

Сточные воды сульфит-целлюлозных фабрик ¹⁾.

Несколько лет тому назад, ранее начала эксплуатации вышележащей Сухонской сульфит-целлюлозной фабрики, состав накипи, вынутой из трубок паровых котлов после работы их в самое неблагоприятное время года, в смысле жесткости речной воды, колебался в следующих пределах.

Состав накипи.	Из труб паровых котлов.	
	Сист. Де Неер.	Сист. Гарбе.
1) Серного ангидрида	9.65%	20.40
2) Окиси кальция	44.12	42.72
3) Окиси магния	5.15	3.64
4) Окиси железа и алюминия	0.62	0.60
5) Кремнезема	3.89	5.29
6) Углекислоты	34.68	26.04
7) Органических веществ	0.63	0.27
8) Влагн	0.48	0.16

В соединениях приведенные результаты анализов соответствуют содержанию в накипи:

	Проценты.	
1) Сернокислого кальция	16.40	34.68
2) Углекислого кальция	67.44	50.52
3) Углекислого магния	10.76	7.60
4) Окиси железа и алюминия	0.62	0.60
5) Кремнезема	3.89	5.29
6) Органических веществ	0.63	0.27
7) Влагн	0.48	0.16

¹⁾ Продолжение, см. „Бум. Пром.“ 101.

Между тем как состав накипи, вынутой из трубок котла сист. Гарбе после работы его в 1919 г., как раз в месяцы отмеченной выше увеличенной постоянной жесткости речной воды (октябрь-декабрь), оказался по исследованию совершенно иным, а именно:

Проценты:	
1) Серного ангидрида	45.43
2) Окиси кальция	35.05
3) Окиси магния	7.13
4) Окиси железа и алюминия	2.90
5) Кремнезема	1.03
6) Углекислоты	2.55
7) Органических веществ	4.29
8) Влаг	1.01

Состав этой накипи в соединениях характеризуется следующими весьма выразительными цифрами:

Проценты:	
1) Сернокислого кальция	77.23
2) Углекислого кальция	5.80
3) Окиси магния	7.13
4) Окиси железа и алюминия	2.90
5) Кремнезема	1.30
6) Органических веществ	4.29
7) Влаг	1.01

Картина получается еще более рельефной и убедительною, если сопоставить между собою анализы накипи, взятой одновременно из труб паровых котлов фабрики Сухонской (вышележащей) и фабрики „Сокол“ (нижележащей).

СОСТАВ НАКИПИ.	Фабрика	Фабрика
	Сухонская.	Сокол.
	Проценты.	
1) Серного ангидрида	3.98	45.43
2) Углекислоты	25.91	2.55
3) Окиси кальция	37.96	35.05
4) Окиси магния	13.14	7.13
5) Окиси железа и алюминия	5.14	2.90
6) Кремнезема	9.24	1.03
7) Органических веществ	3.98	4.29
8) Влаг	—	1.01

В соединениях состав этих одновременно взятых образцов накипи характеризуется следующими, по латинскому выражению, „молча кричащими“ цифрами:

СОСТАВ НАКИПИ.	Фабрика	Фабрика
	Сухонская.	Сокол.
	П р о ц е н т ы:	
1) Сернистого кальция	6.77	77.23
2) Углекислого кальция	58.18	5.80
3) Кремнистого кальция	6.02	—
4) Окиси магния	13.14	7.13
5) Окиси железа и алюминия	5.14	2.90
6) Кремнезема	6.12	1.03
7) Органических веществ	3.98	4.29
8) Влаг.	—	1.01

Особенно резко неблагоприятно такая накипь отзывается на котлах высокого напряжения поверхности нагрева и имеющих узкие трубки (Система Гарбе—внутр. диам. труб всего лишь 53—54 м/м.). Удаление такой необычайно крепкой накипи представляет весьма большие затруднения. Кроме того, не только коэффициент теплопередачи, а следовательно, и коэффициент полезного действия котла, значительно, конечно, понижается, но и самые трубки нередко прогорают.

В этом отношении, т.-е. в смысле ухудшения качеств речной воды с точки зрения пригодности ее для питания паровых котлов, несомненно нужно считать влияние сточных вод вредным.

Степень вредности, разумеется, зависит от взаимного соотношения количества спускаемых вод и секундного дебета реки.

Что касается кислот серной и сернистой, находящихся в щелоках в связанном состоянии, т.-е. в виде солей, то они, с точки зрения общественной санитарии и гигиены, могут считаться вредными еще с меньшим основанием; тем более, что и содержание их в щелоках едва достигает, как видно из анализов 0,4—0,5%; в сточных же водах уже в самой фабрике понижается разбавлением до 0,01%—0,012%.

В значительно больших количествах в варочных щелоках содержатся лигносульфонные кислоты и их соли. Однако, благодаря стойкому характеру этих соединений, неразложимых, как было выше отмечено, разбавленными кислотами, и щелочами, и эти соединения с очень большою вероятностью можно считать не вредными, особенно при достаточном разбавлении щелоков.

Следует, во всяком случае, отметить интересный в этом отношении опыт, проделанный проф. Штутцером.

Довольно продолжительное время он кормил домашних животных сильно сгущенными щелоками с примесью мелассы и картофеля. Смесь была составлена в отношении: мелассы 1 часть, „Holzextract“, т.-е. сгущенных щелоков, 4 части и картофеля 5 частей.

Животные охотно ели корм и никакого вредного влияния на их организм лигносульфоновых или других соединений не замечалось.

Лигносульфоновые соединения, благодаря их непердельному характеру и редуцирующим свойствам, окисляются при смешении с водою аналогично сернистой кислоте кислородом, в воде растворенным, и становятся совершенно нейтральными.

Хотя реакция окисления лигносульфоновых соединений идет сравнительно медленнее, чем окисление сернистой кислоты, но, во всяком случае, процесс окисления и нейтрализации щелоков в целом идет очень быстро и кислая реакция их переходит в слабо щелочную, обычно присущую чисто речной воде.

Так, на фабрике „Сокол“ сточные воды уже при вступлении в коллектор для отстаивания и нейтрализации в большинстве случаев имеют слабо щелочную реакцию.

Проф. Фогель, специально исследуя вопрос о влиянии варочных щелоков целлюлозной фабрики производительностью 40 тонн в сутки на воду реки Мемеля (секундный дебет около 200 куб. мет.) нашел, что уже на расстоянии всего 100 метр. ниже входа сточных вод в реку, сернистая кислота вся оказывается окисленной и нейтрализованной.

На протяжении же не более двух километров то же самое происходит и с лигносульфовыми кислотами и другими органическими соединениями.

Необходимо обратить внимание еще на одну очень характерную особенность варочных щелоков, а именно их сильную бактерицидность и стерилизующую способность.

Из практики, например, давно известно, что волокна целлюлозы, находящиеся в коллекторах для отстаивания вместе с сточными водами, в продолжение многих месяцев при непрерывном производстве совершенно не загнивают. Не замечается также признаков гниения и в том случае, если осадочная масса, будучи вынутою, лежит в влажном состоянии на открытом воздухе продолжительное время.

Происходящее при этом характерное посинение волокна объясняется следующим образом. Находящаяся здесь, так-называемая, серная бактерия (*Beggiatoa*) разлагает гипс и другие серу-содержащие соединения, усваивает серу и отлагает ее в своем организме.

Продукты восстановления сернистых соединений, взаимодействуя с солями железа, образуют сернистое железо, которое и сообщает волокну темно-синеватую окраску.

Способность варочных щелоков прекращать жизнедеятельность распространяется не только на бактерий, но и на другие низшие организмы. Поэтому, так-называемый биологический способ очистки сточных вод, например, городских, столь удачно для них применимый, является совершенно неподходящим для сульфит-целлюлозных щелоков. Щелока непосредственно введенные в биологический процесс

прекращают жизнедеятельность низших растительных организмов, являющихся главными агентами биологического метода очистки.

Аналогичное же действие оказывают щелока и на более высшие растительные организмы—главным образом, благодаря присутствию в щелоках сернистой кислоты. В этом отношении весьма поучительным является проделанный Штутцером¹⁾ в продолжение нескольких лет, опыт смешения сточных вод крупной целлюлозной фабрики около Кеннигсберга с фекальными водами последнего и применения их „на полях орошения“.

При 26.000 кубических метров в сутки городских сточных вод, всего 560 кубических метров щелоков и 1100 куб. метр. промывных вод с фабрики, т.е. при 20-ти приблизительно частях щелоков на 1000 частей городских вод, последние не только не оказывали благотворного влияния на растительность „полей орошения“ (рожь, репа и т. п.), но, наоборот, состояние растительности ухудшилось.

Только после тщательной предварительной нейтрализации щелоков известью и достаточным разбавлением их удалось с успехом восстановить удобрительное действие сточных вод города на растительность „полей орошения“.

Попытки профессора Hofeга—применить биологический метод очистки сточных вод целлюлозной фабрики в Ашафенбурге также не увенчались успехом.

Причиной этого, по мнению Hofeга, было то обстоятельство, что „содержащиеся в сульфитных щелоках соединения сернистой кислоты, каковы сернисто-кислый кальций, глюкозо-сернистые кислоты, а, может быть, также и лигносульфоновый кальций, действуют так сильно антисептически, что ни бактерии, ни другие низшие растительные и животные организмы, воспринимающие большую часть работы по разложению органических соединений, не могут здесь существовать“.

Во всяком случае, в противоположность городским сточным водам, всегда содержащим массу патогенных бактерий,—воды целлюлозных фабрик не только таковых не содержат, но и содержать не могут.

Что касается влияния варочных щелоков на более высшие животные организмы (например, рыб), то а priori, казалось бы, следовало думать, что влияние это будет очень вредным.

Благодаря не только содержанию в щелоках сернистой и других кислот, но также и смолистых соединений, способных заклеивать столь нежные жабры рыб, казалось бы возможным ожидать полного расстройства процесса дыхания рыб.

Интересным, и очень показательным в этом отношении является проделанный проф. Lehmann'ом²⁾ опыт с рыбами с целью выяснить степень влияния на них варочного щелока.

¹⁾ Wochenblatt für PF 1911—№ 28.

²⁾ K. Hofmann. Handbuch der Papier fabrikation; B.—11; S.—1625.

Были взяты три молодых окуня и четыре различных белых рыбки (головли и ельцы) и помещены в деревянный чан в 20 литров водопроводной воды. К этой воде прибавлялись все возрастающие количества варочного щелока, при чем через жидкость все время совершался приток воздуха.

Щелок содержал 2,92 грамма свободной и 5,70 грамм на литр общей сернистой кислоты и 73,0 гр. органических веществ.

РАСТВОР.	Содержание щелока.	Продолжительность испытания.	Действие.	Содержание в литре раствора.		
				Органич. вещества	Серн. кислоты.	
					Общей.	Свободной
{ 20 лит. воды 20 куб. сант. щелока . .	1	18 час.	0	73	5.7	2.9
	1000					
{ 20 лит. воды 60 куб. сант. щелока . .	3	6 час.	0	219	17.1	8.7
	1000					
{ 20 лит. воды 140 куб. сант. щелока . .	7	42 часа.	0	511	39.9	20.3
	1000					
{ 20 лит. воды 200 куб. сант. щелока . .	1	7 час.	0	730	57	29.2
	100					
{ 20 лит. воды 300 куб. сант. щелока . .	1,5	22 часа.	Один окунь уснул.	1095	85.5	43.8
	100					
{ 20 лит. воды 200 куб. сант. щелока . .	1	3 дня.	Один окунь уснул.	730	57	29.2
	100					
{ 20 лит. воды 200 куб. сант. щелока . .	1	3 дня.	Один окунь уснул.	730	57	29.2
	100					
{ 20 лит. воды 200 куб. сант. щелока . .	1	2 дня.	Белорыбки чувств. себя очень хорошо.	730	57	29.2
	100					

После того, как этот опыт показал, что даже для довольно чувствительных молодых окуней не вредно переходящее пребывание в щелоках, разбавленных только 1:100, и что белорыбки эту дозу переносят очень хорошо в течение четырнадцати дней,—желательно было новым опытом установить: не производят ли щелока разбавленные 1:1000 какого-либо вреда, именно вследствие продолжительности их действия.

С этой целью один чебак, один карп, два окуня, два линя и одна плотичка содержались в продолжение одиннадцати дней в 60 литр. воды.

Вода ежедневно сменялась свежей и ежедневно же к ней добавлялось по 60 куб. сант. варочного щелока. Рыбы чувствовали себя превосходно. Немного вялые вначале (при получении от рыборотговца) чебаки были очень оживлены.

На пятый день уснули один чебак и один линь.

Остальные рыбы в продолжение всех 11-ти дней обнаруживали такую же свежесть движений, как и в первый день.

Из приведенных примеров следует, что варочные щелока, даже в таких высоких концентрациях, совершенно не исключают возможности жизнедеятельности организмов рыб.

На основании своих исследований проф. Weigelt ¹⁾ приходит к заключению, что наибольший вред рыбам приносит уменьшение в речной воде растворенного кислорода, и что вредное действие от спуска сточных вод усиливается, если они имеют температуру 20—25°С, и уменьшается при температуре 4—6°С.

Самыми чувствительными к недостатку кислорода являются форели и лососи, затем идут судаки и окуни и, наконец, самыми нетребовательными оказываются лини, карпы и караси.

Таким образом, по преобладанию или исчезновению той или иной породы рыб, можно иметь известное представление о степени загрязненности данной реки.

Хотя при суждениях о чистоте воды по нахождению в ней рыб, нужно иметь в виду, что очень чистая вода бедна рыбой, так как в ней имеется мало питательных веществ для нее.

В этом случае, спуск некоторого количества сточных вод, содержащих безвредные органические вещества, может являться для рыб даже весьма благотворным.

Рыбоводы-практики знают, что такое „удобрение“ органическими веществами рыбных водоемов в некоторых случаях является прямо необходимым.

Из практики сульфит-целлюлозных фабрик известно, что рыбы именно держатся около места выхода разбавленных сточных вод в реку, привлекаемые развивающимися здесь в больших количествах низшими животными организмами.

Проф. Kirchner в своем известном труде ²⁾ приводит примеры наблюдений большого рыбного улова именно в водах, находящихся непосредственно ниже целлюлозных фабрик.

С другой стороны, например, рыбопромышленники Германии делали всевозможные попытки доказать особенную вредность сточных вод.

Стремления эти были настолько усилены, что, можно сказать, почти каждая целлюлозная фабрика Германии, помимо различных „процессов производства“, обязательно имела также и свой „Fischprozess“.

1) Weigelt. Vorschriften für die Entnahme und Untersuchung von Abwasser und Fisch.

2) Kirchner. Das Papier. Zellstoff—S.—466.

В результате всего и в настоящее время, если щелока нельзя считать совершенно безвредными, то и вредность их является недоказанной.

Еще в 1898 году Интернациональный Конгресс по прикладной химии высказался по вопросу о сточных водах сульфит-целлюлозных фабрик в том смысле, что ни для суждений о вредности этих вод, ни о достаточных способах использования их, достаточных исследований не имеется и потому этот вопрос должен рассматриваться пока как не разрешенный.

В 1905 году собрание Союза немецких целлюлозных фабрикантов, рассматривавшее этот вопрос, пришло к заключению, что вредность сульфит-целлюлозных щелоков, если они спускаются в соседние реки достаточно разбавленными, должна считаться недоказанной.

То же самое повторялось и в последующие годы.

Во всяком случае, в Германии в результате очень многих „Fischprozess'ов“, специальных опытов и исследований, а также в согласии с мнением рыболовных концессий (например, верхнерейнской), были установлены в законодательном порядке лишь следующие нормы, регулирующие условия допустимости спуска сточных вод в реки.

Если разрешение или запрещение введения посторонних веществ в воду стоит под сомнением, то при обсуждении вопроса: вредными ли и в какой смеси являются эти вещества для рыб и какие мероприятия должны быть приняты для действительного понижения вреда—следует руководствоваться следующими основными положениями:

1) Введение вредных отбросов какого-либо состава может быть разрешено только в том случае, если доказано, что устранение их другим путем, или что переработка их не может быть произведена без несоразмерно больших затрат.

В случае разрешения спуска, оно должно, во всяком случае, начинаться в зависимости от следующих положений:

- а) стоки должны, в данном случае, подвергаться возможной химической и механической очистке и разбавлению;
- б) введение стоков—во всех случаях, когда есть основание опасаться вредного влияния от периодического спуска их на рыб — должно производиться постепенно на целый день равномерно-распределенным образом и
- в) где свойства речного русла позволяют,—стоки должны быть отводимы до середины русла каналами или трубами, оканчивающимися ниже низкого уровня воды в реке.

Во всяком случае, они должны быть так устроены, чтобы загрязнение берегов исключалось.

2) Вещества нижеперечисленных свойств ни в каком случае не должны быть отводимы в рыбные воды.

- а) Жидкости, в которых содержится более чем 10% суспендированных или растворенных веществ.

- б) Жидкости, в которых содержатся нижеследующие вещества в отношении более чем 1:1000 (для Рейна 1:200)—именно: кислоты, соли, тяжелые металлы, едкие щелочи, мышьяк, сероводород, сернистые металлы, сернистая кислота и соли, которые при разложении образуют сернистую кислоту.
- в) Стоки с фабрик и заводов, содержащие в себе твердые и способные к гниению вещества, если последние не были удалены фильтрацией через песок или почву.
- г) Воды, содержащие хлор или хлорную известь, а также отбросы заводов газовых, смоло перегонных, нефтяных и продукты перегонки керосина.
- д) Пары и жидкости, температура которых превышает 40° R. (50° C).

В случае спуска достаточно разбавленных сульфит целлюлозных щелоков, все эти законодательные положения легко и безусловно исполнимы.

Что касается очищенных сточных вод, то к ним в Германии предъявляются следующие требования, выработанные проф. Дунбаром и Туммом.

1) Очисткой должно быть удалено не менее 98—99% нерастворимых веществ, находившихся в этих водах до очистки.

2) Очищенные воды, при стоянии в течение недели в закрытой склянке при 20° C., не должны гнить и давать реакцию на сероводород.

3) Окисляемость должна быть понижена очисткою не менее чем на 60—65%.

4) В очищенной, не разбавленной сточной воде не должны погибать рыбы, следовательно, она должна содержать не менее одного куб. сант. растворенного кислорода на литр и быть свободной от вредных для рыб веществ.

В России санитарные требования, которым должны удовлетворять сточные воды, спускаемые в общественные водоемы, были установлены Медицинским Советом М. В. Д. в 1910 году в следующем виде:

1) Сточные воды не должны содержать ядовитых веществ.

2) Сточные воды больниц с заразными больными, больничных отделений и санаторий для заразных больных, а также сточные воды некоторых специальных промышленных заведений (кожевенные заводы, шерстомойни, тряпкомойни и т. п.), должны быть освобождены от заразных начал.

3) Сточные воды не должны содержать взвешанных веществ более определенного предела, устанавливаемого в зависимости от местных условий, но, во всяком случае, не свыше 40 миллиграмм на один литр воды.

4) Температура сточных вод, при впадении их в общественные

водоемы, не должна превышать 30—40° С. (24—32° R.) в зависимости от местных условий.

5) Сточные воды не должны иметь резко-выраженной кислой или щелочной реакции.

6) Сточные воды не должны иметь гнилостного, фекального или иного определенного запаха.

7) Сточные воды не должны иметь какой-либо определенной окраски, обусловливаемой не полным удалением красок или иных веществ, применяемых в различных производствах.

Примечание. Действие пункта 7-го не распространяется на натуральную окраску воды того водоема, из которого пользуются водою промышленные заведения и населенные пункты.

8) Сточные воды не должны иметь ни во время поступления в водоем, ни после выемки пробы, при стоянии в сосуде пленок, состоящих из жиров и масел животного или растительного происхождения и особенно из нефти, ее продуктов и других углеводов.

9) Сточные воды ни сами по себе, ни при разбавлении обыкновенной водой, не должны гнить в закрытом сосуде в течение недели при температуре 20° С. (16° R.).

10) Сточные воды не должны изменять к худшему в санитарном отношении химический состав и физические свойства воды тех водоемов, в которые они отводятся, и не должны вызывать заметных изменений в фауне и флоре этих водоемов.

Однако, несмотря на все вышеизложенное, не смотря также на химическое самоочищение щелоков, заключающееся в окислении сернистой кислоты и органических соединений кислородом, растворенным в воде, и последующей нейтрализацией их углекислыми солями,—варочные щелока можно считать безвредными для рыб и для рек вообще лишь до известного предела.

За основу метода, или в качестве руководящего принципа при суждениях по данному вопросу, нам казалось бы возможным и рациональным принимать следующие соображения.

Для поддержания процесса дыхания рыб, а также для процесса самоочищения рек, безусловно необходим кислород, в воде растворенный.

Кислород из воды поглощается, кроме рыб, также микро-флорой, фауною реки и различными загрязняющими веществами.

Недостаток его пополняется отчасти растворением из атмосферы, отчасти выделяется водными хлорофилл-содержащими растениями.

Несмотря на довольно значительное количество экспериментальных работ,—достаточных данных о скорости и количествах поглощаемого речной водою при различных условиях кислорода, на сколько нам известно, не имеется.

По опытам проф. Winkler'a, дистиллированная вода, насыщенная

воздухом, освобожденным от аммиака и углекислоты, может растворять (при 0° и 760 м/м. давления) следующие количества кислорода.

Температура воды С°.	Растворяет кислорода на литр.		Температура воды С°.	Растворяет кислорода на литр.	
	Куб. сант.	Милиграмм.		Куб. сант.	Милиграмм.
0	10.19	14.56	16	6.89	9.85
1	9.91	14.16	17	6.75	9.65
2	9.64	13.73	18	6.61	9.45
3	9.39	13.42	19	6.48	9.26
4	9.14	13.06	20	6.36	9.09
5	8.91	12.73	21	6.23	8.90
6	8.68	12.41	22	6.11	8.73
7	8.47	12.14	23	6.00	8.58
8	8.26	11.81	24	5.89	8.42
9	8.06	11.52	25	5.78	8.26
10	7.87	11.25	26	5.68	8.11
11	7.69	11.00	27	5.56	7.95
12	7.52	10.75	28	5.46	7.81
13	7.35	10.50	29	5.36	7.67
14	7.19	10.23	30	5.26	7.52
15	7.04	10.06	—	—	—

В дождевой воде найдено (в среднем из 10-ти анализов) растворенных газов на 1 литр—27,04 куб. сант. (E. Rejchard), в том числе:

кислорода — 5,97 куб. сант. — 22,06%
азота — 16,60 " " — 61,4%
углекислоты 4,47 " " — 16,54%.

В другом случае, в дождевой воде найдено (Baumert) при 11° С:

кислорода — 33,76%
азота — 64,46%
углекислоты 1,77%.

Известно, что речная вода также растворяет относительно более кислорода, чем азота; потому в воде, насыщенной воздухом, содержится кислорода не 21%, а более — именно до 33—35%, в зависимости от температуры воды.

По анализам, например, вода реки Сев. Двины¹⁾, взятая в гор.

1) О. К. Гиллер. Исследование воды реки Сев. Двины 1898 г.

Архангельске в конце марта месяца, содержала растворенных газов на литр:

кислорода	6,14	куб. сант.	— 35%	} объемных.
азота	11,41	„ „	— 65%	
углекислоты	12,60	„ „	— —	

Содержание кислорода несколько менее обычно находящегося в речной воде.

Уменьшение, очевидно, объясняется расходом кислорода на окисление различных загрязняющих реку веществ, даваемых городом.

Для Москвы-реки подобное влияние города на количество растворенного в воде кислорода характеризуется следующими цифрами: ¹⁾

На 40 верст выше города Москвы . . .	7,78
Сейчас по выходе из города	6,02
На 20 верст ниже города	5,57

Из наиболее современных исследований (июль 1914 г.)²⁾ для Москвы-реки получаем, округляя, следующие цифры:

- 1) Выше Трехгорн. мануфактуры. 7,0 кб. см.
- 2) Ниже устья р. Сетуни 2,2 „ „
- 3) Бабьегородская плотина 4,8 „ „
- 4) Каменный мост 4,4 „ „
- 5) Фабрика Жако. 1,5 „ „
- 6) Кожухово. 3,2 „ „
- 7) Бесединская плотина (приблизит.
35 в. от пункта 4). 8,5 „ „

Для реки Сухоны получены следующие данные о количестве растворенного в воде кислорода, а также и о влиянии сточных вод фабрики на уменьшение количества растворенного кислорода ³⁾.

Характерно, что благодаря очень большой (водной поверхности Кубенского озера (около 325 кв. верст) и малой его глубине, вода выходит из него с очень высокою степенью насыщения растворенным кислородом—именно 94,3%.

На расстоянии около 15-ти километров до Сухонского завода степень насыщения убывает на 1,8%, т.-е. до 92,5%.

Влияние сточных вод Сухонского завода оказывается, благодаря малой его производительности, весьма незначительно. Содержание кислорода понижается всего лишь на 4,3%.

Вода реки Сухоны, подходя к фабрике „Сокол“, при этих условиях имеет степень насыщения еще равной 88,2%.

¹⁾ М. Б. Коцин. Опыт систематического наблюдения над колебаниями химическ. бактериологич. состава воды Москвы-реки 1889 г.

²⁾ Я. Никитинский. Вестник Прикладной Химии и Химич. Технологии № 1—1917 г.

³⁾ См. стр. 249.

№ п.unkt.	Место, где взята проба воды для анализа.	Температура воды С°.	Колич. кисл. насыщающее воду при дан. темпер.		Найдено кислорода в воде реки Сухоны.		Дефицит кислорода против пол. насыщ.		Дефицит в %/о/о.		
			кб. с.	мгр.	кб. с.	мгр.	кб. с.	мгр.			
I	При выходе р. Сухоны из Кубенского озера—20 километр. выше ф-ки „Сокол“	16°	6.89	9.85	6.49	9.28	0,4	0,57	5,7		
II	У дер. Власово—15 километр. ниже пункта I и 1 километр выше Сухонского целлюлозн. завода.	16,5°	6.82	9.75	6.31	9.02	0,51	0,72	7,5		
III	У ф-ки „Сокол“, выше входа сточных вод ее—5 килом. ниже пункта II 1)	19°	6.48	9.26	5.78	8.26	0,70	1,0	10,8		
		2)	19,5°	6.42	9.18	5.79	8.28	0,63	0,90	9,8	
		3)	18,5°	6.55	9.35	5.58	7.97	0,97	1,38	14,8	
		4)	14°	7.19	10.28	6.81	9.75	0,38	0,53	5,3	
	Из водопровода фабрики „Сокол“ 5)	20°	6.36	9.09	5.19	7.42	1,17	1.67	18,4		
		Нижее ф ки „Сокол“ на 0,5 километра. 1)	23°	6.00	9.35	5.44	7.80	0,56	0.78	9,35	
			2)	15°	7.04	10.06	5.62	8.08	1.42	1.98	20,2
			3)	19,5°	6.42	9.18	5.08	7.26	1,34	1.92	20,9
			2) 4)	17,5°	6.68	9.55	5.08	7.26	1,60	2.29	24,0

Примечания: Производительность фабрик равнялась за месяц, когда производились исследования воды: по Сухонскому заводу — около 17.000 пуд. или 20% проектной его производительности; по фабрике „Сокол“—около 26 300 пуд. или около 38% довоенной ее производительности.

Сточные воды фабрики „Сокол“ отзываются также очень незначительно, хотя и несколько более повышено. Содержание кислорода ниже фабрики падает на 6,8%, следовательно, степень насыщения остается все же еще весьма значительной, а именно, 81,4% и, например, при 16° вода имеет растворенного кислорода около 5,6 куб. сантиметров, или 8,0 метр. на литр. Важно заметить, что пробы воды для

1) Проба воды взята для анализа во время спуска отработанной кислоты из варочного котла.

2) Проба воды взята во время спуска отработанной кислоты одновременно из двух варочных котлов.

исследования брались недалеко от берега, на котором расположены обе фабрики. На середине реки, и тем более около противоположного берега ее, влияние несомненно будет еще менее значительным.

К сожалению подобные испытания не были произведены в доведенное время при полной производительности фабрик. Вероятно, картина получилась бы значительно более яркой.

Для нескольких незначительных по величине рек Швеции исследованиями проф. Р. Класона¹⁾ найдены следующие цифры:

	Название реки.	Температура.	Содержится в литре воды куб. сантм.			Дата исследования.
			Кислорода.	Азота.	Оксиген углерода.	
1	Storsjön	20°	5.99	—	—	
2	Сейчас ниже водопада .	20°	6.27	—	—	
3	Hammarbyfluss	3°	8.09	18.0	0.65	Февраль 1894 г.
4	"	—	6.47	—	0.9	Июнь 1907 г.
5	Forsfluss	6°	6.86	16.39	0.94	Октябрь 1897 г.
6	"	6°	7.59	18.88	—	Октябрь 1902 г.
7	"	16.5°	5.8	13.5	3.9	Август 1903 г.
8	"	15	6.0	14.7	5.6	Август 1903 г.
9	"	2.2°	7.79	17.99	0.44	Октябрь 1905 г.
10	Swartfluss	13°	7.0	15.0	0.3	Май 1904 г.
11	"	—	5.7	12.6	0.3	Август 1905 г.
12	"	4°	9.4	20.6	0.5	Декабрь 1905 г.
13	"	17	6.3	14.7	2.1	Июнь 1906 г.
14	"	—	6.0	13.2	1.2	Июль 1906 г.

С другой стороны, в качестве примера, насколько возрастает количество кислорода, необходимое для окисления одного литра речной воды до спуска в реку сточных вод и затем после спуска их, можно указать на определения, сделанные лабораторией ф-ки „Сокол“.

Вся вода, за исключением идущей из сепараторного и отжимного отделений, стекающая фабрики, поступает предварительно в коллекторы для отстаивания.

¹⁾ „Der Papier-fabrikant“ 1909 № 27—28—32.

№ анализ.	Место взятия пробы воды для анализа.	Израсходован $KMnO_4$.	Требуется кислорода на окисление.	Содержание серной кислоты (SO_3).
	Из реки Сухоны:			
I	Выше фабрики	0.0543	0.0137	0.0159
II	После впадения сточных вод из сепараторного и отжимного отд.	0.1042	0.0264	0.0253
III	При впадении сточн. вод. содержащих варочные щелока и воду из бумажной фабрики	2.0761	0.5256	0.0622
IV	На 0.5 километра ниже впаден. сточн. вод (п. III).	0.0356	0.0216	0.0113
V	На 1.0 километр ниже впаден. сточн. вод (п. III).	0.0666	0.0163	0.0097

Вся вода, за исключением идущей из сепараторного и отжимного отделений, стекающая с фабрики, поступает предварительно в коллекторы для отстаивания.

Для пробы, взятой при поступлении сточных вод в коллектор, через час 15 мин. после начала спуска варочного котла, получены следующие цифры в граммах на литр.

Израсходовано для окисления:

Марганцево-кислого калия 6,478
 Требуется кислорода на окисление. 1,640
 Содержание серной кислоты (SO_3) 0,1073

Для сравнения с цифрами приведенной выше таблицы следует указать, что по исследованиям *) Санитарно-технического Института Петроградских водопроводов, окисляемость питьевой воды реки Невы равна 0,025—0,026 грамм на литр.

В результате введения в реку без всякой очистки больших количеств варочных щелоков, имеющих сильно-редуцирующие свойства, количество растворенного в воде кислорода очень быстро и очень значительно убывает.

Если количество спускаемых в реку щелоков будет чрезмерно велико, сравнительно с секундным расходом воды в реке, то может случиться, что весь растворенный в воде кислород вступит в реакцию окисления или содержание его понизится далее известного предела, и в таком случае, рыбам нечем будет дышать.

*) Вестник Общественной Гигиены 1911 г.

В Германии, в качестве норм наименьшего содержания растворенного в воде кислорода, пользуются данными, выработанными известным авторитетом в вопросах о сточных водах директором государственного Гигиенического Института в Гамбурге проф. Дунбаром и Туммом. По их мнению, для того, чтобы в воде не погибали рыбы, она должна содержать не менее одного куб. сант. растворенного кислорода на литр.

По другим исследованиям указывается (W. Schmid ¹⁾, что при содержании кислорода 2,8 куб. сант. на литр, т.е. около $\frac{1}{3}$ нормального количества, вода является еще совершенно безвредной для рыб.

Проф. Weigelt, на основании своих опытов, крайним пределом содержания кислорода в 1-м литре для самых выносливых в этом отношении рыб (карпы) считает 2—3 куб. сант.

Проф. P. Klason ²⁾ на основании своих исследований рек Швеции считает критической точкой содержания в воде кислорода 2,0 куб. сант. на литр.

Русские авторитеты в этом деле, как, например, проф. Хлопин и др., приходят к заключению, что в воде, содержащей менее 3,5 куб. сант. кислорода на литр, не могут жить форели, а при содержании кислорода менее 1,0 куб. сант. и другие рыбы.

Параллельно с недостатком в речной воде кислорода, может оказаться вредным и содержание в ней смолистых веществ.

Эти вещества могут, (хотя это вопрос спорный) облекая, даже в незначительной степени, жабры рыб, еще более затруднить процесс дыхания.

В виду этого, а также с точки зрения общественной санитарии и гигиены, представляется естественно необходимым установить допустимые соотношения между производительностью фабрики, и следовательно количеством спускаемых щелоков, с одной стороны и секундным расходом воды в реке, куда щелока предполагается направлять.

Установленные, таким образом, соотношения следовало бы принять как обязательные для соблюдения условия при проектировании и выборе мест для постройки новых целлюлозных фабрик.

До настоящего времени, не смотря на наличие нескольких целлюлозных фабрик—целлюлозной промышленности, как таковой, в России не было.

Между тем, для удовлетворения насущнейших потребностей национального хозяйства, а равно и по естественным сырьевым ресурсам страны, целлюлозная промышленность в России должна развиваться и, нужно верить, обязательно разовьется.

Хотя у нас в России ввиду меньшей плотности населения реки являются значительно более чистыми, чем напр. в Германии и особен-

¹⁾ Wochenblatt für PF 1911—№ 24.

²⁾ Der Papier-fabrikant 1909 — № 23.

но в Англии—тем не менее необходимость принимать все меры к устранению возможности загрязнения их диктуется самой жизнью.

Возвращаясь к вопросу о допустимом соотношении между производительностью фабрики и секундным дебетом воды в реке, в качестве характерного примера, интересно отметить один из случаев, когда такое соотношение в результате двух независимых исследований вопроса было найдено безусловно допустимым.

Дело касается устройства новой целлюлозной фабрики, производительностью 40 тонн в сутки, на реке Мемель около Кенигсберга. Работой проф. Vogel ¹⁾, с одной стороны, исследованиями „Берлинской Королевской опытной станции по водоснабжению и устранению сточных вод“ с другой было установлено, что количество щелоков от такой фабрики без всякого вреда допустимо спускать в реку Мемель.

Секундный расход реки Мемеля составляет при очень низком уровне 170—200 куб. метр. Количество щелоков было исчислено равным:

3,47	литр.	из варочных котлов непосредственно.
0,35	„	щелока в промывных водах.
0,70	„	„ вследствие неравномерности спуска их.

Всего 4,52 литра в секунду.

При этом важно иметь в виду: 1) что в 14 километрах ниже фабрики расположен город Тильзит, водопровод которого питается водою из реки Мемель и 2) что река уже независимо от фабрики является довольно сильно загрязненной.

Ниже приводим сравнительные данные по анализам воды рек Мемеля, Сухоны, а также реки Перетны, на которой расположена Окуловская фабрика с целлюлозным заводом.

Кстати заметим, что средний секундный расход реки Сухоны не менее 120—150 куб. метр. ³⁾.

Разница в качестве воды этих трех рек, как видно, значительная; при чем в реке Мемель преобладают неорганические вещества (214,0 против 85,6), в реке же Сухоне содержится относительно более органических веществ (63,2 против 18,0). Главным образом гуминовых веществ из торфяных болот.

К большому сожалению, анализы (как это часто бывает с анализами вод) не содержат указаний на количество растворенных в воде газов.

Это тем более важно потому, что реки Германии являются вообще довольно сильно загрязненными и следовательно количество растворенного кислорода должно быть ниже нормального. Между тем количество растворенного кислорода выше и ниже фабрики, как раз для заключения по данному вопросу имеет самое первенствующее значение.

В работах проф. P. Klason ²⁾ можно найти очень яркие примеры

¹⁾ Der Papier-fabrikant, 1911, № 15.

²⁾ Der Papier-fabrikant, 1909, № 28—32.

³⁾ См. стр. 254.

	Мемель.	Сухона.	Перегна.
	Милиграмм. на литр.		
Общий остаток.	232	148,8	68,0
Остаток после прокаливания. .	214	85,6	36,0
Потери при прокаливании. . .	18	63,2	32,0
И в е с т ь	80,6	—	—
Маг н е з и я	19,3	—	—
Серная кислота.	7,5	20,64	нет.
Угольная кислота полусвяз. . .	38,0	—	—
Расход марганцево-кислого кали на окисление органических веществ.	44,0	14,7	6,0
Жесткость (в немецких гра- дусах)	11°	7°	2,39°

пагубного влияния сточных вод целлюлозных фабрик на количество растворенного кислорода, в случае, если соотношение между производительностью фабрики и секундным расходом воды в реке совершенно не соответствует даже самым минимальным допустимым нормам.

Пример первый.

Фабрика, производительностью 10.000 тонн целлюлозы в год, спускает сточные воды в реку, секундный расход которой в среднем составляет 5—6 куб. метр.

Содержание растворенных газов изменяется след. образом: (февраль 1894 г.).

Температура 2°—4° С.

Цифры в куб. сант. на литр.

№ по рядку.	Место взятия пробы.	Кислород.	Азот.	Углекислота.
	Выше водопада:			
1	0,3 метра ниже поверхности воды .	8,09	18,0	0,65
2	Там же 2,5 метра ниже поверхности воды.	7,80	17,4	0,53
3	Между фабрикою и ниже лежащим водопадом 12,0 м. ниже поверхн. воды	0,98	17,3	6,01

Вода очень бедна растворенным кислородом. В результате падаются мертвые рыбы и слышен ясный запах сероводорода. В воде видны большие серо-желтые слизевые комья. Местами вода совершенно не содержит растворенного кислорода.

Исследования, произведенные на той же фабрике, но при других условиях, дали следующие результаты:

И ю н ь 1907 г.

№ по порядку.	Место взятия пробы.	Глубина в метрах	Кислород.	Углекислор.
1	Выше фабрики	1,0	6,47	0,9
2	50 метр. ниже фабрики	3,0	5,75	3,1
3	400 " " "	0,8	2,16	7,0
4	1000 " " "	1,0	2,11	7,4
5	2000 " " "	1,0	0,36	—
6	Мельничный пруд	0,5	0,41	9,02
7	Река при впадении в сзеро	0,5	1,95	—
8	300 м. в озере	1,0	2,51	—

Пример второй.

Производительность фабрики не более 5.000 тонн в год. Средний секундный расход воды в реке около 1,2 куб. метра.

Изменения в содержании растворенных в воде газов приведены в следующей таблице:

О к т я б р ь 1897 г.

№ по порядку.	МЕСТО ВЗЯТИЯ ПРОБЫ.	Глубина.	Температура.	Кислород.	Азот.	Углекислота
1	Выше фабрики	1,2	6,0	6,86	16,39	0,94
2	В середине против выхода из фабрики . . .	1,7	5,9	0,29	16,00	5,13
3	Там же	5,7	5,9	0,00	16,56	6,04
4	В середине спокойной воды	0,3	6,0	0,61	16,83	6,04
5	Там же	4,7	6	0,19	16,11	5,10
6	Ниже по реке.	1,5	6,8	0,35	15,70	5,62
7	Еще ниже по реке.	1,0	6,8	0,62	16,14	2,51
8	В 5 километрах от фабрики	0,3	6,0	3,19	19,60	11,09

На той же фабрике, через несколько лет произведенными анализами, установлено уменьшение растворенного кислорода и всегда связанное с этим увеличение содержания углекислота в следующих пределах:

О к т я б р ь 1905 г.

№№ по порядку.	МЕСТО ВЗЯТИЯ ПРОБЫ.	Глубина в метрах.	Температура.	Кислород.	Азот.	Углекислота.
1	Выше реки	1,2	2,2	7,79	17,99	0,44
2	В середине против выхода из фабрики	1,7	3,9	0,81	17,90	7,82
3	Там же	4,0	4,0	0,29	17,73	6,81
4	В середине спокойной воды . .	0,5	3,8	0,17	17,33	6,93
5	Там же	3,0	4,0	0,22	16,68	8,95
6	Ниже по реке.	1,5	3,4	0,18	17,21	8,66
7	" "	1,0	3,4	0,33	17,39	5,70
8	" "	0,5	3,6	0,36	17,52	5,43

На той же фабрике были получены при других условиях еще более худшие результаты—когда даже в пункте 5-м содержание кислорода равнялось нулю.

В результате всего—жалобы на дурной вкус и запах воды, непригодность ее для скота, мор рыбы и т. п. явления.

На основании многих исследований проф. P. Klason приходит к заключению, что ни при каких условиях нельзя получить удовлетворительных результатов при соотношении между производительностью фабрики 5.000 тонн целлюлозы в год и при секундном расходе воды в реке всего 1,2 куб. метр.

Исследуя воду реки одной из крупнейших целлюлозных фабрик Швеции (производительность 20.000 в год или около 60 тонн в сутки), даже при условии применения некоторых предохранительных сооружений он определяет, как самое минимальное количество воды в реке для такой фабрики равным 9,6 куб. метр. в секунду.

С другой стороны, имеются литературные указания¹⁾, что фабрика, с суточной производительностью всего лишь в 5.000 клгр., должна

¹⁾ E. Kirchner. „Das Papier“—Zellstoff s—456 Wochenblatt für P. F.—1905, № 43.

иметь секундный расход воды в реке равным 20.0 куб. метр. или на одну тонну суточной производительности 4,0 куб. метра секундного дебета реки.

Такое соотношение заведомо излишне, и практически для сколько нибудь крупных фабрик в большинстве случаев трудно осуществимо.

Указанный выше признак для установления допустимых соотношений между производительностью фабрики и секундным расходом воды в реке, т.е. количество растворенного кислорода выше и ниже фабрики является, по нашему мнению, самым важным. Тем не менее, этот признак очень часто, при исследованиях влияния сточных вод, остается как-то в тени и без должного к нему внимания.

Попытаемся, руководствуясь этим именно принципом, установить хотя бы только метод нахождения и порядок, выражаясь языком математики, необходимых, но и вполне достаточных величин искомого соотношения.

Будем рассуждать так:

Количество растворенного в речной воде кислорода можно принять при нормальных условиях (руководствуясь таблицей Winkler'a и данными анализов) при 15° С—и 760 м.м. давления равным 7,0 куб. сант. или 10,0 миллиграмм на литр.

Примечание: Припомним попутно, что, при 0° и 760 м.м. давления, наиболее могущие интересовать в данном случае газы характеризуются следующими цифрами.

Название газа.	1 кубич. сант. весит. миллиграмм.	1 миллиграмм имеет объем куб. сант.
Воздух	1,293	0,774
Кислород	1,430	0,699
Азот	1,256	0,796
Углекислота.	1,977	0,506
Сернист. кислота	2,87	0,349
Сероводород	1,522	0,657
Аммиак.	0,761	1,314
Хлор	3,18	0,314

Несмотря на указанные выше авторитетные данные о наименьших предельных количествах растворенного кислорода, полагаем все же, что в наших русских условиях, т.е. при сравнительно чистых, но и медленно текущих реках, а также с точки зрения способности реки

к быстрому биологическому самоочищению следовало бы принимать за предельное количество кислорода 3,5 или даже 4,0 куб. сант. (5,0—5,72 миллиграмм) на литр, т.-е. приблизительно половину нормально находящегося в чистой речной воде. Таким образом, безусловно без вреда для рыб возможно от каждого литра речной воды использовать для окисления варочных щелоков $7,0 - 3,5 = 3,5$ куб. сант. или $10,01 - 5,01 = 5,0$ млгр. кислорода.

Окисляемость отработанных варочных щелоков согласно анализов фабрики „Сокол“ можно характеризовать следующими цифрами в граммах на литр:

Расходуется марганцево-кислого кали:

На окисление сернистой кислоты . . .	0,87 гр.
„ окисление лигно ульфоновых кислот и др. органич. соединений . . .	209,27 „
Всего . . .	210,14 гр.

или требуется кислорода:

На окисление сернистой кислоты . . .	0,22 гр.
„ „ лигносульфоновых кислот. . .	51,98 „
Всего . . .	52,20 гр.

Примечание:

Характеристика исследованного щелока:
Удельный вес 1,04—5,1° В при 19,0° С
Сернистого ангидрида SO_2 . . . 0,0992%
Лигносульфоновых кислот, пересчитанных на SO_2 . . . 0,4568%

Серной кислоты (SO_3) . . .	0,4345 гр.	} На литр.
„ „ ($CaSO_4$) . . .	0,7386 „	
Сухого остатка при 100° . . .	81,34 „	
Потери при прокаливании (органических веществ) . . .	72,68 „	
Зола (неорганич. веществ.) . . .	8,66 „	

Обращает на себя внимание следующее обстоятельство.

По расходу марганцево-кислого кали (209,27 гр. на литр) органического остатка по Kibel'ю должно бы быть 104.635 гр., между тем как по анализу оказывается всего лишь 72,68 гр.

Разница эта не случайна.

На окисление щелоков кислорода требуется всегда более, чем следует по Kibel'ю (1:5): во 1-х, благодаря сильно редуцирующим свойствам и особо (непредельному) характеру органических соединений, во 2-х, кислород расходуется так же и на окисление находящихся в щелоках неорганических соединений: сернистой кислоты, солей закиси железа и т. п.

По приведенным выше анализам проф. Wichelhaus'a для окисления одного литра щелока требуется кислорода 50,66 грамм. Приняв в среднем 50,00 гр.—найдем, что для окисления одного литра щелока потре-

буется речной воды не (понижая содержания кислорода в ней далее) 3,5 куб. сант. = 5,0 миллиграмм.

$$\frac{50,00 \times 1.000}{5,0} = 10.000 \text{ литр или } 10,0 \text{ куб. метр.}$$

Таким образом, искомое соотношение определилось приближенно 1 : 10.000.

Возьмем пример:

Сульфит.—целлюлозная фабрика производительностью в 40 тонн сухой целлюлозы в сутки дает варочных щелоков не более 400 куб. метр.

Следовательно, при самых худших условиях спуска в реку совершенно не очищенных щелоков, допустимый секундный расход воды в реке получим равным

$$\frac{400 \times 10.000}{24 \times 60 \times 60} = 46,3 \text{ куб. метр.}$$

Конечно, найденное соотношение (1 : 10.000) и цифра 46,3 куб. метр иллюстрирует только метод, подход к решению вопроса и дает представление о порядке величин, с которыми имеем дело.

С одной стороны, цифра 46,3 куб. метр. довольно значительно преувеличена, ибо расход кислорода на окисление щелока определенный лабораторно при помощи хамелеона более, нежели в естественных условиях в реке, так как не все соединения, окисляемые хамелеоном, будут окисляться кислородом в воде растворенным.

С другой стороны, эта же цифра (46,3 к. м.) заведомо преуменьшена, ибо не принят во внимание, как увидим далее, могущий быть очень существенным, расход кислорода при реакциях биологических процессов, имеющих место при так называемом „самоочищении рек“.

Во всяком случае, приняв во внимание две указанные сейчас—компенсирующие друг друга по направлению—поправки, можно считать найденное соотношение (1 : 10 000) довольно рациональным, и без особенной нужды нарушать его при постройке и эксплуатации фабрик не следовало бы.

Если принять не столь строгие нормы и за наименьшее допустимое количество растворенного в одном литре речной воды кислорода, считать не половину, а одну треть количества, насыщающего воду при данной температуре, т.-е. по предыдущему

$$\frac{7,0}{3} = 2,3 \text{ куб. сант. или } \frac{10,0}{3} = 3,3 \text{ млгр. на литр, то,}$$

пользуясь тем же методом получим наименьший допустимый секундный расход воды в реке равным

$$\frac{50.000}{(10,0 - 3,3)} = 7.463 \text{ литр. или } 7,5 \text{ куб. метра и искомое соотношение равным — } 1 : 7500.$$

Для взятого ранее примера—40 тонн суточной производительности фабрики, это составит

$$\frac{400 \times 7500}{24 \cdot 60 \cdot 60} = 34,7 \text{ куб. метра в секунду.}$$

Если полученную ранее цифру 46, 3 куб. метра секундного расхода реки для фабрики производительностью в 40 тонн целлюлозы в сутки можно считать желательною, то цифру 34,7 куб. метр. следовало бы считать необходимою, хотя и безусловно достаточною, в смысле безвредности речной воды во всех отношениях, а также и способности ее к быстрому самоочищению. При этом все-таки следует соблюдать следующее существенное условие.

Сточные воды отнюдь не должны вводиться в реку каналом, оканчивающимся непосредственно у берега.

В виду совершенно незначительной разницы в удельном весе воды и щелоков (1,0 — 1,05) смешение их со всею массою речной воды при таком устройстве происходит крайне медленно и только на очень большом расстоянии, особенно при медленном течении и прямом русле реки.

Необходимо заботиться, чтобы сточные воды вводились закрытым каналом или трубою, выходящими возможно далеко в русло реки—насколько позволяют местные условия. Конец трубы или канала должен быть снабжен многими незначительных размеров отверстиями, способствующими более быстрому смешению сточных вод со всею массою речной воды.

При условии равномерного спуска в реку варочных щелоков, а также и полного смещения их со всею массою речной воды для определения секундного дебета реки теоретически с достаточной степенью точности, конечно, можно бы предложить следующую формулу:

$$1000 K \cdot X \cdot O = Q \cdot (O_1 - O_2); \text{ откуда } X = \frac{Q (O_1 - O_2)}{1000 K \cdot O}$$

- где: 1) X — искомый секундный дебет реки в куб. метр.;
- 2) O — количество кислорода, (в миллиграммах) растворенного в литре речной воды;
- 3) K — принятый коэффициент, определяющий часть растворенного кислорода, могущую быть использованной без вреда на окисление вводимых щелоков;
- 4) Q — секундное количество спускаемых в реку варочных щелоков;
- 5) O₁ — количество кислорода, необходимое для окисления, минерализации и разложения в естественных условиях одного литра варочного щелока;
- 6) O₂ — количество кислорода, могущее быть утилизированным для указанных выше биохимических процессов из общего количества кислорода, содержащегося в органических веществах самих варочных щелоков.

Однако, в практике определение входящих в формулу величин O_1 и O_2 , даже с довольно грубым приближением, конечно, чрезвычайно затруднительно.

Некоторые косвенные указания относительно полученных выше соотношений (1 : 7.500 или 1 : 10.000) может дать следующий опыт, проделанный на одной шведской фабрике проф. Р. Klason'ом.

Им было взято четыре литра речной воды и к ним прибавлено 20 куб. сант. варочного щелока.

Смесь (разбавление 1 : 200) была помещена в плотно-закупоренную склянку. Через день газовый анализ смеси дал следующие цифры в куб. сант. на литр:

В смеси содержалось:

Кислорода	7,1	куб. см.
Углекислоты	4,5	„ „
Азота	15,6	„ „

Через три дня проба, взятая для газового анализа из той же склянки, имела следующий результат:

Кислорода	0,2	куб. сант.
Углекислоты	10,5	„ „
Азота	15,4	„ „

Как видим, количество растворенного кислорода уменьшилось почти до нуля.

Процесс этот шел параллельно с резким увеличением содержания углекислоты, что очень характерно для имеющих место в таких случаях биохимических процессов.

Очевидно, что при принятом для примера допустимом минимуме содержания растворенного кислорода 4,0 куб. сант. на литр, количество необходимой речной воды должно бы быть взято не 4 литра, а (4,0 : 0,2) в двадцать раз большее, т.-е. 80 литр.

Необходимое разбавление, таким образом, получаем равным не 1 : 200, а 1 : 4000.

Приняв во внимание чрезвычайную затруднительность в естественных условиях равномерного смешения сточных вод со всею массою речной воды, при чем обычно только лишь половина реки участвует в непосредственном восприятии сточных вод—вводя, в виду этого, поправочный коэффициент равный 2 получим необходимое соотношение 1 : 8000.

Конечно, приведенное рассуждение имеет лишь характер иллюстрации к порядку величин искомого соотношения.

В качестве примера, определяющего степень влияния сточных вод фабрик Сухонской и „Сокол“ на воду р. Сухоны, можно указать, что вода, взятая для исследования выше фабрики „Сокол“, но ниже Сухонского завода, показала убыль растворенного кислорода после двухсуточного стояния в термостате (так называемая „двухсуточная проба“)

с 5,79 куб. сант. или 8,28 mgr. на литр.
до 5,02 " " " 7,18 " " "
<hr/>
0,77 куб. сант. или 1,10 mgr. или 13,3%.

Вода, взятая ниже фабрики „Сокол“, показала убыль кислорода, также после двухсуточного стояния в термостате,

с 5,08 куб. сант. или 7,26 mgr.
до 4,02 " " " 5,75 "
<hr/>
1,06 куб. сант. или 1,51 mgr. или 21,0%.

В другом случае проба воды, взятая в том же месте (ниже ф-ки „Сокол“), дала убыль кислорода после пяти-суточного стояния в термостате:

с 5,44 кб. см. или 7,80 mgr.
до 3,61 " " " 4,17 "
<hr/>
1,83 кб. см. 2,63 mgr. или 33,7%.

Как видно, даже после „пятисуточной пробы“, воду реки нужно считать настолько чистой и богатой кислородом, что в ней свободно могут жить рыбы.

Интересно было бы проследить влияние сточных вод фабрик при полной их производительности.

Было бы, разумеется, в высокой мере желательным проделать на наших русских целлюлозных фабриках некоторые в этом направлении более систематические и научно-поставленные опыты, определения и сопоставить полученные данные. Наверное они дали бы интересный материал для размышления.

При лабораторных опытах, а также и согласно уже упомянутым ранее исследованиям проф. Vogel'a, уже при разбавлении щелоков 1 : 1000, после совершенного перемешивания, нельзя обнаружить никакой разницы в прозрачности, цвете, вкусе или даже привкусе между смесью и чистой речной водою.

Тем не менее, учитывая затруднительность быстрого и совершенно равномерного смешения спускаемых щелоков со всею массою протекающей речной воды, только при соблюдении указанного соотношения можно считать спуск щелоков совершенно и безусловно безвредным как для рыб, так и для окружающего населения, а равно и для процессов биологического самоочищения рек.

При наличности благоприятных местных условий, а также, конечно, и при условии различных степеней устройств для предварительной очистки сточных вод, допустимые соотношения могут подлежать довольно значительным изменениям.

Биохимические процессы самоочищения рек.

Недостаток кислорода, потраченного на окисление, должен пополняться растворением из атмосферы. Хотя достаточных данных о скорости и количествах растворяемого при различных условиях кислорода

в речной воде не менее, но несомненно однако, что в мелких реках растворение кислорода происходит гораздо скорее, чем в глубоких.

Благодаря этому и процесс самоочищения мелких и быстрых рек идет быстрее, чем глубоких с медленным течением.

Особенно благоприятным обстоятельством является наличие каскадного падения воды с образованием и выделением из воды пузырьков воздуха, указывающих на насыщение воды кислородом.

Растворенный в воде кислород поглощается не только рыбами и водными растениями, но также и водными микро-флорой и микро-фауной, имеющими большое значение как в процессах загрязнения рек с одной стороны, так и самоочищения их—с другой.

Этот своеобразный метод оценки воды, т.е. по количеству кислорода, имеет очень большое значение и широкую применимость.

Английская Королевская Комиссия по охране рек от загрязнения, работавшая с 1898 г., выработала и опубликовала в 1912 г. нормы очищения сточных вод¹⁾, допускаемых к спуску в реки, и способы оценки степени чистоты воды.

Исследования состояния рек, в зависимости от самых разнообразных условий поступления сточных вод, привели Комиссию к заключению, что на основании данных о характере реки и сточных вод можно заранее, по степени разведения их водою реки, приблизительно учесть результаты спуска сточных вод в каждом отдельном случае. И так как, чем богаче вода данного водоема органическими веществами, т.е. загрязненнее, тем менее при прочих равных условиях, содержится в ней кислорода, а также, чем подозрительнее в санитарно-гигиеническом отношении загрязняющие вещества, тем быстрее и тем более они поглощают кислорода, то уменьшение растворенного кислорода и признано Комиссией наиболее общим и верным мерилем степени загрязнения.

Руководствуясь признаками явного загрязнения—дурным запахом, чрезмерным развитием специальных видов микро-флоры и микро-фауны, накоплением гниющих осадков, смертностью рыб и т. п., Комиссия убедилась, что ни определение аммоникального азота, ни определение окисляемости марганцево-кислым кали не являются достаточно общим мерилем загрязнения.

Ввиду того, что за счет кислорода совершается процесс самоочищения рек, то в уменьшении растворенного кислорода и должен непосредственно сказываться главный вред (помимо специальных случаев, напр., спуска ядовитых веществ), который причиняется спуском сточных вод в реку.

По мнению Комиссии, при уменьшении количества растворенного кислорода менее 4,0 куб. сант. или 5,72 миллиграм. на литр, вода реки становится сомнительною в смысле способности к самоочищению.

¹⁾ Проф. Хлопин. Методы исследований питьевых и сточных вод.

Между тем, известно, что с точки зрения санитарно-гигиенической процессы так-называемого „биохимического самоочищения“ рек имеют исключительное значение, потому что, при условии насыщения воды кислородом, вода способна обезвреживать разлагая, минерализуя или обращая в газы значительные количества загрязненных веществ.

Биохимические процессы самоочищения рек являются результатом жизнедеятельности различных организмов, составляющих, главным образом, микро-флору и микро-фауну данного водоема—его планктон.

Под планктоном разумеются, как известно, микро и макроорганизмы, которые всю свою жизнь проводят в взвешенном состоянии в толще вод реки.

Организмы же, прикрепленные ко дну и берегам реки, или, хотя идвигающиеся активно, но скоро возвращающиеся снова ко дну и берегам, а также и живущие в иле, носят название бентоса.

Планктон пресных вод всегда составляют видимые при сравнительно малых увеличениях бактерии, грибки и водоросли, так называемый фитопланктон, затем инфузории (протисты), коловратки и т. п. (так называемый зоопланктон).

Биохимические процессы, происходящие в результате жизнедеятельности этих организмов, идут в самых различных направлениях и отличаются крайней сложностью.

Большинство низших животных и растительных организмов: бактерии, инфузории, грибки и т. п. в процессе жизнедеятельности поглощают кислород, выделяя углекислоту.

Наоборот, более высшие растительные организмы, напр., хлорофилл-содержащие зеленые водоросли, поглощают при дыхании углекислоту, выделяя кислород.

Особняком стоит так-называемая серная бактерия (*Beggiatoa*), являющаяся, однако, обычным обитателем сточных вод. Развитие этих бактерий обуславливается содержанием в сточных водах различных серу-содержащих соединений и при распаде или гниении образующих сероводород. Этот вид бактерий поглощает сероводород, окисляя его и отлагая серу в своих организмах. Следовательно, их процессы жизнедеятельности поддерживаются сероводородом.

Особняком также стоят так называемые железные бактерии, (напр. *Callionella ferruginea* и *Crenothrix polyspora*). Результатом их жизнедеятельности является усвоение из воды солей, железа и отложение его внутри своих организмов. Скопление этих именно организмов образует столь характерные полусферические скорлупки буровато-ржавого цвета на внутренней поверхности водопроводных труб.

Затем все животные организмы разлагают азот-содержащие вещества и усваивают его в своих организмах.

Чрезвычайно широко распространены бесхлорофильные таллофиты-грибки, встречающиеся почти во всех сточных водах, каковы: *Spherotilus nataans*, *Leptomitus*, *Fusarium* и друг., хотя и не являются

животными организмами, но также поглощают азот и усваивают его, являясь в этом смысле переходными к животным организмам.

Для характеристики сложности и разнообразия идущих здесь процессов достаточно указать, что одних организмов, которые могут считаться показателями сравнительной чистоты или загрязненности вод, в настоящее время выделено более тысячи видов.

Не нужно думать, что все эти столь многочисленные разновидности микро-фауны и флоры—являются спутниками именно сточных вод.

Каждая, даже вполне чистая, река уже несет в себе обильное микро-макро-население как плавающее в воде в взвешенном состоянии, (планктон), так и развивающееся на дне и на различных подводных предметах.

Таким образом, поступающие в реку сточные воды всегда сразу же встречают в ней готовыми те биологические агенты, которые ведут процессы минерализации. Поэтому каждая река в нормальных условиях обладает известной потенциальной способностью к самоочищению и легко справляется с вносимыми в нее в нечрезмерных количествах загрязнениями.

Очень кратко биохимические процессы самоочищения рек можно, разбив на несколько стадий, характеризовать следующей схемой.

Первая стадия самоочищения состоит в том, что сложные органические продукты сточных вод (напр., углеводы, протеиновые соединения и т. п.) разлагаются микроорганизмами с выделением углекислоты и других промежуточных продуктов распада.

Эти процессы разложения сложных органических соединений идут сравнительно быстро и сопровождаются энергичным поглощением растворенного в воде кислорода.

Аналитически эта первая стадия и характеризуется резким возрастанием содержания углекислоты и уменьшением содержания кислорода, что ярко иллюстрируется приведенными выше анализами.

Хотя параллельно с этим идет распад и азот—содержащих соединений (напр., белковых) с образованием в самых ничтожных количествах аммиака, нитритов, нитратов и т. п. соединений, но все промежуточные продукты не имеют ни дурного запаха и не являются с санитарно-гигиенической точки зрения безусловно вредными.

Вторая стадия может оказываться с санитарно-гигиенической точки зрения более вредной.

Возникающие здесь организмы в своей жизнедеятельности отчасти могут покрывать потребность в кислороде и за счет растворенных в воде органических веществ.

Низшие организмы, развивающиеся за счет находящихся в воде органических веществ, вероятно лишь очень незначительную часть этих веществ тратят на построение своего тела, а гораздо большая доля идет на покрытие их потребности в свободной энергии, т. е. главным образом окисляется в процессах дыхания и частью расщепляется

в тех или иных процессах распада. Все эти процессы сопровождаются выделением углекислоты.

Что касается энергии, с которой ведутся окислительные процессы биологическими агентами, то о ней можно отчасти судить по наблюдениям над дыханием некоторых водных организмов.

По опытам Верноп'а на 223 гр. сухого вещества своего тела потребляют кислорода:

Человек	0,4167 гр.
Собака	1,1821 „
Медуза	0,3484 „
Collozoum—Радиолярия.	6,2050 „

Как видно, среди водных обитателей встречаются организмы с весьма высокой энергией дыхания, превышающей таковую у теплокровных животных.

Восстановительные процессы могут идти энергично и, напр., лигно-сульфоновые соединения могут быть восстановлены до образования сероводорода или промежуточных сернистых соединений, обладающих дурным запахом.

Следующая и последняя стадия, являющаяся собственно процессом самоочищения, характеризуется тем, что возникающие здесь различные хлорофилл-содержащие зеленые водоросли, поглощая при дыхании растворенную углекислоту, выделяют кислород и тем самым способствуют восстановлению нарушенного естественного равновесия, в смысле парциального содержания газов в воде.

Таким образом, потраченный при самоочищении кислород восстанавливается не только через поглощение его извне—из атмосферы, но пополняется и из этого, так сказать, внутреннего источника.

Первую стадию самоочищения рек, т.-е. превращение сложных органических соединений в неорганические, называемую обычно минерализацией при помощи микро-организмов, можно считать локализованной на небольшом сравнительно расстоянии по руслу реки в зоне, непосредственно начинающейся у места входа сточных вод в реку.

Тотчас же после введения сточных вод в реку начинается быстрое и очень сильное развитие различных бактерий, которые, нарастая, могут образовать довольно значительные колонии. Количество бактерий отчасти уже и указывает на степень загрязнения воды.

Процессу минерализации, т.-е. процессам расщепления и окисления сильно способствует солнечный свет. Кроме бактерий в процессах распада очень деятельное участие принимают также азот—содержащие бесхлорофильные грибки (всюду встречаемые *Spherotilus natans* и друг.).

Они вместе с бактериями в больших иногда количествах покрывают берега, отлогие места дна, подводные предметы, рыболовные снасти и т. п. белым или сероватым, иногда с ржавым налетом, ватобразным слоем.

Нужно заметить, что эти грибки не являются спутниками сточных вод именно только целлюлозных фабрик, но также и сточных вод городов, сахарных, кожевенных, пивоваренных и др. заводов.

В виду того, что процессы минерализации идут сравнительно быстро и энергично, их, до известной степени, можно локализовать даже в отстойных коллекторах, сделав последние достаточно больших размеров. Обстоятельством, особенно способствующим развитию нарастания грибков (напр., *Spherotilus natans*), является присутствие в сточных водах углеводов, способных бродить,—гексоз. При чем сильное разбавление щелоков чистой водой, имея большое значение, напр., для устранения вредного влияния ядовито-действующих соединений— в данном случае совершенно не оказывает значительного влияния. Даже при разбавлении щелоков 1 : 10.000 грибки успешно развиваются.

Между тем, напр., по опытам проф. Hofeg'a, спуск щелоков, производимый не непрерывно круглые сутки, а только в продолжении нескольких часов препятствует развитию грибковых нарастаний.

Из других углеводов пентозы, хотя и находящиеся в щелоках в значительно большем количестве, чем гексозы, не оказывают влияния на развитие грибковых нарастаний. Следующим важным обстоятельством в процессе самоочищения нужно считать возникновение в реке различных животных микро и макроорганизмов. Кроме жгутиковых и реснитчатых инфузорий, здесь появляются иногда в значительном количестве различные коловратки, рачки, улитки, ракушки, личинки насекомых и т. п. Все эти организмы пожирают массы бактерий, инфузорий, тем самым способствуя биологическому самоочищению реки.

Со своей стороны сами они являются лакомым блюдом для рыб. Как известно, исключительно планктоном питаются, особенно в стадии малька: карп, плотва, лещ, жерех и друг. рыбы; только в более позднем возрасте они переходят на питание личинками насекомых, червяками и т. п.

Хотя выделяемые всеми указанными выше организмами продукты их жизнедеятельности, отлагаясь в свою очередь, несколько загрязняют воду, но разумеется это загрязнение имеет совершенно иной смысл и значение.

Ил со дна в таких местах, благодаря присутствию в нем еще и отложений, отмирающих со временем организмов, имеет затхлый, гнилостный запах.

Эти представители бентоса реки не только имеют значение, как хороший корм для рыб, но и, как азот-усваивающие организмы, способствуют уменьшению в воде вредных для рыб и животных примесей—аммиака, нитритов и нитратов. Кроме того, некоторые из них способствуют разрыхлению ила, а следовательно и проникновению в него воды, кислородом которой многие из гниющих веществ обезвреживаются. Эта аэрация ила, так сказать, „проветривание его“, благоприятствует возникновению и росту хлорофилл-содержащих зеленых водорослей,

которые сами, как уже упоминалось ранее, служат через процесс дыхания внутренним источником кислорода.

Сюда относятся водяные мхи, зеленые водоросли, отчасти бурые кремнезем-содержащие водоросли и т. д., до обыкновенных растений включительно.

Появление только что перечисленных растительных организмов, с несомненностью указывает на восстановление нарушенного равновесия в газовом составе воды.

В некоторых случаях может даже наступать перенасыщение воды выделяемым ими при дыхании кислородом. Во всяком случае река здесь снова вступает в зону чистой воды, где процесс самоочищения закончивается и химико-биологическая картина в основных чертах снова восстанавливается.

Упомянутые сейчас кремнезем-содержащие водоросли бурого цвета с зелеными жилками нередко принимают просто за „грязь“. В клетках их, помимо хлорофилла, содержатся также особые хроматофоры коричневого цвета—„диатомин“, который и придает организму вид „грязи“.

Эти водоросли, в противоположность, напр., зеленым нитевидным спирогирам, любящим быстро текущую воду, с успехом развиваются в каналах с медленным течением: водопроводных трубах, турбинных каналах и т. п.

Попадая в водопровод, напр., нижележащих городов или фабрик, они могут причинить значительные неприятности, особенно если вместе с ними будет развиваться еще и упоминаемая выше „железная бактерия“.

Возвращаясь к общей химико-биологической картине самоочищения рек, можно, схематизируя, характеризовать ее следующим образом.

Начиная от места входа сточных вод в реку, переходя через различные стадии самоочищения и кончая снова зоной чистой воды, общее количество растворенных в воде органических веществ постепенно убывает.

Параллельно с этим общее количество животных, начиная с полуживотных—бесхлорофильных грибков, переходя через ряд бактерий, инфузорий, коловраток, личинок насекомых и кончая улитками, насекомыми и, наконец, рыбами, постепенно возрастает.

Конечно, это следует понимать в качестве схемы и не в смысле возрастания количества особей или экземпляров, а в смысле увеличения общей физической массы их животной субстанции.

Затем вместе с возрастанием общей их (весовой) массы резко повышается и степень биологической организованности этой массы: начиная с бактерий и кончая рыбами.

Представлялось бы очень интересным проследить и построить кривые зависимости между степенью насыщения воды растворенным в ней кислородом и объемом или массой плавающего в единице объема планктона по мере удаления от места спуска сточных вод фабрик.

Эти кривые, вместе с отметками о наличии и постепенном нарастании или убывании отдельных видов низших организмов, дали бы очень выразительную картину, как степени загрязнения, так и быстроты самоочищения реки.

Очевидно, конечно, что различные рода растительных и животных организмов, обитающие в зонах:

I—сточных водах,

II—промежуточной,

III—практически снова чистых вод,

не сменяют одни других резко, но обнаруживают лишь одни тенденцию к убыванию, другие, наоборот, к возрастанию.

Так, если для I зоны,—непосредственно начинающейся от места входа сточных вод, характерно развитие так-называемых полисапробных организмов (от Sapros—гнилой), то во II зоне—промежуточной, их уже находится менее, но зато здесь развиваются так-называемые мезосапробные организмы, т.-е. живущие в биологически недостаточно очищенных водах.

В III зоне—зоне чистых вод, представителей полисапробов, можно сказать, уже нет, мезосапробов менее, чем во второй зоне, но зато здесь могут развиваться представители олигосапробов, т.-е. организмы, уже своим присутствием в воде характеризующие ее, как воду практически чистую—воду питьевую.

Природа, хотя иногда и медленно, но всегда неуклонно исправляет погрешности, внесшие дисгармонию в ее жизнь.

Несколько вне этой схемы находятся, стоят особняком, загрязняющие органические вещества не растворенные в воде, а взвешенные; суспендированные в ней—главным образом целлюлозные волокна. Попадая в реку вместе со сточными водами волокна оседают на дне и на подводных предметах и со временем подвергаются гниению. Не только сами они, гнивая увеличивают степень загрязнения, но и являются местом скопления массы микроорганизмов. При значительных количествах спускаемого волокна постепенно в воде образуются целые хлопья, гирлянды гниющих, волокон. Отрываясь при ветре, волнении или при колебании уровня воды, волокна уносят вместе с собою, в качестве пассажиров, осевших на них полисапробных микроорганизмов в зону чистых вод. Этим не только затемняется картина самоочищения реки, удлиняются по руслу реки все зоны, но при известных условиях могут повториться вторичные процессы загрязнения и самоочищения вод.

Как оказывается, возможно более заботливое и полное удаление из сточных вод волокон целлюлозы имеет большое значение, не только с точки зрения хозяйственно-экономической, но также и санитарно-гигиенической.

Хотя природа и действует высоко разумно в смысле уничтожения загрязнений через процессы самоочищения рек, но все же разу-

меется в тех случаях, где это легко устранимо не следует увеличивать дисгармонии, вносимой спуском сточных вод.

Утилизация варочных щелоков.

Самым радикальным способом устранения и утилизации варочных щелоков было бы, конечно, полное уничтожение органических веществ, напр., через выпаривание щелоков и сжигание их. К сожалению это теоретически просто, но практически весьма трудно осуществимо и кроме того, без иной утилизации побочных продуктов экономически не выгодно.

Уже одни чисто общие термические соображения достаточно иллюстрируют это. Действительно, как уже ранее указывалось, содержание в щелоке сухого остатка равно приблизительно 10%, т.-е. на 1 куб. метр приходится 100 килограм. сухого вещества. Для испарения из одного кубического метра щелока 900 килограм. воды потребуются дров (при испарительной способности их = 3) 300 клгр. В результате, полученные из одного куб. метра 100 клгр. сухого вещества должны быть в три раза теплопроизводительнее дров, чтобы только вознаградить затраты на топливо.

Другими словами, даже не считая расходов по эксплуатации выпарительного устройства, полученный продукт должен иметь паропроизводительность минимум 9, т.-е. превосходить лучший каменный уголь и антрацит, что, очевидно, безнадежно.

Нужно сказать, что в практике, при условии применения не простой выпарки, а многократной, термические результаты при выпарке получаются не столь печальными. Применение различных специальных систем, так-называемых многокорпусных аппаратов, построенных на принципе использования скрытой теплоты парообразования воды, выделенной из щелока в первом „корпусе“ для подогрева щелока во втором корпусе и т. д., дает наивыгоднейшие результаты в смысле использования теплоты первичного свежего пара.

Наиболее характерным для этого рода многокорпусных аппаратов является общеизвестный и распространенный, например, в сульфатцеллюлозном и других производствах, четырехкорпусный аппарат „Ярьяна“, также шестикорпусный „Кестнер“ и многие др.

Во всех их пар и щелок поступает последовательно в первую, вторую и т. д. камеру—„корпус“. Пар, обогревающий трубки со щелоком в первом корпусе, конденсируясь, выходит наружу. Вода, выделенная из щелока в трубках первого корпуса, в виде пара идет для обогрева второго корпуса, где и отдает на нагрев щелока в трубках свою скрытую теплоту парообразования. Тот же процесс повторяется в третьем корпусе и затем в последующих.

Аппараты этого рода позволяют с помощью одного килограмма первичного свежего пара испарять из щелока в общем до 2,5 кило-

грам. воды. Следовательно, при паропроизводительности дров, равной 3 можно 1 килограммом их испарить до 7,5 килогр. воды или при испарительной способности каменного угля, равной 7, тем же количеством его испарить до 17—18 и более килограм. воды.

Далее, в виду того, что выпарные аппараты могут обогреваться паром низкого давления, а последний корпус обычно работает даже под вакуумом, экономически целесообразно и вполне возможно пользоваться для выпарки отработанным паром паровых машин, турбин и тому подобн.

К сожалению, при выпарке щелоков выступают на сцену затруднения совершенно иного свойства. Дело в том, что вязкость сгущенных щелоков очень значительна и при достаточной степени выпарки их, всякое перекачивание щелоков становится очень затруднительным и требует, помимо специальных устройств механизмов, очень хлопотливого и заботливого их обслуживания.

Опыты Штурцера показывают, что при растворении в 1 литре воды всего лишь по 100 грамм взятых для сравнения веществ, вязкость раствора возрастает сравнительно с вязкостью воды (при 15° С), принятой за 100 следующим образом:

Меласса сахарная	113
Сгущенный щелок	120
Пек целлюлозный	120

При растворении тех же веществ по 500 грамм на литр, т.-е. при концентрации раствора всего лишь в 50%, вязкость последних двух растворов имеет тенденцию возрастать значительно быстрее, чем первого, а именно:

Меласса сахарная	147
Сгущенный щелок	402
Пек целлюлозный	516

При выпаривании щелока до высокой степени концентрации вязкость, а следовательно и связанные с нею чисто-технические затруднения, становятся еще более значительными.

Кроме того, благодаря высокой вязкости концентрированных щелоков последние количества воды выпариваются из них с большим трудом.

Применение для выпарки щелоков непосредственного нагрева продуктами горения в, так-называемых, оросительных печах, расположенных горизонтально или вертикально, в виде турм, значительно облегчает указанные затруднения, но вполне их далеко не устраняет.

Не касаясь ближе этих вопросов, следует все же указать, что в сульфат-целлюлозном производстве выпарка щелоков имеет обязательный характер регенерации, необходимой для производства продуктов, в виду чего и наличие соответствующего оборудования является обязательною составною частью оборудования фабрики.

В сульфитном производстве выпарка щелоков имеет другой характер—характер желательной утилизации побочных продуктов, в щелоках заключающихся. Благодаря этому и наличие соответствующего оборудования на сульфитно-целлюлозных фабриках можно считать лишь весьма редким исключением.

Вместе с тем, насколько прочно можно считать установленными для сульфат-целлюлозного производства формы и нормы выпарки щелоков, настолько же проблематичными и находящимися в зачаточном состоянии нужно считать таковые для сульфитных фабрик.

Что касается способов обезвреживания сульфит-целлюлозных щелоков, как процессов, идущих параллельно с утилизацией некоторых ценных продуктов, в щелоках заключающихся, то это вопрос очень интересный, очень сложный и до сих пор, не смотря на все усилия, неразрешенный.

С точки зрения исторической следует отметить, что при возникновении сульфит-целлюлозного производства, приблизительно в семидесятых годах прошлого столетия, пионеры этой отрасли промышленности концентрировали свое внимание не только, а иногда даже не столько на получении целлюлозы, как именно продуктов теперь называемых нами „побочными“: главным образом сахара, алкоголя и др.

Напр., Баше и Машар работали „над получением из дерева сахара и применимой для бумаги целлюлозы“. Пелюз изучал превращение целлюлозы в сахар (не в бумагу) и только попутно обращал внимание на получение алкоголя. Другие взяли направление явно с уклоном в сторону получения целлюлозы (А. Митчерлих, Тильгман, Экман и др.). Только позднее, когда проблема получения целлюлозы по бисульфитному способу была практически вполне удачно разрешена, центр внимания был перенесен именно на получение целлюлозы. Ставшие теперь „побочными продуктами“:— сахар, алкоголь, дубильные вещества и их получение остались в тени.

Почти все работы и изучение велись, главным образом, в направлении изыскания „правильной системы производства“. Испытывались различные способы подготовки дерева, сравнивались между собою работа на сере и на колчедане, определялись преимущества и недостатки получения варочной кислоты по турменному или чановому способам и т. д.

Действительно, работами многих авторов в этом направлении был собран обширный практический материал и производство стало быстро развиваться.

Параллельно с развитием целлюлозной промышленности возрастали и затруднения со спуском сточных вод. Таким образом, вопрос об очистке сточных вод и утилизации, заключающихся в них ценных продуктов, снова выдвинулся на сцену в качестве основной проблемы целлюлозной промышленности и привлек внимание научных и технических сил.

Немало, вероятно, способствовало этому учреждение поощрительных премий за лучшие в этом направлении работы. Многие работы не направляются непосредственно на изыскание способов использования варочных щелоков, а совершенно правильно избирают другое направление. В стремлении „заглянуть в корень“ они изучают не только строение составных частей варочных щелоков, но также и строение составных частей дерева, инкрустирующих веществ и т. п.

Приблизительно с 1890 года можно заметить быстрое последовательное появление многих выдающихся трудов по этим вопросам.

Для характеристики масштаба развернутой научно-технической разработки вопроса по исследованию только варочных щелоков и использованию ценных продуктов, в них заключающихся, интересно было бы привести таблицу, указывающую взятые только в Германии и Австрии до 1910 г. патенты, числом 166, но, к сожалению, недостаток места не позволяет сделать этого.

Работа по исследованию и утилизации варочных щелоков проделана громадная, но полностью поставленная проблема далеко еще не разрешена. Однако, достаточно внимательно проследить нижеследующее перечисление могущих быть использованными продуктов, чтобы в общих чертах довольно ясно определить те пути, по которым, казалось бы, должны направляться усилия исследователей в этой области. *)

Проблема как обезвреживания, так и утилизации сульфитных щелоков зависит от удачного разрешения следующих частных, но достаточно солидных и сложных заданий:

I. Выпарки, или иного способа обработки и сгущения щелоков, наиболее рациональным путем—совместно или раздельно с получением серы, серной кислоты или солей ее.

II. Получения, хотя бы и в небольших сравнительно количествах, наиболее ценных органических веществ, в щелоках содержащихся, или являющихся их производными.

III. Получение продуктов массового потребления и в более значительных количествах, хотя и менее ценных (за единицу продукта), чем по группе II.

IV. Рационального использования остатка, после указанных операций, в качестве горючих, связующих и т. п. материалов.

Поставленная задача сложна, трудна, но она, нужно думать, будет разрешена, потому что она должна быть разрешена.

Выражаясь военным языком, должна быть „воля к победе“. Без разрешения этих заданий, помимо неудовлетворения требований социальной гигиены и санитарии, а также и принципов рационального использования производительных ресурсов страны—можно предвидеть в будущем прямо непосредственные технические затруднения к возникновению и эксплуатации тех огромных сульфит-целлюлозных предприятий, настоящих представителей „Crossindustrie“, которые соответствовали бы мировой потребности в целлюлозе и бумаге.

*) См. стр. 274.

П Р О Д У К Т Ы.	Автор.	Г о д.	Примечание.
Ацетон	Е. Мейер.	1888	Сухая перегонка.
"	Аренс.	1903	" "
Алкоголь (антисептические сред) .	—	—	Конденсация с Формальдегидом.
Янтарная кислота	Будденс.	1891	
Связующие вещества	—	—	
Горючие вещества	—	—	
Кальций-моносулфит	Франк.	1886	
Кальций-бисульфит	Митчерлих.	1878	
"	Франк.	1886	
"	Гольцерн К ^о .	1893	
"	Кумпфмиллер.	1906	
Кальций-сульфат	Полячек.	1898	
"	Древзен и Доренфельдт.	1895	
Кониферин	Зингер.	1891	
"	Классон.	1900	
Цимоль	—	—	
Денатурирующие вещества	Детсиньи.	1898	
Дезинфицирующие вещества . . .	Гаваловский.	1899	
Удобрительные вещества	—	—	
Сохранение яиц	Е. Баше Винг.	1900	
Обесцвечивающие вещества	Трайнер.	1907	
"	Митчерлих.	1878	
Уксусная кислота	—	—	
Экстрагирующие вещества	—	1903	Для растительных дубильн. веществ.
Красящие вещества	—	—	
Наполняющие вещества	—	—	
Фурфурол	Толленс.	1890	
Кормовые вещества	—	—	
Дубильные вещества	—	—	

П Р О Д У К Т Ы.	Автор.	Г о д.	Примечание.
Полуцеллюлоза	Бергероф.	1904	
Получение смолы	Гук.	1908	
"	—	1909	
Смоляное мыло	Гартман.	1890	
Лекарственные вещества	Толленс.	1890	Лигносульфит.
Гидразон	—	—	
Консервирование дерева	Диамонд.	1907	
Клеющие вещества	—	—	
Углеводороды газообразные и жидкие	Аренс.	1908	Сухая перегонка.
Левулиновая кислота	Линдзай.	1891	
Соль для скота	Детсиньи.	1898	
Лигнорозин	Зейдель.	1897	Протрава и шлихты.
Лигносульфоновый кальций	Стреб.	1892	
" "	Зейдель.	1900	
Меркаптаны	Е. Мейер.	1887	
Метан	Аренс.	1903	Сухая перегонка.
Бисульфит-натрия	Доренфельдт.	1898	
Щавелевая Кислота	Нетте.	1889	
" "	Дросте.	1906	
Клей для бумаги	—	—	
Пентозы	Толленс.	1896	
Пластические массы	Полячек.	1898	
Протокатехиновая кислота	Буденс.	1891	
Салоза	—	1907	
Слизевая кислота	Толленс.	1890	
Получение серы	Митчерлих.	1878	Сернистая кислота.
"	Франк.	1889	
"	Кросс и Беван.	1887	
"	Дю и К°.	1893	

П Р О Д У К Т Ы.	А в т о р.	Г о д.	П р и м е ч а н и е.
Получение серы	Кумпфмиллер.	1894	
" "	Блекман.	1895	
" "	Деренфельдт.	1898	
" "	Тюрк.	1899	
" "	Гольцерн.	1893	
" "	Триппе.	1901	
" "	Карпентер и Шульце.	1906	
Скипидар	Кумпфмиллер.	1906	При выпаривани.
"	Франк.	1887	
"	Кларк.	1910	
Глинозем	Мюльнер.	1897	Выпарка и кальцинирование с боксит.
Ванилин	Франк.	1887	
"	Толленс.	1890	
"	Полячек.	1898	
Смола	Трайнер.	1906	
Сахар (гексозы)	Баше и Машар.	1856	
" "	Митчерлих.	1878	
" "	Бер.	1885	Глюкозы.
" "	Шульце.	1891	Виноградн. сахар.
" "	Толленс.	1892	Глюкоза, Манноза, галактоза.
" "	Линдзай и Толленс.	1892	
" "	Классен.	1900	
" "	Краузе.	1906	
" "	Экстрем.	1906	
" "	Валлин.	1907	
Сахаро-метиленовые соединения	Гольдшмидт.	1898	Полимеризацией и формальдегидом.
Сахарная меласса с прибавлением отработ. щелоков	Белогубек.	1892.	
Смазка колесная	Копнерт.	1899	
Вакса	Копнерт.	1899	

Задачей настоящей статьи было, во-первых: возбудить интерес, а также выдвинуть и у нас вопрос о сульфит-целлюлозных щелоках, в качестве основной проблемы целлюлозной промышленности, как с точки зрения национальной экономики, так и социальной санитарии и гигиены, а затем попытаться, хотя бы в самых общих чертах, наметить руководящие принципы и установить исходные точки зрения на данный вопрос.

Логически—следующим и очень интересным, как с точки зрения методологии предмета, так и достигнутых практических результатов было бы, конечно, краткое изложение, сопоставление и анализ хотя бы главнейших работ, произведенных в этой области. Однако, это вопрос крайне сложный и во всяком случае выходящий за пределы настоящего очерка.

И. Храмцов.