водоема по данным Streeter'a (25) и других исследователей происходит из трех источников:

1) разбавление, вносимое водою верхнего течения реки, содержащей значительное количество растворенного кислорода;

2) снабжение кислородом в результате ассимиляции CO_2 зелеными растениями;

3) диффузия кислорода из воздуха (25, стр. 247).

Все три источника снабжения кислородом действуют одновременно, и выделить, какой из этих трех источников наиболее активен и постоянен, не представляется возможным, поэтому в дальнейшем изложении мы все три источника объединим под общим названием „атмосферная реэрация водоема“.

Имея в пункте „у Арзамасского моста“ воду вполне смешанную, дренажную с речной, мы получаем по биохимической потребности в O_2 для летних и зимних месяцев следующий ряд цифр по пунктам к устью р. Пехорки.

Таблица 110

Данные по биохимической потребности в кислороде воды р. Пехорки по всем пунктам наблюдений в мг/л

Месяцы	Числа	П у н к т ы					% убыли от I до VII пункта
		I	II	III	V	VII	
1931 г.							
Июль	2	47,0	26,9	—	—	—	—
»	21	19,3	—	11,9	14,3	31,6	+64,0
Август	4	16,0	—	16,2	16,7	14,6	—8,8
»	24	12,7	—	13,3	16,5	12,9	+1,5
Сентябрь	5	25,1	—	10,8	11,5	15,3	—39,5
»	22	16,4	—	31,2	16,31	21,9	+33,5
Октябрь	7	10,3	—	7,9	14,7	11,3	+9,0
»	26	29,5	—	8,7	6,4	5,2	—82,3
Ноябрь	27	13,0	—	10,3	12,2	7,2	—48,0
Декабрь	10	7,3	—	7,9	11,3	12,5	+71,0
»	26	22,1	—	7,2	8,2	3,0	—86,4
1932 г.							
Январь	9	19,2	—	14,0	11,4	9,6	—50,0
»	27	41,5	34,1	17,1	15,7	15,0	—63,9
Февраль	19	85,7	47,0	51,8	43,3	11,1	—
Март	4	86,8	62,4	55,3	55,6	39,4	—54,6
»	25	154,9	122,4	132,6	121,8	92,1	—40,4

Из этой таблицы видно, что в течение всех летних и осенних месяцев наблюдается отсутствие снижения или очень незначительное уменьшение биохимической потребности в O_2 с малыми колебаниями в промежуточных пунктах в ту и другую сторону от начальных величин. И только в случаях, где биохимическая потребность в O_2 превышает 20 мг/л, мы имеем снижение к устью р. Пехорки, ясно выраженное и доходящее до 82,4%. Зимой, т. е. с момента ухудшения работы полей фильтрации, когда смешан-

Данные о количестве растворенного кислорода в воде р. Пехорки по всем пунктам наблюдений в мг/л

Таблица 111

Месяц, число и год	Наименование пунктов												Примечания
	I		II		III		IV		V		VII		
	Раст- вор O ₂	Насыщ. в %	Раст- вор O ₂	Насыщ. в %	Раст- вор O ₂	Насыщ. в %	Раст- вор O ₂	Насыщ. в %	Раст- вор O ₂	Насыщ. в %	Раст- вор O ₂	Насыщ. в %	
15/V—1931 г. ¹	6,87	61,7	7,03	65,4	8,29	77,4	7,43	68,6	9,96	83,0	8,37	82,8	
19/VI—1931 г.	4,63	42,8	3,52	34,6	4,82	50,2	6,94	73,8	9,64	пересыщ.	6,95	74,7	
2/VII—1931 г.	3,35	32,3	5,64	57,9	4,37	47,6	6,23	70,0	5,35	61,6	7,38	83,3	
21/VII—1931 г.	2,24	26,3	1,19	12,7	2,37	25,8	2,62	29,5	2,0	23,8	1,69	25,2	
4/VIII—1931 г.	2,08	20,9	1,45	12,42	1,16	12,7	1,31	14,08	1,29	14,24	2,47	28,3	
24/VIII—1931 г.	3,44	33,1	1,67	16,6	2,07	20,9	1,98	20,2	2,83	29,9	2,57	27,6	
5/IX—1931 г.	3,73	35,1	2,75	27,6	3,38	32,8	1,46	14,3	2,99	30,0	3,47	35,06	
22/IX—1931 г.	6,22	56,2	5,28	48,0	6,44	57,15	4,25	34,9	4,74	42,9	4,79	43,4	
7/X—1931 г.	6,33	53,5	6,11	49,5	6,06	49,9	5,04	41,6	6,04	49,9	5,68	47,1	
26/X—1931 г.	6,52	53,4	4,43	36,2	7,64	60,5	5,90	46,9	7,03	54,9	8,5	66,4	
27/XI—1931 г. ²	10,74 ¹	76,9	11,19 ¹	77,7	10,9 ¹	75,8	7,04 ¹	48,8	7,26 ¹	49,7	11,2 ¹	77,1	
10/XII—1931 г.	7,069	51,6	6,98	48,9	4,34	30,0	2,056	14,0	2,24	15,9	1,52	10,6	
26/XII—1931 г.	3,42	25,4	7,7	56,9	6,4	46,7	3,8	26,4	3,65	25,2	3,76	25,4	
9/I—1932 г.	3,25	23,3	5,67	41,1	3,59	24,4	3,16	21,6	2,94	20,2	6,45	44,2	
27/I—1932 г.	6,56	48,0	7,06	49,7	7,45	52,3	6,3	43,2	5,9	41,6	6,24	43,2	
19/II—1932 г.	4,11	30,0	5,07	34,8	3,13	21,5	2,05	14,1	1,84	12,8	0,41	2,8	
4/III—1932 г.	4,19	30,7	4,18	28,8	3,16	21,7	1,51	10,4	1,08	7,4	0,14	1,0	
25/III—1932 г.	2,08	15,4	1,25	8,9	1,13	7,8	0,38	2,6	0,11	0,8	0,06	0,4	

¹ Проба 15/V взята до начала работы полей фильтрации.² Цифры преувеличены, так как кислородные пробы взяты из общей склянки в лаборатории.

ная вода дает цифры биохимической потребности больше 20 — 23 мг/л, во всех случаях мы имеем снижение в среднем на 50 — 60% от начальной величины. Особенно отчетливо вырисовывается картина снижения биохимической потребности в O_2 в течение февраля и марта (рис. 60), несмотря на то, что в эти месяцы температура воды держится около $+3^\circ C$ в пункте „у Арзамасского моста“, т. е. минимальная за весь период наблюдений, а биологические процессы окисления органического вещества, как известно, замедляются в холодное время года.

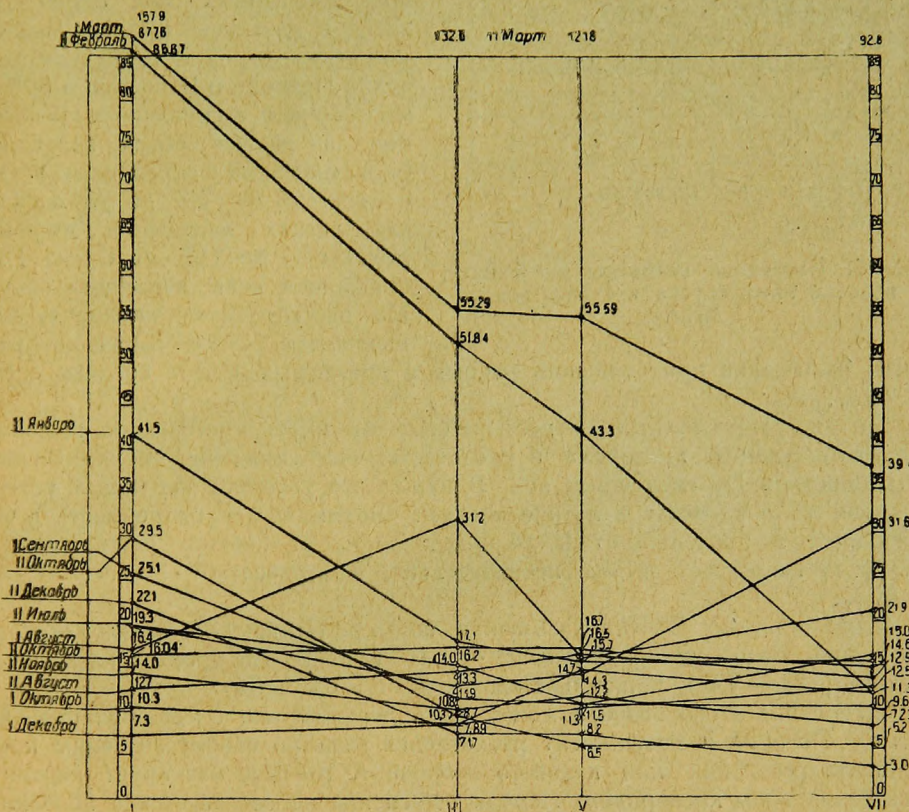


Рис. 60. Содержание органического вещества в воде р. Пехорки по данным биохимической потребности.

Полученные данные по биохимической потребности в O_2 для летних месяцев со всей очевидностью указывают, что в дренажных водах после полей фильтрации остались только трудно окисляющиеся углеродсодержащие вещества, не поддающиеся окислению на довольно большом промежутке реки, несмотря на имеющийся запас растворенного кислорода. По данным Магга (1) режим кислорода в реке имеет свои фазы: обычно до впуска сточных вод в водоем процент насыщения воды кислородом составляет в среднем 75%, затем при смешении речной воды со стоком коэффициент раскисления превышает коэффициент реаэрации — наступает минимум содержания растворенного кислорода приблизительно на 2—3-е сутки; после чего скорость реаэрации водоема начинает снова преоб-

ладать над скоростью раскисления, и постепенно идет нарастание растворенного кислорода, достигая приблизительно на 10-й день начального процента насыщения. Уменьшение процента насыщения зависит от полученной смеси сточных и речных вод. Магг приводит диаграмму, рисующую влияние качества смешанных вод с различной биохимической потребностью в O_2 на скорость реэрации водоема (рис. 61).

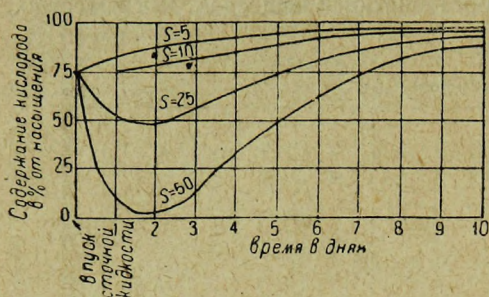


Рис. 61. Изменение величины реэрации в водоеме ниже сброса сточных вод по Магг'у.

Принимая в среднем биохимическую потребность в O_2 для наших смешанных вод около 15 мг/л и начальный процент насыщения кислородом в верхнем течении Пехорки и Черновки в 80%, мы получаем в смешанных дренажных и речных водах величину биохимической потребности в O_2 в пределах от 7,3 до $25 \text{ мг } O_2$ для летних месяцев и цифры, доходящие до $155 \text{ мг } O_2$ на 1 л смешанной воды, в зимние месяцы. По растворенному кислороду мы наблюдаем резкое снижение про-

цента насыщения при смешении речных и дренажных вод в среднем с 80 до 40%.

По диаграмме Магг'а мы должны были бы иметь постепенное нарастание растворенного кислорода и соответственное снижение биохимической потребности в O_2 смешанных вод. В наших же условиях картина к устью Пехорки мало меняется в летние месяцы: биохимическая потребность в O_2 колеблется в пределах от 3 до 22 мг/л , а количество растворенного кислорода возрастает весьма незначительно, колеблясь от 25 насыщения до 47%.

Исключение по степени насыщения воды р. Пехорки кислородом составляют лишь данные весенних месяцев — мая¹ и июня, где процент насыщения достигает 83—74 к устью р. Пехорки (рис. 62 и 64).

Объяснение этого явления может быть двоякое: или очень мал путь до устья р. Пехорки и коэффициент раскисления выше по своему значению коэффициента реэрации или какой-то вторичный процесс маскирует картину насыщения воды кислородом. Первое объяснение не согласуется с абсолютными данными по биохимической потребности в O_2 . Полученные цифры дают очень ничтожное снижение углеродсодержащих веществ и в то же время не замечается увеличения в воде растворенного кислорода (рис. 64). Предположить отсутствие реэрации водоема нет никаких данных, так как условия для атмосферной аэрации реки вполне благоприятны как по данным весеннего анализа воды нижнего течения, так и по данным гидрографического описания реки (см. карту). Для зимнего времени мы имеем вполне объяснимые явления снижения биохимической потребности в O_2 и уменьшения растворенного кислорода к устью р. Пехорки (рис. 63 и 65). Температура дренажной воды в течение всего зимнего периода не спускается ниже $+3 \div +4^\circ\text{C}$ и благодаря этому при смешении теплых дренажных вод с небольшими количествами холодных речных вод все же держится выше нуля,

¹ Пробы воды в мае взяты до начала эксплуатации полей фильтрации.

и река в течение всей зимы в районе полей не покрывается ледяным покровом. Запаса тепла хватает на 3—4 км ниже полей фильтрации по течению реки, а уже весь дальнейший путь за исключением плотины в д. Михневе и быстро текущего короткого интервала около д. Быково, где видимо влияет спуск фекальных вод из Дома отдыха, река протекает под льдом.

Процессы окисления органических веществ непосредственно ниже полей фильтрации в районе открытой поверхности водоема в это время года протекают весьма интенсивно, и река в первом интервале наблюдений даже несколько повышает процент насыщения воды растворенным кислородом при значительном снижении величины биохимической потребности в O_2 . В дальнейшем же, не получая добавочного запаса кислорода из-за ледяного

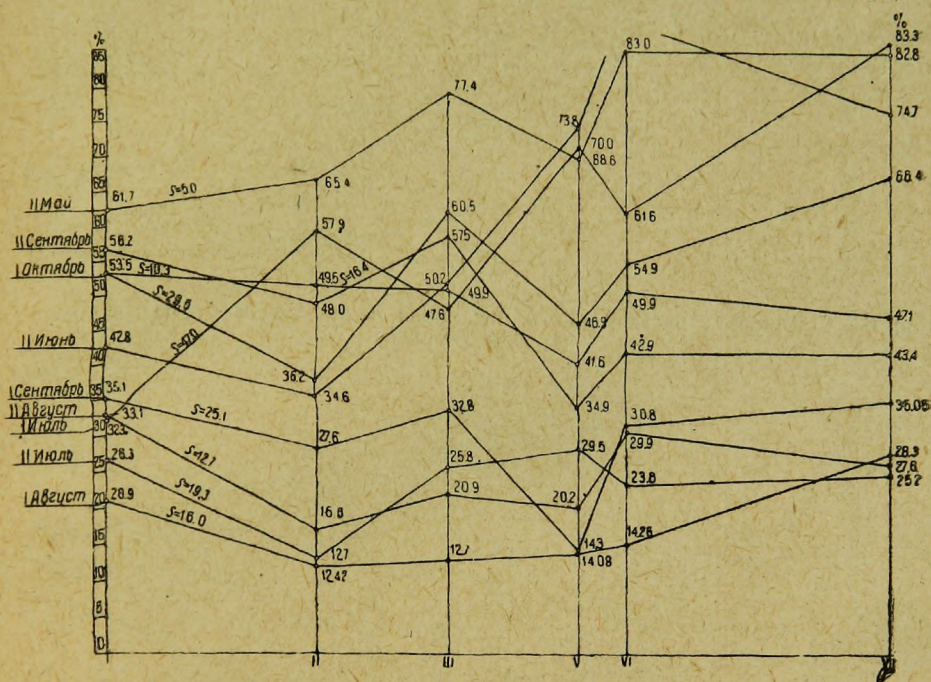


Рис. 62. Содержание растворенного кислорода в процентах от насыщенного (летние месяцы).

покрова, река быстро расходует имеющийся запас кислорода и к устью приходит с процентом насыщения от 0,4 до 25,4, давая загнивающую воду (рис. 65). В январе мы имели процент насыщения, равный 43—44, но эти цифры объясняются потеплением и частичным вскрытием реки (рис. 63).

Магг (20) изучал процессы самоочищения в водоемах, непосредственно принимающих неочищенные сточные воды, и понятной становится предложенная им диаграмма (см. рис. 61), где единственным фактором является степень разбавления сточных вод тем или иным количеством речных чистых вод. Исходный материал везде один и тот же: a —комплекс органических веществ общего характера загрязнений, характеризующий фекально-хозяйственную

жидкость, и c — чистая речная вода. Таким образом M_{Hr} всегда имел сумму одних и тех же компонентов $a + c$ лишь в различных отношениях.

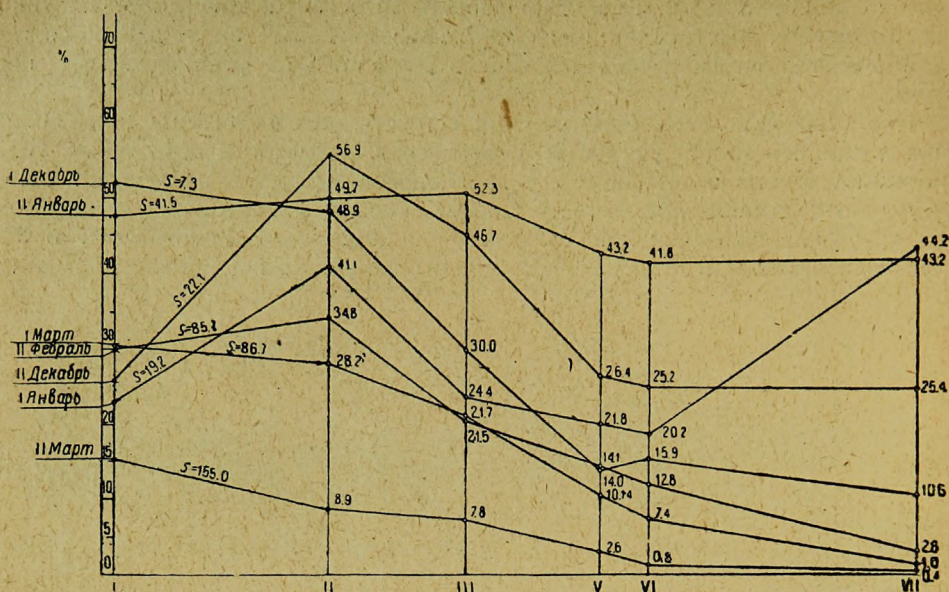


Рис. 63. Содержание растворенного кислорода в процентах от насыщенного (зимние месяцы).

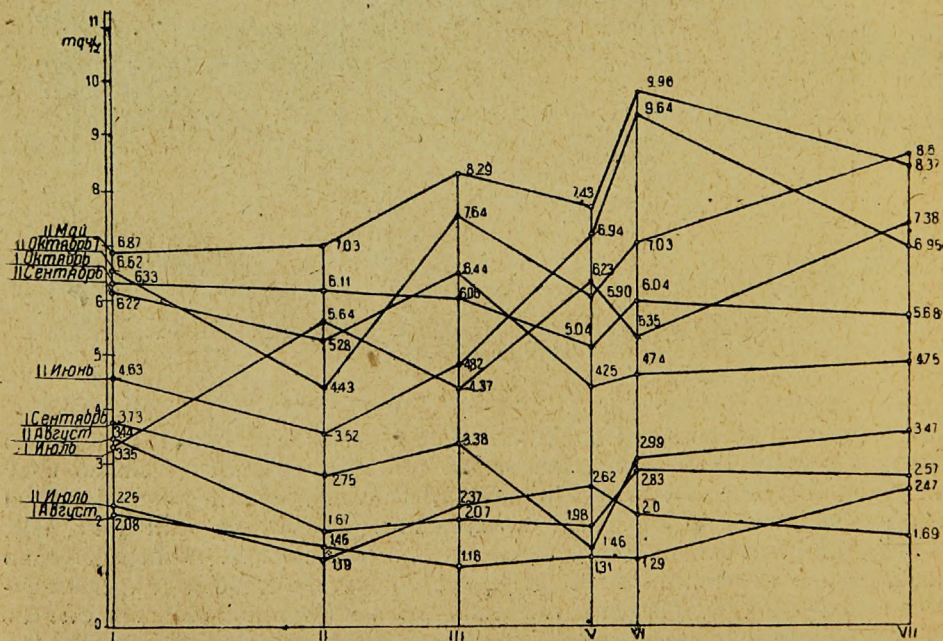


Рис. 64. Содержание растворенного кислорода в воде р. Пехорки (в мг/л) (летние месяцы).

На Люберецких полях фильтрации картина получается иного характера: «сточная жидкость без очистки при нормальной эксплуатации в водоем не попадает совершенно, а спускаемые дренажные воды имеют уже совершенно другую химическую характеристику по органическому веществу, так как все легко окисляющиеся органические вещества успели задержаться в толще почвы и частично подвергнуться распаду за время прохождения жидкости через слой земли и, обогатившись в свою очередь растворимыми веществами почвы (гуматы) тоже органического происхождения, но трудно окисляющимися, попали сначала в дренажные каналы, а затем и в р. Пехорку. Рассматривая зимний период работы полей фильтрации, мы обнаруживаем уже несколько иную работу участков: часть сточной жидкости, особенно в рассматриваемый 1931/32 г., попадала в осушительные каналы, не филь-

Рис. 65. Содержание растворенного кислорода в воде р. Пехорки (в мг/л)
(зимние месяцы).

потребности в O_2 . Данные о работе реки в летние и зимние месяцы, нанесенные на рис. 62 и 63 с отметкой различной биохимической потребности смешанной речной и дренажной воды, обозначенной S, не дают картины, аналогичной представленной Магг'ом на рис. 61. В наших условиях получается, что, несмотря на повышенные значения S для зимних месяцев, количество растворенного кислорода возрастает в условиях открытой поверхности водоема, а при низких значениях S смешанных вод процент насыщения воды растворенным кислородом в большинстве случаев не увеличивается.

Таблица 112

Данные по БПК смешанных вод и величина процента насыщения по всем пунктам исследования в мг/л

Дата	БПК в O ₂ смешан- ной воды „S“	П у н к т ы						Примечания
		I	II	III	V	VI	VII	
		Насыщение воды кислородом в %						
1931 г.								
10/XII	7,3	51,6	48,9	30,0	14,0	15,9	10,6	„S“ Величина БПК смешанных речных и дре- нажных вод. 1 Цифры по сте- пени насыще- ния везде преу- величены из-за неправильно взятых проб
27/X	10,3	53,5	49,5	49,9	41,6	49,9	47,1	
24/VIII	12,7	33,1	16,6	20,9	20,2	29,9	27,6	
27/IX	14,0	76,9	75,8	48,8	49,7	49,7	77,1	
4/VIII	16,04	20,9	12,42	12,7	14,08	14,26	28,3	
22/IX	16,4	56,2	48,0	57,5	34,9	42,9	43,4	
9/X	19,2	23,3	41,1	24,4	21,6	20,2	44,2	
21/VII	19,3	26,3	12,7	25,8	29,5	23,8	25,2	
2с/XII	22,1	25,4	56,9	46,7	26,4	25,2	25,4	
5/IX	25,1	35,1	27,6	32,8	14,3	30,0	35,05	
26/X	29,5	53,4	36,2	60,5	46,9	54,9	66,4	
1932 г.								
27/I	41,5	48,0	49,7	52,3	43,2	41,6	43,2	
2/VII	47,0	32,3	57,9	47,6	70,0	61,6	83,3	
19/II	85,67	30,0	34,8	21,5	14,1	12,8	2,8	
4/III	86,76	30,7	28,8	21,7	10,4	7,4	1,0	
25/III	154,9	15,4	8,9	7,8	2,6	0,8	0,4	

Таблица составлена в возрастающем порядке по биохимической потребности.

Данные, полученные по окисляемости смешанных вод по всем пунктам исследования, тоже дают картину незначительного снижения величин окисляемости к устью Пехорки в летние месяцы, и только в феврале и марте процент снижения окисляемости увеличивается до 67 (табл. 113), что опять-таки подтверждает наше вышевысказанное предположение о различной легкости окисления различных органических веществ.

Рис. 66, на котором нанесены данные по окисляемости воды Пехорки, дает картину как бы полного почти отсутствия работы водоема в течение летних месяцев. Средние цифры окисляемости воды у Арзамасского моста колеблются в тех же пределах, как и у устья Пехорки, перед впадением в р. Москву. Только промежуток реки от пункта I до пункта II наблюдений имеет некоторый угол падения и то не во всех пробах.

Таблица 113

Данные по окисляемости нижнего течения р. Пехорки в мг/л

Месяцы	Числа	На и м е н о в а н и е п у н к т о в						%убыли от I к VII пункту
		I	II	III	V	VI	VII	
1931 г.								
Май	15	12,4	13,9	16,15	15,7	16,9	20,3	+63,7
Июнь	19	29,3	22,7	9,84	8,29	7,52	7,9	-73,0
Июль	2	15,4	10,25	14,7	10,6	10,94	10,77	-30,0
"	21	11,6	14,9	14,57	16,27	14,57	—	—
Август	4	11,7	12,2	9,39	12,53	19,96	10,65	-8,2
"	24	9,12	10,25	9,42	9,84	9,42	9,84	-15,9
Сентябрь	5	9,13	7,64	8,0	8,9	9,1	8,1	-12,2
"	22	11,03	8,04	8,42	8,04	8,42	7,75	-15,1
Октябрь	7	10,08	8,95	8,59	8,04	10,23	5,15	-53,3
"	26	10,8	10,8	8,63	10,0	9,02	8,82	-18,3
Ноябрь	27	12,3	7,2	6,63	7,99	7,2	8,38	-31,9
Декабрь	10	9,2	7,2	6,8	5,2	7,2	8,0	-13,0
"	26	9,02	7,08	6,9	6,12	6,12	5,47	-39,4
1932 г.								
Январь	9	12,45	9,7	9,38	12,1	8,9	9,7	-22,0
"	27	11,27	8,96	8,56	6,9	6,97	8,57	-26,8
Февраль	19	21,49	14,73	15,83	15,33	12,34	9,95	-53,9
Март	4	43,0	35,8	33,8	33,8	33,4	13,9	-67,7
"	25	33,43	29,45	25,47	20,3	24,68	19,8	-40,8

Невольно бросается в глаза как будто очень слабая самоочистительная активность реки, особенно в летний период, когда уменьшение биохимической потребности в O_2 и уменьшение окисляемости едва заметно выражены. Получается впечатление, что все органические вещества, легко окисляющиеся, уже задержаны на полях фильтрации и на долю реки не остается окислительной работы, с другой стороны, по данным растворенного кислорода мы не замечаем насыщения воды водоема к устью, что указывало бы на вполне чистую воду.

Из всего собранного аналитического материала нам еще остается рассмотреть азотистую часть загрязнений воды дренажных канав и уже после этого сделать обобщающие выводы в работе реки.

Пользуясь данными, собранными по учету количеств аммонийного азота во всех наблюдаемых пунктах реки, мы получили диаграмму (рис. 67), которая дает характерную картину окисления азотсодержащих органических веществ. Накопления запаса кислорода в виде нитратов и нитритов в воде нижнего течения реки мы почти не наблюдаем (табл. 115).

В табл. 114 приведены данные по уменьшению аммонийного азота, высчитанного в процентах от начального содержания его в смешанных водах р. Пехорки и дренажных канав по всем пунктам наблюдений.

В вышеупомянутой работе Theriault'a мы находим подтверждение того положения, что второй стадией окислительной работы водоема является нитрификация. В наших условиях на р. Пехорку и падает эта вторая стадия окислительной работы. Рис. 67 и данные табл. 114 указывают на интенсивно идущий процесс окисления аммонийного азота в течение летних

Таблица 114

Данные по количеству аммонийного азота в начальном и конечном пунктах наблюдения и процент убыли его в отдельных отрезках реки

Д а т ы	П у н к т ы н а б л ю д е н и я					% убыли от I до VII пун- кта
	I колич. мг/л	% у б ы л и			VII колич. мг/л	
		Арзамасс- Михнево	Михнево- Верея	Верея- устье		
15/V 1931 г.	3,7	28,9	5,0	69,6	0,76	79,5
19/VI 1931 г.	13,3	14,3	68,0	—	4,35	67,3
2/VII 1931 г.	29,255	39,5	22,3	74,7	3,3	88,7
21/VII 1931 г.	9,6	30,0	43,3	85,8	0,53	94,5
4/VIII 1931 г.	41,5	36,3	38,7	45,3	4,6	78,6
24/VIII 1931 г.	15,1	21,2	40,0	46,8	3,8	74,8
5/IX 1931 г.	16,1	28,6	33,9	68,4	2,4	85,1
22/IX 1931 г.	14,25	11,6	8,4	44,8	6,4	55,3
7/X 1931 г.	15,9	22,7	34,2	16,7	6,75	57,5
26/X 1931 г.	13,7	10,2	31,3	23,3	6,5	52,5
27/XI 1931 г.	17,25	32,8	2,6	33,6	7,5	56,5
10/XII 1931 г.	18,5	9,8	10,8	7,0	13,95	25,0
26/XII 1931 г.	22,5	20,0	8,3	13,9	14,2	37,0
9/I 1932 г.	18,5	5,4	5,7	31,5	11,3	38,0
27/I 1932 г.	19,1	1,1	8,5	24,5	13,6	31,8
19/II 1932 г.	24,2	20,5	—	20,6	16,31	33,0
4/III 1932 г.	27,3	12,8	3,0	нет	23,8	13,0
25/III 1932 г.	32,9	7,3	нет	10,8	27,3	17,0

Таблица 115

Данные по количеству нитратов по всем пунктам наблюдений нижнего течения р. Пехорки

Д а т ы	В мг/л						Разность между I и VII пун- тами в мг/л
	П у н к т ы н а б л ю д е н и я						
	I	II	III	V	VI	VII	
15/V 1931 г.	6,6	6,0	10,4	2,8	16,02	7,0	+0,4
19/VI 1931 г.	6,11	6,85	9,0	6,49	5,65	—	—
2/VII 1931 г.	10,6	7,8	4,8	7,4	8,0	8,4	—2,2
21/VII 1931 г.	7,1	10,87	—	6,17	8,15	9,44	+2,34
4/VIII 1931 г.	6,47	9,11	3,6	4,54	6,47	8,64	+2,17
24/VIII 1931 г.	10,9	8,4	7,75	4,16	7,27	—	—
5/IX 1931 г.	15,6	8,8	7,6	8,4	7,8	8,2	—7,4
22/IX 1931 г.	5,29	7,9	5,03	17,2	15,35	8,89	+3,6
7/X 1931 г.	4,6	6,0	6,0	6,8	7,4	6,2	+1,6
26/X 1931 г.	5,8	—	6,85	10,06	14,7	8,5	+2,7
27/XI 1931 г.	3,5	2,1	3,4	4,0	3,6	4,6	+1,1
10/XII 1931 г.	9,6	8,2	7,0	11,0	11,4	12,4	+2,8
26/XII 1931 г.	7,2	7,0	7,0	5,0	6,7	7,1	—0,1
9/I 1932 г.	3,2	3,0	1,55	2,1	2,4	3,1	+0,1
27/I 1932 г.	1,5	1,83	1,7	1,53	1,58	1,58	+0,08
19/II 1932 г.	следы	следы	нет	нет	нет	нет	следы
4/III 1932 г.	0,83	0,58	0,38	0,3	0,23	нет	—0,83
25/III 1932 г.	0,46	0,37	0,18	нет	нет	нет	—0,46

месяцев, что вызывает, очевидно, значительный расход атмосферного кислорода. Несмотря все же на значительную длину пути от Арзамасского моста до устья р. Пехорки (21,5 км), процесс нитрификации не доходит до конца: часть аммонийного азота остается в неокисленной форме. Накопление нитратов идет очень незначительно, так что к устью р. Пехорки мы имеем их почти столько же, сколько и у Арзамасского моста (табл. 115).

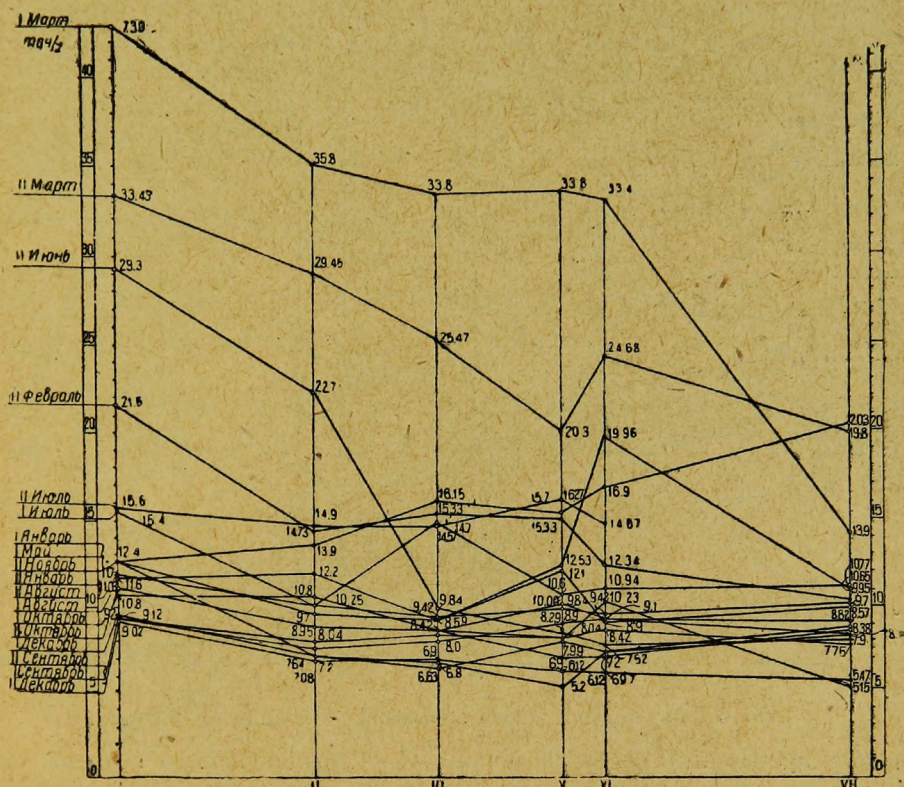


Рис. 66. Содержание органического вещества в воде р. Пехорки по Кубелю
(в мг/л).

и преобладанием первой фазы минерализации органического вещества, что учитывается по снижению биохимической потребности в O_2 . При этом наблюдается также полное использование нитратов из-за отсутствия в покрытом льдом водоеме иного источника кислорода.

Некоторое повышение количеств аммонийного азота в пунктах IV и VI подтверждает данные о внесении некоторого количества добавочного загрязнения из Дома отдыха и Михневской фабрики. Надо полагать, что если бы р. Пехорка имела большое протяжение, то нам бы удалось обнаружить вскоре увеличивающиеся количества растворенного кислорода, что дало бы характеристику вполне чистого водоема.

При изучении процессов самоочищения на р. Огайо авторы включают в объекты наблюдений данные по учету окисления азотсодержащих веществ и получают значительный процент снижения аммонийного азота при высоком проценте насыщения воды растворенным кислородом, что указывает на заканчивающийся процесс окисления загрязняющих веществ. В то же время данные по биохимической потребности в O_2 дают цифры очень низкие, колеблющиеся в пределах первого десятка с очень слабой тенденцией к снижению.

Разобрав таким образом весь имеющийся в нашем распоряжении аналитический материал, мы на основании полученных результатов сделали

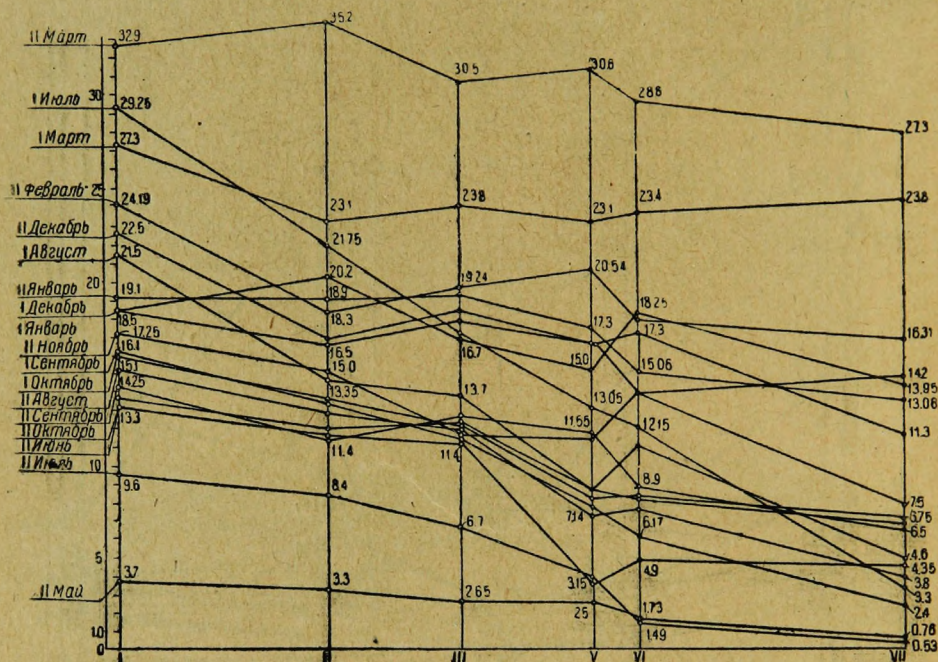


Рис. 67. Содержание азота аммонийного в воде р. Пехорки.

попытку произвести расчет величины A — аэрации нашего водоема. Для такого расчета мы пользовались нижеприведенной формулой:

$$A = \frac{Q[(a_1 - a_2) + 1.71(n_1 - n_2) + b]}{F},$$

где Q — суточный расход реки в m^3 ,

a_1 — начальная биохимическая потребность в O_2 ,

a_2 — конечная биохимическая потребность в O_2 ,

n_1 — начальное содержание азота аммонийного,

n_2 — конечное содержание азота аммонийного,

b — разница между начальным и конечным количеством растворенного кислорода,

F — поверхность водоема в m^2 .

Вести расчет окислительной работы реки только по снижению биохимической потребности в O_2 мы считали неправильным, так как разбор

аналитического материала нам с очевидностью подтвердил, что кислород расходовался и на вторую стадию окисления азотсодержащих веществ.

Согласно выбранным нами пунктам наблюдений и расчет величины реаэрации мы вели для отдельных отрезков реки с целью учесть различную окислительную активность этих участков. Кроме того произведен был расчет суммарной работы реки, начиная с пункта у Арзамасского моста и кончая устьем р. Пехорки. Табл. 116 и 117 дают представление об окислительной работе р. Пехорки на $1 \text{ м}^2/\text{сутки}$ поверхности.

Таблица 116
Величина окислительной работы р. Пехорки в отдельных отрезках реки, рассчитанная по формуле:

$$A = \frac{Q[(a_1 - a_2) + 1,71(n_1 - n_2) + b]}{F}$$

Д а т ы	Величина А для отрезка Арзамасс Михнево	Величина А для отрезка Михнево- Верея	Величина А для отрезка Верея- устье
1931 г.			
15/V	7,86 $\text{г}/\text{м}^2$	—	10,03 $\text{г}/\text{м}^2$
19/VI	55,4	95,0 $\text{г}/\text{м}^2$	1,02
21/VI	132,0	69,8	45,6
21/VII	30,2	29,4	11,93
4/VIII	30,5	52,0	25,0
24/VIII	9,91	45,5	25,3
5/IX	52,7	26,7	28,0
22/IX	7,36	81,9	23,9
7/X	20,1	34,8	16,21
26/X	56,4	39,6	18,5
27/XI	32,7	—	—
10/XII	0,85	3,5	3,23
26/XII	61,8	0	23,05
1932 г.			
9/I	17,5	17,8	35,7
27/I	61,8	16,1	22,7
19/II	100,2	42,0	96,6
4/III	88,16	0	38,0
25/III	61,55	56,8	89,6
Средняя величина	46,0	43,6	31,5

Коэффициент аэрации водоема в отдельных участках реки вниз по течению дает нисходящие величины, начиная с первого интервала, где имеется максимальное загрязнение водоема. Первый рассматриваемый нами участок реки протяжением 9,1 км с водной поверхностью 9,1 га дает в среднем величину в 46 г кислорода на $1 \text{ км}^2/\text{сутки}$. Второй отрезок реки с водной поверхностью в 4,25 га дает коэффициент аэрации на $1 \text{ м}^2/\text{сутки}$ в среднем в 43,6 г; наконец третий участок реки, имея величину водной поверхности в 8,2 га, дает коэффициент аэрации в 31,5 г на $1 \text{ м}^2/\text{сутки}$.

Разбирая столбец первый табл. 116, мы замечаем, что колебания величины аэрации довольно значительны в течение года; так, весенний анализ при отсутствии стока с полей фильтрации дает величину аэрации в $7,86 \text{ г/м}^2$ в день. Очень низкую цифру A мы получили также в начале зимы, 10 декабря, когда температура воды была всего $+2,4^\circ$, процессы нитрификации шли весьма замедленно, а углеродсодержащих веществ в смешанных речных и дренажных водах было всего $7,3 \text{ мг/л}$.

Различную картину мы наблюдаем летом и зимой. В течение всего лета процессы нитрификации идут в реке с большим напряжением, потребляя кислород воздуха на окисление аммонийного азота и, наоборот, почти не затрачивая кислорода на окисление стойких углеродсодержащих веществ, присутствующих в незначительном количестве в воде р. Пехорки ниже полей фильтрации. Не то мы наблюдаем в зимние месяцы: начиная с конца декабря, количество органических веществ постепенно увеличивается в дренажных водах, и в р. Пехорке начинает преобладать первая стадия минерализации углеродистых веществ; вторая стадия процесса (нитрификация) хотя не прекращается, но все же постепенно затухает.

Таким образом в конечном итоге река выполняет весьма значительную окислительную работу, давая очень высокий коэффициент аэрации водоема не только в летнее время, но и в зимние месяцы, особенно участок реки Арзамасский мост—Михнево, так как верхний отрезок в течение всей зимы не покрывается льдом, что способствует насыщению воды кислородом.

Второй исследуемый нами отрезок реки Михнево—Верея имеет для летних месяцев величину аэрации в среднем 53 г/м^2 в сутки, а для зимнего периода эта величина сильно снижается из-за ледяного покрова, давая в среднем 18 г O_2 на $1 \text{ м}^2/\text{сутки}$ поверхности реки.

Для всего водоема в целом (табл. 117) мы получаем тот же порядок окисления органических веществ. В среднем величина аэрации для всего водоема (с поверхности водного зеркала в $21,5 \text{ га}$)— 35 г O_2 на 1 м^2 в сутки на обе стадии окисления органических веществ, спускаемых в реку с дренажными водами. В литературе такие величины встречаются весьма редко. Магг в своей работе о допустимой нагрузке на водоем (20) упоминает их как единичные случаи для коротких отрезков реки с интенсивной аэрацией; по американским источникам величина аэрации достигает $30 \text{ г/м}^2/\text{день}$. Обычно величина поглощения кислорода водоемом по данным германских и американских исследований колеблется от 1 до $11 \text{ г/м}^2/\text{сутки}$. Надо только оговориться, что наши расчеты несколько расходятся с расчетами Магга, который по всей видимости принимает только окисление углеродсодержащих органических веществ, в то время как мы ведем расчет на общее окисление углерод- и азотсодержащих загрязнений.

Такая интенсивная работа р. Пехорки по разрушению азотсодержащих веществ, нам кажется, может быть объяснена самой работой полей фильтрации. Дренажная вода без сомнения очень богата нитрифицирующими бактериями, выносимыми из толщи почвы во время фильтрации.

Бактерии эти, попадая в р. Пехорку, продолжают свою окислительную работу, имея богатую питательную среду и снабжение кислородом.

По данным бактериолога Т. С. Нагибиной содержание нитрифицирующих бактерий в 1 см^3 воды выше полей фильтрации учитывается десятками экземпляров, а в воде ниже спуска дренажных вод количество их уже насчитывается сотнями и тысячами.

Таблица 117

Величина окислительной работы р. Пехорки, нижнего течения от Арзамасского моста до устья, рассчитанная по формуле:

$$A = \frac{Q [(a_1 - a_2) + 1,71 (n_1 - n_2) + b]}{F}$$

Д а т ы	$(a_1 - a_2)$	$(n_1 - n_2)$	δ	A в г/м ²
1931 г.				
15/V	отр. вел.	0,9	+1,5	3,1
19/VI	21,4	8,95	+2,32	39,8
2/VII	36,23	25,95	+4,03	86,3
21/VII	отр. вел.	9,07	-0,55	15,25
4/VIII	1,8	16,9	+0,39	31,7
24/VIII	отр. вел.	11,3	-0,87	18,8
5/IX	9,8	13,7	-0,26	33,6
22/IX	отр. вел.	7,87	-1,46	12,3
7/X		9,15	-0,47	15,48
26/X	24,3	7,2	+1,98	39,35
27/XI	6,77	9,75	—	23,9
10/XII	отр. вел.	4,55	-5,55	2,27
26/XII	19,1	8,3	+0,34	34,4
1932 г.				
9/I	9,6	7,2	+3,2	25,6
27/I	26,5	6,04	-0,32	37,2
19/III	74,56	7,89	-3,7	86,0
4/III	47,39	3,5	-4,05	50,3
25/III	62,8	5,6	-2,02	71,76
В средн.				34,8

В иностранной литературе нам нигде не удалось найти данных изучения самоочистительной способности водоема после биологических окислителей, а этим может быть и объясняется отсутствие ярко выраженного процесса окисления азотсодержащих веществ в загрязняемых водоемах сточными водами при больших разбавлениях. Нам остается еще раз пожалеть, что не удалось ознакомиться с работой Вестона и Тёрнера¹, по изучению самоочищения небольшого водоема после спуска в него очищенных сточных вод. Возвращаясь еще раз к самоочистительной способности р. Пехорки, попытаемся представить себе величину общей работы водоема и перейдем к обзору бактериального обследования и выяснению скорости естественного отмирания бактерий в реке.

Общая работа реки при поверхности водного зеркала в 21,5 га выразится в поглощении $215\,000 \cdot 0,035 = 7525$ кг/сутки кислорода. Если мы вспомним работу полей фильтрации за 1931/32 г., где эффект окислительной мощности в среднем был равен 90%, то, пересчитав необходимое количество кислорода, нужное для проведения всей окислительной работы на полях фильтрации, получим в среднем в сутки количество в 117 тыс. кг кислорода (из расчета потребности кислорода на полное

¹ Напечатана в журнале Mass. Inst. Techn. Sanit. Res. Lab. Contrib. 10:1—96.

окисление 1 м³ сточной в количестве — 900 г О₂ и поступления в сутки в среднем 130 тыс. м³ сточной жидкости на Люберецкие поля фильтрации). Поля фильтрации снимают 90% общей потребности, т. е. в сутки поглощается кислорода из воздуха 105 300 кг (считая полное окисление осадка), да работа реки выражается в поглощении 7525 кг кислорода в сутки, так что в общей сложности еще недостает на полное окисление всех органических веществ сточных вод 4175 кг кислорода в сутки. Эта величина составляет от общей потребности 3,6%, а работа водоема выражается в 6,4% общей окислительной работы сооружений.

Таким образом мы видим, что, несмотря на интенсивно идущие в реке процессы самоочищения, Пехорка получает большое загрязнение с полей фильтрации, не успевает справиться с вносимыми в нее загрязнениями до впадения в р. Москву и передает часть окислительной работы на более мощный водоем.

Часть II

Бактериальное самоочищение р. Пехорки ниже спуска с Люберецких полей фильтрации

Введение

Для изучения бактериального самоочищения р. Пехорки ниже спуска в нее дренажных вод с Люберецких полей фильтрации была применена обычная Коховская методика количественного учета определенных групп бактерий по счету колоний на мясопептонных твердых средах.

Взятые при объезде реки (в стерильные пробирки) пробы воды после разбавления в 10, 100 и 1000 раз стерильной водой вносились по 1 см³ в чашки Петри и заливались питательной средой. После затвердения агаровых сред на горизонтальных столиках (проверка уровнем), а желатины на холодильниках, чашки с посевом помещались в термостат. Таким образом количественный учет бактерий производился:

- 1) по общему счету на мясопептонной желатине, инкубация 48 час. при 20 — 22° Ц;
- 2) по счету на мясопептонном агаре, инкубация 36 час. при 37° Ц.
- 3) группа *Coli-aerogenes* учитывалась по счету на среде Эндо (инкубация 36 час. при 37°Ц).

Среда готовилась по „Стандартным методам исследования питьевых и сточных вод“ (1927 г., стр. 132), причем особое внимание обращалось на установку реакции среды.

В последние годы, с тех пор как метод непосредственного „прямого“ учета бактерий в почвах был разработан С. Н. Виноградским (27) и (28)¹ и получил широкое применение при изучении микробного населения почв, были сделаны успешные попытки [С. И. Кузнецов (6), проф. Холодный (16)] по приложению того же принципа для количественного учета бактерий в воде.

Из работы С. И. Кузнецова (6) мы видим, что учет „общего“ количества бактерий в воде Глубокого озера „прямым методом“ позволил

¹ Цифры в скобках — ссылки на номера работ в списке литературы (см. стр. 199 и 200).

автору установить связь кислородного минимума с числом бактерий, чего нельзя было заметить, сопоставляя данные по растворенному кислороду с результатами учета „общего“ числа бактерий на мясопептонных средах.

При выборе методики для изучения скорости отмирания бактерий в нижнем течении р. Пехорки нам казалось заманчивым ввести непосредственный учет бактерий под микроскопом (прямой метод). Но ознакомление с тогда еще неопубликованными материалами А. С. Разумова (12) по сравнению „прямого метода“ количественного учета бактерий в воде с методом Коха показало, что „прямой метод“ не позволит учесть ожидаемое уменьшение в количестве бактерий за счет изменения в количественном соотношении различных физиологических групп бактерий, так как по мере очистки воды в ней начинают преобладать виды, не дающие роста на мясопептонных средах, но учитываемые „прямым методом“ [см. табл. 118 А. С. Разумова (12)].

Таблица 118

Дата	Место взятия пробы	Колич. бактерий в 1 см ³		Отно- шение
		прямой метод	метод Коха	
1930 г.				
20/XI	Река Урал			
20/XI	Выше пос. Среднеуральского . .	368 000	220	1 800
20/XI	Ниже пос. Среднеуральского . .	217 000	260	830
20/XI	Ниже плотины в г. Магнитогорске	197 000	1 100	180
20/XI	Ниже ст. Магнитной	231 000	1 150	200
20/XI	Ниже всех поселений	315 000	1 000	300
20/XI	У „Камня“	400 000	280	1 400
1931 г.				
16/IX	У горы „Мохнатой“	230 000	240	960
16/IX	У 2-й горы	590 000	190	3 100
16/IX	У 1-й	422 000	200	2 100
16/IX	Река Верхний Кизил у устья . .	323 000	240	1 300

Таблица 119

Место взятия пробы	Колич. бактерий в 1 см ³ воды		Отноше- ние
	прямой метод	метод Коха	
1. Вода пруда (не хлори- рованная)	1018·10 ³	3 100	330
2. Вода из котлована (не хлорированная)	1242·10 ³	2 630	470
3. Вода из водопровод- ного крана (хлориро- ванная)	969·10 ³	345	2 800

Как видно из приведенных чисел, соотношение между результатами количественного учета бактерий двумя сравниваемыми методами для одной и той же пробы колеблется в широких пределах.

А. С. Разумов наблюдал обычно тем большее расхождение, чем чище была исследуемая проба воды.

Не менее интересны экспериментальные данные того же автора по сравнительному учету „общего“ числа бактерий в хлорированной и нехлорированной воде (табл. 119).

Эти данные показали, что „прямой метод“, учитывая убитые хлорированием бактерии, дает близкие числа в обоих случаях, в то время как по счету на мясопептонном агаре количество бактерий уменьшилось при хлорировании в 10 раз.

Таким образом материалы А. С. Разумова с полной очевидностью говорят, что коховская методика является более показательной для санитарной оценки водоема по количеству бактерий, чем обезличивающий живое с мертвым „прямой метод“, обладающий между тем большими достоинствами в ряде случаев [см. Королев (30), Кузнецов (6), Дианова и Ворошилова (29)].

Бактериальная очистка сточной жидкости на полях фильтрации

Содержание бактерий в сточных водах, поступающих для очистки на Люберецкие поля фильтрации, колеблется в очень широких пределах от одного миллиона до десятков миллионов в 1 см³ жидкости по счету на мясопептонном агаре при 37° Ц, но при исключении крайних чисел выражается сравнительно устойчивым числом около двух миллионов бактерий в 1 см³.

При очистке сточных вод на полях фильтрации даже при такой перегрузке, как это выше отмечено, по Люберецким полям фильтрации для последних лет, мы констатируем обычно вполне удовлетворительную бактериальную очистку. По данным контрольного бактериологического анализа за 1931/32 г. мы видим, что в осушительные каналы с дренажными водами выносятся в среднем 0,4 — 1,1% от среднего количества (1740 тыс.) бактерий в 1 см сточной жидкости по счету на мясопептонном агаре при 37° Ц и около 0,6% по группе *B. Coli*.

Мы получаем таким образом иногда (обычно в зимние месяцы) несогласную оценку работы полей фильтрации по данным бактериологического и химического контроля, что объясняется коренным различием факторов, обуславливающих бактериологическую очистку и минерализацию органических соединений сточной жидкости в процессе фильтрации. Для освобождения сточной жидкости от бактерий вполне достаточно фильтрования ее через почву, что обеспечивает задержку взвешенных веществ, в том числе и бактерий, которые абсорбируются коллоидными частицами почв [см. проф. Н. Н. Худяков (14), Карпинская (5)]. А так как для нормального хода окислительных биохимических процессов необходимо достаточное снабжение кислородом работающих слоев почвы, то малейшая перегрузка полей сейчас же отражается на результатах химического контроля (повышение аммонийного азота, окисляемости, дефицита кислорода и пр.). Но как только перегрузка полей фильтрации доходит до того, что начинается попадание нефилтрированной жидкости в осушительные каналы, содержание бактерий в дренажной воде резко возрастает, и от-

Вынос бактерий в осушительные каналы в процентах среднего содержания бактерий в сточной жидкости

Д а т а	К а н а в а 1-я						К а н а в а 72-я						К а н а в а 77-я					
	Счет на мя-сопептонном агаре при 37° Ц		Счет на среде Эндо при 37° Ц				Счет на м.-п. агаре при 37° Ц		Счет на среде Эндо при 37° Ц				Счет на м.-п. агаре при 37° Ц		Счет на среде Эндо при 37° Ц			
			общее число		типичных Coli aerogenes				общее число		типичных Coli-aerogenes				общее число		типичных B. Coli aerogenes	
					задерж.	вынос					задерж.	вынос					задерж.	вынос
	задерж	вынос	задерж.	вынос	задерж.	вынос	задерж.	вынос	задерж.	вынос	задерж.	вынос	задерж.	вынос	задерж.	вынос	задерж.	вынос
VI 1931 г.	99,58	0,42	99,4	0,60	99,6	0,40	99,61	0,39	93,36	0,64	99,73	0,27	99,91	0,29	99,45	0,55	99,57	0,33
VII . . .	99,57	0,43	99,18	0,82	98,78	1,22	99,72	0,08	99,85	0,15	—	—	90,99	0,11	99,84	0,16	—	—
VIII . .	99,30	0,70	99,75	0,25	99,29	0,64	99,77	2,23	99,50	0,50	98,70	1,80	98,30	1,70	99,54	0,46	98,9	1,1
IX	98,65	1,34	99,02	0,98	98,73	1,27	95,23	4,77	99,12	0,88	99,79	0,27	99,48	0,52	99,79	0,21	99,87	0,13
X	99,55	0,45	—	—	—	—	99,78	0,22	99,47	0,53	—	—	99,86	0,14	99,90	0,10	—	—
XI	99,87	0,13	99,30	0,70	99,28	0,72	99,84	0,064	99,78	0,22	—	—	—	—	—	—	—	—
XII	99,78	0,22	99,71	0,29	99,67	0,33	99,90	0,106	99,96	0,043	—	—	99,86	0,135	99,97	0,032	99,84	0,15
I 1932 г.	99,90	0,10	99,75	0,25	99,45	0,55	99,80	0,17	99,69	0,31	99,61	0,39	99,82	—	—	—	—	—
II	98,80	1,20	99,23	0,77	99,90	1,10	91,90	8,10	91,00	9,0	98,60	12,40	91,50	8,50	93,0	7,00	87,78	12,22
III	90,60	9,40	91,23	8,77	87,0	13,0	79,70	20,30	80,00	0,0	72,3	27,70	80,40	15,60	80,0	20,00	68,89	31,11
	99,52		99,44		99,23		99,0		98,84		99,34		99,43		99,76		99,55	

рицательная характеристика работы полей усугубляется данными бактериологического анализа (см. данные в табл. 120 и 121).

Содержание бактерий в дренажной воде в абсолютных числах за то же время показано в табл. 121.

Таблица 121

Содержание бактерий в воде осушительных канав в абсолютных числах

Д а т ы	К а н а в а 1-я			К а н а в а 72-я			К а н а в а 77-я		
	Колич. бактерий в 1 см ³ воды			счет нам-п. агаре при 37° Ц	счет на среде Эндо при 37° Ц		счет на м-п. агаре при 37° Ц	счет на среде Эндо при 37° Ц	
	счет на м-п. агаре при 37° Ц	счет на среде Эндо при 37° Ц			общее	типичн. Coli aeroge- nes		общее	типичн. Coli- aeroge- nes
		общее	типичн. Coli aeroge- nes						
1/VI 1931 г. . .	7 200	3 500	700	6 750	3 700	500	5 000	3 200	600
1/VII 1931 г. . .	7 400	4 800	2 200	1 500	900	100	1 900	950	—
1/VIII 1931 г. . .	11 400	1 600	1 100	38 000	2 850	2 300	28 900	2 700	2 000
1/IX 1931 г. . .	22 400	5 700	2 300	81 200	5 000	500	8 800	1 270	250
1/X 1931 г. . .	7 500	—	—	3 720	3 100	—	9 420	1 030	—
1/XI 1932 г. . .	2 170	4 000	1 300	1 100	1 300	—	—	—	—
1/XII 1931 г. . .	3 650	1 700	600	1 800	250	—	2 300	200	100
1/I 1932 г. . .	1 700	1 450	1 000	2 900	1 800	—	3 100	—	—
1/II 1932 г. . .	20 000	4 500	2 000	139 000	52 000	22 000	145 000	41 000	22 000
1/III 1932 г. . .	160 000	50 000	23 200	346 000	113 000	50 000	231 000	116 000	56 000

Отмирание бактерий в р. Пехорке при нормальной очистке сточных вод на Люберецких полях фильтрации

В соответствии с общим расходом воды в осушительных канавах р. Пехорка получает с дренажными водами с Люберецких полей фильтрации значительное бактериальное загрязнение.

При наблюдении за судьбой внесенного в реку загрязнения мы замечаем, что содержание бактерий вниз по течению от источника загрязнения быстро уменьшается. Ход отмирания бактерий от пункта к пункту вниз по р. Пехорке показан графиком рис. 68, построенном по средним числам наличия бактерий в речной воде для периода нормальной бактериальной очистки сточных вод на Люберецких полях. Числа эти приведены в табл. 122.

График показывает, что скорость отмирания различных групп бактерий неодинакова. Быстрее других идет отмирание *B. Coli*. Через 8,5 час., в которые река проходит 5,5 км. от границы полей фильтрации до д. Пехорки, в ней остается лишь 26% от первоначального содержания кишечной палочки. Между тем по группам бактерий, учитываемых по счету на желатине и агаре, наблюдается уменьшение лишь на 50%.

Судьба *B. Coli*, показателя фекального загрязнения водоема, конечно является наиболее интересной с санитарной точки зрения, и Lloyd R. Setter (23) в своей работе по изучению самоочищения трех небольших рек „Delaware and Connecticut rivers and Brandywine creek“ бактериоло-

Таблица 122

Содержание бактерий в/см³ воды р. Пехорки по
наблюдениям 1931/32 г.

Река Пехорка	Общий счет на мясопепт. желатине при 20—22° Ц	Счет на мясопепт. агаре при 37° Ц	Счет на среде Эндо при 37° Ц
	1	2	3
I. У с Троицкого (выше полей)	среднее колич. бактерий в 1 см ³ максимум минимум	1 780 3 810 330	470 1 090 120
II. У Арзамасского моста (у южной гран. Люберецких полей фильтрации)	ср. 31 260 макс. 172 000 мин. 4 000	16 070 41 000 400	3 170 11 800 80
III. У д. Пехорки	ср. 15 370 макс. 70 000 мин. 2 400	6 850 11 600 160	1 610 4 500 65
IV. У д. Михнево	ср. 8 780 макс. 21 800 мин. 2 200	4 150 10 000 750	1 430 2 800 300
V. У д. Вереи	ср. 6 750 макс. 19 800 мин. 2 300	3 100 5 200 350	890 2 580 130
VI. У д. Быково	ср. 6 020 макс. 9 500 мин. 2 100	2 000 7 500 455	910 4 800 30
VII. У устья	ср. 6 320 макс. 14 800 мин. 1 025	2 500 6 170 700	840 — —

гическую часть исследования ограничивает количественным учетом *B. Coli*. На основании полученных данных по распределению *B. Coli* по течению Brandywine Creek L. R. Setter (23) приходит к заключению, что отмирание кишечной палочки в водоеме идет по „закону мономолекулярной реакции“, математическое выражение которого после интегрирования принимает такой вид:

$$K = \frac{1}{t} - l_g \frac{n_1}{n_2},$$

где K — коэффициент скорости отмирания *B. Coli*,

t_1 — время протекания реки между двумя пунктами,

n_1 — количество бактерий в верхнем пункте,

n_2 — количество бактерий в нижнем пункте.

Подставляя полученные экспериментальные данные в приведенную формулу, автор для различных отрезков р. Brandywine creek устанавливает различную скорость отмирания:

Например на отрезке водоема между станциями:

$$\begin{aligned} 9-7 & \dots\dots\dots K = 0,858, \\ 7-5 & \dots\dots\dots K = 0,0382, \\ 5-4 & \dots\dots\dots K = 0,00125. \end{aligned}$$

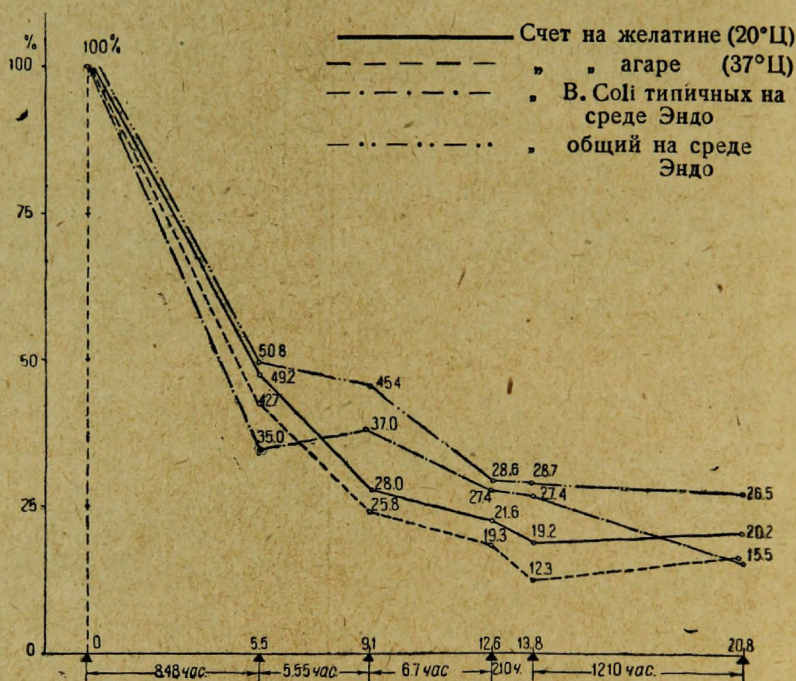


Рис. 68. Ход бактериального самоочищения р. Пехорки.

В среднем же скорость отмирания *B. Coli* между станциями 12—6 по L. R. Setter'a $K = 0,0261$.

Пересчитав полученные по Пехорке данные по *B. Coli* по той же формуле L. R. Setter'a, мы видим, что и в нашем случае скорость отмирания *B. Coli* различна на разных отрезках реки.

Скорость отмирания по другим группам бактерий может быть также вычислена по той же формуле L. R. Setter'a.

Средняя скорость отмирания *B. Coli* в Пехорке от Арзамасского моста до устья реки $K = 0,1641$ значительно больше, чем наблюдал L. R. Setter, что повидимому, обусловлено начальной концентрацией бактерий в реке.

Frost W. H. и B. Streeter в своей работе по самоочищению р. Огайо также отмечали большую скорость отмирания *B. Coli* по сравнению с другими группами бактерий.

Таблица 123

Отрезок р. Пехорки между пунктами наблю- дений	Расстоя- ние в км	Время протека- ния в часах	Скорость отмира- ния B. Coli
Арзамасский мост—д. Пе- хорка	5,5	8,48	0,2304
Дер. Пехорка—д. Михнево.	3,6	5,55	0,2593
„ Михнево—д. Верея . .	3,5	6,07	0,1879
„ Верея—д. Быково . .	1,2	2,10	0,0162
„ Быково—устье Пехорки	7,0	12,10	0,12671

Отмирание бактерий в р. Пехорке в период максимальной перегрузки полей фильтрации

С февраля 1932 г. начался спуск с перегруженных участков уже не-фильтрованной сточной жидкости в осушительные канавы, что немедленно отразилось резким увеличением бактерий в дренажной и речной воде (рис. 69). Этот же график показывает, что ниже полей и в этом случае идет чрезвычайно активное бактериологическое самоочищение реки. К устью Пехорки за 34,5 часа пути в ней остается лишь 6,5% от первоначального количества бактерий в пункте у „Арзамасского моста“.

Вычисляя по февральским данным содержания бактерий по нижнему течению Пехорки, скорость отмирания бактерий по формуле L. R. Setter'a, мы видим, что эта скорость (табл. 124) выше, чем в период нормального выноса бактерий с Люберецких полей.

Таким образом, попадающие с водой осушительных канав бактерии быстро отмирают в реке. Скорость отмирания зависит от начальной концентрации бактерий в воде, от температуры, реакции среды и пр. Причиной

Таблица 124

Название пунктов	Расстоя- ние меж- ду пунк- тами в км	Время протека- ния реки в часах	Скорость отмирания бактерий K по формуле L. R. Setter'a	
			по счету на агаре при 37°Ц	по счету B. Coli на среде Эндо
Арзамасский мост—д. Пе- хорка	5,5	8,48	0,5031	0,2807
Дер. Пехорка—д. Михнево.	3,6	5,55	0,2562	0,3407
„ Михнево—д. Верея . .	3,5	6,7	0,4212	0,4311
„ Верея—д. Быково . .	1,2	2,10	0,6024	0,6267
„ Быково—устье Пехорки	7,0	12,10	нет отми- рания	0,2460

уменьшения бактерий могут быть поедание бактерий другими компонен-тами плантона [см. Строганов (10)], растворение бактерий, в смысле опи-санного д'Эрелем явления бактериофагии, седиментация бактерий вместе с прочими взвешенными веществами на тихих перегонах реки.

Изучению бактериального самоочищения рек посвящено не одно серьезное исследование. Из иностранных работ следует отметить детальное исследование Frost, a W. H. и Streeter, a (18) по р. Огайо и очень близкое по общим условиям работы на небольших реках и по полученным результатам уже вышеупомянутое исследование L. R. Setter, a (8).

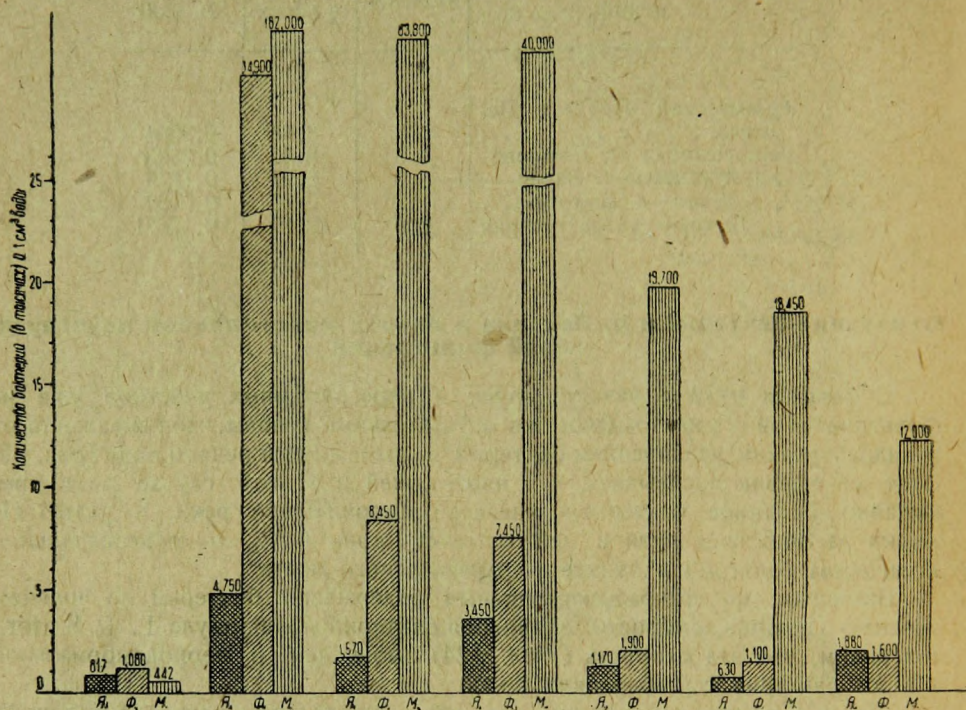


Рис. 69. Скорость отмирания бактерий в воде р. Пехорки зимой (счет на мясо-пептонном агаре при 37°C).

По исследованию процесса самоочищения и распределению бактерий в реках нашей страны сделано также немало.

В период проектирования Люберецких полей фильтрации в 1910—1912 гг. было проведено детальное гидробиологическое и бактериологическое обследование Пехорки С. Н. Строгановым и В. А. Лазаревым (9), которое показало, что речка со стоками расположенных по ней заводов и фабрик получала значительное бактериальное загрязнение, с которыми быстро справлялась в силу ясно выраженного процесса самоочищения.

При вычислении скорости отмирания бактерий в Пехорке по формуле L. R. Setter, a по материалам 1912 г. (9) мы находим, что для участка реки от впадения р. Черновки до плотины Михневского пруда $K = 0,2567$, т. е. величина, близкая к тому, что мы наблюдали летом 1931 г.

В 1924 г. Н. М. Попова (8) в своей уже упомянутой выше работе по самоочищению также констатирует активное бактериальное самоочищение Пехорки при поступлении в нее дренажных вод с Люберецких полей фильтрации (см. выше):

В 1927 г. были опубликованы интересные материалы по распределению бактерий в рр. Оке, Волге и Москва-реке, собранные одновременно

с детальным гидробиологическим обследованием этих рек на предмет изыскания новых источников водоснабжения московского водопровода.

С той же целью — выяснение пригодности речной воды для харьковского водопровода — в 1926 г. под руководством проф. Златогорова (4) было проведено детальное бактериологическое исследование р. Северного Донца и его притоков — рр. Уды и Лопань.

При санитарно-техническом обследовании р. Клязьмы М. А. Суражеской (31) была проведена работа по изучению количественного и качественного распределения бактерий на обследованном отрезке реки.

В 1925 г., в связи с эпидемией брюшного тифа в Ростове-на-Дону проф. Штутцером было проведено изучение бактериального загрязнения реки Дона (13).

В последнее время под руководством проф. Е. Е. Успенского Н. Д. Иерусалимским (7) была выполнена работа по приложению метода непосредственного учета бактерий проф. Холодного к изучению распределения бактерий в р. Москве в районе Рублевской насосной станции.

Общие выводы

Изучение самоочистительной активности Пехорки в ее нижнем течении, с расходом в $2,5 \text{ м}^3/\text{сек}$, принимающей очищенные дренажные воды с Люберецких полей фильтрации, по данным химического и бактериологического исследований позволило сделать ряд расчетов и выводов:

1. Разбавление дренажных вод чистыми речными водами происходит меньше чем 1:1, что заставляет с осторожностью относиться к спуску не вполне очищенных сточных вод в водоем, если иметь в виду протекание реки в районе дачных местностей.

2. Разбавление притоками в нижнем течении реки весьма незначительно, а также нет крупных спусков неочищенных вод в реку, что облегчает изучение самоочистительной способности водоема и позволяет рассматривать реку как дополнительное очистное сооружение для полей фильтрации.

3. Данные биохимической потребности O_2 для летних месяцев в смешанных водах у Арзамасского моста колеблются от 5 до 20 мг/л , и величина эта в большинстве анализов уже к устью снижается весьма незначительно, оставаясь в пределах тех же величин, что указывает на устойчивость остающихся в дренажных водах органических соединений.

В зимние месяцы, когда в дренажные воды попадают органические вещества сточной жидкости, мы наблюдаем интенсивно идущий процесс снижения биохимической потребности в O_2 в свободной от ледяного покрова части водоема.

4. Аналитический материал по характеристике работы водоема указывает на интенсивно идущий процесс нитрификации, снижающий аммонийный азот в летние месяцы в среднем на 80 %, а для зимних месяцев — на 30 %.

5. Количество растворенного кислорода в реке на всем протяжении до устья колеблется в пределах от 30 до 40 % от насыщения.

6. Величина атмосферной аэрации для водоема в целом составляет 35 г кислорода в среднем на 1 м^2 поверхности. Расчет производился по формуле:

$$A = \frac{Q [(a_1 - a_2) + 1,71 (n_1 - n_2) + b]}{t}$$

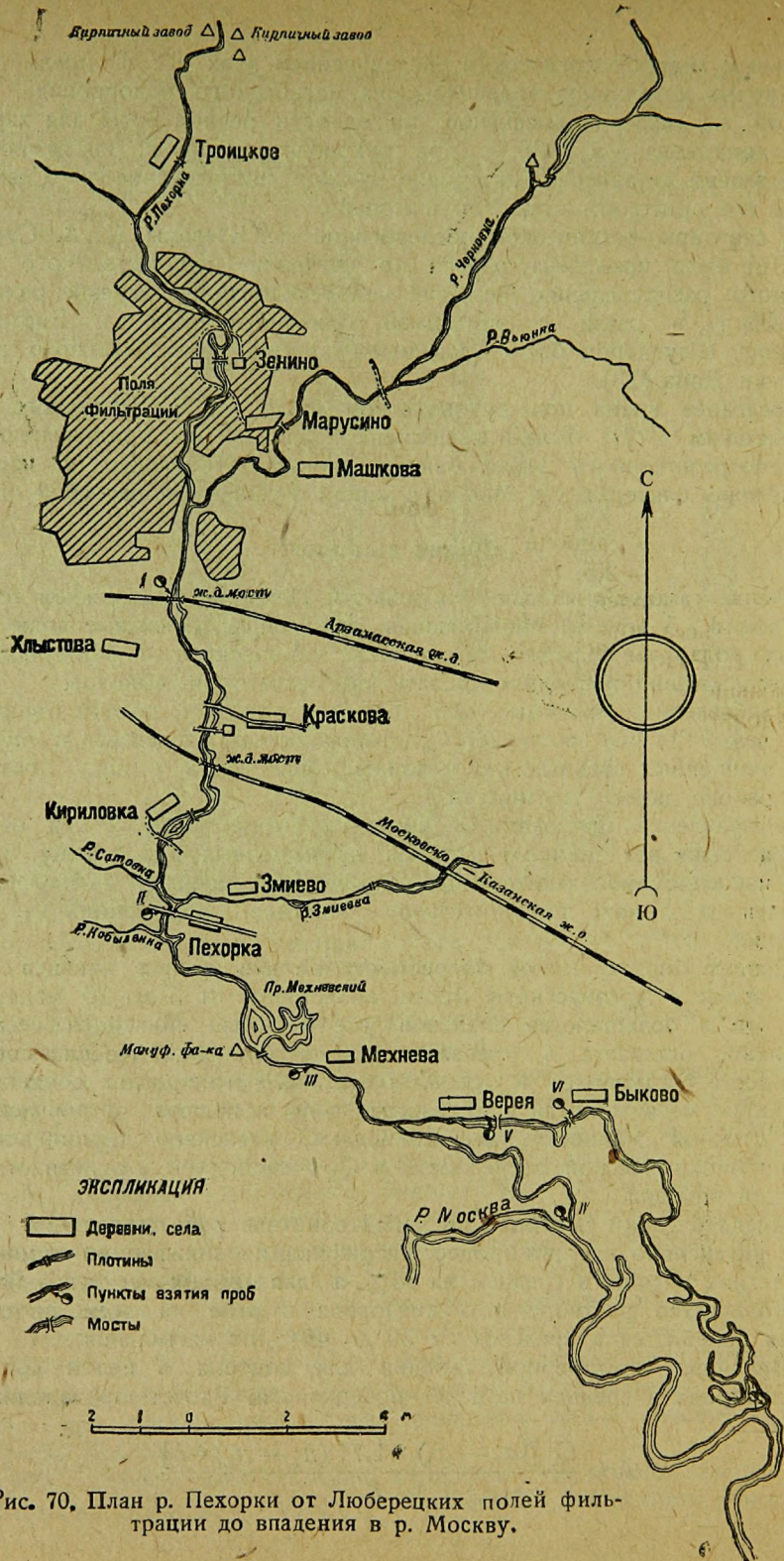


Рис. 70. План р. Пехорки от Люберецких полей фильтрации до впадения в р. Москву.

7. Несмотря на большую окислительную работу реки, все же водоем не успевает справиться с вносимыми в него загрязнениями, и к устью вода Пехорки не успевает получить достаточный запас растворенного кислорода, так как окислительные процессы в речной воде не доходят до конца.

8. При низких температурах в зимние месяцы при резко увеличившемся поступлении бактериальных загрязнений с перегруженных полей фильтрации процесс самоочищения идет с неумещающей скоростью.

9. Как можно судить по вышеизложенному, примененная методика обычного санитарного бактериологического количественного анализа позволила совершенно отчетливо проследить картину бактериального самоочищения Пехорки.

10. К устью реки даже в зимние месяцы, при поступлении в водоем частично нефилтрованной сточной жидкости, остается лишь 6% от первоначального содержания бактерий у границы полей (по группе, растущей на мясо-пептонном агаре при 37°C). Близкие числа получены также по группе, учитываемой на мясо-пептонной желатине.

11. Скорость отмирания *B. Coli* идет быстрее по сравнению с другими группами бактерий и может быть выражена следующей формулой L. R. Setter,a:

$$K = \frac{1}{t} \lg \frac{n_1}{n_2},$$

где K — коэффициент скорости отмирания *B. Coli*,

t — время протекания реки в часах,

n_1 — количество бактерий в исходном пункте,

n_2 — количество бактерий в конечном пункте.

СПИСОК ЦИТИРОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бруевич С. В., Гидрохимическое обследование р. Клязьмы в пределах Богородского и Орехово-Зуевского уезда, «Труды Санитарного института Мосздравотдела им. Ф. Ф. Эрисмана», 1928 г., вып. III, стр. 109 — 126.

2. Величкин Н. М. и Крапивин С. Г., Гидрохимическое обследование р. Пехорки в 1912 г., «Труды Совещания по очистке сточных вод при канализационном отделе МКХ», «Приложение № 16 к отчету Комиссии за 1912 — 1914 гг.», стр. 47 — 155.

3. Величкин Н. М., Работа Люберецких полей фильтрации с начала эксплуатации по апрель 1922 г. (по данным химического контроля), пятый отчет Совещания по очистке сточных вод за 1914 — 1924 гг. 1928 г., вып. II, т. IX, стр. 93 — 145.

4. Проф. Златогоров, д-ра Демьяненко В. Н., Могилевский Б. И. и Калмыкова М. В., Бактериологическое исследование р. Северного Донца и его притоков рр. Уды и Лопани, «Труды Комиссии по санитарно-бактериологическому исследованию Северного Донца», вып. II, 1928 г.

5. Карпинская Н. Н., «Научно-агрономический журнал».

6. Кузнецов С. И., Кузнецова З. И. и Корзинкин, К выяснению причин динамики кислорода в воде Глубокого озера (предварительное сообщение), «Труды гидробиологической станции на Глубоком озере», 1930 г., т. VI, вып. III.

7. Иерусалимский Н. Д., Опыт исследования бактериального населения р. Москвы и ее притоков по методу непосредственного учета.

8. Попова Н. М., К вопросу изучения бактериального самоочищения р. Пехорки в районе Люберецких полей фильтрации (ненапечатанная работа).

9. Строганов С. Н. и Лазарев В. А., Бактериологическое исследование р. Пехорки, «Труды Совещания по очистке сточных вод при канализационном отделе МКХ», «Приложение № 17 к отчету Комиссии за 1912 — 1914 гг.», стр. 216 — 226 (1922 г.).

10. Строганов С. Н. и Захаров Н. Г., Волга, Ока и Москва-река в качестве источников водоснабжения г. Москвы (гидробиологическое исследование), «Труды комиссии по изысканию новых источников водоснабжения г. Москвы», 1927 г.
11. Соболев В. Г., Химическое исследование реки Северного Донца за летний период (1928 г.) и общие годовые результаты химического исследования, «Труды Комиссии по санитарно-биологическому обследованию Северного Донца и его притоков», 1928 г., вып. II, стр. 8 — 33.
12. Разумов А. С., Прямой метод учета бактерий в воде. Сравнение его с методом Коха, «Журнал микробиологии», 1932 г., т. I, вып. III.
13. Проф. Штудер М. И., Бактериологическое исследование р. Дона, выполненное в августе-сентябре 1927 г. для сравнительной оценки места забора воды новым Ростовским водопроводом, «Известия Государственного микробиологического института в Ростове-на-Дону», 1928 г., вып. I.
14. Проф. Худяков Н. Н., Адсорбция бактерий, «Сельскохозяйственная бактериология», 1926 г., стр. 214.
15. «Стандартные методы исследования питьевых и сточных вод», 1927 г.
16. Cumming, Investigation of the pollution and sanitary conditions of the Potomac watershed with special reference to selfpurification and sanitary condition of shellfish in the lower Potomac River.
17. Cholodny N., Zur Methode der quantitativen Erforschungen des Bakteriellen Plankton. Zentralbl. f. Bact. etc. Abt. 2, Bd. 77, S. 179, 1929.
18. Frost and Streeter, Bacteriological studies. A study of the pollution and natural purification of the Ohio River. «Public Health bulletin» № 143, 1924, p. 184—335.
19. Heukelekian, Some biochemical relation in a polluted stream, «Public Health Reports», vol. 44, № 26, 1929.
20. Mahr, Die zulässige Belastung eines Gewässers durch Städtentwässerung. Techn. Gem. Bl. 32, 1929, № 15 und 16, 1930, № 15.
21. Mahr, Der Fluss als Kläranlage - Vortrag auf der Tagung der Techn. Oberbeamten d. Städte, 1930.
22. Schroeffer, Pollution and Recovery of the Mississippi River at and below Minneapolis and St. Paul. «Sewage Works Journal», vol. III, № 4, p. 693, 1931.
23. Seiter L., A Comparison of the Pollution and Natural Purification of the Connecticut and Delaware rivers and the Brandywine creek «Public Health Bulletin», 545, June 1932.
24. Streeter and Frost, Chemical Studies. A study of the pollution and natural purification of the Ohio River, «Public Health Bulletin» № 143, 1924.
25. Streeter H. W., The rate of the atmospheric reaeration of sewage polluted stream. «Public Health Reports» 1926, vol. 41, № 7, p. 247 — 262.
26. Theriault E. G. The Oxygen Demand of polluted waters. U. S. Public Health Service Bulletin, № 173, 1927.
27. Winogradsky S. N. Comptes Rendus de l'Academie d. Science 1923, 147.
28. Winogradsky S. N. Annales de l'Institut Pasteur, t. 39, 1929.

STUDIES ON SEWAGE PURIFICATION

Made under direction
of

Prof S. N. Stroganow

Table of contents

1. Research works on sewage treatment at the threshold of the second 5 year plan by S. N. Stroganow.
2. Canal gases as chief destroyers of Lubertzy brick sewer by T. S. Nagibina.
3. Some considerations on the working conditions of the deteriorated Lubertzy brick sewer by M. M. Dworetzky.
4. Observations upon the working conditions of primary deep sedimentation tanks by A. T. Demina.
5. The conveying of sludge through pipes and channels by M. M. Dworetzky.
6. The destruction of screenings in sludge digestion tanks by C. A. Owsiannikowa.
7. A new method for determination of volatil acids in overflow liquid of digestion tanks by W. A. Barash.
8. A Study of airlifts for removal of activated sludge by Z. A. Orlovsky.
9. The determination of organic matter in the sewage and in the purified effluents by E. S. Popowa.
10. Reduction-oxidation potential as a control method by sewage treatment by W. G. Sawitch.
11. Selfpurification process in the river Pehorka by N. M. Popowa and T. S. Nagibina.
12. English Abstracts.

CANAL GASES AS CHIEF DESTROYERS OF LUBERTZY BRICK SEWER

by T. S. Nagibina (bact.)

A great part of the sewage of Moscow City is carried from the Central Pumping station to Lubertzy Sewage Farm (intermittent filtration fields) down the Lubertzy extraurban main sewer, which is long as 17,48 km.

From the Central Pump Station a part of the Moscow sewage gets up to the level of 27,65 m towards the watershed between both rivers Moscow and Pehorka near village Karacharovo in force cast-iron pipes (6,55 km) and further runs by gravity so far as 10,93 km the brick canal. The working condition of the latter as well as cause of its deterioration are the object of this study.

The gravity part of the Lubertzy sewer is a large brick canal ($d=1,98$ m) laid down with a slope $i=0,00025$. The velocity of sewage flow should be in this part of the sewer—0,87 m/sec. Near the village «Vihino», where in order due to the local configuration the canal grows somewhat steeper, obtaining a slope ranging $i=0,0035$. The velocity of sewage flow increase to 2,25 m/sec and the diameter of pipe is respectively reduced to $d=1,22$ m.

In 1920, after 6 years working period of Lubertzy Farm it was noticed by eng. Karagodine a starting deterioration of the inner brick layer in the sewer.

The deterioration consisted chiefly in softening and protruding of cement joints in wall masonry as well as the scaling the bricks. Such a deterioration however had taken place only on the upper part of the channel out of immediate contact with the sewage.

The subsequent yearly survey during the usual monthly work stoppage at sewage farm states trouble invariably progress.

For the present the Lubertzy sewer is very strongly damaged in its part of $d=1,22$ m. The scaling in this part of the canal progress principally at the spandrels, along the line of intermittent contact with the sewage as well as 4—5 bricks above the line on both sides. Scaling goes on by big plates, a half brick wide by a whole brick long. Somewhere the first set is entirely absent.

In the section where diameter of the pipe is going to increase from $d=1,22$ m up to $d=1,98$ m a great amount of brick scrape would be found, derived from the above part of the channel, and forming on the bottom of larger one a drift as long as 10—15 m and 40—50 cm thick.

There is no uniformity in deterioration in diverse sections of the channel somewhere the scaling is only hinted, while elsewhere the contaminated spots would be noticed of 2—3 cm large. When the scaling had taken place the bricks are abundantly covered with crystals. A considerable deterioration is also manifest in the manholes.

By the external examination of the channel (while naked in 1927—1928 year) there was observed that the sewer is ridged all over with cracks open towards periphery. The largest of them get the width of 4 cm.

By means of chemical analysis it is stated a considerable increasing (concentration) of SO_3 in the destroyed cement of Lubertzy canal, while on the other hand content of SiO_2 is considerably low in comparison with this of normal cement.

The cement from the outside of the canal contains only 1,04% of SO_3 , while when deeply altered the percentage gets up to 43%. Bricks when tested exhibit likewise some increasing in SO_3 , and what besides is specially to be noticed, the nearer is the brick-test to the cement joints, the larger is the amount of sulphates.

Thus we come on to the conviction that deterioration of the channel is due to the same typical destruction reaction which is noticed for concrete sewers.

The channel gases, principally H_2S after oxidation converted into SO_3 promote the transition of lime of cement $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ into gypsum ($\text{CaSO}_4 + 2\text{aq}$) and Devault's salt $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO} \cdot 3\text{CaSO}_4 + 30\text{aq}$.

These last processes are connected with a large volume expansion. There are interesting data in the study of prof. Issachenko B. K. concerning the deterioration of brick buildings due to the development of some microbiological processes in this bricks (nitrification and sulphurisation).

As for the nature of gases in Lubertzy canal there has been ascertained the permanent presence of CH_4 , CO_2 , NH_3 , H_2S . The fact of development of destructive

processes starting from the inner vault, points out that the hydrogen sulphide emitted from sewage is a main source forming sulphates in destroyed cement.

Usually the authors in investigations concerning the deterioration of sewage pipes don't give special need to oxidation of H_2S . There are but W. Bar and R. Buchanan who duly emphasised the biochemical nature of this phenomenon. Both permanent presence and considerable quantity of nitrates in samples of destroyed cement and bricks in Lubertz sewer have brought S. N. Stroganov to the idea, that the agents producing sulphates may be in this particular case the microbes of sulphuric denitrification (*Thiobacillus denitrificans*) described by Beyerink in 1904.

The laboratory test answered this suggestion in full affirmative. Inoculating elective sterilised Beyerink solution by small pieces of destroyed cement or brick from Lubertz sewer we observed an intense formation of sulphates at the expense of corresponding reduction in nitrates according the scheme:

$5S + 6KNO_3 + 2CaCO_3 = 3K_2SO_4 + 2CaSO_4 + 2CO_2 + 3N_2 = 659,5 \text{ cal.}$ After inducing in the nutritive solution $Ca(NO_3)_2$ instead KNO_3 even by reduction of the first portion of nitrate, lumps of sulphur would be covered with crystals of gypsum.

On the basis of referred study it is to be stated that deterioration of Lubertz main sewer proceeds as follows:

The gases out from sewage are dissolved in condensation water, which impregnates brick layer. Hydrogen sulphide, due to the presence of oxygen will be rapidly oxidised into elementary sulphur. Ammonia oxidises as the result of vital activity of nitrifying bacteria (presence of these has been ascertained by special tests) in nitrates. The presence of both substances sulphur and nitrates is an essential factor for *Thiobacillus denitrificans* development, and gives reason to relate the formation of gypsum in cement chiefly to the vital activity of these organisms.

Gypsum and Deval's crystallisation amidst the pores of bricks connected with a strong expansion of molecular volume in comparison with starting compounds cause the scaling of bricks on the inner vault of the sewer and its ruptures on the periphery of channel.

For avoiding similar phenomena in sewer to be built in future it is highly advisable a possibly undelayed filling of canal up to the full rate of its daily flow, as the processes leading to destruction take place only in region above the level of liquid.

SOME CONSIDERATIONS ON THE WORKING CONDITIONS OF THE DETERIORATED LUBERTZY BRICK SEWER

by M. M. Dworetzky (eng.)

This paper is directed to compare the tension in masonry-arch of channel as large as 1,22 m in diameter being in normal state (both the upper and lower vault safe), and on the other hand in suggesting, that the inner vault in the upper portion down to horizontal diameter does not exist. As basis in computation are taken working loads:

1. The vertical pressure of overlaid ground $p = 5,40 \text{ tn/m.}$

2. The side pressure of ground $q = 1,90 \text{ tn/m.}$

The average depth of overlaid ground according to given local outline $h = 3,00 \text{ m}$: the ground is sand and clay. The fluctuation of temperature, as of little value, being negligible is out of consideration.

The overlaid ground is supposed to be a half strong ground, with wholly effective pressure power on the pipe.

Specific weight of overlaid ground $p = 1800 \text{ kg.}$

The angle of natural slope $\beta = 35^\circ$.

By combination of various most unfavourable working conditions there is found out the corresponding tensions in masonry-arch of canal.

In present case, the effective pressure of the ground, the tensions can be estimated, which causes inevitably the unclosing of joints in the medial vertical surface $K_d = 4,71 \text{ kg/cm}^2$, correlatively on the outer surface $K_s = -3,64 \text{ kg/cm}^2$. By only one ring working all the tensions grow twice as great, as by both rings working $K_d = 9,46 \text{ kg/cm}^2$ and correlatively $K_s = -7,34 \text{ kg/cm}^2$.

If the destruction of such a kind in existing canal in full degree didn't take place, obviously the passive resistance of ground fairly dismisses the sliding possibility in spandrel joints on the upper semicircle, which in this occurrence works as a semicircular vault with fixed spandrels.

Consequently, a pipe in a form of round ring can exist only under condition, when sufficiently buttressed by the ground. Theoretically, the date of loads, which the primary computation is based upon, can also differ from actual working conditions.

PRELIMINARY OBSERVATIONS UPON THE WORKING CONDITIONS OF PRIMARY VERTICAL SEDIMENTATION TANKS

A. T. Demina (chem.)

At Kojouchovo Sewage Disposal Plant (Moscow) are working 6 primary sedimentation tanks for 36 000 m^3 daily flow (the plant is shown in diagram, p. 39).

The results of daily surveys and special experiments on these sedimentation tanks lead to following conclusion;

1. The proportionality between the rate of flow ($Q - m^3$ per hour) and the quantity of sludge in settled sewage ($A - cm^3$ per lit.) may be well written as the equation: $A = KQ$. The coef. $K = 0,0073$, when the sludge from the bottom of the tank is removed daily (table 11, graphic 18).

2. The escape of sludge particles is increasing when the period of detention of sediment in the tanks is greater (from 12 to 24 hour) and sludge is carried through the supernatant liquid to the surface (table 14).

3. Parallel determination of sediment in single samples drawn out and immediately tested, and on the other hand average samples hourly taken during 24 hours shown almost double the quantity of sediments in the latter.

Special experiments on the same settling tanks were carried out on 14 diverse respective positions of central pipe and reflecting baffle, the flow through the tank being invariable 350 m^3 . The experiments have entitled to make deductions as follows:

1. The position of the reflecting baffle is a factor of high significance. The opening between the central inlet pipe and baffle will not be too large as it determines the zone where the horizontal current of liquid is going to convert in an ascending one.

2. The average flow velocity at the level of baffle, as is stated by experiments ought not exceed 4 mm/sec.

THE CONVEYING OF SLUDGE THROUGH PIPES AND CHANNELS

by M. M. Dworetzky (eng.)

In foreign magazines we did not find experimental data on the conditions of sludge running through the pipes and along the channels as well as conditions directing the operations connected with carrying the sludge for great distances.

In Russian practice the conveying of sludge has been realized exclusively at small filtration plants only for very restricted distances.

The questions of resistance were considered as not having an essential importance from economical standpoint, but to-day the problem of sludge disposal will be urgent for Moscow and many other cities of USSR.

This study is planed:

1. To demonstrate the influence of moisture in sludge upon the conveying process through pipes and channels.

2. To give a comparative estimation of hydraulic conditions concerning the discharge of raw sewage and "fresh" sludge from settling tanks, as well as the sludge from digestion tanks, through pipes and channels.

3. To work out a practically available method for planing and maintenance of sludge conducts.

The principal difficulty encountered by solving the problem of sludge conveying is due to lack of uniform and conclusive data.

Under similar hydraulic elements the deductions from many experiments show a large discrepancy, due to diverse factors, as nature of sludge, its structure, moisture content, the rate of gaseous compounds etc. For a running liquid there are well known hydraulic characteristics: 1) the irregular distribution of velocity over the cross section of channel, 2) the gradual loss of pressure, as a factor determining the motion of liquid.

The phenomena are the consequence of inner friction connected with coarseness of walls.

From our observations there is found out, that the values of inner friction for fresh, as well as for digested sludge by the same moisture are different (p. 64, table 21, fig. 30).

The digested sludge is a more homogeneous and granulous mass with many gaseous inclusions and has a greater mobility in comparison with the fresh sludge.

The viscosity of sludge does not remain a constant, but a gradient of velocity, as with increasing velocity the coefficient of viscosity drops down.

The essential difference between the flow of water and of sludge through pipes and channels is, that the water flows with constants hydraulic parameters (i. e. n. r.) the sludge possess variable, additional factors dependent on the velocity and the rate of slopes and on the kind and character of sludge.

When moving in wooden channels with small velocities the sludge flows in separate layers according to specific gravity of suspended matter. The moving mass seems so as to build automatically for itself a new bed by means of already settled particles, a bed with almost immovable walls, particularly in the lower corners of the channels. The sludge forms a sort of coating, serving to the flow as additional coarseness, checking the motion (autobrake).

Once the sludge coating formed, in the case of the small velocities the flow will be irregular motions, showing as its specific features the fluctuations of velocities as well as changing at different depths in the channel, where longwise the flow waves are distinctly seen permanently overflowing one another.

The motion in pipes is similarly characterized: the more weighty particles of sand are so as inculcated into the slime, the walls are coated with, particularly in the lower section of pipes, and in this manner are increasing its coarseness.

The analysis of data from our observations is that conveying the sludge through channels and pipes the coarseness coefficient is not to be estimated as constant, but as a variable one, depending upon velocities. The greater velocity, the cleaner the wall — the smaller the coarseness coefficient.

Combining the data and generalizing the facts there is to be pointed out:

1. For a successful operation with sludge conveying channels a rate of slope $i=0,01$ towards the outlet is needed.

2. For respectively normal working conditions for a large sludge treatment works as a minimal slope not less than $i=0,005$ is to be asserted.

3. The keeping of channels in normal working conditions necessitates a cleaning of channels after each operation period, but no less than once daily.

4. At small sludge treatment works with a small quantity of sludge an intermediate bassin is available, or a sludge well for the storage of sludge in great volume, with following discharge all at once in the sludge channels.

By sludge pumping through pipes it is desirable to get the content of water in „fresh“ sludge up to 97 per cent, and in a digested one to 95 per cent what will but little affect the manometric pressure.

Minimal diameter for gravity sludge channels, as well as for those working under pressure is to be ranged 150 mm for small plants, 200 mm for middle sized and large one.

The ratio between sludge resistance and that of the sewage for the diameter 150 — 200 mm and for velocities $v=1,40$ — $1,10$ m/sec. and respectively $v=0,80$ — $0,65$ m/sec the resistance of sludge will be about 2:1. When velocity increase over the indicated rate, the relation of velocities run down to 1:1, without ever reaching the limit.

To create favourable working conditions for a covered sludge channel conduit a careful control and suitable treatment with sufficiently frequent cleaning are to be applied.

For avoiding casual stoppage special control devices, so as three-way and cross pipes with valves are not to be omitted.

THE DESTRUCTION OF SCREENINGS IN SLUDGE DIGESTION TANKS

by C. A. Owsiannikowa (chem.)

The finding of the most profitable method of the removal of the screenings is nowadays one of the important questions which ought to be solved.

The sewage of Moscow proceeds through a rack at the Central Pumping Station, and then the sewage is conducted to the filtration fields of Lubertz. Therefore the screens of the latter collect the sewage, which has not been kept by the rack of the

Pumping Station. The amount of the screenings collected at the filtration fields of Lubertz is about 0,85 L per capita per year. The screen has an opening 180 mm; the average amount of sewage, passing the screen is 45,400 m³ per day.

Two experiments of the digestion of the screenings in the ripe sludge were conducted on the initiative of prof. S. N. Stroganov at Lubertz in Autumn 1932. The first experiment was proceeded at the temperature = 20°C and the second at 7,5°C. The screenings consist chiefly of cellulose and its derivatives and therefore much attention was paid to the determination of it by the Kiezel-Semiganovsky's method (5) which permitted to define alpha-cellulose and hemi-cellulose.

The following conclusions concerning the experiments may be drawn:

1. During both the experiments the pH value and the volatile acids of the mixture were stable.

2. The principal components of the screenings digestion are alpha-cellulose and hemi-cellulose. It was noticed, that the ratio between the amounts at the alpha-cellulose and hemi-cellulose was 1:1 to the end of the digestion of the mixture.

3. In the first experiment (at the temperature = 20°C) the screenings were seeded with the ripe sludge from the digestion tank in the ratio: to one part by weight of the screenings seven parts of the ripe sludge were added on the dry solids basis (1:7). Under these conditions the digestion of both alpha-cellulose and the hemi-cellulose was noticed nearly of some amounts (67,56 and 53%). This statement indicates disagreement with the observation of Heukelekian (3), who showed, that only the alpha-cellulose is attacked by the anaerobic flora in the digestion period under consideration.

4. The digestion of screenings proceeded during 30 days at 20°C. The rate of the digestion was 63% calculated on basis of the total cellulose.

5. The mixture of the screenings and the digested sludge was done on the second experiment in the ratio 1:5,5. The average temperature of the experiment was 7,5°C. Under these circumstances it was found that the digestion of the alpha-cellulose proceeded more rapidly than the hemi-cellulose (the removal of the alpha-cellulose = 45% and the hemi-cellulose = 9,8%).

6. The observations of the second experiment were proceeded 25 days. The decrease of the temperature to 7,5°C influenced the rate of the process — the decrease of the total amount of the cellulose was only 38%.

A NEW METHOD FOR DETERMINATION OF VOLATILE ACIDS IN OVERFLOW LIQUID IN DIGESTION TANKS

by W. A. Barash (eng. chem.)

The determination of above mentioned acids is usually performed by means of distillation method (method Duclos) and consequently requiring for complete operation so a considerable length of time as no less than two hours.

For the control of operating conditions of digestion tanks there is highly desirable to dispose of some method which would shorten to some extent the time of analyses.

Therefore in the Laboratory of Kojuchovo-Plant (Moscow) there is newly wrought out a method in order to provide complete determination of volatile acids in overflow liquid, otherwise designated as "method of direct titration" which in short runs as follows:

20 cm³ of having been previously filtrated liquid as test material is subjected to titration by hydrochloric acid 1/10 N with tropaeolin CO, and the data of the burette "a" duly noticed.

Afterwards a similar quantity of test liquid is titrated by hydrochloric acid 1/10 N with methyl-rot, submitted to the same process, and data "b" of the burette similarly noticed.

The quantity of volatile acids in millevalances to liter is to be calculated according formula:
$$\frac{(a - b) \cdot 50}{10}$$

The result attained by above retraced testing is much the same as that, found out by distillation method Duclos.

A STUDY OF AIR-LIFTS FOR ACTIVATED SLUDGE PLANTS

by Z. A. Orlovsky (eng.)

A series of observations over some models of air-lifts were carried out at the laboratory of Kojouchovo Activated Sludge Plant to study the conditions at which the work of air-lifts could be sufficient enough to return the activated sludge from the secondary tank.

1. There was found that no one of the hydraulic formulae which have been offered to raise the water from the deep wells does not give the sufficiently exact result, which might be applied to raise the activated sludge up to the requisite height.

2. It is convenient to use the air-lift which raises the activated sludge to the height about 1.5 m. In this case the quantity of air ought to be 2.5 — 2.7 m³ per 1 m³ of returned sludge. At the height of the raising to 2 m the quantity of the air sharply increases — to 10 m³ per 1 m³.

3. The construction of air nozzle is of little value and it will be better to use a simple open pipe. The ratio of diameter from air pipes to riser pipes are 0,25:0,30.

4. The increase of the quantity of the air at the same height of the raising is either useless or even gives the opposite result, as it creates the blow of air breaking out through the water.

THE DETERMINATION OF ORGANIC MATTER IN SEWAGE AND PURIFIED WATERS*

by E. S. Popova (chem.)

The determination of the oxidation by Kubel's and Abbot's methods are compared to the results obtained on determination of BOD by the dilution method with the application of the specially determined constant K and $K=0,1$. As results may be drawn the following conclusions.

1. The determination of sewage by excess oxygen method with the constant of velocity $K=0,1$ is not acceptable for Moscow sewage, as it leads to the more exaggerated results compared with available results because of the change constant.

2. It is advisable to conduct the determination of BOD with proper constant, but this method is very complicate especially in daily control analyses.

3. The oxygen consumption by Abbot is technically accomplished considerably easier and quicker than the determination of BOD and the results give 82% of BOD with proper constant.

4. The oxidation by Kubel-method is carried out more easy and quickly than Abbot's method in technical part, but it gives the results which are only 30% of BOD with proper constant.

5. It is preferable to use the determination of oxygen consumption by Abbot's method in sewage as it gives the less correction coefficient and so the possibility of the error is less than by Kubel's method.

6. It is difficult to say, which of the above methods is more adequate for the estimation of the quantity of organic substances in drain and river waters, which have a very little BOD.

REDUCTION-OXIDATION POTENTIAL AS A CONTROL METHOD BY SEWAGE TREATMENT

by W. G. Savitch (chem.)

1. In this paper it is proposed to introduce the determination of Red-Ox. potential (E_h) in the operating control of sewage treatment plants, as a method which renders it possible to determine the "intensity" factor in oxidative processes.

2. The fundamental idea of the theory of determination of Red-Ox. potential are briefly exposed, and also the method is described which was employed to determine the potential. Electrometrical determinations were made of the potential in raw sewage as well as in the effluent from different treatment plants, together with the determination of certain chemical ingredients usual in common sanitary analysis.

3. The Moscow sewage (entering the two sewage farms at Lublino and at Lubertzy and Kojouchovo activated sludge plant) possesses high reduction properties and is characterised by potential values ranging from $E_h=0,10$, V to $E_h=-0,35$ V. The minimum value of rH was 3,2, pH = 7,0 — 7,9.

The E_h value of sewage depends considerably on concentration and coincides with changes of certain chemical indicators. Thus, the higher the specific conductivity of sewage the lower the potential, the lower the ammonia-salts, the higher the potential.

The presence of sludge in the sewage lowers the E_h value. Together with this the biochemical oxygen demand of the sewage rises.

3. Through the aerobic treatment of sewage the potential quickly rises and now acquires positive values.

After percolating beds and aerated filters the values of Red.-Ox. potential in the sewage were observed to range from $E_h = +0,25$ V to $E_h = +0,39$ V.

In the water gathered from drainage ditches of the sewage farm the Red.-Ox. potential nached values from $E_h = +0,25$ V, to $E_h = +0,53$ V.

In the laboratory aerating Unit the rise of the potential was observed to be as high $E_h = +0,30$ V (preliminary data).

The rise of E_h is accompanied by changes in certain chemical properties of the sewage: its „Stability“ rises, the biochemical oxygen demand diminishes, the amount of ammonia — N falls, the nitrate — N rises etc. The fall of the E_h value of the sewage is accompanied by changes in the chemical components which characterise the unsatisfactory work of the plant.

4. The comparison of the Red.-Ox. potential method with the methods of the sanitary commonly used analyses shows, that the R/O potential methods give a perfectly accurate idea of the reductive and oxidative properties of the sewage, for it does not require introduction of foreign substances in the fluid under investigation. Being simple and available renders possible its broader application than the usual chemical analysis.

But certainly the correlation between both should be preliminarily established.

SELPURIFICATION PROCESS IN THE RIVER PEHORKA

by N. M. Popova (chem.) and T. S. Nagibine (bact.)

The river Pehorka is a small tributary of the river Moskow. The average flow discharge quantity of the r. Pehorka is $2,5$ m^3 per sec, the mean daily discharge is — $85\,000$ m^3 . The river flows through country house district. Therefore it is a problem of a very high importance to keep away to the natural stream any nuisance.

In 1931 — 1932 the daily flow of the sewage pumped to the filtration plant is to be estimated as maximal for the whole operating period since it averaged to $130\,000$ — $150\,000$ m^3 per 24 hours, what is to be considered, as a 20 — 25% overload, in relation to normal working capacity of the plant. The effluent amounting to $100\,000$ m^3 per 24 hours would be discharged into the river Pehorka not fully purified, particularly in winter. These objectionable consequences can turn the river into a channel of polluted water, since the ratio of effluent to water of the river is 1:0,85.

The study had been carried out to estimate the limit of natural purification of the river Pehorka in order to regulate the discharge of the sewage with regard to its quantity, as well, as to quality.

The whole length of the river from limit of the Farm down the river mouth (20,8 km the time of flow ca 35 hours) has been divided in 5 sections. For purposes of chemical and bacteriological analyses the samples of the water have been drawn for each of the five sections regularly twice per month during the year.

The chemical analysis consisted in following determinations: Hydrogen ion concentration (pH), permanganate method for oxygen consumed, chlorides, nitrogen as ammonia, nitrite and nitrates, dissolved oxygen and biochemical oxygen demand in 120 hours (BOD).

The routine bacteriological examination of all samples included gelatine count at 20°C , agar count at 37°C , and quantitative counts for bacteria *Coli-aerogenes* on Endosmedium at 37°C after incubation during 48 hours.

All determinations were made in accordance with the American Standard Methods.

The following results of the study can be formulated:

1. The river Pehorka below the Lubertz Sewage Farm has several small tributaries, what causes but a little influence upon the dilution process in the chief mass of water, as shows the chloride data. Only at two points the sewage in very small quantity is discharged into the river—from the Michnevo mill into adjacent pond and from Bikhovo Sanatorium.

Nevertheless these discharges have not great bearing on the chemical constituents of the river water in Pehorka. By all subsequent discussions therefore the river shall

be considered, as a „natural plant“ additional to the Farm, whose oxydation power is to be estimated in order to meet the legal requirements of Sanitary Inspection.

2. Permanganate oxygen consumed of mixed water below the Farm near Arsamass Bridge (point I) ranges from 9,1 to 15,6 ppm in summer and autumn months. Towards the VI point „mouth of Pehorka“ the quantities of the oxygen consumed get down, but very slowly, showing the fluctuation from 5,15 to 10,7 ppm., what points out that the remaining organic matter in effluent can be oxidized only at a very low rate.

In winter the oxygen consumed in mixed water increases considerably attaining 43 ppm. due to the raw sewage getting in the effluent. The selfpurification proceeding is very pronounced: the percentage decrease of oxydation average = 50%, but towards the mouth of Pehorka the oxygen consumed remains nevertheless at higher rate when compared with there in summer period (see diagr. N...p...)

3. The data of biochemical oxygen demand (BOD) for summer months in mixed water near Arsamass Bridge varies between 10 and 29 ppm. this value by graet of analyses towards the point VI fall but very slowly, or even somewhat gets up pointing out casual pollution. There is no evidence of reduction of BOD, and this indicates also the stability of carbonaceous material remaining in the effluent.

In winter, while the raw sewage partly gets into effluent, we investigate that the intense process of oxydation of organic matter grows evident; the fall of BOD is greatest at the part of the river not covered with ice (see diagr. №. 60). It is to be noticed, that during winter the river Pehorka in the district of Lubertz Farm does not freeze, owing to continual discharge of a great volume of warm effluent (+ 3 to + 4°C). The tepidity of water will be stored as far as 3 — 4 km below the last effluent ditch. The surface of the river remains freezless and inside this interval the intense atmospheric aeration takes place, promoting the oxydation of organic matter.

4. The analitical material characterizing the process on the second stage of oxydation indicates the intense process of nitrification along the down current of Pehorka. During the summer months the percentage of ammonia nitrogen decrease from the point I to VI averages 80 per cent, in autumn 55 per cent and by cold winter weather 28 per cent only. It is however to be noticed, that in spite of intense oxydation process in nitrogenous matter, no nitrates would be observed in summer. In winter small quantity of nitrates in the samples collected from sampling I and II, the nearer the mouth of Pehorka vanished altogether, indicating the denitrification process under the ice.

5. The quantity of dissolved oxygen at the upper part of the river above the outlets of effluent ditches averaged to 80 per cent of saturation. At the point I near Arsamass Bridge after mixing with purified water from the Sewage Farm the percentage of saturation of O₂ would be reduced to 30 — 40 per cent, and towards the quantity of dissolved oxygen did not increase in summer months. During the winter the percentage of saturation sometimes would drop as low as 0 (see diagr. 65, p. 177).

On the basis of above mentioned results of chemical investigations in regard to river Pehorka the following conclusions, enabling to determine the selfpurification power in the river, may be drawn, as well as characterize the latter, as additional plant for the Sewage Farm.

1. The first oxydation stage of carbonaceous material in the sewage is to be considered as almost completly finished on the Farm and also there takes place the second oxydation stage of nitrogenous matter. The total oxigen demand of the sewage is reduced to 10 per cent.

Therefore in summer the oxygen is not taken for the oxydation of the carbonaceous matter, as testified the small variations in the values of BOD at the river mouth. Meanwhile the great percentage decrease of the ammonia nitrogen shows the intensive process of the second oxydation stages of nitrogeneous matter.

The natural power of the river will therefore be estimated by summarizing the data obtained by both oxydation stages of polluted matter.

2. The determination of the atmospheric aeration (A) of the river would be made according formula:

$$A = \frac{Q (a_1 - a_2) + 1,71 (n_1 - n_2) + (b_1 - b_2)}{F},$$

where Q — discharge of the river in cubic meters per 24 hours,

a₁ — initial BOD; a₂ — final BOD,

n₁ — initial content ammonia nitrogen,

n_2 —final content ammonia nitrogen,
 b_1 —initial quantity of dissolved oxygen,
 b_2 —final » » »
 F —surface of the river in square meters.

The value of atmospheric aeration (A) for the whole river averages to 35 g. of oxygen per square meter of river surface per 24 hours.

3. Despite the great oxydation power the river evolves, it does not keep hold over the whole amount of discharged pollution for lack of possibility to get sufficient store of oxygen, since the oxidizing processes in the river fall to go through, and get their final conclusion.

By estimating the percentage of river work in terms of the BOD of sewage, we obtain 6,4 per cent, together with the work of the Sewage Farm = 96,4 per cent.

The remainder of organic matter, it is 3,6 per cent of oxydation task will be transmitted to a more powerfull stream, as the river Moskwa.

4. The Koch's method for counting bacteria in water by means of hard meat pepton media affords precise illustration of the process of dying away of bacteria in pollution, brought in from intermittent filtration fields of the Sewage Farm.

The obtained results point out, that in the river below the last effluent ditch an active bacterial selfpurification would take place, though the death rate is not the same for all groups of bacteria (see diagr., p. 193).

The comparative rate of bacteria death at different sections of the river may be estimated according the formula of Cohen (L. R. Setter).

$$K = \frac{1}{t} \cdot \lg \frac{n_1}{n_2}, \text{ where}$$

K —the death rate of bacteria,

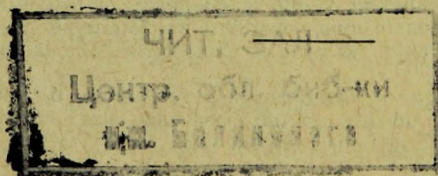
t — the time of water flow (in hours) between the sampling stations.

 n_1 —number of surviving bacteria at the starting station,

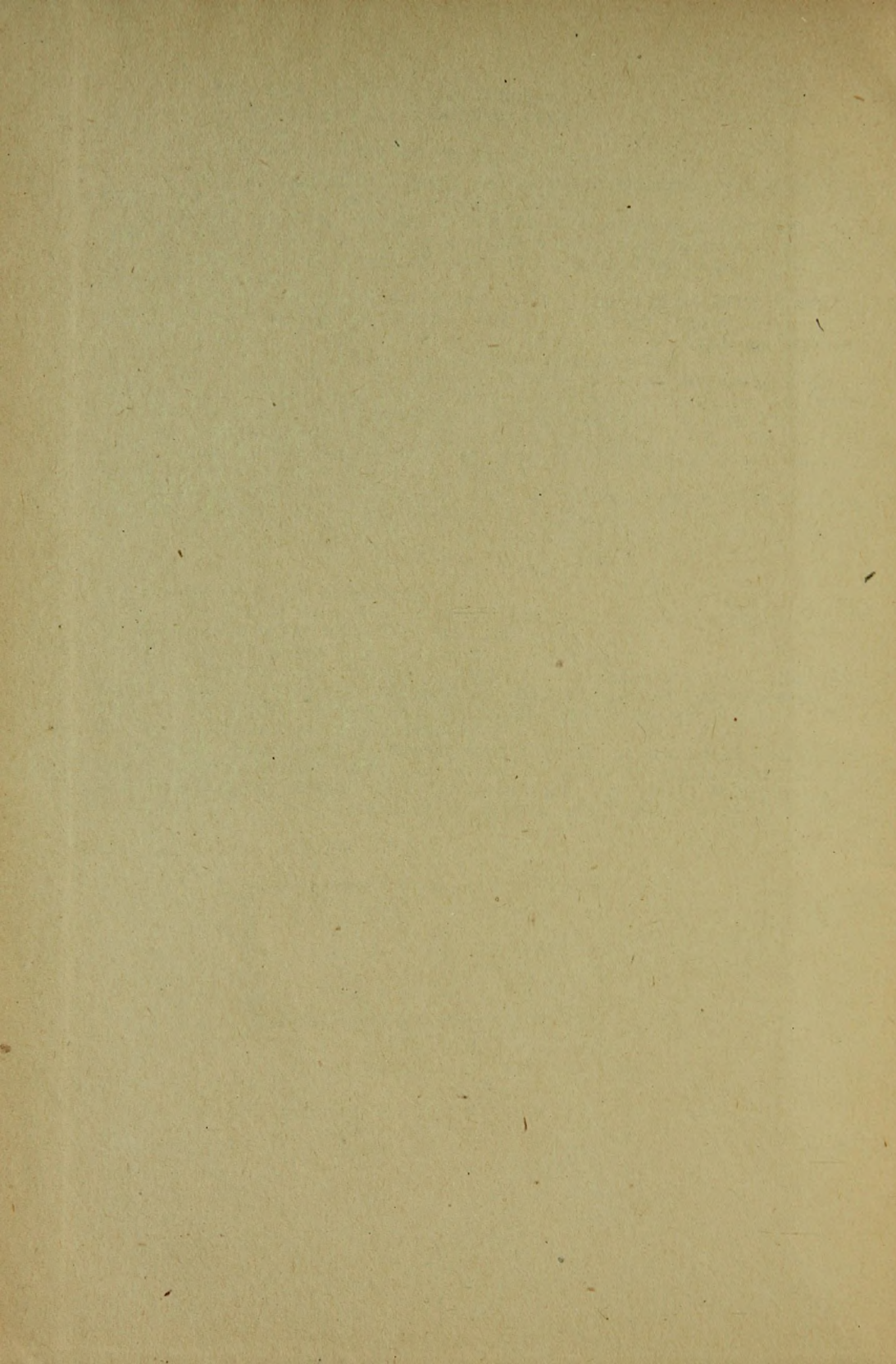
n_2 — number of surviving bacteria at the lower station.

Down the river near the village Michnevo the bacterial selfpurification of river Pehorka gets after somewhat obscured by effect of new pollution discharged principally by the outfall from Michnevo mill, as well as from the worker colony and from the Sanatorium, near the village Bikovo.

In winter, when partly unfiltrated sewage would be discharged from the overloaded Lubertz Sewage Farm, the number of bacteria sharply increases, but so far as at next sampling station down the current near the village Pehorka a sharply decrease in number will be noticed, on account of increasing death of the bacteria.







4 р. 50 к. пер. 1 руб.
С—51—5—4

М1521