

С. М. Д Р А Ч Е В

БОРЬБА
С ЗАГРЯЗНЕНИЕМ РЕК,
ОЗЕР И ВОДОХРАНИЛИЩ
ПРОМЫШЛЕННЫМИ
И БЫТОВЫМИ СТОКАМИ



А К А Д Е М И Я
Н А У К С С С Р
И Н С Т И Т У Т Б И О Л О Г И И
В Н У Т Р Е Н Н И Х В О Д

А Н Н О Т А Ц И И

В работе рассматриваются вопросы, связанные с охраной водоемов от загрязнения. Описаны различные источники загрязнения, большое внимание уделяется хозяйственно-бытовым сточным водам и основным видам промышленных загрязнений, производственным сточным водам нефтяной, химической, бумажно-целлюлозной и угольной промышленности.

Издание рассчитано на санитарных врачей, санитарных инженеров, работников санэпидстанций и водоохраны, гидрохимиков, гидробиологов и студентов соответствующих вузов.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Проблема охраны водоемов от загрязнения приобрела государственное значение как в нашей стране, так и за рубежом.

Значимость проблемы подчеркнута в постановлении Совета Министров СССР от 22 апреля 1960 г. «О мерах по упорядочению использования и усилению охраны водных ресурсов СССР». На основе постановления созданы специальные органы Советов Министров союзных республик и инспекции по бассейнам основных рек. Задача охраны водоемов от загрязнения становится плановым государственным мероприятием, что создает надежную предпосылку для разрешения проблемы.

Охрана водоемов от загрязнения включает мероприятия организационного, технического и законодательного порядка. Обоснованием для установления мер борьбы с загрязнением рек и озер служат исследования источников загрязнения, их значимости и возможности устранения. Большое значение имеет изучение процессов, происходящих в природных и загрязненных водоемах, установление признаков загрязнения, разработка нормативов чистоты при различных видах использования и методов контроля.

Одним из важнейших аспектов проблемы остается охрана поверхностных водоемов как источников хозяйственно-питьевого водоснабжения и бытового использования населением.

В задачу работы входило осветить различные стороны вопроса охраны водоемов от загрязнения и обсудить пути к разрешению проблемы в современных условиях.

При подготовке работы к печати учтены замечания проф. Л. И. Маз и проф. П. В. Остапени, доцента А. П. Прокофьева, взявших на себя труд ознакомления с рукописью. Глава о связи загрязнения рек с заболеваемостью населения просмотрена проф. В. А. Башениным, глава о признаках загрязнения рек — проф. Г. И. Долговым, глава о микробиологических процессах — канд. биол. наук Е. В. Дзюновой, давшими ценные указания по этим разделам.

Значительную помощь в работе оказала Н. Н. Сосунова. Глава о радиоактивном загрязнении водоемов написана совместно с А. А. Былинкиной

ЗНАЧЕНИЕ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОХРАНЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Во всех странах с высокой плотностью населения и развитой промышленностью вопросы охраны поверхностных водоемов от загрязнения приобрели общегосударственное значение. Причина этого заключается в том, что непрерывно возрастающая потребность в хозяйственно-питьевой и промышленной воде все в большей степени удовлетворяется за счет речной и озерной. В Англии в данное время две трети общей потребности в воде удовлетворяется за счет поверхностных вод; в США значение поверхностных вод как источников водоснабжения поднимается до трех четвертей общей потребности. Наибольшее значение имеют поверхностные водоемы в Японии, где 90% воды забирается из поверхностных источников. В некоторых странах (ФРГ, Голландия) в силу значительного загрязнения рек непосредственный забор воды из них становится невозможным и большая доля потребности в воде удовлетворяется за счет подземных вод, но фактически используются те же поверхностные воды, но только после естественной или искусственной фильтрации через почвы и грунты.

Одновременно с ростом использования поверхностных вод для целей водоснабжения происходит увеличение загрязнения рек и озер, так как значительная часть использованной воды возвращается в реки и озера в виде промышленных и хозяйственно-бытовых сточных жидкостей.

В прошлом столетии и в начале текущего века исследовательские работы по изучению загрязнения водоемов проводились в основном в Англии и Германии. В данное время исследования санитарного состояния водоемов, процессов самоочищения и огромное количество контрольных анализов речной воды проводятся во всех частях света.

Будучи тесно связаны с потребностями практики, проводимые исследования находят отражение в законодательных актах, в которых устанавливаются принципы юридического порядка и делаются попытки регулирования сброса загрязненных вод в реку. Наиболее известны в этом отношении законоположения об охране рек от загрязнения в Англии, где недавно был отмечен столетний юбилей санитарной охранной зоны на р. Темзе (The Thames Conservancy. . . , 1957). История и современное состояние законодательных положений в отношении охраны поверхностных вод составили содержание работ Кулсона и Фобреса, Уилсона (Coulson and Fobres, 1952; Wilson, 1956).

В США общегосударственные законы издает правительство; всего с 1899 по 1956 г. издано пять законов. Одной из основных задач последнего закона является «поддержка и помощь в технических изысканиях для предупреждения и контроля за загрязнением рек» (Bloodgood, 1958, стр. 3). Центральное законодательное учреждение США уделяет большое вни-

мание вопросам загрязнения водоемов; за последние 50 лет в конгресс было внесено свыше ста законопроектов, связанных с загрязнением рек. В 1950 г. был учрежден Консультативный комитет по водным ресурсам, уделяющий большое внимание вопросам загрязнения водоемов. В обширных публикациях Комитета (в первый же год вышло три тома общим объемом более 2000 страниц) освещено современное состояние рек в США и имеется ряд предложений по охране водоемов от загрязнений. В частности, в отчете 1956 г. предложено организовать шесть речных бассейновых комитетов; во главе каждого из них должен стоять бессменный председатель, назначаемый президентом США. В задачу комитетов входит предупреждение попадания сточных вод в реки, снижение загрязнения до практически возможного уровня.

В большинстве штатов США имеются свои постановления, регулирующие вопросы спуска сточных вод и использования водоемов. В тех случаях, когда река протекает через несколько штатов, ставится вопрос о согласовании мероприятий. В данное время имеются организации, объединяющие группы штатов по бассейнам рек Делавер, Огайо, Потомок, Комиссия по борьбе с загрязнением рек в Новой Англии и Междоштатная санитарная комиссия. Из 48 рек штатов 17 входят в состав какой-либо из названных групп. Кроме того, имеется несколько официально неоформленных объединений для согласования требований по охране рек.

Одной из наиболее активных является комиссия по р. Огайо, которая выработала несколько согласованных требований по качеству стоков, сбрасываемых в водоемы всего бассейна реки: 1) удаление не менее 45% взвешенных веществ, 2) полное удаление осаждающихся взвешенных веществ, 3) удаление плавающих веществ в количествах, могущих оказать вред или испортить внешний вид реки, 4) недопущение к стоку окрашенных и пахучих веществ в количествах, могущих причинить вред. Многократно, но безуспешно были предприняты попытки установить нормы для растворенного кислорода, фенолов и хлоридов в р. Огайо и ее притоках.

Кроме того, в США вопросами загрязнения рек ведают и имеют право издавать свои постановления правительственные органы штатов, санитарные управления и муниципальные власти. Как много внимания уделяют этому вопросу местные власти, видно из того, что в период между 1948 и 1951 гг. 29 штатов приняли новые или изменили действующие законоположения (Weiss, 1951).

Правительственные постановления, регулирующие вопросы загрязнения поверхностных водоемов, имеются во Франции, ФРГ, Бельгии, Голландии, Австрии, Бразилии, Южно-Африканской Республике, Новой Зеландии (Lovett, 1958) и ряде других стран. Так, в Японии, где загрязнением рек представляет угрозу здоровью населения и наносит ущерб важнейшим отраслям народного хозяйства, недавно парламент принял новое законодательство. В нем предусматривается строгий контроль за загрязнением вод, создано специальное бюро, руководитель которого подчиняется непосредственно премьер-министру (Хроника. . ., 1959).

Вследствие ряда причин законоположения в разных странах неодинаковы и иногда противоречивы. Так, в Южно-Африканской Республике, согласно более раннему постановлению, в реки запрещалось спускать в канализацию (1956 г.), в водоемы необходимо возвращать не менее того количества воды, которое из них взято. Последнее постановление отражает тенденцию к поддержанию расхода воды в реке, хотя бы и за счет сброса сточных вод, которая отражается в современной литературе по водоемам Англии и США (Evans, 1958; Metzler a. oth., 1958).

По мере того как увеличивается использование рек, становится очевидным, что одних постановлений по предупреждению загрязнения и контролю за их выполнением становится недостаточно; возникают специальные организации по регулированию использования реки в целом.

Мысль о необходимости и целесообразности организации такого рода учреждений была высказана в Англии еще около 80 лет назад, после первых работ по изучению состояния рек, но впервые возникли они в Германии. В 1912 г. был учрежден Рурский союз, затем возникло Эмшерское общество, в дальнейшем появилось еще пять организаций по бассейнам сравнительно небольших притоков рек Рейна и Мааса в Рурском каменноугольном бассейне. Для регулирования и управления расходом воды р. Рура, имеющей огромное значение для водоснабжения населения, проживающего не только в бассейне этой реки, но и в бассейнах соседних рек Эмшер и Липпе, в 1898 г. было организовано Общество по водохранилищам в верховьях реки.

В задачу речных союзов входит не только охрана рек от загрязнения и регулирование расхода воды в них, но и проектирование, строительство и эксплуатация сооружений по очистке сточных вод. В лабораториях Союза ведется исследовательская работа по изучению сточных вод, очистных сооружений и процессов самоочищения. Рурский союз построил и эксплуатирует 80 станций для биологической и механической очистки, 25 насосных станций для перекачки сточных жидкостей, 4 плотины в среднем течении р. Рура для интенсификации самоочищения в реке, 48 станций для очистки промышленных сточных жидкостей. Деятельность организации, финансируемой за счет городов и промышленности, регулируется многочисленными законами, начало издания которых относится еще к 1843 г. (Prüss, 1953). Общефедерального законодательства в ФРГ не существует, нет и специальных организаций по охране таких рек, как Эльба, Рейн. Только в данное время поднимается вопрос о создании специальной организации для охраны р. Рейна. К этому вынуждает крайнее загрязнение, в особенности в нижнем течении, где река используется как источник водоснабжения рурского промышленного бассейна, особенно в засушливые годы.

В Англии крупным этапом в истории охраны водоемов было издание в 1948 г. «Закона о речных советах» (Board of river pollution). В 1951 г. был принят закон, в котором определены функции и права новых органов по охране водоемов. Новые положения заменили закон, действовавший с 1876 г.

Основным принципом нового положения является регулирование использования и охрана реки от загрязнения на всем ее протяжении от истоков до устья. По числу бассейнов рек в Англии создано 32 речных совета, в задачу которых входит решение вопросов, связанных с забором воды из рек и сбросом сточных вод, рассмотрение и утверждение проектов очистных сооружений, контроль за очистными сооружениями и санитарным состоянием водоемов. Речные советы наделены большими полномочиями; они могут издавать особые законодательные постановления (by-law), которые имеют силу закона. В них, в частности, определяется качество сточных вод, допустимых к сбросу в реки. Помимо охраны рек от загрязнения и регулирования их использования, в функции речных советов входят вопросы осушения площади водосбора, защиты речных и морских берегов от разрушения. Последние задачи в некоторых речных советах являются преобладающими, в особенности там, где длина морского берега составляет значительную протяженность.

В Канаде, в наиболее промышленном и плотнонаселенном штате Онтарио, создана организация, ведающая всеми вопросами водного хозяйства в целом; в ее задачу входит не только планирование, проектирование

и эксплуатация сооружений по очистке сточных вод и водопроводов, но и вопросы финансирования строительства очистных сооружений (Boggy, 1959).

Обширная законодательная деятельность, создание специальных органов, ведающих вопросами охраны водоемов от загрязнения и регулирования их использования в странах Запада, связаны не только с увеличением значимости поверхностных вод как источников водоснабжения, но и весьма значительным загрязнением рек и озер.

Сильно загрязнены почти все реки в Англии, где к 1956 г. централизованным водоснабжением было охвачено 95% всего населения, канализацией — 80% (Robins, 1946). Расходы воды в реках Англии невелики, и объем городских и промышленных вод нередко составляет значительную часть расхода реки, а иногда и превосходит его. Только в верховьях реки имеют нормальное содержание кислорода и удовлетворительные физические свойства; уже в среднем течении они становятся грязными,

а к устью по своему составу и свойствам, как правило, приближаются к разбавленным сточным водам.

В табл. 1 для примера приведены некоторые показатели качества воды одной из небольших рек Англии, взятые из отчета бассейнового комитета.

Весьма загрязнены многие каналы. Так, в воде Манчестерского судоходного канала полностью отсутствует растворенный кислород, величина БПК₅ доходит до 21.4—60.9 мг/л.

Значительно загрязнены крупные реки Англии — Темза, Северн, — служащие источниками водоснабжения таких крупных городов, как Лондон, Оксфорд, Ковентри. Вторая по величине река Англии Северн получает значительное загрязнение уже в верхнем течении. К месту водозабора для снабжения г. Ковентри с населением около 300 000 человек река приходит значительно загрязненной. Содержание аммонийного азота колеблется в пределах 0.6—1.8 мг/л, нитратного азота — 1.5—2.5 мг/л, количество сапрофитных бактерий от 5000 до 250 000 в 1 мл, титр кишечной палочки — 0.01—0.001. Для получения удовлетворительного качества вода подвергается сложной обработке на сооружениях, включающих биологический префильтр, обработку воды серноокислым алюминием, активированной кремнекислотой, высокой дозой активного хлора (5 мг/л), добавкой аммония, а также дехлорирование сернистым газом.

Крупнейшая река Англии Темза сильно загрязняется на всем протяжении. Уже в верхнем течении реки у места забора для водоснабжения г. Оксфорда вода плохого качества как по химическим, так и бактериальным показателям. Значительное загрязнение вносится в р. Темзу сточными водами г. Оксфорда, содержащими 15—20% промышленных сточных вод с высоким содержанием хрома и других металлов. Вновь построенные для очистки сточных вод сооружения снижают БПК₅ с 268 до 26 мг/л и содержание детергентов с 17 до 8 мг/л. Разбавление в реке составляет летом 1 : 20, содержание хлоридов повышается до 140 мг/л.

* БПК — биохимическое потребление кислорода. Цифры в индексе — число суток.

ТАБЛИЦА 1

Анализ воды р. Айвелл
24 июня 1957 г.

Расстояние от верхнего пучка, в км	Кислород, в % от насы- щенного	БПК ₅ , в мг/л	Вещь, в мг/л	Азот аммо- нийный, в мг/л
0	85	0.5	1	0.08
11.2	77	4.5	4	0.96
22.0	13	13.3	12	0.68
38.4	5	30.9	26	2.0
62.0	6	16.5	32	3.7

В р. Темзу выше Лондона поступают другие стоки как от населенных пунктов (на площади водосбора проживает более миллиона человек), так и от промышленности. Некоторые притоки реки берут свое начало от сброса сточных вод.

В нижнем течении р. Темза, находящаяся под воздействием приливно-отливных течений, не используется для водоснабжения. Вследствие сброса огромного количества сточных вод река здесь настолько загрязнена, что почти лишена кислорода. Анаэробные условия определяют агрессивные свойства воды в отношении судов и портового оборудования. В одном из судебных исков убытки судоходству от разрушения судов исчислены в 50 000 фунтов стерлингов (Pollution caused. . ., 1959). Вызывают осложнения неприятные запахи от реки. Проведены обширные исследования, задачей которых была разработка мероприятий по устранению загрязнений реки и создание благоприятного кислородного баланса.

В ФРГ большинство рек загрязнено на значительном протяжении. Наиболее трудное положение создано в бассейне р. Рура и других рек Рейнско-Вестфальской области. Высокая плотность населения, составляющая в бассейне р. Рура свыше 600 человек на 1 км², в бассейне р. Вуппера — около 1000 и в бассейне р. Эмшера — 3175 человек, и большое количество промышленных предприятий создают условия для ухудшения состояния рек.

В данное время только р. Рур сохранила свое значение как источник водоснабжения; реки же Липпе, Эмшер, Вуппер являются коллекторами бытовых и промышленных стоков. Значительные усилия затрачиваются на поддержание удовлетворительного качества воды в р. Руре: помимо большого числа сооружений для очистки бытовых и промышленных сточных вод, в верховьях реки созданы водохранилища, позволяющие получать в год для целей водоснабжения 285 млн м³ воды.

Для интенсификации процессов самоочищения в среднем течении реки устроено четыре запруды, из которых производится забор воды для водоснабжения. Несмотря на все усилия, качество воды в запрудах неудовлетворительно как по физическим свойствам, так и по бактериологическим показателям. Количество сапрофитных бактерий в воде обычно исчисляется десятками тысяч в 1 мл. Поэтому для целей водоснабжения используется вода не непосредственно из реки, а после фильтрации через почву.

К устью р. Рур приходит значительно загрязненной. По данным анализа 7 октября 1955 г. в 1 л воды содержалось: хлор-ионов — 96, сульфат-ионов — 77, аммония — 0.52, нитритов — 0.45, нитратов — 17.9 мг. По отдельным определениям величина БПК₅ в устье достигала 23.5, содержание никеля — до 0.5, цинка — до 2.8, хрома — до 0.01 мг/л. Содержание сапрофитных бактерий доходило до 2 200 000, кишечной палочки — до 30 000 в 1 мл.

Для контроля за качеством воды, работой очистных сооружений и состоянием водоемов проводятся многочисленные анализы лабораторией Рурского союза. В 1954 г. только этой лабораторией было проведено исследование 6624 проб воды (Bucksteeg, 1955). Кроме того, контрольную работу ведет Гигиенический институт Рейнской области в Гензелкирхене. По данным отчета за 1957 г., было проведено 9987 бактериологических, 5004 химических и 1574 биологических анализов водопроводной, речной и сточной воды. Несмотря на сложные технические мероприятия и систему контроля за качеством воды, в Рурском промышленном районе положение остается напряженным.

Сильно загрязнены не только малые реки промышленных районов ФРГ. Примером загрязненных крупных рек является р. Рейн, расход которой превышает в нижнем течении 1500 м³/сек. Рейн находится в благоприятных условиях в том отношении, что, имея истоки в Альпах, в значительной

мере регулируется в верхнем течении большим Боденским озером, вследствие чего отношение между максимальным и минимальным расходом в устьевой части составляет всего 19 : 1.

Река протекает по одной из наиболее плотнонаселенных и индустриально развитых частей Европы. Уже в верхнем течении, в Швейцарии, река, имеющая горный характер, получает заметное загрязнение хозяйственно-бытовыми и промышленными стоками. Значительное количество загрязнений р. Рейн получает из французских калийных рудников в Эльзасе и немецких угольных шахт в районе Липпе. Из указанных источников в реку поступает 43.4% общей нагрузки по хлоридам. Содержание последних в воде реки в период минимальных расходов поднимается до 275 мг/л. Повышенное содержание хлоридов представляет особую опасность в нижнем течении реки, где имеется влияние соленых морских вод. В среднем течении сбрасывается огромное количество органических загрязнений, особенно в районах Майна и Рура. В стоках содержится значительное количество фенолов и других производных ароматического ряда, присутствие которых в воде вызывает неприятные хлорфенольные и другие привкусы и запахи, особенно в периоды малых расходов и в зимнее время, когда биопроцессы в реке замедлены. Запахи и привкусы становятся особенно заметными в связи с тем, что в реку сбрасываются небольшие количества свободного хлора.

Ухудшение качества воды серьезно отражается на работе многих водопроводных сооружений, находящихся на берегу реки. Значительное загрязнение нефтью связано с развитым на реке судоходством. Купание в реке стало невозможным, и существовавшие ранее многочисленные пляжи закрыты. Серьезные убытки нанесены рыболовству, практически исчез некогда знаменитый лосось.

Ни одно из водопроводных сооружений не использует воду непосредственно из реки; местами водозабора служат скважины в аллювиальных отложениях на некотором расстоянии от берега. Первое время этот прием давал удовлетворительные результаты, но по мере того как под влиянием откачки уровень грунтовых вод понизился, увеличился приток речной воды к местам подземных водозаборов. Фильтрация воды через слои грунта дает удовлетворительные результаты в бактериальном отношении, но поглощения веществ, обуславливающих привкусы и запахи воды, в этих условиях не происходит; для устранения последних стало необходимым прибегать к активированному углю и озону.

Наличие в воде р. Рейна большого количества веществ, вызывающих привкусы и запахи, обусловило необходимость прибегнуть к биологическим фильтрам на водопроводных сооружениях в Роттердаме (Голландия). Так как последних оказалось недостаточно, пришлось строить новые сооружения для коагулирования и суперхлорирования.

Сильное загрязнение реки и тяжелые последствия, обусловленные ухудшением качества воды, вызвали создание Международной комиссии Люксембурга, ФРГ и Голландии. Комиссией проведено изучение состояния реки (1956 г.) и предложены способы улучшения качества воды. Планирование и реализация предложений по улучшению санитарного состояния реки встречают значительные затруднения (Kgul, 1957).

Несмотря на огромную работу по очистке сточных вод и по обеспечению населения доброкачественной питьевой водой, высокую техническую культуру водопроводов и сооружений по очистке сточных вод, квалифицированный персонал и постоянный контроль, эпидемиологическая опасность не устранена. Огромная концентрация промышленности и населения, при ограничении запасов чистой воды, неизбежно влечет за собой необходимость повторного использования воды в одном и том же цикле есте-

ственного круговорота со всеми вытекающими последствиями технического и экономического порядка. Случайные, но неизбежные прорывы в одном из многочисленных звеньев этой разветвленной цепи создают опасность эпидемических последствий.

Весьма загрязнено большинство рек в США. Сводные данные по этому вопросу приводятся в отчете Консультативного комитета по водным ресурсам (1956 г.). Особенно загрязнены крупные реки на востоке страны: Огайо, Потомак и др. Многие города, забирающие воду из крупных рек, фактически используют разбавленные сточные воды вышележащих населенных пунктов (Berger, 1960). Например, г. Цинциннати с полумиллионным населением полностью зависит в отношении водоснабжения от р. Огайо. Последняя наполовину состоит из воды, использованной, возможно, неоднократно городами и промышленными предприятиями, расположенными выше по течению реки. По данным Консультативного комитета (1955 г.), из 4403 городов в США 43% спускают сточные воды без всякой очистки в ближайшие водоемы, большинство предприятий (57% из общего числа 3413) спускают в водоемы неочищенные сточные воды (Shcwoh, 1955; Thoman a. Jenkins, 1958).

В 1956 г. на площади водосбора р. Миссури сбрасывали городские сточные воды 1163 муниципалитета с населением 4 млн человек. Промышленность, спускающая сточные воды в городские канализации, дает загрязнение, эквивалентное населению в 2.7 млн человек. Кроме того, промышленные стоки, сбрасываемые непосредственно в реки, дают загрязнение, эквивалентное населению в 10 млн человек (Porges, 1957). По данным Консультативного комитета, «водопроводные сооружения работают со страшным напряжением для того, чтобы давать воду, удовлетворяющую современным требованиям» (Ten gives. . ., 1951).

«Главные наши реки тяжело поражены, и загрязнение есть фактор, который может повлиять на любое использование водных ресурсов, будь то контроль над наводнениями, ирригация, гидростроительство, городское и промышленное водоснабжение или использование для отдыха» (Water resources. . ., 1955).

Давно уже обсуждается вопрос о повторном использовании воды для питьевого водоснабжения, причем все большее число авторов считает неизбежным использование не только промышленных, но и хозяйственно-фекальных вод (Berger, 1960; McCallum, 1963), особенно в засушливых районах.

В данное время эти рассуждения имеют некоторый материал из современной практики водоснабжения. Так, г. Оттамуа в штате Айова использовал для водоснабжения реку, которая на 60% состояла из неочищенной и загнившей сточной жидкости вышележащего города. Тяжелое положение создается в небольших городах, расположенных цепочкой вдоль малых рек в засушливой зоне. Случаи прямого использования хозяйственно-бытовых сточных вод имели место в городах Линдене и Чейнute (Metzler a. oth., 1958).

Летом 1956 г. в период засухи река, служившая источником водоснабжения для г. Чейнута, пересохла и возникли чрезвычайные трудности в снабжении 12 000 населения водой. Обсуждались и были отвергнуты предложения о прекращении снабжения водой промышленности, о бурении скважин, о доставке воды поездами и машинами и перекачке из соседней реки. Решено было в качестве источника водоснабжения использовать сточные воды г. Чейнута, которые проходят полную очистку на биофильтрах. Сточные воды после очистки поступали в небольшой пруд, из которого перекачивались на очистные сооружения водопровода, где подвергались предварительному хлорированию, коагуляции алюминием, содой и известью, рекарбонизации, отстаиванию, фильтрации через ско-

рые фильтры и повторному хлорированию. После нахождения в течение четырех с половиной часов в резервуаре вода подавалась в сеть. Полный цикл оборота воды составлял около 20 суток, в том числе 17 вода находилась в пруду. Такая система снабжения города водой существовала 5 месяцев.

Несмотря на сложную обработку, физические свойства воды были неудовлетворительны: вода была слабо-желтого цвета с затхлым запахом и привкусом, легко вспенивалась вследствие того, что содержание детергента в водопроводной воде поднялось до 4.4 мг/л. Содержание солей с 300 мг/л повысилось до 1.1 г/л, хлоридов — до 520 мг/л, повышения содержания сульфатов не отмечено, резко возросло количество натрия. Содержание фтора при эксплуатации нового источника водоснабжения настолько возросло, что отпала надобность во фторировании. Содержание аммонийного азота в питьевой воде доходило до 10 мг/л, количество нитратов повысилось незначительно.

Эпизод с водоснабжением г. Чейнута является ярким выражением той тенденции, которая в странах Запада все больше находит проявление в последнее время. Сточные воды начинают рассматриваться как источник пополнения ресурсов питьевых вод. В Англии это находит отражение в попытках утилизировать сильно загрязненные реки для пополнения запасов подземных вод, используемых для водоснабжения. В ФРГ повторное использование воды в одном и том же цикле естественного кругооборота находит применение в Рурской промышленной области. В засушливые годы расход воды в реке — единственном источнике водоснабжения — в несколько раз менее объема воды, забраемой из нее для питьевых и хозяйственных целей. При обсуждении условий водоснабжения в г. Чейнута было сделано предложение подыскать новый термин для очищенных сточных вод, используемых в целях хозяйственно-питьевого водоснабжения.

По мере появления новых отраслей промышленности задача охраны водоемов усложняется, так как возникают особые виды загрязнения. В данное время наибольшее внимание привлекают два новых вида загрязнений — радиоактивные вещества и детергенты. Эти виды загрязнения прямо противоположны в отношении возможностей их обнаружения. Радиоактивные вещества даже при весьма высоком уровне активности, в 100 раз превышающем допущенный, совершенно не меняют внешнего вида воды, не открываются органолептически и с большими затруднениями обнаруживаются методами химического анализа (Pellerin, 1958).

Загрязнение поверхностных вод современными моющими веществами — детергентами — представляет собой частный случай изменения свойств воды под влиянием продуктов современной химической промышленности. Наличие в воде даже небольшого количества детергентов становится заметным благодаря появлению пены. Образование пены происходит на очистных канализационных сооружениях, где огромные массы пены поднимаются на метр и более. Некоторые небольшие реки Англии (Эйвон и др.) бывают покрыты слоями белоснежной пены. Наиболее распространенный современный детергент ABS медленно разрушается при биологической очистке вод и, почти не задерживаясь, проходит через водопроводные сооружения. В связи с активным действием этого соединения на биологические объекты и другими отрицательными свойствами вопрос о детергентах привлекает серьезное внимание.

Приведенные выше примеры и сведения о состоянии водоемов в плотнонаселенных и развитых в индустриальном отношении странах указывают на значительное загрязнение поверхностных вод. Усиленная законодательная деятельность, организационные мероприятия по охране водоемов, конечно, не являются бесплодными, но результаты этой деятельности

скорее сказываются в снижении темпов загрязнения, чем в коренном оздоровлении и восстановлении первоначальной чистоты рек и озер

Основной причиной огромного загрязнения водоемов является бесплановое размещение промышленности и населения без учета водных ресурсов, без обеспечения потребностей населения и промышленности источниками водоснабжения.

Одним из важнейших препятствий к оздоровлению рек является деятельность крупных промышленников и могущественных корпораций, не желающих вкладывать средства в строительство и эксплуатацию очистных сооружений.

«К несчастью, только немногие предприниматели не используют своего влияния для того, чтобы чинить всевозможные препятствия решениям о строительстве и эксплуатации очистных сооружений» (Klein, 1957a, стр. 56). Один из отчетов Консультативного комитета содержит вопрос: «Почему эти тщательно разработанные фразы о национальной политике никогда не переводятся на язык действительности» (Water resource. . . , 1955, стр. 21). В качестве одной из причин указывается, что, хотя требования к очистке сточных вод в отдельных штатах весьма строги, выполнение их встречает трудности экономического характера. Некоторые штаты опасаются, что строгие требования к очистке сточных вод будут служить препятствием к развитию промышленности, так как предприниматели станут избегать делать вложения в пределах штата в связи с необходимостью затрат на очистку сточных вод.

Известную роль играет система взглядов научно-технических кругов на реки как очистные сооружения, особенно в США и ФРГ. Об этом можно судить по терминологии, обычно фигурирующей в литературе в применении к водоемам: «допустимая нагрузка», «предельная окислительная мощность», «технические реки» и пр. В последнюю категорию переходит все большее число водоемов. С этой точки зрения реки Советского Союза, особенно крупные, далеко еще «недогружены» и могут принять огромное количество загрязнений.

Загрязнение водоемов в целом по Советскому Союзу далеко еще не достигло той степени, как в США и западноевропейских странах (Key, 1956). Причины этого заключаются в том, что население и промышленность распределены на гораздо более обширной территории.

Безусловным преимуществом Советского Союза является многоводность рек; автор наиболее капитального труда о загрязнении рек Клейн (Klein, 1957b) высказывает суждение о том, что при наличии таких мощных водоемов, как Волга, не может даже возникнуть вопроса о загрязнении водоемов (Klein, 1957a). Некоторым преимуществом является режим рек на территории Советского Союза. Мощные весенние паводки — половодья — основательно промывают русла наших рек, полностью унося донные отложения, образующиеся при сбросе неочищенных сточных вод, таким образом устраняя одну из важных причин ухудшения санитарного состояния водоемов.

Имеет значение также сравнительно слабое развитие централизованного водоснабжения и канализации в нашей стране.

В силу всех указанных причин в нашей стране реки, по крайней мере служащие источниками водоснабжения городов, находятся в значительно лучшем состоянии по сравнению с западноевропейскими и североамериканскими.

К числу факторов, способствующих относительно благополучному состоянию поверхностных источников водоснабжения в СССР, несомненно следует отнести существующие строгие требования к выбору источников водоснабжения, регламентируемые ГОСТом 2761—57. Согласно существующему положению, изыскание и проектирование новых источ-

пиков водоснабжения должно предусматривать организацию зон санитарной охраны водопроводов и источников водоснабжения. Во исполнение указанных постановлений проводятся сложные организационные и технические мероприятия по предупреждению загрязнения и охране источников водоснабжения крупных городов и промышленных центров.

Одним из указанных мероприятий является устройство крупных каналов комплексного и специального водопроводного назначения. К числу наиболее сложных сооружений такого рода относится канал им. Москвы, обеспечивающий в основном потребности питьевого водоснабжения г. Москвы с шестимиллионным населением. Система охраны канала на всем протяжении и в особенности специально питьевых водохранилищ обеспечивает высокое качество воды (Могилевский, 1952). Это обстоятельство является особенно важным, так как канал имеет комплексное назначение и интенсивно используется для грузового и пассажирского транспорта. Основным фактором, обеспечивающим хорошее качество воды является запрещение сброса сточных вод, хотя бы очищенных, на всем протяжении канала (128 км). К сточным водам относятся нечистоты и хозяйственные отбросы судов, собираемые при прохождении по каналу в цистерны и опорожняемые в городскую канализацию по приходе на место назначения (Драчев, 1956).

К крупнейшим каналам водопроводного назначения относятся Северодонецкий, построенный для водоснабжения Донбасса, и Криворожский — для Криворожского промышленного узла. Для водоснабжения г. Иванова строится канал Волга—Увдъ общей протяженностью 50 км.

Наиболее грандиозным будет строящийся сейчас канал Иртыш—Караганда, который должен обеспечить хозяйственно-питьевое и промышленное водоснабжение Карагандинского промышленного узла и служить целям орошения. Протяженность канала 514 км, подъем воды по каналу в количестве 75 м³/сек. будет обеспечиваться 23 станциями перекачки на общую высоту 475 м.

Как показал опыт канала им. Москвы, путем системы предупредительных мероприятий и строгого их выполнения может быть обеспечено весьма высокое качество воды каналов комплексного использования.

Качество воды в реках в местах забора для крупных городов в большинстве случаев остается удовлетворительным не только по химическим, но и бактериологическим показателям. Однако имеется довольно много примеров значительного загрязнения участков крупных рек, расположенных у места забора воды. Высокое загрязнение р. Днепра в районе Днепродзержинского и Днепропетровского промышленных узлов отмечено уже давно. В последнее время загрязнение хозяйственно-фекальными и промышленными сточными водами настолько усилилось, что оказалось необходимым перенести водозабор в предплотинный участок водохранилища (Квитницкая, 1960). Загрязнение Волги у г. Ярославля вынудило перенести на значительное расстояние место городского водозабора. В трудных условиях работают водопроводные сооружения крупных волюжских городов Волгограда, Куйбышева и др. Загрязнение р. Северный Донец сточными водами завода синтетических жирных кислот ухудшает органолептические свойства воды харьковского водопровода. Появление посторонних запахов и привкусов в питьевой воде отмечается на одном из водопроводов г. Горького вследствие загрязнения воды р. Оки сбросами сточных вод химического комбината. Загрязнение р. Томи сбросами сточных вод металлургического комбината сказывается на качестве воды вплоть до г. Томска.

Значительное загрязнение по химическим и бактериальным показателям отмечается на зарегулированных реках с небольшим дебитом

у г. Магнитогорска (Дробышева, 1957) и водохранилищах на реках Шат и Любовка.

На крупных водохранилищах высокие показатели бактериального загрязнения отмечены на отдельных участках, как правило, в непосредственной близости от городов и населенных мест. Резкие изменения химического состава и бактериальных показателей отмечены в верховьях Каховского водохранилища (Рябов, 1958; Федий, 1958). Аналогичное явление отмечено на Рыбинском водохранилище вблизи г. Череповца (Сологуб, 1957).

Загрязнение водоемов наносит значительный ущерб рыбному хозяйству страны. По данным, приводимым в работе А. Г. Гусева (1957), ущерб, наносимый загрязнением рыбному хозяйству, исчисляется в 220—230 млн руб. в год в пределах только Волжского бассейна.

Загрязнение водоемов вызывает опасность распространения некоторых заболеваний, в первую очередь кишечных инфекций. Изучение заболеваемости населения в городах, расположенных по р. Иртышу (Карякин и др., 1960) показало более высокий уровень в городах, расположенных ниже по течению реки. Исследование причин высокой заболеваемости брюшным тифом в отдельных местностях обнаружило, что она связана со спуском в водоемы неочищенных сточных вод и употреблением населением недоброкачественной питьевой воды (Тимаков, Хазанов, 1959).

Имеются отдельные указания на убытки, причиняемые загрязнением рек промышленным предприятиям вследствие порчи качества воды и вынужденного перехода к новым источникам водоснабжения. Отдельные отрасли промышленности предъявляют весьма высокие требования к качеству используемой в производстве воды. Например, требования к котловой воде на тепловых электростанциях в отношении содержания органических веществ и аммонийного азота не менее высоки, чем к питьевой воде.

Почти не поддается экономическому учету ущерб, наносимый порчей качества воды в дачных, курортных местностях и внутри населенных пунктов. Особенно это относится ко внутригородским водоемам, наиболее загрязняемым и переходящим в категорию сточных канав. Значительные средства, затрачиваемые на перевод их в подземные водостоки, отнюдь не способствуют улучшению качества воды в них.

В целом в данное время загрязнение водоемов продолжает возрастать. Вполне отчетливо проявляются отрицательные последствия загрязнения водоемов, создающего реальную опасность здоровью населения, причиняющего огромный ущерб рыбному хозяйству, промышленности, препятствующего использованию рек и озер для отдыха, спорта, опустошительно воздействующего на естественную жизнь водоемов, уничтожающего их как одно из наиболее ценных и невозпроизводимых явлений природы.

Существующая система регулирования охраны водоемов от сброса сточных вод в виде одного из небольших разделов норм строительного проектирования (НСП-101) оказалась малоэффективной. В особенности недостаточной в юридическом и организационном отношении эта система оказалась в свете перспектив развития народного хозяйства, роста промышленности, городов, развития водоснабжения и канализации.

Непрерывный рост потребления воды для целей водоснабжения населения и промышленности и трудности их удовлетворения приводят к мысли, даже в условиях капиталистического хозяйства, о необходимости планового использования водных ресурсов. В данное время имеются попытки составления водного баланса и предположений на перспективу в 25, 50, 100 и более лет в различных странах. Такого рода попытки делаются в Голландии (Kruif, 1957), ФРГ, Англии, США и других странах. Имеются обширные материалы по этому вопросу в Польше и Чехословакии.

Все плановые предпосылки в области использования водных ресурсов исходят из предположения о росте потребления воды, в особенности поверхностных вод. Обычно принимается, что (как в абсолютных цифрах, так и в процентах) наиболее быстро увеличивается промышленное потребление воды. В табл. 2 приведено потребление воды в США по подсчетам фактического потребления за 1950 г. и по расчетам на 1975 г.

Сравнительно невысокий рост потребления воды для целей орошения объясняется недостатком воды, пригодной для использования по солевому составу. При рассмотрении данных о росте водопотребления для

нужд коммунального водоснабжения необходимо иметь в виду, что большая часть населения США была обеспечена водопроводами уже к исходной дате расчетов. Всего за 25-летний период намечено удвоение общего потребления воды. Принимая во внимание, что уже в начальный период в некоторых местностях источники водоснабжения были близки к истощению, а водные ресурсы не могут возрасти, можно понять то внимание, которое уделяется в США вопросам использования источников водоснабжения. При решении этой проблемы, которая нередко обозна-

ТАБЛИЦА 2
Потребление воды в США,
в м³/сек.

Виды потребления	1950 г.	1975 г.
Городское и сельское водоснабжение	800	1180
Промышленное водоснабжение	3800	10100
Орошение	4100	5130
Всего	8700	16410

чается как проблема номер один, большое внимание уделяется повторному использованию хозяйственно-фекальных и промышленных сточных вод. Большие надежды возлагаются на деминерализацию засоленных вод, вплоть до морской, и сохранению влаги путем борьбы с испарением.

В СССР вопросам водного баланса и составлению перспективных планов водопользования уделялось внимание в отдельных экономических областях, где недостаток источников водоснабжения сказывался наиболее резко, как например в Свердловской, Челябинской областях, Центральном районе, Донцком бассейне. Сделана попытка составления водного баланса по обжитой части СССР в настоящее время и в перспективе на предстоящий период. Некоторые данные по вопросу планирования и использования водных ресурсов будут приведены ниже (глава VIII). Необходимо отметить, что точных данных о количестве потребляемой в данное время воды в промышленности и городском хозяйстве не имеется. О темпах роста водопотребления для хозяйственно-питьевого водоснабжения и промышленности можно судить по росту промышленности и городского населения. За семилетие 1959—1965 гг. промышленная продукция возрастет в целом на 80% и по уровню производства некоторых основных видов продукции вплотную приблизится к США (чугун, сталь), а по другим превысит (уголь, цемент, шерстяные ткани). В течение 3—4 лет после выполнения семилетнего плана, по расчетам экономистов, наша страна в целом по объему промышленного производства оставит США позади. Если принять во внимание, что потребление воды промышленностью приблизительно пропорционально уровню производства, то приведенные в табл. 2 данные об ожидаемом потреблении воды промышленностью США в 1975 г. могут быть ориентиром для потребления в СССР.

В текущем семилетии весьма интенсивно будет увеличиваться количество городских сточных вод. В этом заключается существенное отличие от состава стоков, загрязняющих реки в США, где рост потребления воды промышленностью выше, чем для хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Создавшиеся трудности водоснабжения городов и промышленных центров страны и перспективы дальнейшего загрязнения водоемов привели к необходимости постановки вопроса об охране водоемов на новой основе, как планового государственного мероприятия, вызываемого не только нуждами текущего момента, но и перспективами развития промышленности и городов. Такого рода соображениями обосновано постановление Совета Министров СССР от 22 апреля 1960 г. «О мерах по упорядочению использования и усилению охраны водных ресурсов СССР». В основу комплексного использования и охраны водных ресурсов положено плановое потребление поверхностных и подземных вод. Для этого проводится учет поверхностных и подземных водных ресурсов по количественным и качественным показателям, разрабатываются водохозяйственные балансы и перспективные схемы использования и охраны водных ресурсов. Организованы специальные органы Советов Министров союзных республик по использованию и охране поверхностных и подземных вод с инспекциями по бассейнам основных рек на территории республик.

Новые организационные формы, обеспечивающие общегосударственный плановый подход к делу охраны поверхностных вод от загрязнения, безусловно создают предпосылки для решения трудной, но в условиях нашего строя, разрешимой задачи.

КАЧЕСТВО ПРИРОДНЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

Основным источником питания рек и озер служат атмосферные осадки — дождевые и снеговые воды. Для большинства рек преобладающим источником питания является дождевая и снеговая вода в виде так называемого элементарного, или склонового, стока после кратковременного соприкосновения ее с поверхностными слоями почвенного покрова. Частично метеорные воды поступают в реки после более или менее длительного подземного странствования в виде почвенного раствора, верховодки, грунтовых и артезианских вод. Некоторая часть атмосферных осадков попадает в водоемы при непосредственном выпадении на поверхность рек и озер. Эта часть осадков не может игнорироваться как источник питания, в особенности для водоемов озерного типа. Так, мелкие озера со средней глубиной 1.0—1.5 м в условиях средней полосы СССР получают около 50% питания за счет непосредственного выпадения атмосферных осадков на поверхность.

ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА

Минеральные и органические вещества, принесенные с атмосферными осадками, остаются в водоеме и могут играть заметную роль в балансе биогенных элементов и солевого состава.

В период проведения ядерных взрывов метеорные воды являлись основным фактором формирования состава радиоактивных веществ речной и озерной воды. В этот период содержание излучающих веществ в поверхностных водах возросло на несколько порядков. В данном случае весьма наглядно было показано изменение состава природных вод под влиянием факторов технического порядка. Таким образом, атмосферные осадки могут быть источником загрязнения. К веществам, попадающим из атмосферы, относятся органические и минеральные вещества, приносимые в водоем осадками из воздуха, загрязненного отходами промышленных предприятий. Особенно повышено содержание в дождевой и снеговой воде сульфатного и сульфитного иона, а также хлор-иона. Из органических загрязнений, наиболее неприятными являются фенолы и другие летучие продукты переработки твердого топлива.

Вдали от промышленных предприятий солевой состав атмосферных осадков определяется природными условиями — близостью моря, засоленностью почвенного покрова. Основным фактором является количество примесей в воздухе, промываемом атмосферными осадками.

Средние величины содержания взвешенных веществ и растворенных минеральных соединений в дождевой воде приведены в табл. 3.

ТАБЛИЦА 3
Состав дождевых вод, в мг/л

Соединения	По сводке В. И. Вернадского (1933, 1934, 1936)		По материалам Р. С. Вуррисер и др. (1952)	
	минимум	максимум	минимум	максимум
Сухой остаток	0.8	480	11.6	182.1
Кальций	0.6	54.0	5.0	21.8
Магний	0.01	1.3	0.5	28.1
Натрий	0.01	160.0	0.69	32.9
Хлор-ион	0.02	220.0	4.9	25.9
Сульфат-ион	—	88.0	0.57	26.9
Взвешенные вещества	7.1	40.0	—	—
Фосфор	0.00	0.39	—	—
Железо	0.002	0.18	—	—
Аммоний	—	16.0	—	—
Растворенный кислород	3.6	10.0	—	—
Йод	0.00009	0.079	—	—

Как видно из приведенных данных, состав метеорных вод значительно колеблется, в некоторых случаях концентрация растворенных соединений в дождевой воде может быть равной или даже превышать солевой состав речной и озерной воды. Так, вода Невы, несущая мощный сток (2600 м³/сек.) с обширных пространств, прилегающих к Онежскому и Ладожскому озерам, содержит 35 мг/л растворенных солей, что соответствует среднему составу метеорных вод.

Некоторые озера и реки Кольского полуострова, а также горные озера содержат 20—30 мг/л обычных компонентов солевого состава. Воды верховых болот имеют содержание солей, соответствующее обычной дистиллированной воде. При питании рек и озер водами от таяния снега и ледников состав растворенных соединений непосредственно отвечает солевому составу метеорных вод.

Существенные изменения солевого состава и свойств метеорных вод происходят при соприкосновении с почвенным покровом; этот момент можно считать вторым и важнейшим этапом формирования состава растворенных органических и минеральных соединений и взвешенных веществ. Характер взаимодействия между атмосферными водами и почвенным покровом зависит от многих факторов; одним из важнейших является присутствие растительности и ее свойства. В лесах и на лугах капли дождя сперва приходят в соприкосновение с наземными частями растений и лишь в дальнейшем стекают на почву. При отсутствии растительного покрова имеет место непосредственное воздействие дождевых вод на поверхностный слой почвы. При этом происходит прямой и тесный контакт капель дождя с почвенным покровом. По наблюдениям Н. Е. Долгова (1916), сток ливневой воды по поверхности в обычных летних условиях появляется только тогда, когда дождь достигает силы 0.5 мм/мин., при этом общее количество дождя для заполнения пор в поверхностном слое почвы должно быть не менее 15 мм. Тогда на поверхности склонов образуется бесчисленное множество стремнин, которые, то соединяясь, то разъединяясь, образуют ряд ручейков, впадающих в ближайший тальвег.

Результат взаимодействия дождевой воды с почвенным покровом резко различен в зависимости от того, просочилась ли метеорная вода в глубь почвы или скатилась по склону. Питание наших рек происходит в основном за счет сбегавшей непосредственно по поверхности почвы

дождевой или снеговой воды. Часть метеорных вод, просочившаяся в почву и перешедшая в категорию почвенных растворов, попадает в водомы через значительный промежуток времени и после взаимодействия с почвами, подстилающими материнскими породами и геологическими формациями.

Взаимодействие метеорных вод, стекающих по склону в реки и озера, обычно рассматривается с точки зрения растворяющего действия воды на легкорастворимые соли, находящиеся в поверхностном слое почвы. Фактически имеет место ряд сложных процессов воздействия воды на труднорастворимые соединения почв. При механическом действии капель дождя на открытую почвенную поверхность или размывающим действием потока метеорных вод происходит разрушение поверхности почвы — эрозия почвенного покрова. В зависимости от ряда условий вода уносит некоторое количество твердых частиц. Содержание взвеси в элементарном стоке обычно достигает 1 г/л и более. При этом в раствор переходят не только простые, легкорастворимые соли, но и некоторые количества труднорастворимых соединений. Как показали лабораторные опыты (Драчев, 1932), между объемом воды и количеством электролитов, переходящих в раствор из почвы, существует функциональная зависимость, выражаемая уравнением прямой:

$$x = y\sqrt{v} + b,$$

где x — количество растворимых электролитов на 1 кг абсолютно сухой почвы, в мэкв; y — постоянный коэффициент; v — весовое отношение воды к почве; b — количество легкорастворимых электролитов.

Для черноземных почв значение y колеблется от 0.7 до 2, для подзолистых — от 0.03 до 0.34.

Такого рода реакция происходит при гидролизе почвенного поглощающегося комплекса, который может рассматриваться как соединение сильного основания и слабой кислоты. В этом случае преобладает реакция гидролиза, а не растворение карбонатов, обычно отсутствующих в оподзоленных почвах и деградированном черноземе.

При взаимодействии метеорных вод с почвой в тех случаях, когда почвы содержат поглощенный водородный ион, может происходить даже поглощение некоторого количества оснований из дождевой воды (Драчев и др., 1939).

Возможно, адсорбционные явления обуславливают ничтожно малое содержание кальция и магния в водах верховых болот, где, по данным П. П. Воронкова и О. К. Соколовой (1949), сумма ионов составляет 4—6 мг/л при содержании кальция 1—2 мг/л и магния 0.1—0.5 мг/л. Столь малое количество минеральных солей, в частности кальция и магния, не было обнаружено ни в одном из образцов атмосферных осадков различных районов СССР (Бурксер и др., 1952).

В процессе воздействия поверхностного стока на почвы происходит формирование стока органических веществ, взвешенных соединений, включая и микроорганизмы. Содержание в речной и озерной воде органических соединений в значительной мере определяется характером почвенного покрова площади водосбора. Наибольшее значение имеет степень заболоченности, влияющая на режим водоема и качество воды. Вопрос о влиянии болот на режим водоема обсуждался в течение многих десятилетий. В настоящее время получены данные, доказывающие регулирующее действие заболоченных площадей в отношении снижения пиков паводковых расходов. Менее определены данные в отношении влияния заболоченных пространств на годовой сток (Соколовский, 1952).

Влияние заболоченности площади водосбора на качество воды весьма велико. Содержание растворенных и коллоидальных органических ве-

ществ, цветность воды, содержание соединений железа, кислородный режим водоема в основном определяются степенью заболоченности площади водосбора. Органический и минеральный состав воды Волги, Днепра, Оби определяется в значительной мере наличием болот в верховьях или среднем течении.

Из других факторов географической среды, оказывающих влияние на формирование рек и качество воды, кроме атмосферных условий (Воейков, 1948), наиболее важным является рельеф местности, дренируемой водотоком.

В плотнонаселенных и промышленно освоенных районах режим водоемов и качество воды в них определяются в значительной мере хозяйственной и бытовой деятельностью человека.

При рассмотрении вопросов охраны водоемов от загрязнения наиболее важно выяснение: а) гидрологического режима (количество воды в реке и распределение годового стока по сезонам года); б) содержания взвешенных веществ, в) количества растворенного органического и минерального вещества, г) кислородного режима.

Гидрологический режим

В Советском Союзе насчитывается более 100 000 рек с площадью водосбора свыше 100 км². По приближенным подсчетам, общее количество малых рек и ручьев достигает 1 млн.

Проведена большая работа по изучению природных водоемов и качества воды в них; имеются сводные работы, характеризующие такие важные свойства воды, как мутность (Лопатин, 1950), состав растворенных соединений (Алекин, 1951). Хорошо изучен средний сток воды в реках и его распределение по сезонам года (Зайков, 1946). Менее изучены реки в гидробиологическом отношении, слабо освещены вопросы, связанные с содержанием органического вещества.

Описание бассейнов рек, химического состава и физических свойств воды сведены в справочниках по водным ресурсам СССР.

Качество воды в реке теснейшим образом связано с расходами, измеряемыми обычно в кубических метрах в секунду. В качестве единицы измерения принимают годовой расход реки, выражаемый в миллиардах кубических метров в год или в кубических километрах. В связи с тем, что расход сточных вод обычно выражают в кубических метрах в сутки, иногда дают суточный расход воды в реке. Для перевода секундного расхода в суточный служит коэффициент 86 400, для пересчета на годовой расход — 31 557 000 в соответствии с числом секунд в сутках и астрономическом годе.

Ухудшение качества воды наблюдается обычно как при высоких уровнях во время паводочного периода, так и при значительных понижениях расходов в засуху и при сильных морозах. В связи с этим является удачной предложенная Б. Д. Зайковым классификация рек СССР на основе режима стока на протяжении года. На большей части нашей страны гидрологический режим водоемов связан с таянием снегового покрова, аккумулирующего значительную часть осадков, выпадающих в течение года. Таяние снега обуславливает период половодья, в течение которого в реке проходит больше половины годового стока, а в некоторых случаях — до 90%. В качестве примера распределения годового стока в табл. 4 приведены данные по крупным рекам СССР.

В зависимости от времени и характера наступления периода высоких расходов воды реки разделены на три группы: с весенним половодьем, с половодьем в теплую часть года, с паводочным режимом. Каждая из трех групп разделена на несколько типов. Наиболее широко распростра-

пены в СССР реки первой группы, с весенним половодьем. В первой группе намечено пять типов: казахстанский, восточноевропейский, западносибирский, восточносибирский и алтайский, названия определяют преимущественную территориальную распространенность каждого типа.

Восточноевропейский тип характеризуется высоким весенним половодьем, связанным со снеготаянием. В зимний и летний меженьный периоды расходы малы, в осенний период отмечается сравнительно слабо выраженный паводок. Характерный ход изменений расхода воды в р. Волге, у г. Калинина, изображен на рис. 1, аналогичный характер имеет расход воды в реках на большей части европейской территории СССР.

Казахстанский тип режима расходов в общем близок к изображенному на рис. 1. Отличия от восточноевропейского типа заключаются в отсутствии осеннего паводка и крайне низком стоке в течение зимнего периода; такого рода режим имеют реки в Центральном и Западном Казахстане и южном Заволжье.

ТАБЛИЦА 4				
Распределение расхода воды по сезонам в реках различного типа, в % от годового расхода				
Река		Весна (IV—VI)	Лето— осень (VII—X)	Зима (XI—III)
Волга (у Куйбышева)		63	21	16
Амур (у Комсомольска)		17	77	6
Нева (у Ленинграда)		28	39	33

Реки, принадлежащие к западносибирскому типу, отличаются растянутым, значительно смягченным весенним половодьем, ровным расхо-

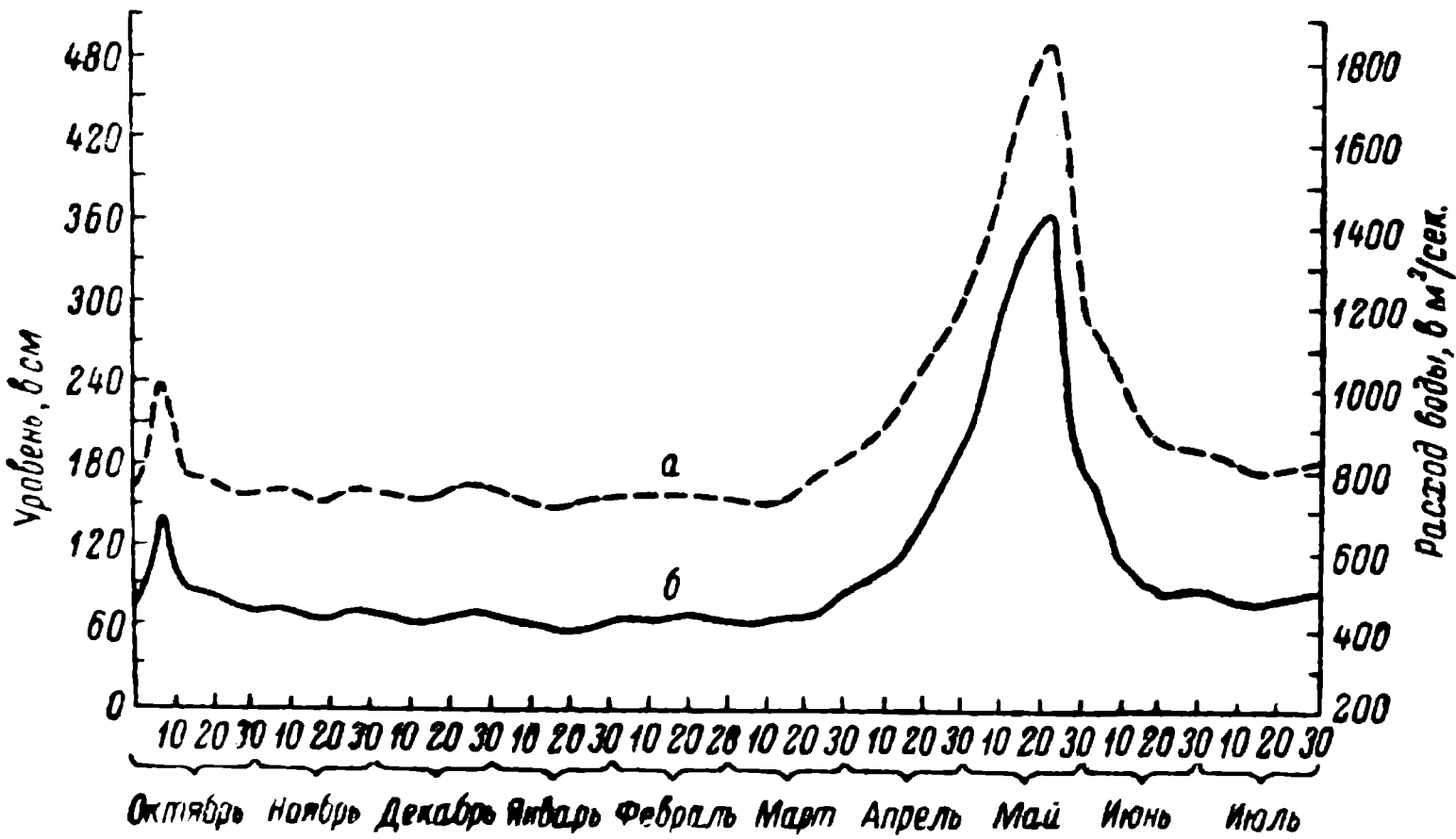


Рис. 1. Гидрограф равнинной реки с весенним половодьем.

а — уровень воды, б — расход воды.

дом воды в летне-осенний период и низкими расходами в течение зимы. Отсутствие резко выраженного подъема воды весной объясняется наличием многочисленных болот и озер, задерживающих внешние воды.

Для восточносибирских рек, расположенных к востоку от Енисея и к северу от Саян, характерен сравнительно высокий пик весеннего половодья и летние дождевые паводки.

Реки Алтая и реки на склонах Южного и Юго-Западного Кавказа принадлежат к алтайскому типу, который отличается сравнительно невысоким растянутым половодьем, повышенным осенне-летним стоком и низким стоком зимой.

Для рек, питающихся за счет таяния ледников, характерно половодье в теплую часть года (рис. 2). К этому типу относятся крупнейшие реки Средней Азии — Аму-Дарья и Сыр-Дарья.

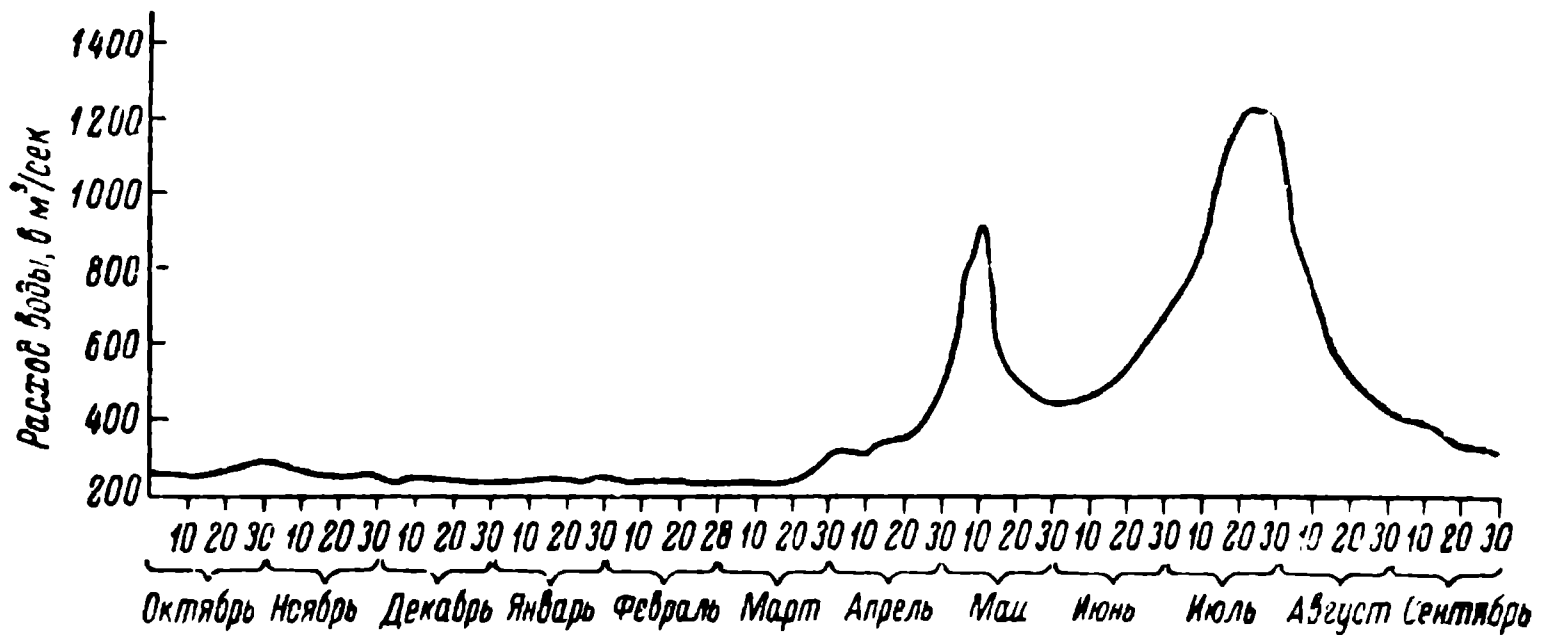


Рис. 2. Гидрограф реки с половодьем в теплое время года.

Своеобразный режим расхода имеют дальневосточные реки, которые характеризуются многочисленными паводками в течение всего весенне-летнего периода, особенно интенсивные паводки приходятся на летние месяцы, что связано с обильным выпадением дождей в период прохождения муссонов. Реки Витим и Зея принадлежат к этому типу. К этому же

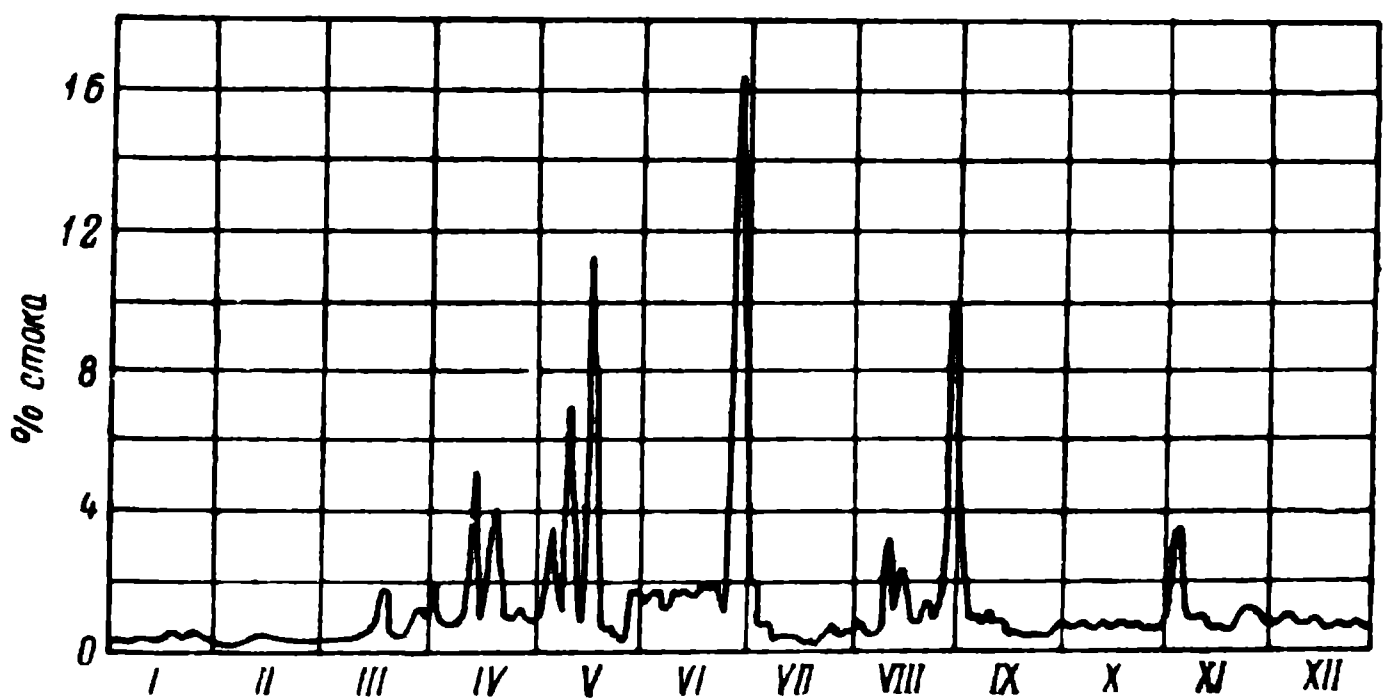


Рис. 3. Гидрограф реки с паводочным режимом.

типу относятся горные реки Средней Азии, Центрального Кавказа и Камчатки, но летние паводки на этих реках не достигают величин, характерных для дальневосточного типа, и зимний сток здесь более обеспечен.

Для рек так называемого причерноморского типа характерны паводки в течение всего года при отсутствии периода половодья (рис. 3). В горной части Крыма, в Ленкорани, а также на западной оконечности северного склопа Большого Кавказа паводки происходят чаще всего в зимне-осенний период.

Изменение расхода воды в реке является одним из основных характерных признаков, связанных с уровнями воды, скоростью течения, количеством взвешенных веществ, химическим составом и газовым режимом водоемов. Содержание взвешенных веществ, определяющее мутность воды, тесно связано с количеством воды, поступающим в реку с площади водосбора. В периоды паводков и в особенности во время половодья скорость течения сильно возрастает. В равнинных реках средняя меженная скорость колеблется в пределах 0.2—0.9 м/сек., в паводочный период скорость течения обычно превышает 1 м/сек. В соответствии с этим количество взвешенных веществ возрастает от 0.2—0.3 до 1 г/л и более. Прозрачность воды, составляющая обычно в меженный период 20—30 см, по диску Секки, в перпод паводка понижается до нескольких сантиметров.

Для периода половодья характерно резкое снижение содержания растворенных соединений; в равнинных реках вода содержит минимальное количество растворенных веществ в половодье, максимальная минерализация падает на конец зимней межени. В отношении содержания взвешенных веществ наблюдается обратное явление: по мере увеличения расхода возрастает относительное и абсолютное содержание взвеси. В многоводный год в Волге, у г. Ярославля, среднегодовое содержание взвешенных веществ составляет 45.3 мг/л, а в маловодный год — только 20 мг/л. Распределение взвешенных веществ по сезонам весьма неравномерно: в Волге, у г. Чкаловска, весеннее половодье несло 79% годового стока взвешенных веществ, лето и осень дают 19.5%, а зима — 1.5% (Россолимо, 1953).

Содержание взвешенных веществ в реках на территории СССР изучено довольно подробно, в особенности в пределах европейской части. Карта твердого стока для территории европейской части СССР построена по данным наблюдений за содержанием взвешенных веществ в 467 пунктах (Лопатин, 1941). Для всей территории СССР составлена карта зон мутности (рис. 4) по данным наблюдений в 778 пунктах (Шамов, 1956).

Как видно, для всей территории СССР по мутности воды в реках выделено 7 зон, из которых наибольшую площадь занимают 3. Первая зона с мутностью менее 50 мг/л отвечает географическим зонам тундры и леса. Вторая — 50—150 мг/л — имеет наибольшее распространение в пределах средней полосы СССР, захватывая южную часть лесной зоны, в районе Средне-Русской возвышенности, в азиатской части территории СССР зону лесостепи Западной Сибири и Северного Казахстана, а также почти весь Дальний Восток. Таким образом, большая часть азиатской территории СССР относится к зонам мутности менее 50 мг/л и от 50 до 150 мг/л.

Третья зона — 150—500 мг/л — занимает в основном степные районы европейской части СССР, часть Заволжья и в азиатской территории СССР — часть Прикаспийской низменности и полупустынную зону Центрального Казахстана.

Наибольшей мутностью отличаются реки, берущие начало в горных районах Кавказа и Средней Азии. Из крупных рек наиболее высокую мутность имеет вода р. Аму-Дарья, среднегодовая величина содержания взвеси составляет 3400—3600 мг/л. Максимальные величины среднегодовой мутности отмечены на реках восточной части Большого Кавказского хребта, наивысшую среднегодовую мутность на территории СССР имеет р. Аксай — 11 700 мг/л.



Растворенное минеральное и органическое вещество

Содержание растворенных минеральных соединений в реках СССР хорошо изучено. Систематические многолетние исследования, проводившиеся Государственным гидрологическим институтом, позволяли О. А. Алекину (1951) составить карту величины минерализации рек СССР (рис. 5).

Все реки СССР разделены на 4 категории по величине содержания растворенных солей: 1) с малой минерализацией (до 200 мг/л), 2) со средней минерализацией (200—500 мг/л), 3) с повышенной минерализацией (500—1000 мг/л), 4) с высокой минерализацией (свыше 1000 мг/л).

Как видно из карты, огромное большинство рек СССР относится к группам со сравнительно малой минерализацией. По характеру растворенных соединений преобладающая часть водоемов СССР принадлежит к числу гидрокарбонатных и карбонатных (Бруевич, Аничкова, 1941). Лишь более минерализованные воды рек содержат значительное количество сульфатного иона, и наиболее минерализованные относятся к группе хлоридных вод. Многие крупные реки СССР, в особенности текущие в северном направлении, например Печора, Обь, Енисей, Лена, имеют минерализацию менее 100 мг/л. В табл. 5 приводятся данные о средне-

ТАБЛИЦА 5

Среднее содержание растворенных веществ в воде
главнейших рек в пределах СССР

Реки	Средневзвешенная годовая величина минерализации, в мг/л	Средний расход воды, в 1000 м ³ /сек.	Реки	Средневзвешенная годовая величина минерализации, в мг/л	Средний расход воды, в 1000 м ³ /сек.
Нева	35.0	2.6	Кубань	177	0.36
Печора	42.4	4.1	Волга	182	8.0
Енисей	53.8	17.4	Дон	222	0.9
Амур	54.0	11.0	Кура	244	0.58
Обь	76.6	12.5	Южный Буг	262	—
Лена	84.6	15.5	Терек	281	0.35
Днепр	153	1.7	Урал	302	0.36
Северная Двина	156	3.8	Аму-Дарья	422	1.3
Риони	166	0.43	Сыр-Дарья	432	0.43

взвешенных величинах годовой минерализации речного стока в наиболее крупных реках СССР.

Данные о среднегодовой минерализации в возрастающем порядке сопоставлены с среднегодовыми величинами расхода воды.

В основном речной сток мало минерализован; средневзвешенная годовая минерализация менее 100 мг/л характерна для 6 крупных рек с суммарным средним расходом в 63.1 тыс. м³/сек., что составляет 80% от расхода всех рек, приведенных в таблице. Минерализацию от 100 до 300 мг/л имеют 9 рек с суммарным расходом в 14.8 тыс. м³/сек. — около 18% и лишь реки Урал, Амур и Сыр-Дарья с суммарным расходом 2.1 тыс. м³/сек. имеют концентрацию 300—400 мг/л.

Характеристика минерального стока рек дана в отношении основных 5 ионов (кальция, магния, бикарбонатов, сульфатов и хлоридов). При исчислении содержания растворенных минеральных соединений бикарбонатный анион (HCO_3^-) пересчитан на CO_3^{2-} . Суммарное количество щелочных оснований калия и натрия определялось по разности между

апионами и щелочноземельными металлами и, следовательно, условно. Менее изучено содержание соединений азота, фосфатов и калия, имеющих весьма существенное значение для развития биологических процессов и связанных с продуктивностью водоема. Вмешательство человека в природные процессы изменяет содержание и формы соединений азота и фосфора в водоемах.

По сравнению с минеральным составом менее изучены органические вещества, имеющие во многих отношениях более важное значение, чем степень минерализации воды. В основном имеется два источника органических веществ в водоеме: часть органических веществ поступает в водоем извне, главным образом при смыве с водосборной площади, а часть образуется в самом водоеме. В районах развития ветровой эрозии могут иметь значение органические вещества, приносимые ветром. Некоторая часть органических веществ, поступающая в водоем, находится в растворенном состоянии, часть в виде взвесей. При заболоченности площади водосбора весьма существенное значение имеет органическое вещество, поступающее в водоем в виде гуминовых соединений. Последние являются продуктами сложных процессов превращения органического вещества в основном растительного происхождения. Часть органического вещества образуется в самом водоеме в результате развития автотрофных растений, обладающих способностью синтезировать органическое вещество из минеральных соединений. В реках, особенно с быстрым течением, условия для развития автотрофных организмов малоблагоприятны. Высшие растения, развивающиеся в прибрежной зоне и прикрепленные ко дну, и свободно плавающая растительность обычно встречаются в заливах, затомах и других местах с замедленным течением. Очевидно, поэтому имеется сравнительно мало данных о количестве первичной продукции в реках. Рассматривая эту проблему Г. Г. Винберг (1960) детально освещает вопросы первичной продукции озер, прудов и морей, но не текучих водоемов. О масштабе этого явления дают представление вычисленные Г. Г. Винбергом данные (табл. 6).

ТАБЛИЦА 6

Вероятные величины годовой первичной продукции планктона озер Московской и Калининской областей

Группы озер	Годовая продукция, O_2 с 1 м ² поверхности
Озера Селигер, Медвежья и другие эвтрофные озера этого района	200—500
Мезотрофные озера бассейна р. Мсты в районе г. Вышнего Волочка	100—300
Центральные озера из группы Петровских озер Калининской области	85—150
Низкопродуктивные глухие Петровские озера	85

При глубине водоема в 10 м величина первичной продукции органического вещества за год составит 8.5—50 мг/л (в пересчете на O_2), что вполне сопоставимо с величиной окисляемости речной и озерной воды. При распаде органического вещества, образовавшегося в водоемах, могут получаться сравнительно стойкие соединения, возможно, аналогичные гуминовым соединениям почв.

Качественно различают два типа процессов, ведущих к образованию гуминовых веществ. Превращения, связанные с лигнином и дубильными веществами, ведут к образованию лигнинно-протеинового комплекса темноокрашенных соединений. При преобладании в исходных материалах пектиновых веществ образуются светлые продукты, более подвижные

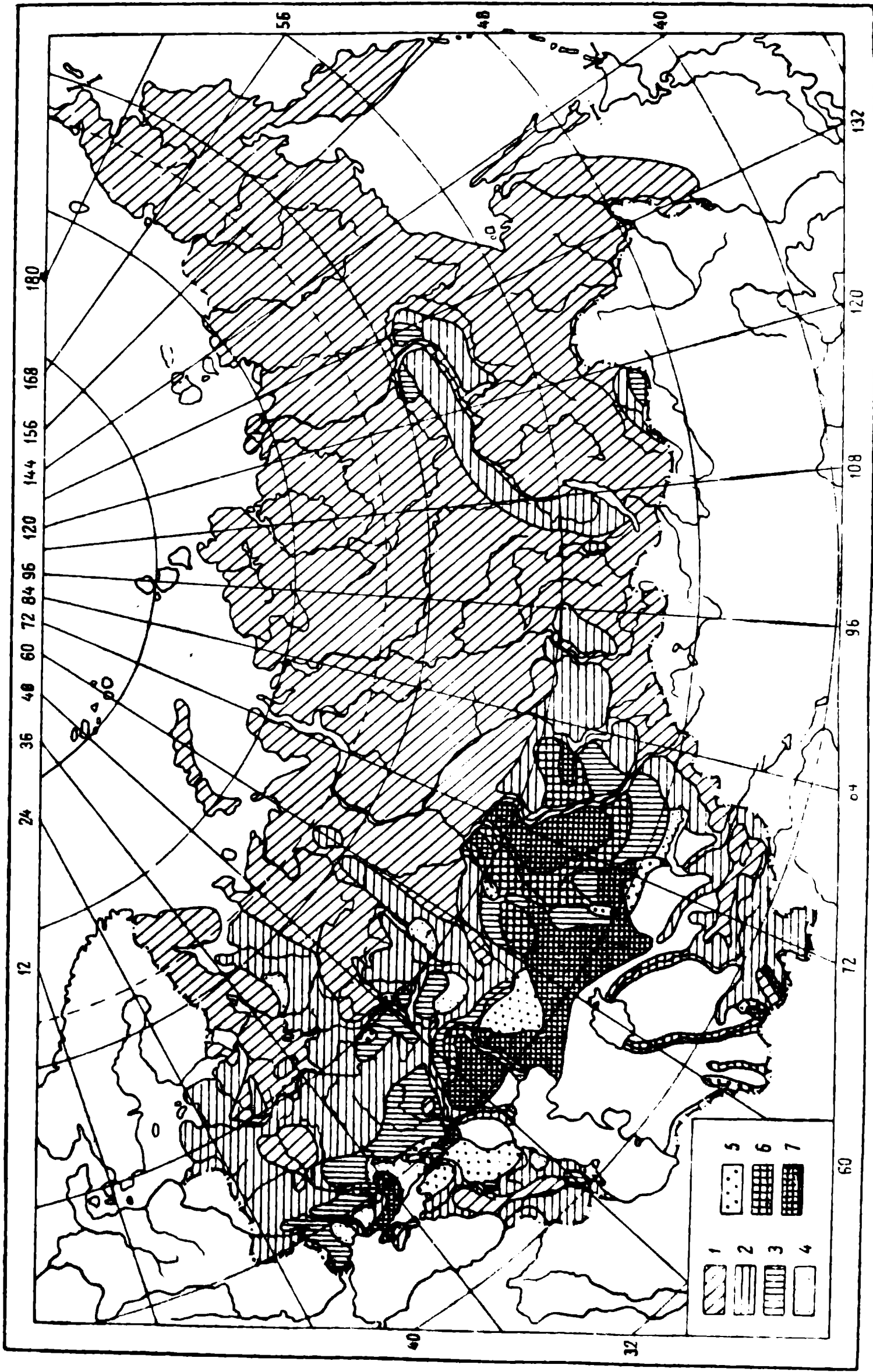


Рис. 5. Гидрохимическая карта рек СССР.

Воды гидрокарбонатного класса с суммой ионов 1 — до 200 мг/л, 2 — 200 — 250 мг/л, 3 — свыше 250 мг/л, воды сульфатного класса с суммой ионов 4 — 200 — 1000 мг/л, 5 — свыше 1000 мг/л, воды хлоридного класса с суммой ионов 6 — 500 — 1000 мг/л, 7 — свыше 1000 мг/л.

и растворимые. Креповые и апокреповые кислоты, поступающие в водоемы с грунтовыми водами в силу большой растворимости «ключевых» кислот, возможно ближе по своему составу к веществам природных вод.

Окрашенные органические гуминовые вещества, определяющие весьма важное свойство воды — цветность, в основном аллохтонного происхождения, т. е. образованы вне водоема и приносятся поверхностным стоком с заболоченной площади водосбора. Крупнейшие реки Волга и Днепр на всем протяжении вплоть до устья несут отпечаток своего зарождения среди обширных заболоченных пространств. Обь, образуемая путем слияния двух горных рек Катунь и Бия, при прохождении через заболо-

ченные пространства в бассейне р. Васьюгана и других получает такое количество органических веществ, что, несмотря на впадение мощного притока р. Иртыш, сохраняет высокое содержание окрашенных органических веществ, органического углерода и азота.

Наиболее богаты органическими веществами воды, генетически связанные с болотами торфяных карьеров, болотных озер и ручьев. По данным Н. П. Воронкова и О. К. Соколовой (1949), исследовавших поверхностные стоки Карельского перешейка, в воде ручья Болотного найдены величина окисляемости 51.1 мг/л кислорода, цветность 430°, при сумме ионов всего 4.2 мг/л. В воде ручья Заячьего величина окисляемости

составляла в кислороде 39.2 мг/л, при цветности 310°, сумма ионов равнялась 7.4 мг/л.

В воде р. Припяти, крупнейшего притока Днепра, в июле—августе 1953 г. величина перманганатной окисляемости была в пределах 18.5—27.0 мг/л, величина биохроматной окисляемости — в пределах 34.8—59.5 мг/л. Еще более высокие величины получены для притоков р. Припяти, как это видно из данных П. В. Остапени (1959) (табл. 7).

Данные табл. 7 относятся к летнему периоду, наибольшее содержание органического вещества в воде рек обычно наблюдается в паводочный период и особенно в период половодья. Основная масса органического вещества находится в растворенном или в тонкодиспергированном состоянии. Отличительной чертой органического вещества, поступающего в реки с заболоченной площади водосбора, является высокое содержание углерода. Величина перманганатной окисляемости довольно точно отвечает содержанию последнего (Крылова, Скопичев, 1959). В равнинных реках основная масса органического углерода находится в растворенном состоянии (в среднем 79%). В горных реках Кубани, Риони, Тереке, Кура содержание растворенного углерода составляет всего 5—23%.

Органическое вещество, растворенное в воде рек с высокой цветностью, содержит сравнительно мало азота. Среднее отношение углерода к азоту в реках, богатых гуминовыми веществами, составляло, по данным Т. В. Дышко и Б. А. Скопичева (1959), для Северной Двины — 25, для Волги — 16.8, для Днепра — 15.2.

Для рек Дона, Кубани, Невы это отношение было весьма близким к тому, которое обычно бывает в почвенном гумусе, — 10 : 1.

Характерным признаком органического вещества гуминового типа является способность к окислению химическими реагентами (перманганат, биохромат, сульфат церия, активный хлор). По отношению к окисляющему действию биологических агентов природные органические вещества являются довольно стойкими.

Колебания качества воды в реке по сезонам года во многих случаях превосходят разницу между реками различных географических районов. Подавляющее большинство рек в паводочный период содержит большое количество взвешенных веществ, имеет повышенную окисляемость, цветность и минимальное количество растворенных веществ. По составу растворенных соединений паводочные воды принадлежат к карбонатно-кальциевому классу, что, как указывалось выше, может быть объяснено реакцией гидролиза труднорастворимых соединений, в том числе и поглощающего комплекса. К карбонатному классу относятся склоновые воды лесной и даже тундровой зоны, так же как и пустынь, скопляющиеся на глинистых понижениях рельефа. Наибольшие отличия проявляются в период весенних паводков в содержании растворенного органического вещества гуминового характера. В реках, на площади питания которых много заболоченных пространств, в период половодья и дождевых паводков резко возрастает цветность, достигающая величин порядка 60—100°.

В меженьный период влияние характера площади водосбора проявляется более рельефно, особенно на реках с малой площадью водосбора.

Кислородный режим

Содержание гуминовых соединений связано тесным образом с кислородным режимом водоемов. Хотя органическое вещество природных водоемов является стойким в отношении окисления биологическими агентами, процесс этот происходит непрерывно и является одной из причин пониженного содержания кислорода. Такого рода закономерность отмечена на шведских и североамериканских озерах.

Дефицит кислорода, проявляющийся в летнее время, несмотря на непрерывное пополнение за счет поступления из воздуха, особенно резко сказывается зимой, когда реки покрыты ледяным покровом. Замор рыб зимою чаще всего происходит в водоемах, содержащих большое количество гуминовых соединений. Основной причиной понижения содержания кислорода в гуминовых реках является то обстоятельство, что вода, поступающая из заболоченных пространств, практически лишена кислорода и содержит восстановленные соединения железа и марганца.

При малом содержании растворенного кислорода, в условиях анаэробнозиса, начинают усиленно сказываться восстановительные процессы в донных отложениях, в особенности если последние богаты органическим веществом. Вода насыщается газообразными продуктами анаэробных процессов — метаном, углекислотой, сероводородом. Последний газ отчасти связывается с растворенными в воде основаниями, частично находится в свободном состоянии.

В некоторых условиях заморные явления на реках болотно-озерного питания наблюдаются зимой систематически, захватывая большие участки реки, и приводят к гибели рыбы. На других реках с преобладанием озерно-болотного питания, как например на Волге, в верхнем течении р. Мологи, заморные явления проявляются только в отдельные годы. Иногда заморы имеют место на Днестре, питание которого в верхнем течении носит ярко выраженный болотный характер. Основной причиной заморов является характер ледового покрова. В суровые зимы река рано замерзает, лед достигает большой мощности на всей поверхности водоема, включая участки, обычно не замерзающие в силу особенностей течения

(быстрыны) или в местах выходов подземных вод. Вследствие этого поступление кислорода воздуха, весьма интенсивно проходящее через промоины и полыньи, прекращается и явления, связанные с изменением газового режима водоема, получают развитие вплоть до крайнего проявления — гибели рыбы.

Фактором, способствующим замору рыб, является снижение расходов воды в реках в суровые зимы, особенно если в предшествовавшую осень выпадало мало осадков.

Причиной отсутствия кислорода является, по одним предположениям, окисление органического вещества, по другим — расход кислорода на окисление восстановленных соединений железа и марганца. Еще в старых описаниях (Поляков, 1877) явление заморов связывалось с изменением цвета, вкуса и запаха воды: «По всему нижнему течению Оби вода зимою начинает краснеть; она имеет тогда неприятный вкус и выделяет пузыри. Раньше всего вода замирает в Обдорске и Полуе, где даже лед дает горькую неприятную на вкус воду. Поэтому зимой обдоряне ездят за льдом на р. Обь за несколько верст от села» (стр. 51).

Содержание железа и марганца в р. Обь и ее притоках в зимнее время возрастает, в отдельных притоках доходя до 10 мг/л (р. Кеть). На участке реки между впадением р. Кеть и р. Нарыма ранее всего проявляются заморные явления и держатся наиболее длительно. От этого участка заморные явления распространяются вниз по реке и в районе Обской губы проявляются в марте—апреле. Замор рыб наблюдается также в вышележащем участке реки, захватывая в некоторые годы низовья Иртыша.

Содержание кислорода в реке в период заморных явлений падает до десятых долей миллиграмма на литр. Поступление кислорода из воздуха резко ограничивается мощным ледяным покровом. Немногочисленные полыньи могут служить источником кислорода, но последний быстро расходуется на окисление закисных соединений (Мосевич, 1947). Частично кислород идет на окисление органического вещества. Величина окисляемости в летнее время в воде р. Оби составляет 17.7—42.3 мг/л O_2 . Но окисление органического вещества протекает весьма замедленно, особенно при низких температурах. В этом отношении можно привести результаты опытов с водой Клязьминского водохранилища, содержащей довольно значительное количество гуминовых соединений. По химическому составу вода характеризуется невысоким солевым составом: сухой остаток — 81.2 мг/л, щелочность — 1.9 мг-экв., жесткость общая — 2.0 мг-экв., хлоридов — 3.5 мг/л, окисляемость воды — 11 мг/л, взвешенных веществ — 3.2 мг/л. Для изучения потребления кислорода при температуре, близкой к 0° , испытываемая вода разливалась в склянки с притертой пробкой и опускалась под лед. Через определенное время склянки по очереди вынимались и производилось определение растворенного кислорода. По данным из серии опытов установлено, что при температуре воды от -0.2 до $+0.3^\circ$ потребление кислорода за пять суток составляет 0.1—0.2 мг/л и менее. При более длительных опытах (75—160 дней) величина потребления кислорода, как это видно на рис. 6, не превышала 2.5 мг/л. Таким образом, роль процессов окисления органического вещества природного происхождения невелика, но за весь зимний период может достигнуть ощутимой величины.

Основной причиной резкого дефицита кислорода в зимний период является питание реки грунтовыми водами, лишенными кислорода (Зенин, 1961). Наличие плотного ледяного покрова в зимний период, изолирующего поверхность реки от атмосферы, прекращает процесс аэрации. Такого рода явление наблюдается во всех случаях, когда грунтовые воды, питающие реку, попадают в условия, ограничивающие или прекращаю-

щие поступление кислорода из воздуха. Особенности кислородного режима малых рек и изменения качества воды, с ними связанные, могут быть показаны на ряде примеров. Типичные изменения химического состава, физических свойств и кислородного режима получены при наблюдениях на реках Сходне и Уче в Подмосковье.

Реки с малым расходом — Уча и Сходня — характеризуют два типа рек, отличающихся по преобладающему типу питания: озерно-болотного и подземного. Повышенное содержание органического вещества, растворенного и коллоидально связанного железа, марганца, определенно выраженный дефицит кислорода характеризуют реки с преобладанием озерно-болотного питания. Реки, берущие начало от выходов грунтовых вод, в глубоких оврагах отличаются повышенной минерализацией, меньшим содержанием органического вещества. Почти не имея кислорода при своем зарождении, реки этого типа вскоре насыщаются кислородом и при незначительном расходе его в дальнейшем остаются в состоянии, близком к насыщению.

Река Сходня, левый приток р. Москвы, длиной 38 км, площадью питания 251 км² имеет расход в меженный период 0.5—1.0 м³/сек. На пло-

щади водосбора развиты слабоподзоленные почвы. Река имеет грунтовое питание, протекает большей частью по дну глубокого оврага. В силу питания грунтовыми водами и довольно быстрого течения река в среднем и нижнем течении почти не замерзает. Вода реки почти не содержит окрашенных органических веществ, цветность воды колеблется в пределах 2—5°, окисляемость — 1.3—1.8 мг/л, жесткость — 6—8 мг-экв.

Река Уча, левый приток р. Клязьмы, в верховьях протекает по равнинной местности среди плоских заросших растительностью берегов, при слабом, в некоторые периоды еле заметном течении. По солевому составу вода реки является более мягкой: колебание щелочности за зимний период составляло 2.7—3.4 мг-экв. Величины общей и карбонатной жесткости, особенно во вторую половину зимы, почти совпадали. В соответствии с питанием поверхностными водами содержание органического вещества и цветность воды в начале зимы были более высокими: цветность — 27°, окисляемость — 19.8 мг/л. К концу зимы, очевидно, в силу поступления воды из более глубоких слоев отмечено значительное понижение цветности и окисляемости. Характерной особенностью зимнего режима р. Учи является низкое содержание кислорода, падавшее до 0 и не превышавшее 4.4 мг/л. Во вторую половину зимы отмечено появление сервистых соединений, чему предшествовало полное исчезновение нитратов. Резкое снижение содержания кислорода в воде р. Учи было отмечено уже в ноябре и продолжалось до первой половины марта следующего года. Сравнительно тонкий ледяной и снежный покров оказался достаточным для поддержания в реке анаэробных условий. Маломощные притоки в верховьях р. Учи зимою также оказались лишенными кислорода.

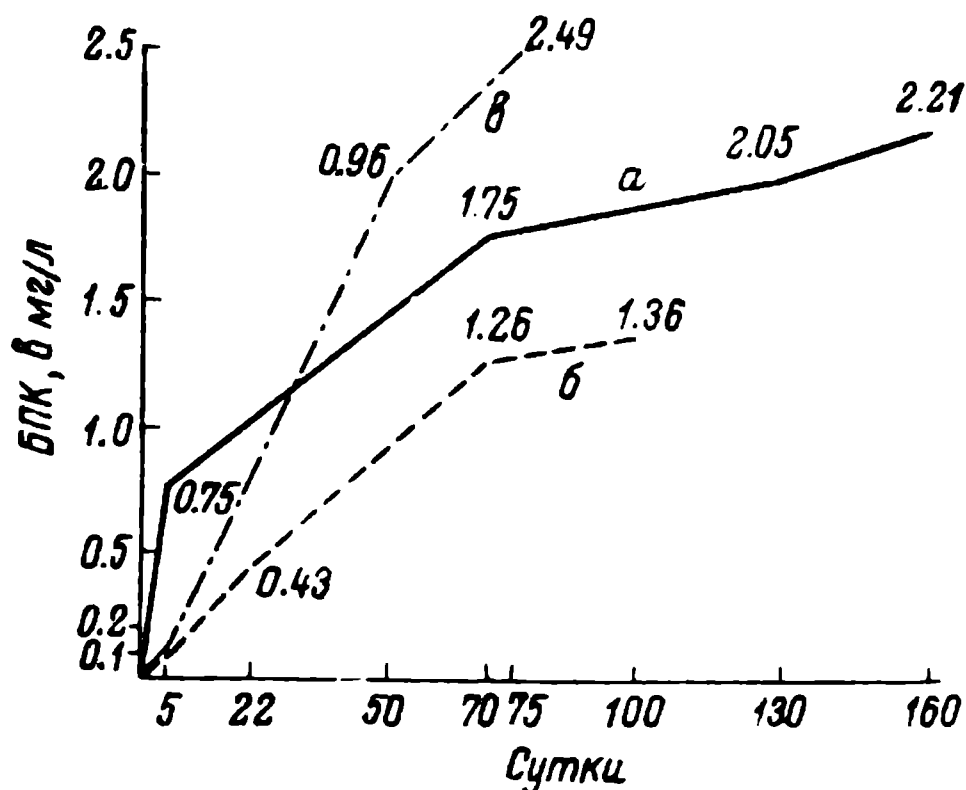


Рис. 6. Потребление кислорода водой чистого водохранилища.

а — 31 октября; б — 18 декабря; в — 10 января.

/

Другие условия кислородного режима отмечаются на р. Сходне. Лишь в самых истоках, у дер. Крюково, под ледяным покровом толщиной 22 см река была полностью лишена кислорода. Анаэробные условия наблюдались на протяжении 1.5 км на участке, где падение уклона местности было сравнительно невелико. После первого же перепада в условиях быстрого течения и каменистого дна вода быстро насыщается кислородом, содержание которого повышается сперва до 8.2 мг/л и в дальнейшем до 13.3 мг/л. В пункте постоянных наблюдений, в 200 м выше пересечения Октябрьской железной дороги, река не замерзает. В течение двух летних наблюдений лишь один раз отмечено образование льда толщиной 1—1.5 см. Содержание кислорода в течение зимних месяцев обычно не падало ниже 10 мг/л; лишь один раз, когда при сильном морозе наблюдалось образование ледяного покрова, содержание кислорода упало до 6 мг/л. Проследив изменения величины растворенного кислорода и биохимического потребления кислорода в реках Сходне и Учи за двухлетний период наблюдений. Отчетливо намечается резкая разница в кислородном режиме двух рек как в летний, так и особенно в зимний период. Характерным является повышение биохимического потребления кислорода в конце зимнего периода в воде р. Учи, когда величина эта достигла 15 мг/л. Причиной этого является образование восстановленных продуктов минерального характера — связанные сернистые соединения, свободный сероводород и соли закиси железа.

Резкий дефицит кислорода в зимний период был обнаружен во многих малых реках и ручьях, питающихся подземным стоком. Такого рода явления наблюдались на р. Вязьме, левом притоке Днепра. Наблюдения были проведены в марте на участке выше г. Вязьмы. Река имеет меженьный расход около 1 м³/сек. В 2 км выше города она была запружена плотинной высотой 1.5 м, подпор распространяется на небольшое расстояние.

Проба, взятая выше плотины 15 марта, показала, что общая жесткость воды равна 10.9°, карбонатная — 10.8°, хлор-иона — 2.9 мг/л, сульфат-иона — 4.3 мг/л, вода содержала большое количество кремниевой кислоты (12.0 мг/л) и марганца (0.11 мг/л). К концу зимы содержание закисного железа доходило до 35 мг/л. К этому времени в реке почти отсутствовал кислород. У места забора для городского водопровода было обнаружено 0.84 мг/л O₂ в поверхностном слое и 0.10 у дна, весьма высоким было содержание углекислоты, в том числе агрессивной — 12.8 мг/л в поверхностном слое и 26.4 мг/л у дна. Высокое содержание железа отмечалось в воде каждую зиму, что вызывало значительные затруднения в эксплуатации водопровода. Накопление большого количества закисного железа в воде отмечается только зимой под ледяным покровом. Вода, взятая после паводка, не давала отклонений от обычного состава речной воды гидрокарбонатного типа, лишь содержание железа было несколько повышенным 0.43 мг/л.

Резкий дефицит кислорода был обнаружен в верховьях р. Яузы, левого притока р. Москвы. В верховьях реки площадь водосбора отличается значительной заболоченностью. По наблюдениям в январе—марте 1945 г., в пункте выше г. Мытищ река находилась под сплошным ледяным покровом, мощность которого к концу зимы возрастала до 60 см. Вода имела цветность 25—29°, окисляемость — 9.6—12.1 мг/л, жесткость общая — 10.7—12.0°. Отличительной чертой было довольно высокое содержание аммонийного азота — 0.55—1.31 мг/л, содержание железа колебалось в пределах 2.5—7.4 мг/л. Кислород обнаруживался в количествах 0.06—0.3 мг/л, величина БПК₅ была высокой — 2.7—4.8 мг/л.

Почти полное отсутствие кислорода было обнаружено в ряде малых рек и ручьев в пределах Московской области и Удмуртской АССР, в притоках р. Ижа в течение зимнего периода при наличии ледяного по-

крова. Таким образом, установлено, что в зимний период при питании рек грунтовым потоком под ледяным покровом, полностью изолирующим поверхность воды от атмосферы, создаются анаэробные условия. Улучшение кислородного режима в этот период происходит на участках реки, которые в силу гидрологических особенностей не замерзают. Насыщение воды кислородом через промоины и полыньи, образующиеся на быстринах и местах выходов грунтовых вод с повышенной температурой, происходит весьма интенсивно. Хорошие условия для аэрации воды создаются на незамерзающих участках ниже плотины, где происходит быстрое поглощение атмосферного кислорода. Этому способствует высокая растворимость кислорода в воде при низких температурах.

Наблюдения, проведенные в марте 1949 г. на р. Истре, левом притоке р. Москвы, показали, что на участке ниже плотины река не замерзала на расстоянии 7—8 км, в то время как на водохранилище толщина льда составляла 60—70 см. Вода у донного водоспуска содержала около 3 мг/л O_2 , т. е. была насыщена на 21%. Уже на расстоянии 1.67 км содержание кислорода в воде повысилось до 7.8 мг/л и на расстоянии 6 км — до 10.3 мг/л, т. е. 72% насыщения. Подсчеты показали, что количество кислорода, поступающего из воздуха в воду, составляло 10—20 г на 1 м² водной поверхности за сутки, что примерно в 10 раз больше по сравнению с обычно приводимыми в литературе.

Иногда на малых реках насыщение воды кислородом может происходить при наличии ледяного покрова. В тех случаях, когда замерзание имеет место при высоком уровне, уменьшение расходов в реке приводит к понижению горизонта воды. В течение довольно длительного времени река течет как бы в ледяном гроте. В этих условиях, как показали наблюдения, происходит насыщение воды кислородом, хотя и более замедленно, чем при отсутствии ледяного покрова.

Необходимо отметить, что для многих малых рек само понятие ледостава является условным. Проведенные Институтом географии АН СССР наблюдения на р. Пахре показали, что в силу значительного притока грунтовых вод с температурой 6—7° зимою на реке неоднократно наблюдалось образование полыньи в несколько километров длиной, что создавало полное впечатление вскрытия реки.

Даже в Лено-Индигирском районе, где средняя мощность ледяного покрова доходит до 235 см, встречаются реки, не замерзающие в течение всего года, что связано с гидрологическим режимом водотоков, протекающих по сильно заболоченным местам и питаемым глубоководными ключами, в некоторых случаях сильно минерализованными.

Своеобразные условия кислородного режима создаются на некоторых горных реках Казахстана. Вода в них замерзает со дна и, протекая по поверхности льда, образует новый ледяной покров. Таким образом, в долинах образуются ледяные наклики до 2 м высотой, поверх которых вода идет в течение всей зимы.

Разнообразие климатических условий и площади питания, удельный вес подземного и поверхностного стока создают различные условия, определяющие качество воды. Приведенные выше примеры значения только одного фактора — замерзание реки зимой — указывают, что в природных условиях реки, не получающие загрязнения, могут содержать малое количество кислорода. Значительные изменения под влиянием замерзания могут происходить в солевом составе, содержании органического вещества, радиоактивных веществ. Как показывают наблюдения, при образовании льда происходит увеличение не только солевого состава, но концентрации органического вещества гуминового характера и повышение содержания радиоактивных веществ в незамерзшей воде (Драчев и др., 1964).

Присутствие большого количества микроорганизмов является характерным свойством природных вод. При исследовании природных и загрязненных водоемов наибольшее внимание уделялось определению бактерий, способных развиваться на органических средах. По количеству колоний, образовавшихся через определенный срок инкубации, до недавнего времени судили о бактериальном населении водоемов.

А. С. Разумов (1962) и другие исследователи разработали достаточно точный метод прямого счета микроорганизмов на мембранных фильтрах после пропускания через них определенного объема воды. Сделано много предложений по уточнению методики. Применение счетных капилляров с плоскопараллельными стенками позволяет ускорить проведение подсчета (Перфильев, Габе, 1961).

Применение метода непосредственного микроскопического счета бактерий значительно расширило представление о количестве и качестве микробного населения водоемов.

Этот метод позволил обнаружить в воде рек десятки и сотни тысяч микробов в 1 мл, в хозяйственно-бытовых стоках — десятки и сотни миллионов. Состав микрофлоры водоемов весьма разнообразен, в него входят различные систематические группы организмов: бактерии, актиномицеты, дрожжевые и плесневые грибки, нематоды. Прямое микроскопирование позволяет установить на мембранном фильтре, через который пропущена вода, присутствие крупных и мелких кокков, длинных и коротких палочек, вибрионов, спирилл, спирохет и тей из бактерий, актиномицетов, гифов грибов, клеток дрожжей, водорослей. Значение и роль многих микроорганизмов, обнаруженных в воде, недостаточно выяснены, но бесспорно, что жизнедеятельность микроорганизмов, определяемых методом прямого счета, существенно влияет на качество природных вод.

Выяснение роли всей массы микроорганизмов в жизни водоемов составляет одну из актуальных задач.

Микробные тела составляют небольшую часть органического вещества природных вод, но их жизнедеятельность связана с превращением многих минеральных и органических соединений.

Микробные процессы в основном определяют разрушение органических веществ, попадающих в водоемы при загрязнении сточными водами и поверхностным стоком. В процессе жизнедеятельности организмов происходит накопление некоторого количества свежего органического вещества в микробных телах. Ряд микроорганизмов осуществляет фото- и хемосинтетические процессы. Изменение газового состава воды, в частности кислородный и углекислотный режим водоемов, в основном определяется деятельностью микроорганизмов (Кузнецов, 1952).

В процессе жизнедеятельности микроорганизмов могут образоваться органические вещества, обладающие запахами; например, землистые запахи, появляющиеся в речной и водопроводной воде, связаны с жизнедеятельностью актиномицет.

Появление метана и сероводорода из донных отложений, при анаэробном распаде органического вещества, происходит под влиянием редуцирующих микроорганизмов.

Биохимическое потребление кислорода, являющееся важным показателем качества воды, определяется интенсивностью микробных процессов. Превращение органического вещества, поступившего в водоем со сточными водами или поверхностным стоком, происходит в основном под действием сапрофитной группы микроорганизмов. Эта группа микроорганизмов представляет интерес, поскольку их физиологические функции связаны с минерализацией органического вещества в водоеме.

Группа сапрофитных микроорганизмов, способная расти на мясо-пептонном агаре и других концентрированных органических средах, составляет сравнительно небольшую часть общего количества микроорганизмов, присутствующих в поверхностных водах. Преобладающая масса микроорганизмов не обладает способностью образовать колонии на обычных питательных средах и потому не входит в «общий счет» количества бактерий или, как его иногда обозначают, «микробное число».

Несмотря на относительную малочисленность, сапрофитные бактерии имеют наибольшее значение для характеристики санитарного состояния водоемов. Непосредственный микроскопический счет организмов позволяет наиболее полно учесть микронаселение воды, вычислить объем и вес биомассы. А. С. Разумовым было указано, что отношение числа клеток микроорганизмов, открываемых прямым счетом, к числу колоний, образующихся на органических средах, может быть использовано для санитарной оценки качества воды. Наиболее близким это отношение является в водах, богатых органическими веществами. В чистых водоемах, бедных органическими веществами, сапрофитные бактерии составляют лишь ничтожную долю общего количества микроорганизмов. В табл. 8 приведены средние данные о количестве микроорганизмов, обнаруживаемых различными методами в воде.

ТАБЛИЦА 8

Количество микроорганизмов в поверхностных и подземных водах по прямому методу и счету колоний

Водоисточник	Число микроорганизмов по прямому счету в 1 мл	Число колоний в 1 мл
Артезианские воды	До $a \cdot 10^3$	$a \cdot 10$
Грунтовые колодцы	$a \cdot 10^3 - 10^4$	$a \cdot 10 - 10^3$
Реки	$a \cdot 10^4 - 10^5$	$a \cdot 10^2 - 10^3$
Озера и водохранилища	$a \cdot 10^3 - 10^6$	$a \cdot 10 - 10^3$
Водопроводная вода	$a \cdot 10^3 - 10^4$	$a \cdot 10$
Сточные воды	$a \cdot 10^6 - 10^{10}$	$a \cdot 10^6 - 10^8$

Примечание В этой таблице и других a — число от 1 до 9

Для обнаружения сапрофитной микрофлоры в водоемах применяется счет колоний, развившихся на мясо-пептонной среде, с использованием в качестве субстрата агара или же желатины. При этом развиваются микроорганизмы, способные использовать углерод и азот пептона. Одновременно могут развиваться не только бактерии, но и дрожжевые, плесневые грибки, актиномицеты и другие микроорганизмы. Основную массу микроорганизмов, развивающихся на мясо-пептонной среде, составляют бактерии, весьма разнообразные по форме и другим внешним признакам. Количество микроорганизмов, развивающихся на мясо-пептонном агаре, сильно зависит от температуры, при которой ведется проращивание, и срока инкубации. При производстве анализов воды, используемой для хозяйственно-питьевого водоснабжения, выращивание посевов производится в течение 24 часов при температуре 37°. При обследовании водоемов, когда надо выяснить и оценить роль сапрофитной микрофлоры, выращивание проводят в течение 48 часов при температуре 20—22°. Расхождение между двумя способами учета может до некоторой степени говорить о значении сапрофитной микрофлоры фекального происхождения при бактериальном загрязнении водоемов. Состав сапрофитной микрофлоры недо-

статочно изучен, но морфологические признаки микроорганизмов, развивающихся в мясо-пептонной среде, могут дать указания о природе загрязнений. Установлено, что преобладание палочковидных бактерий свойственно водам, богатым органическими веществами. В практически чистых водоемах преобладают кокковые формы бактерий, содержащие внутриклеточный пигмент желтого, оранжевого и розового цветов. Присутствие этой группы бактерий связывается с попаданием в водоемы микроорганизмов из воздуха, где выживают микробы, устойчивые к ультрафиолетовому облучению. В периоды весенних и ливневых паводков часто отмечается развитие *Bact. tyroideus*, обычным местом обитания которого служат почвы. На мясо-пептонном агаре могут развиваться актиномицеты, образующие плотные небольшие колонии из тонких ветвящихся нитей. По указанию А. С. Разумова, при выращивании более трех суток на поверхности колоний образуется мучнистый налет из конидий, а среда вокруг них приобретает окраску буроватых, желтых, синих и других оттенков.

Некоторые микроорганизмы являются показателями загрязнения промышленными стоками, например колонии дрожжей и дрожжевидных грибов в сточных водах пищевой промышленности. Низшие и высшие плесневые грибы чаще всего являются показателями загрязнения воды из почвы.

Сапрофитная микрофлора является для водоемов большей частью аллохтонной, т. е. принесенной в водоем извне. В некоторых случаях большое количество сапрофитных бактерий может быть обнаружено в чистых водоемах (Кузнецов, 1952). Как правило, чистые водоемы содержат весьма небольшое количество сапрофитных микроорганизмов. Аллохтонная микрофлора, принесенная в водоем извне, постепенно отмирает, что и составляет сущность микробиального самоочищения воды.

Снижение содержания микроорганизмов объясняется многочисленными факторами, одним из основных является уменьшение содержания веществ, пригодных для питания микроорганизмов. В этом отношении, так же как и во многих других, условия обитания в водоеме значительно отличаются от тех, в которых микрофлора существовала ранее.

В числе других факторов существенное значение имеют организмы, находящиеся в воде и способные входить с биоценозом загрязненных вод в сложные взаимоотношения.

Наряду с отмиранием сапрофитной флоры, попавшей в водоем, непрерывно происходят процессы размножения некоторых групп микроорганизмов, приспособившихся к новым условиям существования.

Присутствие в воде организмов, питающихся бактериями, служит одним из основных факторов, определяющих процессы снижения содержания бактерий, и в то же время стимулом развития для оставшихся организмов.

Наибольшее значение при оценке санитарного состояния водоемов имеет общепризнанный бактериологический показатель фекального загрязнения воды — кишечная палочка как в типичном виде (*Bact. coli commune*), так и в многочисленных разновидностях.

Кишечная палочка составляет лишь небольшой процент общего количества сапрофитной микрофлоры.

Содержание сапрофитной микрофлоры в открытых водоемах как в количественном, так и в качественном отношении в значительной мере определяется степенью воздействия человека на водоем. Количество микроорганизмов, определяемое общим счетом колоний, и содержание кишечной палочки в воде зависят от содержания сапрофитной микрофлоры и органического вещества, попадающих в водоемы при загрязнении.

Имеется весьма обширная литература по количественной характеристике содержания сапрофитной микрофлоры и кишечной палочки как по рекам СССР, так и зарубежным, в частности, по рекам США, ГФР и Англии. Исследования микрофлоры водоемов, начатые в последней четверти XIX в., получили в дальнейшем особенное развитие, когда бесспорно было установлено значение бактериальных показателей при оценке санитарного состояния водоемов. В табл. 9 даны некоторые обобщенные показатели санитарного состояния водоемов, относящиеся к периоду межени.

При рассмотрении количественных и качественных изменений микробной жизни в водоемах следует отметить важнейшее значение сезонов года, особенности паводочного периода, зимней и летней межени. В паводочные периоды и особенно во время половодья увеличение поверхностного стока с площади водосбора резко повышает количество сапрофитов

в воде. Поверхностный сток с территории населенных пунктов обычно является сильно загрязненным; содержание сапрофитной микрофлоры в нем исчисляется величинами, характерными для очень загрязненных водоемов, и в некоторых случаях приближается к хозяйственно-бытовым сточным водам. Водоемы, в которые не сбрасываются сточные воды, в зимнее время гораздо лучше защищены от попадания в них загрязнений, вносимых с поверхностным стоком и при бытовом использовании. Как отмечено Я. Я. Никитинским (1926), водоемы, чистые по бактериальным показателям в летний период, становятся еще более чистыми зимой, несмотря на то что зимой отсутствуют такие факторы бактериального самоочищения, как прямое солнечное освещение, уменьшение численности зооорганизмов, питающихся бактериями. В загрязненных водоемах, получающих сброс хозяйственно-фекальных сточных вод и некоторых видов промышленных сточных вод, богатых микробной микрофлорой, в зимнее время содержание сапрофитной микрофлоры оказывается обычно значительно более высоким по сравнению с летним.

ТАБЛИЦА 9

Бактериальные показатели санитарного состояния водоемов

Качество водоемов	Число бактерий в 1 мл	Тип кишечной палочки
Очень чистые	$a \cdot 10^1$	100
Чистые водоемы	$a \cdot 10^2$	1
Умеренно загрязненные	$a \cdot 10^3$	0,1
Загрязненные	$a \cdot 10^4$	0,01
Грязные	$a \cdot 10^5$	0,001
Очень грязные	$a \cdot 10^6$	Менее 0,001

ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЙ И МЕРЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ

Главными источниками загрязнения водоемов — ухудшение качества воды, нарушение нормальных условий обитания гидробионтов — является сброс хозяйственно-фекальных и промышленных сточных вод. До настоящего времени для многих коммунальных и промышленных предприятий водоемы являются средством удаления и транспортировки отходов и отходов бытовой и производственной деятельности человека и рассматриваются как естественный приемник городских и промышленных сточных вод. В данное время в крупных городах потребление воды на одного человека возросло до нескольких сот литров на день, тогда как физиологически потребная дневная норма составляет для одного человека 2—3 л. Используемые в быту и промышленности воды, за исключением безвозвратных потерь, поступают в водоемы. Объем хозяйственно-фекальных сточных вод значительно меньше, чем производственных. В индустриально развитых странах промышленность потребляет воды примерно в 10 раз более, чем расходуется ее на хозяйственно-питьевые нужды. Несмотря на относительно небольшой объем в общем потоке грязных вод, поступающих в реки, хозяйственно-фекальные сточные воды привлекают особое внимание. Причина этого заключается в том, что, хотя современные методы очистки и обеззараживания сточных вод намного уменьшили опасность распространения эпидемий, водный фактор заболеваемости до настоящего времени сохраняет свое значение.

Чрезвычайное разнообразие и постоянное появление новых производств, изменение технологии, иногда весьма существенно меняющей как количество, так и качество сточных вод, делают затруднительным классификацию промышленных стоков. Высказываются даже сомнения в возможности и целесообразности такой классификации.

Значительное внимание вопросу классификации сточных промышленных вод было уделено в работах английской Королевской комиссии по сточным водам в начале текущего столетия (1898—1915 гг.). Предложено было разделять все промышленные сточные воды на три группы: 1) сточные воды, содержащие загрязнения в основном в виде твердых веществ во взвешенном состоянии, примером таких вод являются стоки от производства угля, производства фарфора; 2) сточные воды, содержащие загрязняющие вещества как в растворенном, так и во взвешенном состоянии, примером являются стоки от заводов по переработке сахарной свеклы и спиртовой промышленности; 3) сточные воды, содержащие загрязняющие вещества в основном в растворенном состоянии, таковы стоки коксовых заводов, предприятий по электрохимической обработке металлов. В указанные три группы входят с незначительными ограничениями сточные воды новых производств, развившихся за десятилетия, прошедшие со времени установления классификации. Не укладываются в приве

денную группировку сбросы в водоемы большого количества горячей воды, радиоактивных веществ.

Характеристике состава и свойств сточных вод, методов очистки, обезвреживания и обеззараживания посвящены отдельные руководства (Строганов, Корольков, 1934; Southgate, 1948; Imhoff, 1956, и др.).

Из видов промышленности по объему используемой воды и количеству вносимых загрязнений на первые места выдвигаются нефтяная, угольная, металлургическая, бумажно-целлюлозная.

Особое внимание привлекает загрязнение водоемов радиоактивными веществами как по новизне вопроса, так и по возможному влиянию на здоровье населения.

Производство электроэнергии на тепловых электростанциях связано с отходами большого количества тепла. Для удаления избытков тепла используется вода, поступающая в виде вод охлаждения в реки при проточной системе или в специально устраиваемые водоемы, объем которых доходит до десятков миллионов кубометров.

ТАБЛИЦА 10
Количество органических и минеральных веществ в сточной воде в расчете на одного жителя

Ингредиенты	Количество вещества, в г/сутки
Азот аммонийный	7—8
Хлориды пищевого пайка (Cl')	8,5—9
Сульфаты (SO ₄ '')	1,8—4,4
Фосфаты (P ₂ O ₅)	1,5—1,8
Калий (K ₂ O)	3,0
Окисляемость (по Кубелю)	5,0—7,0
БПК ₅	30—50
Взвешенные вещества при 105° С	35—50

СТОЧНЫЕ ВОДЫ ГОРОДСКИХ КАНАЛИЗАЦИЙ

В состав сточных вод городских канализаций входят фекальные сточные воды, стоки бань, прачечных, душевых, воды от мытья и уборки помещений и других видов бытового использования водопроводной воды.

ТАБЛИЦА 11

Содержание растворенных и взвешенных веществ в сточной воде в расчете на одного жителя, в г/сутки

Характер вещества	Минеральные	Органические	Всего	БПК ₅
Осаждающиеся	20	40	60	19
Неосаждающиеся	10	20	30	12
Растворенные . . .	50	50	100	23
Общее	80	110	190	54

Кроме того, в городскую канализацию сбрасываются сточные воды промышленных предприятий, находящихся на территории города. Процент примеси промышленных сточных вод не всегда может быть точно установлен, но зачастую составляет значительную, а иногда и преобладающую часть. В данное время имеется тенденция к включению по возможности большей части промышленных сточных вод в городские канализации, для чего нередко требуется предварительная обработка стоков.

В западноевропейских городах средняя величина расхода воды на душу населения принимается равной 150 л (Imhoff, 1956). В США

и Швейцарии, где расход воды на одного жителя в 3—4 раза выше, городские сточные воды значительно более разбавлены. В зависимости от бытовых условий и примесей промышленных сточных вод количество воды на душу населения колеблется в несколько раз, соответственно меняется концентрация как взвешенных, так и растворенных веществ. Но количество взвешенных и растворенных соединений на душу населения остается довольно постоянной величиной (табл. 10) (Строганов, Корольков, 1934).

Для западноевропейских городов Имгофф (Imhoff, 1956) приводит следующие величины содержания минеральных и органических веществ на одного жителя (табл. 11).

Микробиальный состав

Особенностью городских сточных вод является содержание в них отбросов физиологической жизни человека в виде испражнений и мочи. Органическое вещество остатков пищи, продуктов обмена и бытовых отходов на очистных сооружениях и в водоеме подвергаются процессам окисления. Содержание окисляющихся веществ может быть выражено в эквивалентах кислорода, потребного на окисление органических соединений до углекислоты, воды, нитратов, окисленных соединений серы и фосфора (Строганов, 1945).

Значительная часть органического вещества бытовых сточных вод приходится на живое органическое вещество — бактериальные тела. Ко-

личество бактерий в сточных водах при определении методом прямого счета, по А. С. Разумову (1960), составляет сотни миллионов в 1 мл воды. Количество бактерий, растущих на мясо-пептонном агаре, обычно составляет миллионы и десятки миллионов в 1 мл. Количество бактерий в пересчете на одного жителя в сутки исчисляется величинами порядка многих миллиардов (Строганов, Корольков, 1934) (табл. 12).

Величины, приводимые различными авторами, весьма колеблются, что объясняется как действительным непостоянством величин,

так и причинами методического характера. Подсчеты, произведенные Строгановым, показывают, что вещество бактериальных тел, находящихся в канализационной жидкости, составляет 60—80 мг, и почти весь органический азот может быть отнесен за счет белка бактериальных тел.

Среди огромного микробиального населения канализационной жидкости наибольшее значение имеют возбудители инфекционных заболеваний. При водной вспышке холеры 1892 г. были выделены холерные вибрионы из загрязненной фекалиями р. Эльбы. Многократно были обнаружены в сточных водах возбудители брюшного тифа и паратифа (Mackinney a. oth., 1958). В данное время нахождение этих бактерий в бытовых сточных водах нередко. При вспышке паратифа в Англии в 1903 г. возбудители этого заболевания были найдены в притоке р. Лея, служащей одним из источников водоснабжения г. Лондона. По проведенным подсчетам, за один день в водоем поступало около 143 млрд салмонелл паратифа.

Поступление в сточные воды возбудителей кишечной инфекции имеет место не только во время распространения эпидемий, но и при отсутствии заболеваний, так как огромное количество возбудителей заболевания могут выделять практически здоровые люди — бациллоносители. Сравнительно недавно (Greenberg a. oth., 1957) были описаны случаи определения места жительства и обнаружения бациллоносителей на основе проведения систематических анализов на содержание возбудителей тифозных заболеваний в канализационной сети города. Аналогичные работы проведены в Польше, на побережье Балтийского моря (Buczkowska, Nowicka, 1960).

ТАБЛИЦА 12

Вынос бактерий в сутки на одного жителя, в млрд

Город	Число колоний		Кишечная палочка
	на агаре	на желатине	
Цинциннати	12000	8000	250
Питсбург	382	170	17
Уэлинг	505	495	24
Москва	1000	—	10
Чикаго	—	—	406

Значительная часть возбудителей инфекционных заболеваний переходит в осадок при отстаивании жидкости. В связи с этим проведено много экспериментальных работ по вопросу о выживаемости салмонелл при брожении осадков. Опыты Макинни и др. (MacInneу а. oth., 1958) показали, что при прибавлении патогенных бактерий к сбрасываемому илу происходит отмирание всех видов вносимых патогенных организмов. При скоростном сбрасывании осадков сроком от 6 до 20 дней не отмечено заметной разницы в количестве выживающих бактерий.

Нередки случаи обнаружения в сточных водах возбудителя бациллярной дизентерии; загрязненные воды рассматриваются как один из источников данной инфекции.

Описаны случаи обнаружения возбудителей бруцеллеза; обычным путем распространения этой инфекции является употребление молока или контакт с заболевшими, но высказывались предположения о возможной роли бытовых сточных вод.

В сточных водах туберкулезных санаториев были выделены палочки Коха. В опытах, где бытовые сточные воды использовались для поения животных, не было отмечено ухудшения состояния здоровья и заболеваний туберкулезом.

Описано несколько случаев обнаружения в сточных водах различных вирусов, количество их особенно повышается в летнее время (Kally а. Sanderson, 1959). В частности, были обнаружены вирусы полиомиелита, но обнаружить связь с заболеванием до настоящего времени не удалось. Отстаивание сточных вод и очистка на биофильтрах почти не снижали частоты встречаемости вирусов в образцах сточных вод и только слабо снизило концентрацию инфицированных частиц. Хлорирование не всегда оказывало положительное действие. Сточные воды, прошедшие очистку с активным илом, не содержали вирусов, последние не были обнаружены в сброженном иле.

Хозяйственно-бытовые сточные воды содержат большое количество яиц гельминтов, при сбросе сточных вод значительное количество яиц гельминтов вносится в водоемы. По исследованиям З. Г. Васильковой (1950), в сточных водах г. Москвы после отстаивания содержалось в 1 м³ 5900 яиц аскарид, 30 власоглавов и 50 тениид. В воде р. Москвы, ниже выпуска сточных вод, содержание яиц гельминтов доходило до 263 на 1 м³ и на расстоянии 32 км вниз по течению снизилось до 91. В воде р. Иртыш П. П. Горячев (1947) обнаружил зимой 100 яиц гельминтов на 1 м³, весной — 400, в воде р. Омь зимой — 200, весной — 600 яиц гельминтов.

В тропических странах большую опасность представляет содержание в сточных водах паразитических червей шистосома, яйца которых выделяются больными с мочой.

Химический состав

В бытовых сточных водах возможно присутствие химических соединений, могущих оказывать вредное влияние на здоровье человека. Такого рода возможность была указана Гетхе (Hettche, 1958), обнаружившим накопление в водах, служащих источником водоснабжения, урохрома, окрашенного в желтый цвет органического вещества, содержащегося в моче. Повышенное содержание урохрома было обнаружено в источниках водоснабжения населенных пунктов вблизи г. Гамбурга, где отмечена повышенная заболеваемость населения, связанная с расстройством деятельности щитовидной железы.

Вопрос накопления химических продуктов, могущих оказать отрицательное воздействие на организм человека, имеет существенное значение при повторном использовании всех отходов и отбросов жизнедеятель-

ности организма человека в замкнутом цикле во время межпланетных путешествий. По данному вопросу накоплен обширный материал лабораторных исследований (Golueke a. oth., 1959).

Изучение химического состава органического вещества хозяйственно-фекальных сточных вод проведено сравнительно недавно Геукелекианом и Балматом (Heukelekian a. Balmat, 1959). Для химического анализа были собраны отдельно в зимний и летний периоды сточные воды городской канализации. Произведено разделение веществ на растворенную часть, составившую 64.4% от сухого остатка, осаждаемую — 16.8, надколлоидальную — 11.8 и коллоидальную — 7.2%. В надколлоидальную фракцию вошли частицы размерами от 0.1 до 1 мк. Потери при прокаливании в растворенной части составили 20%, в осаждаемой — 78, надколлоидальной — 83 и коллоидальной — 81%. Таким образом, три последние фракции в основном состояли из органического вещества. Прокаленный остаток подвергался детальному химическому анализу с определением 14 элементов. Все элементы, за исключением хлора, который весь находился в растворенном состоянии, были обнаружены во всех четырех фракциях.

Калий и натрий составляли в сумме около 30% от прокаленного остатка, содержание калия составляло 5.9 мг/л, натрия — 23.2 мг/л. Медь, обнаруженная в количестве около 0.5 мг/л, в основном находилась в растворенном состоянии. Более половины цинка (0.2 мг/л) находилось в коллоидальной фракции, из общего количества свинца (0.48 мг/л) большая часть (0.3 мг/л) была в оседающей фракции. Фосфора содержалось 6.6 мг/л, большая часть (4.5 мг/л) находилась в растворенном состоянии, почти половина железа (0.34 мг/л из 0.77 мг/л) и основная часть кремния были в оседающей фракции.

При анализе органического вещества оседающей, надколлоидальной и коллоидальной фракций установлено, что общее количество жиров (45.3 мг/л) было почти равномерно распределено между всеми тремя фракциями, при этом жиры составили 51.5% от веса сухого вещества коллоидальной фракции, в других фракциях жиров было около 20%. Насыщенные глицериды жирных кислот представляли собой заметную часть во всех трех фракциях, особенно в коллоидальной, насыщенные и ненасыщенные свободные кислоты и фосфолипиды присутствовали лишь в небольших количествах.

Для исследования азотсодержащих органических веществ был проведен кислотный гидролиз с последующим определением аминокислот при помощи бумажной хроматографии и спектрофотометра. Было выделено 14 аминокислот, общее содержание которых составляло от 65 до 81% от общего содержания азотсодержащих веществ в разных фракциях. Содержание аминокислот было значительно выше в летние месяцы, но состав их был близок как зимой, так и летом.

В углеводной фракции были выделены и определены пектин, гемицеллюлозы, целлюлозы и лигнин, суммарное количество их во всех фракциях доходило до 28.6 мг/л, содержались они в основном в оседающей фракции (Heukelekian a. Balmat, 1959).

Способы очистки

Способы очистки хозяйственно-бытовых сточных вод разработаны достаточно подробно. Путем комбинации ряда приемов сточная вода может быть освобождена от загрязняющих веществ и полностью обеззаражена. Обязательным приемом очистки сточных вод является отстаивание, при котором удаляется значительная часть взвешенных органических и минеральных веществ. Задачей последующего этапа очистки является

окисление органического вещества, что достигается или путем фильтрации, или аэрации непосредственно в водной среде. Для фильтрации используются крупнозернистые пористые материалы, поверхность которых служит местом обитания многочисленных представителей микробного мира, разрушающих растворенные и взвешенные органические вещества. Процессы распада органического вещества связаны с процессами окисления, которые развиваются в значительно более благоприятных условиях при подаче кислорода воздуха. Окислительные процессы, происходящие непосредственно в водной среде — в аэротенках, значительно ускоряются при очистке с активным илом, который в основном состоит из бактериальных тел, накапливающихся при эксплуатации сооружения.

В данное время в основном строятся сооружения двух типов: биофильтры и сооружения для очистки с активным илом. Сооружения последнего типа обычно более эффективны, но сложнее в эксплуатации, обслуживание их требует более квалифицированного персонала.

Задача сооружений искусственной биологической очистки заключается в создании условий для ускорения естественно идущих процессов окисления органического вещества. Необходимым условием окисления является присутствие растворенного в воде кислорода, к которому переходят электроны от окисляющегося органического вещества. Не менее важным условием является присутствие микроорганизмов. Энзимы, выделяемые последними, ускоряют первую фазу распада сложных молекул белка на соединения, усвояемые микроорганизмами.

Окисление непосредственно в водной среде при подаче тем или иным способом кислорода из воздуха и окисление при фильтрации через твердую среду применимы к сточной жидкости, предварительно прошедшей отстаивание для удаления оседающих веществ, что понижает потребность в кислороде приблизительно на 30%. Пропускание сточной жидкости через фильтры является более старым приемом, первоначальным фильтром служила почва, которая и до настоящего времени используется на полях фильтрации. Преимущества, которые дает песчаная почва, были использованы при устройстве песчаных фильтров. В дальнейшем песок заменяется раздробленными естественными или искусственными материалами, кирпичной крошкой, шлаками. Недостаток кислорода при фильтрации восполняется продуванием воздуха (аэробнофильтры) или насыщением сточной воды кислородом путем разбрызгивания или перемежающейся фильтрации. Активную роль в разложении органического вещества играют микроорганизмы, образующие пленку на поверхности фильтрующего материала. На биологических фильтрах пленка, состоящая из бесчисленного множества микроорганизмов, имеет решающее значение.

Закономерности окисления органического вещества хозяйственно-фекальных сточных вод в аэробных условиях многократно подвергались изучению. Установлено, что при повышении температуры скорость окисления возрастает. Вместе с тем увеличивается общее количество кислорода, потребного на окисление органического вещества. Характерными являются две фазы окисления: сперва идет окисление углеродсодержащих органических веществ и отщепление аммонийного азота, затем наступает фаза окисления аммонийного азота до нитритного и нитратного иона. Скорость наступления второй фазы зависит от температуры. В свежей сточной жидкости процесс нитрификации начинается на 10-й день при температуре 20°, при 30° — на 5-й день, при низких температурах — на 30-й день и позже.

Как показали исследования Терно (Theriault, 1927), процесс окисления определяется количеством органического вещества, присутствующего в жидкости. При 20° за первые сутки окисляется 20.6% общего содержания органического вещества. В последующие сутки окисляется

20,6% от оставшихся 79,4%, т. е. 16,3% $\left(\frac{79,6 \cdot 20,6}{100}\right)$. При 5° количество

окисляющегося за первые сутки органического вещества составляет 10,9%, при 30° за сутки окисляется 30,5% от исходного органического вещества

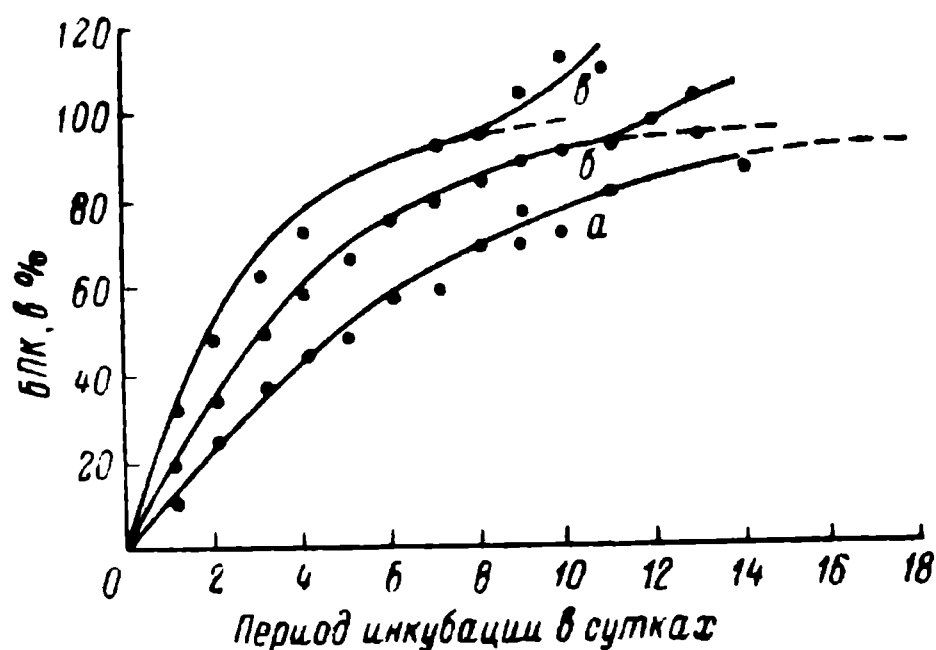


Рис. 7. Ход потребления кислорода сточной водой в зависимости от температуры.

а — при 9°; б — при 20°; в — при 30°.

вначале процесса окисления или оставшегося к данному дню. Общая схема процесса, составленная по исследованиям Терно, приведена на рис. 7.

Практически возможны весьма значительные отклонения от приведенной схемы. На рис. 8 приведены данные Н. А. Базякиной (1933) о ходе окисления органического вещества сточных вод московской канализации. Как видно, отклонения от схемы встречаются весьма часто.

Теоретические вопросы биологической очистки сточных вод освещены в руководствах

Н. А. Базякиной (1940), С. Н. Строганова и К. К. Королькова (1934).

В последнее время большое внимание начинают привлекать способы очистки сточных вод на земледельческих полях и в прудах. В США (Hermann, Gloyna, 1958) и Австралии (Parker a. oth., 1959) большое развитие получили так называемые стабилизационные пруды. Значительная часть работы возлагается в прудах на зеленые организмы, обладающие способностью к синтезу органического вещества, что сопровождается образованием кислорода. Образовавшийся в процессе фотосинтеза кислород расходуется на окисление органического вещества. Количество кислорода, образующегося в прудах, при благоприятных условиях значительно превышает количество кислорода, поступающего из воздуха.

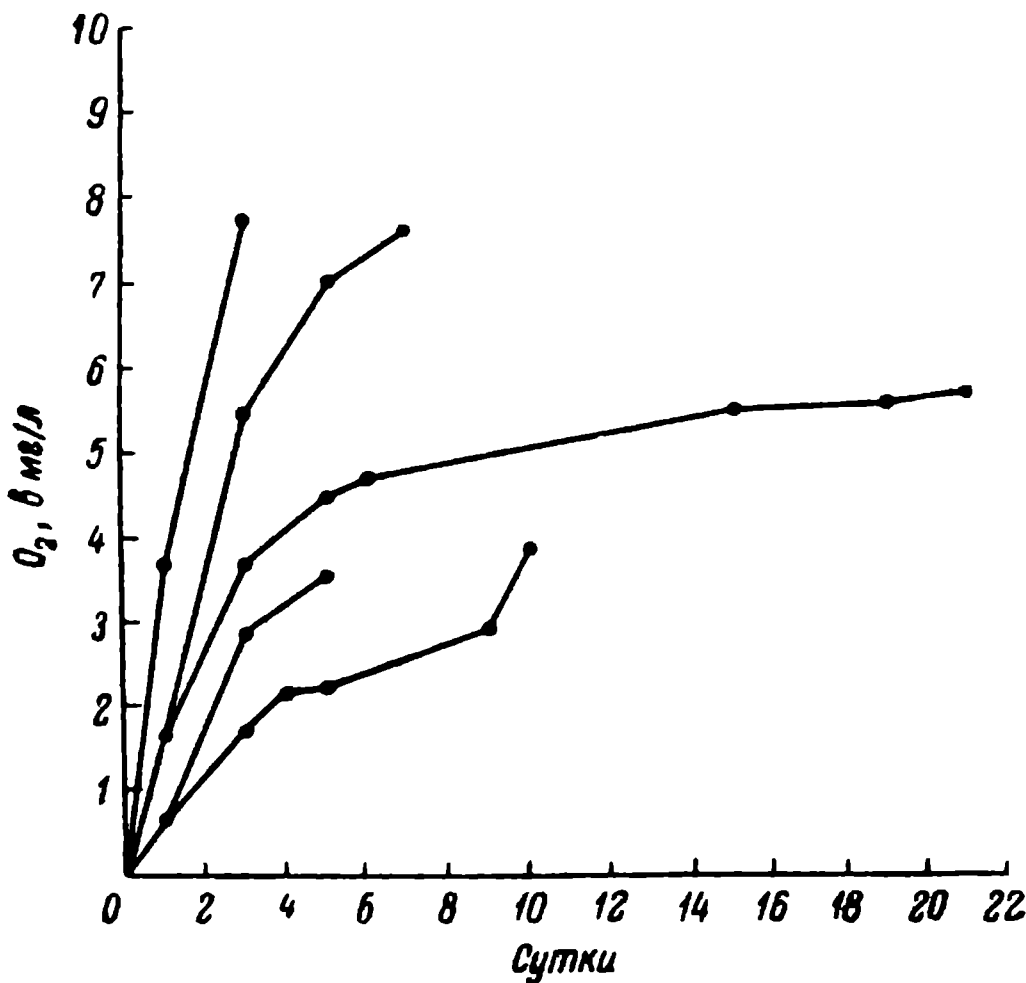


Рис. 8. Ход окисления органического вещества в отдельных пробах сточной воды.

Пруды как очистные сооружения применялись уже давно, главным образом в Германии. Значительный опыт эксплуатации прудов был накоплен на Люблинских полях орошения (Строганов, 1914; Базякина и др., 1919), при этом было доказано наличие в прудах бактериофага исключительно сильной активности. По заключению Строганова, пруды являются удобным сооружением для очистки сточных вод санаториев, курортов, домов отдыха, лагерей, работающих в летнее время. В комбинации с другими очистными сооружениями, например полями ороше-

ния и полями фильтрации, возможна круглогодичная эксплуатация прудов.

В последние годы в США проведены большие исследовательские и практические работы по использованию прудов как очистных сооружений для хозяйственно-бытовых и некоторых видов промышленных стоков. При этом уделяется внимание прудам не только как вспомогательному приему доочистки. В некоторых случаях пруды используются как средство для очистки сточных вод даже без применения других способов. Значительное внимание уделяется этому вопросу как в исследовательских работах, так и при изучении эффективности действующих прудов, что подробнее освещается в главе VII настоящей работы.

При использовании сточных вод на земледельческих полях орошения применение прудов, по-видимому, будет иметь место как с целью стабилизации и выравнивания состава сточных вод, так и для обеспечения круглогодичного их использования.

Земледельческие поля орошения представляют собой своеобразное средство использования сточных вод в сельском хозяйстве при одновременной полной ликвидации последних. Использование сточных вод для орошения и их обезвреживание имеет весьма длительную историю. По данным Рейнгольдса (Reynholds, 1943), в Силезии уже свыше 400 лет тому назад использовали сточные воды при культуре сельскохозяйственных растений. Основной идеей устройства земледельческих полей орошения является снижение норм нагрузки. Количество сточных вод, подаваемых на единицу площади таких полей, определяется потребностью растений в элементах минерального питания и в воде. Норма нагрузки на них не превышает 5—20 м³/га в сутки, в то время как на коммунальных полях орошения нормы колеблются от 15 до 90 м³/сутки. Небольшая нагрузка сточных вод позволяет обойтись без закладки дренажа, что сильно снижает затраты на устройство полей. В связи с малыми нагрузками земледельческие поля орошения вовсе не должны давать стоков загрязненных вод в водоемы. Специальная конференция по вопросу использования и обезвреживания сточных вод на земледельческих полях орошения отметила ряд положительных сторон земледельческих полей орошения (Левицкий, 1957; Львович, 1957, и др.).

До настоящего времени широкого развития земледельческие поля орошения не получили, но имеются отдельные примеры в колхозах и совхозах Подмосковья и на Украине, давшие вполне благоприятные результаты в техническом и экономическом отношении. Не отмечено каких-либо неблагоприятных последствий в отношении влияния на здоровье и санитарные условия жизни населения. Наиболее сложной проблемой в техническом отношении является обеспечение круглогодичного приема сточных вод. Значительные трудности возникают при переброске и распределении сточной жидкости на значительные расстояния, особенно в тех случаях, когда имеется большое количество сточных вод (Спиваков, 1957).

При сравнительно небольшой нагрузке сточных вод на единицу земельной площади отпадают возможные возражения, связанные с образованием запахов и ухудшением физических свойств почвы. При малой нагрузке уменьшаются опасности эпидемического порядка. Следует иметь в виду, что даже при сравнительно большой нагрузке на полях орошения не отмечалось ухудшения физических свойств и химического состава почв. Изучение изменения свойств почв при длительной эксплуатации полей орошения больниц Московской области (Драчев, Мятягина, 1959) показало, что 30—40 лет эксплуатации не влияют отрицательно на почвы. Сравнительно тяжелые по механическому составу суглинистые почвы хорошо справлялись с нагрузкой 30—55 м³/сутки. Величина биохимического

потребления кислорода за 5 суток с 1100—1400 мг/л снижалась в дренажной воде на 93—98%. Остаточная величина биохимического потребления в 20—100 мг/л в значительной степени обуславливалась развитием нитрификации, так как этот процесс не заканчивался во время прохождения сточных вод через почву.

Высокий коэффициент окисления органического вещества связан с медленным движением сточной жидкости в вертикальном направлении. (1) скорости передвижения жидкости можно судить по скорости перемещения хлоридов. В середине лета, через 60 дней после прекращения подачи сточной жидкости на зимние поля, на глубине до 50 см хлор-иона почти не обнаруживалось. В нижележащих слоях содержание хлор-иона было близко к среднему содержанию в сточных водах. На летних полях орошения в это же время количество хлоридов на глубине до 90 см было близко к содержанию в сточной жидкости; глубже 90 см хлор-иона почти не было. Приведенные данные показывают, что скорость перемещения жидкости на полях орошения составляет от 1 до 1.5 см в сутки. Время прохождения потока сточной жидкости до глубины заложения дрен (1.28 м) составляло около 3 месяцев (85 дней).

В литературе имеются указания на явление деградации почв, используемых для фильтрации сточной жидкости (Величкин, 1930), в силу накопления избыточных количеств органического вещества и измельчения почвенных частиц.

Проведенные исследования больничных полей орошения показали, что некоторое увеличение содержания органического азота (по методу Кьельдаля) и органического вещества, определяемого методом окисления хромовой кислотой, имело место (табл. 13).

ТАБЛИЦА 13

Содержание органического азота и органического вещества, в % на абсолютно сухое вещество

Горизонты взятия проб	Контрольный участок	Зимние поля	Летние поля
Органическое вещество			
Поверхность гуминового слоя, 0—5 см	4.39	3.50	2.35
Гуминовый слой	4.24	3.90	3.95
Слой оподзоливания	0.65	0.91	0.51
Органический азот			
Гуминовый слой	0.182	0.235	0.256
Слой оподзоливания	0.011	0.52	0.033

Заметное возрастание органического вещества отмечено лишь в горизонте оподзоливания, в нижележащем слое вымывания содержание органического вещества было одинаково с контролем. Количество органического азота возросло как в гуминовом горизонте, так и в слое оподзоливания, но абсолютные величины были незначительными.

Ухудшение физических свойств почвы обычно связывается с изменением поглощенных оснований. В составе хозяйственно-фекальной сточной жидкости содержание двувалентных катионов составляет около 1/3 общей суммы катионов в эквивалентах. Поэтому можно было предполагать вхождение одновалентных катионов в поглощающий комплекс почв. Исследование поглощенных оснований показало, что при некотором

увеличении суммы поглощенных оснований по сравнению с естественной почвой процентное содержание двувалентных катионов, в особенности кальция, значительно возросло. Содержание водородного и аммонийного иона по сравнению с естественной почвой значительно снизилось как на зимних, так и на летних полях. Содержание поглощенного натрия было несколько выше в почвах полей орошения, но величина эта не превышала 3.8% от суммы поглощенных оснований. Определение механического состава показало, что в почвах полей орошения содержание глинистых частиц было заметно повышено, в особенности на летних полях, но определения водопроницаемости показали, что существенных изменений этого свойства почвы не произошло. Очевидно, в условиях правильной эксплуатации полей орошения не происходит заметного накопления органического вещества. Ориентировочно подсчитано, что за 30 лет эксплуатации полей орошения было внесено около 55 т органического вещества и около 5.5 т азота, что соответственно составляет 18.5% и 1.85% от веса 20 см слоя почвы. Как видно из табл. 13, возрастание содержания органического вещества и азота почти не отмечено. Следовательно, произошла почти полностью переработка внесенного органического вещества. Повышение содержания органического вещества и накопление его до пределов, вызывающих ухудшение физических свойств и водно-воздушного режима, может происходить лишь в условиях чрезмерной нагрузки полей орошения.

Важным вопросом является работа полей орошения в зимних условиях. На обследованных полях орошения больниц Московской области установлено, что в зимний период фильтрация происходила обычно под слоем снега и льда. Так как на поля орошения подавалась неотстоенная жидкость, то на зимних полях происходило накопление органического вещества в поверхностном слое; но за летний период происходил полный распад органического вещества осадков.

Поля орошения обладают высокой поглощательной способностью в отношении радиоактивных веществ. Высокая поглощательная способность почвы в отношении катионов распространяется на радиоактивные основания. Не обладают поглощательной способностью почвы в отношении многих анионов. Многочисленными исследованиями отмечено отсутствие поглощательной способности почвы в отношении рутения.

При использовании полей орошения под сельскохозяйственные культуры возможен переход некоторого количества радиоактивных изотопов в сельскохозяйственные продукты, используемые для питания людей и сельскохозяйственных животных. Однако опасения эти действительны только в отношении долгоживущих изотопов и при значительном накоплении последних на полях.

Поля орошения и фильтрации обладают высокой поглощательной способностью в отношении микрофлоры. Одним из важнейших факторов очистки сточных вод от бактерий является длительность прохождения воды через фильтрующий слой. За срок в 100 и более дней произойдет полное отмирание патогенной микрофлоры и микроорганизмов кишечной группы. Количество сапрофитных бактерий, находящихся в сточной воде в количестве нескольких миллионов в 1 мл, уменьшается до нескольких тысяч. В этом процессе, помимо отмирания микрофлоры, значительную роль играют адсорбционные процессы. Исследования Е. В. Дзавовой и А. А. Ворошиловой (1932) и других показали, что почвы обладают значительной поглощательной способностью в отношении микробного населения.

Несмотря на преимущества, которые имеет очистка бытовых сточных вод почвенными способами, основная масса городских сточных вод очищается с применением методов искусственной биологической очистки.

Для крупных городов приемы полной биологической очистки на искусственных сооружениях имеют бесспорные преимущества в отношении компактности сооружений, возможности механизации процессов очистки и управления ими. В связи с недостаточностью искусственной биологической очистки в микробиальном отношении при спуске сточных вод в реки необходимо применять хлорирование (Санитарные правила . . . , 1959), до сих пор еще не нашедшее широкого применения (Thoman, Jenkins, 1958).

Использование городских сточных вод, прошедших биологическую очистку, и осадков, образовавшихся при этом, для орошения и удобрения полей представляется наиболее желательным с точки зрения охраны водоемов от загрязнения и использования удобрительных веществ. В крупном масштабе мероприятие такого рода осуществляется в г. Киеве, где намечается орошение большого участка земель городскими сточными водами, прошедшими биологическую очистку.

С точки зрения охраны рек от загрязнения и рационального использования водных ресурсов заслуживает внимания прием использования очищенных городских сточных вод в промышленности. После соответствующей очистки городские сточные воды используются для целей охлаждения и других надобностей. В г. Шеффилде (Англия) городские сточные воды после очистки используются на металлургическом предприятии. Вифлиемская стальная корпорация (США) покупает у города сточные воды после очистных сооружений в количестве 70 млн галлонов в сутки. В Техасе одна из нефтяных компаний платит за использование городских сточных вод по 4.4 цента за 1000 галлонов (Powel, 1956).

ТАБЛИЦА 14
Потребление воды
некоторыми отраслями
промышленности США

Отрасль промышленности	%, от общего потребления
Черная и цветная металлургия	31.0
Химическая	24.0
Целлюлозно-бумажная	14.0
Нефте- и углеперерабатывающая	13.0
Всего	82

При необходимости строгой охраны поверхностных вод от загрязнения использование городских сточных вод в промышленности заслуживает внимания. При этом должны быть гарантированы нормальные условия труда на производстве и безопасность в эпидемическом отношении, в частности, путем хлорирования воды. Применение хлора или других дезинфицирующих средств обычно необходимо по техническим условиям промышленного использования воды (Maguire, 1956).

ПРОМЫШЛЕННЫЕ СТОЧНЫЕ ВОДЫ

Некоторые отрасли промышленности дают особенно большое количество стоков, отрицательно влияющих на водоемы. Основными водопотребителями являются черная и цветная металлургия, химическая промышленность, топливная, включая добычу и переработку угля и нефти. Большое количество воды потребляет целлюлозно-бумажная промышленность, дающая весьма загрязненные стоки. Значительные количества воды потребляет атомная промышленность, сточные воды которой требуют большого внимания.

В табл. 14 приведено распределение потребления воды основными отраслями промышленности США.

Сточные воды нефтяной промышленности являются одним из главных источников загрязнения водоемов. Значительное загрязнение водоемов происходит при нефтедобыче, транспортировке и в особенности при нефтепереработке (Gibbons, 1940).

Вопросы загрязнения водоемов нефтепродуктами имеют международное значение. Проект международного соглашения об охране морей от загрязнения нефтью подписан не всеми странами участниками соглашения и не имеет силы закона, но разработка такого соглашения говорит о значимости вопросов.

Количественный учет сточных вод нефтеперерабатывающей, а тем более нефтедобывающей промышленности весьма затруднен. Некоторые приближенные представления о масштабе загрязнения нефтью и продуктами ее переработки можно получить, исходя из количества добываемой нефти и развития нефтеперерабатывающей промышленности. Общее количество добычи нефти в СССР составило в 1960 г. 147 млн т. При нефтедобывании не ведется учета сбрасываемой воды, количество которой чрезвычайно варьирует в зависимости от условий залеганий нефти и гидрогеологической обстановки. Улавливание нефти из сточных вод является одним из элементов организации нефтепромыслов. Фактически нефтеловушки имеются не везде, но и при их наличии они часто эксплуатируются неудовлетворительно, в силу чего загрязнение водоемов нефтью в районе нефтепромыслов происходит повсеместно (Атлас, Литвишков, 1953).

Большое количество сточных вод дает нефтеперерабатывающая промышленность, весьма интенсивно развивающаяся в последнее время (Gibbons, 1940). Можно считать, что потребление нефти в сыром виде в данное время почти не имеет места. Приемы переработки нефти все более усложняются, и, по существу, нефтеперерабатывающие заводы становятся нефтехимическими комбинатами. По мере того как возрастает сложность и глубина переработки нефти, растет количество сточных вод. По данным, приводимым В. В. Ключковым (1948), на наших заводах количество сточных вод на 1 т перерабатываемой нефти составляло при оборотной системе на заводах неглубокой переработки 10—12 м³, смешанной — 16 м³, глубокой — 18 м³. По прямым замерам на некоторых действующих заводах расход сточных вод достигал 27 м³/т, т. е. заметно выше, чем по данным американской практики, где он равнялся 17 м³/т. По более поздним данным (Кушелев, 1958), удельный расход воды на 1 т перерабатываемой нефти составляет около 30 м³, на заводах с переработкой газа — до 60 м³. Для заводов, перерабатывающих газ при прямоточном водоснабжении, указываются более высокие цифры — 50—120 м³ (Монгайт, Родзиллер, 1958). При очистке нефтесодержащих стоков и использовании их в оборотном водоснабжении количество сточных вод может быть резко снижено: до 1.6—2 м³ на заводах без переработки газа и до 2—3 м³ на нефтехимических заводах.

Значительное загрязнение водоемов нефтью происходит при ее перевозке (ZoBell, 1963), в особенности речным транспортом. Вопрос о загрязнении нефтепродуктами Волги уже свыше 60 лет тому назад в работах Хлопина и других исследователей подвергался обстоятельному изучению, чем было положено начало углубленным работам по выяснению влияния на водоем промышленных загрязнений. Потери нефти при транспортировке на деревянных баржах в то время были особенно велики. В данное время нефть перевозится в металлических танкерах, что теоретически должно полностью исключить утечку и потери. Но фактически загрязнение водоемов при перевозке нефти все еще довольно ве-

ливо. Помимо попадания нефтепродуктов в силу мелких неисправностей и небрежности при перекачке, большое загрязнение дают воды, накапливающиеся в баржах под слоем нефти и мазута. Скопление воды у дна барж происходит вследствие выделения воды, содержащейся в нефти. Содержание воды в нефтяных баржах волжского пароходства во много раз выше, чем может дать обводненность нефти, допустимая по паспорту. Частично это может быть объяснено просачиванием в баржи речной воды. Согласно действующим правилам, вода с остатками нефтепродуктов должна откачиваться в отстойные баржи или береговые емкости, но зачастую она выбрасывается непосредственно в реки. Морские прибрежные воды сильно загрязняются при выбросе из танкеров балластных вод, которые должны сбрасываться не ближе 50 миль от берега.

Большое количество нефтетоплива и смазочных масел стекает под слань машинных отделений, откуда без очистки систематически сбрасывается в водоемы. Выброс подсланевых вод является своего рода залповым сбросом весьма концентрированных загрязнителей. В настоящее время разработан прием раздельного сбора подсланевых вод и сжигания в топках паровых котлов (Тув, 1961).

Некоторое количество нефтепродуктов теряет каждое современное судно с механическим двигателем, что хорошо видно по следу, который оставляет проходящий транспорт (Драчев, 1948). Приблизительно количество нефтепродуктов, исходя из толщины пленки и занимаемой ею площади, исчислено в 250 г на 1 км пути.

Косвенно загрязнение водоемов нефтепродуктами происходит при транспортировке нефти по железным дорогам. Сильно загрязненные нефтепродуктами железнодорожные цистерны подвергаются обработке на пропарочных станциях. Исходя из допустимой потери до 75 кг на 1 цистерну мазута и количества обрабатываемых цистерн на четырех пропарочных станциях, ежедневное поступление нефтепродуктов в водоемы исчислено в 85 т мазута.

Загрязнение водоемов нефтепродуктами происходит также при сбросе сточных вод ряда других производств. В Англии отмечаются серьезные трудности, вызываемые сбросом сточных вод металлообрабатывающей промышленности. При этом поступает тонкоэмульгируемая, так называемая растворенная нефть, с трудом поддающаяся удалению (Jones, 1943; Hogg a. oth., 1947).

Хозяйственно-бытовые воды содержат некоторое количество нефтепродуктов за счет сброса в городскую канализацию стоков промышленных и транспортных предприятий. Хотя сброс нефтепродуктов в канализационную сеть не допускается, некоторое количество их всегда присутствует в городских стоках. Значительная часть нефтепродуктов вносится со смывными водами предприятий, гаражей и промышленных площадок.

С т о ч н ы е в о д ы п р и н е ф т е д о б ы ч е

При откачке нефти из подземных пластов поступает некоторое количество воды. Объем воды, поступающей вместе с нефтью из скважин, сильно варьирует в зависимости от местных условий. Сравнительно небольшие количества пластовых вод откачиваются на отдельных промыслах Азербайджана, сильно обводнена нефть, добываемая на промыслах в районе Краснодар. В 1958 г., когда уровень добычи нефти достиг 113 млн т, количество воды, выкачанной из скважин, составило 232 млн м³. В среднем можно принять, что на 1 м³ нефти приходится 2 м³ воды.

Отличительной чертой пластовых вод является высокая степень минерализации. Общее содержание солей в Урало-Поволжском районе, Средней Азии, Эмбинском районе, Западной Туркмении составляет не-

сколько десятков граммов на литр, доходя до 250 г. Менее минерализованы воды промыслов Дагестанского, Грузинского районов и промыслов на о. Сахалин. По данным И. Л. Монгайта и И. Д. Родзиллера (1958), средние данные химического состава промышленных вод характеризуются следующими величинами (табл. 15).

Т А Б Л И Ц А 15

Химический состав промышленных сточных вод

Показатели	Концентрация, в г/л		
	средняя	минимальная	максимальная
рН	7.6	7.0	8.4
Удельный вес при 20°	1.0338	1.0105	1.0614
Нафтеновые кислоты	0.154	0.026	0.643
Нефть	1.50	0.74	44.6
Механические примеси	1.66	1.46	1.83

На состав сточных вод промыслов, помимо пластовых вод, оказывает влияние вода, расходуемая на производственные нужды. Количество последней может быть в несколько раз выше по сравнению с пластовыми водами. Нафтеновые кислоты могут присутствовать как в виде кальциево-магние-вых, так и щелочных солей. Отделение нефти от воды производится непосредственно на промыслах, большей частью на групповых установках. Если нефть присутствует в виде эмульсий, отстаивание не дает эффекта, и в таких случаях применяется термохимическая деэмульсация, а иногда и электрический способ.

Вследствие высокого содержания нефти и растворенных солей сточные воды оказывают губительное влияние на водоемы. Наиболее распространенным способом улучшения качества промышленных вод являются нефтеловушки, но прием этот может рассматриваться только как предварительный способ улучшения качества стока. Обследования, проведенные в районе бакинских нефтепромыслов, указали на слабую эффективность работы нефтеловушек и крупные недостатки их эксплуатации.

Рациональным способом ликвидации вредности сточных вод является их очистка и использование в системе обводнения нефтяных пластов (Перевалов, 1952). По техническим условиям закачиваемая в продуктивный пласт вода должна обладать высокой степенью чистоты, для чего производится сложная очистка сточных вод с применением химических реагентов с последующим отстаиванием и фильтрацией. Так, в сточной воде, содержащей до 500 мг/л нефти и 350 мг/л взвешенных веществ, после трехчасового отстоя, коагулирования железным купоросом с последующим отстаиванием оставалось около 10—15 мг нефти и такое же количество взвешенных веществ. После фильтрации через песчаные фильтры содержание нефти снижалось до 2—3 мг/л. По количеству взвешенных веществ (не более 1 мг/л) вода удовлетворяла высоким требованиям, предъявляемым к закачиваемой в нефтяной пласт воде.

Весьма ценным представляется предложенный институтом Гипростокнефти способ раздельной добычи, согласно которому нефть и вода на поверхность поступают раздельно, таким образом, отпадает потребность в устройстве обезвоживающих установок. Вода, получаемая в чистом виде, может немедленно закачиваться для поддержания давления в пласте. По опубликованным сведениям, предложенный способ нашел применение на промыслах Куйбышевского района, где раздельным способом добыто

свыше 250 000 т нефти. Этот способ имеет некоторые и технические преимущества, в том числе снижение капиталовложений и уменьшение себестоимости нефти.

В некоторых случаях применяется закачивание в глубокие слои нефтепромысловых сточных вод. Так, на промыслах Бавлы-нефть в 1955 г. была введена в действие поглощающая скважина глубиной 915 м до сахаровидных доломитов серпуховского подъяруса нижнего карбона, в скважину ежедневно закачивалось 100—120 м³/сутки промысловых сточных вод. На четырех промыслах Куйбышевской области с 1954 по 1960 г. закачано в поглощающие скважины 16.4 млн м³ пластовых вод (Капишников, Козьяков, 1961). Сброс промысловых сточных вод в поглощающие скважины применяется в Баку, Ставрополье, Татарской и Башкирской АССР. На нефтепромыслах в восточном Техасе для ликвидации весьма концентрированных промысловых вод применялись различные способы: выпаривание в открытых ямах, выпаривание с подогревом, непрерывный сброс в реки, накопление для сброса в реки в период дождей, переброска по трубам или открытым канавам в Мексиканский залив и закачка в подземные слои. Наиболее целесообразным оказался последний способ; в 1958 г. действовали для этой цели 82 скважины, в которые было закачано около 25 млн м³ соленой воды. Перед закачкой из воды удалялась нефть и проводилась очистка путем аэрации, хлорирования, коагуляции известью и алюминием, фильтрации через антрацитовые или песчаные фильтры (Morris, 1960).

В тех случаях, когда очистка сточных вод нефтепромыслов не производится, происходит очень интенсивное загрязнение малых рек. Сильно загрязнены многие реки Северного Кавказа, Татарии, Башкирии. В малых реках в районе Бавлы-нефть содержание нефти составляло около 40 мг/л. Сброс нефтепромысловых вод с высоким содержанием солей влечет за собой увеличение минерального состава речной воды до пределов, не допускающих использование речной воды для питьевого водоснабжения. В воде р. Степной Зай, по сообщению Ю. А. Озола, содержание хлоридов, составляющее в естественном состоянии реки несколько миллиграммов, повысилось до 100—200 мг/л.

С т о ч н ы е в о д ы н е ф т е п е р е р а б а т ы в а ю щ и х з а в о д о в

Почти вся добываемая в данное время нефть подвергается переработке на специальных заводах. Отличительной чертой нефтеперерабатывающих заводов является сложность технологии и разнообразие ассортимента вырабатываемых продуктов (Hodgkinson, 1959). В связи с этим значительно варьирует количество, состав и свойства сточных вод (Абрамов, Карелин, 1948). В табл. 16 приводятся средние данные по составу общих стоков нефтеперерабатывающих заводов (Монгайт, Родзиллер, 1958).

Особенностью сточных вод нефтеперерабатывающих заводов являются стойкие запахи нефтепродуктов и других органических соединений, образующихся в процессе переработки нефти. В некоторых случаях наиболее стойкими и неприятными являются запахи не нефтепродуктов, а соединений, образующихся в большом количестве при переработке многосернистых нефтей. Отличительной особенностью органического вещества, содержащегося в стоках, является стойкость к химическим и биологическим воздействиям. Как видно из табл. 16, средняя величина окисляемости стока нефтеперерабатывающего завода составляет 180 мг/л, при содержании 10 г/л нефтепродуктов. Стойкость окисления органических веществ микроорганизмами видна из сравнительно невысоких величин биохимического потребления кислорода за 5 дней (63—180 мг/л).

Состав сточных вод нефтеперерабатывающих заводов

Показатели	Концентрация, в мг/л		
	средняя	минимальная	максимальная
pH	7.7	7.0	8.1
Окисляемость в O_2	180.0	75.0	200.0
Сульфаты SO_4	127.1	81.0	192.7
Сероводород	—	Следы	8.0
Плотный остаток	950	688	1532
Механические примеси	150	59	260
Нефтепродукты	10000	814	41500

Основная задача очистки сточных вод нефтеперерабатывающих заводов сводится к максимальному удалению из воды нефтепродуктов. Задача эта осложняется тем обстоятельством, что некоторая часть нефти, иногда довольно значительная, находится в состоянии эмульсии, мельчайших частиц нефти в водной среде. Часть нефтепродуктов находится в растворенном состоянии, но растворимость нефти, в особенности ее тяжелых фракций, весьма невелика. Из туймазинской нефти растворяется в воде до 20 мг/л легких фракций (Голубева, 1960). Выделение нефтепродуктов даже на примитивно устроенных ловушках дает большой эффект: содержание нефти снижается до 100—200 мг/л. Задача дальнейшего снижения содержания нефтепродуктов является весьма сложной. Распространенным приемом для доочистки сточных вод является устройство прудов-отстойников, рассчитанных на разные сроки отстоя. Такого рода сооружения имеются на Омском, Саратовском, Туапсинском и других заводах. Пруд омского завода, устроенный в пойме реки, имеет емкость 0.8 млн m^3 , со сроком отстоя до 25 суток. Как показали исследования, проведенные на разных заводах, удлинение срока отстоя не влечет заметного увеличения эффективности. Независимо от изменения срока отстоя от 1.5 до 25 суток и колебаний содержания нефтепродуктов в воде, поступающей в пруд, выходящая из прудов вода содержит от 20 до 50 мг/л нефти. Биохимическое окисление нефтепродуктов в прудах, по-видимому, слабое. Это подтверждается тем обстоятельством, что как в летние, так и в зимние месяцы качество осветленной воды заметно не изменяется. Доочистка воды, выходящей из отстойников, может быть произведена различными способами. В этом направлении проводятся многочисленные исследования, но до настоящего времени вопрос практически не разрешен. Для удаления нефти применялась коагуляция известью, сернокислым алюминием, железом. Много исследований проведено по изучению процесса флотации частиц нефти пузырьками воздуха. Изучались различного рода фильтры с разнообразными фильтрующими материалами. Большие надежды, возлагавшиеся на песчаные фильтры, оправдались не полностью. Технические и экономические трудности полной очистки сточных вод нефтеперерабатывающих заводов связаны с тем, что объем стоков очень велик, составляя на современном заводе 2—4 млн m^3 /сутки.

Особое затруднение представляет очистка сернистых нефтей, при обработке которых образуются сточные воды, загрязненные сернистыми щелочами и фенолами. Особую проблему составляет накопление большого количества осадков, для удаления которых устраиваются шлакокопители с расчетом на 5—7 лет. Наиболее радикальным решением вопроса является переход к замкнутому циклу водоснабжения. В этом отношении имеются заметные достижения: коэффициент оборота воды по-

высился с 48.3% в 1954 г. до 61.3% в 1955 г. По строящимся и проектируемым заводам коэффициент повышается до 77 (Кушелев, 1958) и 94% (Монгайт, Родзпллер, 1958).

Вопросам очистки стоков нефтеперерабатывающих заводов уделяется большое внимание за рубежом (Карелин, Перевалов, 1961). В качестве примера можно указать на мероприятия, проводимые при строительстве и эксплуатации крупнейшего завода по переработке тяжелой многосернистой нефти «Тайдустер Делауер» (Lewis, Raplovsky, 1959). Общее количество стоков с промышленной площадки составляло около 25 м³/сек. Основным принципом было устройство очистных сооружений как можно ближе к источнику образования отходов, с возложением максимальной ответственности на начальников установок, дающих выбросы. Для предупреждения потерь нефтепродуктов все коммуникации, кроме водопровода и электропроводки, сделаны надземными. Принята раздельная система канализации для вод охлаждения, дождевых вод, стоков от загрязнения нефтью и вод, образующихся в процессе переработки. Очистка от нефти предусмотрена не только для нефтяных вод, но также для части охлаждающих и дождевых вод, загрязняемых нефтепродуктами. Наиболее сложной системой очистки с применением химических и физических методов удаляется 97.6% кислой нефти, 94.3% сульфидов, 99.8% меркаптидов, 83.6% щелочности по едкому натру.

Очищенные стоки попадают вблизи устья в р. Делауер, изучение которой проводилось до пуска завода и в течение двух лет эксплуатации предприятия и очистных сооружений. Эффективность работы очистных установок проверялась анализами образцов сточных вод, составленных путем ежечасовой выемки проб в течение каждой смены, на протяжении четырех последовательных недель. Наблюдения за состоянием реки проводились с помощью систематических исследований вблизи выпуска, а также при помощи одномоментных съемок на устьевом участке реки. Найдено, что эффективность установок соответствовала расчету, содержание отдельных компонентов было несколько ниже намеченного. Сброс сточных вод не внес значительного ухудшения в состояние реки. Таким образом, несмотря на огромный объем стоков, практически возможно добиться весьма высокой степени очистки и предупредить загрязнение водоемов.

Переработка сернистых щелочей с регенерацией едкого натра, окисление сероводорода в серную кислоту и опреснение воды от электрообессоливающих установок (ЭЛОУ) для использования в производстве являются путями ликвидации сброса сточных вод в реки (Волк, 1961).

Другого рода возможности были реализованы на некоторых крупных нефтеперерабатывающих заводах в СССР, где по местным условиям представилось возможным сбрасывать сточные воды в пониженные места рельефа. При этом поступления загрязненной воды в водоемы не происходит, так как в образовавшихся водоемах потеря за счет испарения и фильтрации полностью компенсирует приток сточных вод. Столь благоприятные условия встречаются сравнительно редко, но в пределах засушливой и пустынной зоны, по-видимому, такие возможности вполне вероятны. Возможна биологическая доочистка сточных вод после прудов-отстойников (Sherwood, 1955), но вопрос этот недостаточно разработан. Имеются предложения о применении флотации и электролиза (Перевалов, 1952; Fiske, Mergit, 1955).

До настоящего времени нет указаний на возможность использования очищенных сточных вод для полива сельскохозяйственных культур. Вредное действие нефти на растительность хорошо известно: участки земли, залитые нефтью, надолго остаются бесплодными. Но те концентрации, которые имеются в воде, прошедшей пруды-отстойники (20—50 мг/л)

и хорошо устроенные и правильно эксплуатируемые нефтеловушки (около 100 мг/л), довольно быстро могут подвергнуться биохимическому окислению и не оказывать вредного действия на растительность. Проведение опытов в этом направлении весьма желательно.

Н е ф т ь в в о д о е м е

В данное время нет водоемов, не загрязненных нефтепродуктами, особенно в районах добычи и переработки нефти. Попавшая в водоем нефть подвергается превращениям механического, физического и биохимического порядка. Пути превращения нефтепродуктов в водоеме сравнительно мало изучены. Довольно значительная литература существует по вопросам, связанным с биохимическими превращениями нефти в лабораторных условиях. В водоеме нефть может присутствовать в растворенном виде, во взвешенном состоянии в толще воды, в виде пленок на поверхности водоема. Некоторая часть нефти, попадающей в водоем, оседает на дно, берега и водную растительность. В растворенном состоянии находится обычно весьма незначительная часть нефтепродуктов, загрязняющих реку. Растворимость нефти в воде невелика, в особенности это касается тяжелых фракций, которые являются стойкими загрязнителями водоемов. Довольно значительные количества нефти могут присутствовать в воде во взвешенном состоянии. Этой фракции нефтяных загрязнений нередко присваивают название эмульгированной нефти. Несомненно, что только незначительная часть нефтепродуктов, находящихся во взвешенном состоянии, относится к истинным эмульсиям, т. е. нефтепродуктам, находящимся в степени коллоидальной дисперсности (частицы менее 1 мк). Крайне замедленное всплывание частиц нефти не может служить доказательством нахождения нефтепродуктов в состоянии коллоидальной эмульсии, так как тяжелые фракции нефти имеют удельный вес, близкий к единице, и, следовательно, могут находиться во взвешенном состоянии продолжительное время. Наиболее наглядным показателем загрязнения водоемов нефтью служит присутствие нефтепродуктов на поверхности, где сосредотачивается нефть, попавшая на поверхность водоема и всплывшая со дна и из толщи воды. Пленки нефти на поверхности водоема имеют разную толщину. В силу действия поверхностного натяжения воды капли нефти, попавшие в водоем, немедленно растекаются по его поверхности. Площадь, на которой распределяются капли нефти, различна в зависимости от степени чистоты водоема. На поверхности чистого водоема капли нефти занимают площадь диаметром 1—1.5 м. Толщина пленки, имеющей оловянно-серый цвет, исчисляется десятками микрометров. Часто наблюдаемые на водоемах ирризирующие пленки с преобладанием красновато-фиолетовых тонов имеют толщину в несколько десятых микрометра. При дальнейшем увеличении толщины пленка не вызывает эффекта ирризации и становится грязновато-серой (Драчев, 1948). Под влиянием ветра происходит перемещение пленки со скоростью, примерно в 2 раза большей по сравнению с перемещением верхнего слоя воды. Пригнанная к берегу или к прибрежной растительности нефтяная пленка оседает в прибрежной зоне или на частях растений. Нефтяная пленка подвергается воздействию микроорганизмов, изменяет свой внешний вид и состав. При этом происходит частичное погружение образовавшихся бактериальных тел и нефти на дно. Опускание нефти на дно может происходить также в силу взаимодействия пленки и нефти, находящейся во взвешенном состоянии с минеральными взвешенными частицами. В силу указанных обстоятельств многократно отмечались скопления нефти на дне загрязняемых рек и озер. Неравномерность распределения нефти делает весьма затруднительным

количественное определение содержания нефтепродуктов в водоеме. При обычном способе взятия проб воды на глубине 20 см от поверхности и на любой другой глубине забирается нефть, находящаяся во взвешенном состоянии. Загрязнение поверхности и донные скопления нефти при этом не учитываются. Для характеристики загрязнения водоема в целом предложена шкала, имеющая описательный характер, но могущая служить для общей характеристики состояния водоема (табл. 17).

ТАБЛИЦА 17

Шкала визуального определения загрязнения нефтью

Внешний вид водоема	Балл
Отсутствие пленок и пятен	1
Отдельные пятна и серые пленки на поверхности воды	2
Пятна и прилипающие пленки нефти на поверхности воды; отдельные промазки по берегам и на прибрежной растительности	3
Нефть в виде пятен и пленок покрывает большую часть поверхности водоема; берега и прибрежная растительность вымазаны нефтью; нефть всплывает при взмучивании дна	4
Поверхность реки покрыта нефтью, видимой и во время волнений; берега и прибрежные сооружения вымазаны нефтью; нефть всплывает при взмучивании дна	5

Наличие нефти в водоеме способствует изменению внешнего вида последнего, как это видно из табл. 17. Систематическое накопление данных по состоянию водоема в целом может дать характеристику тех изменений, которые происходят при внесении нефтяных загрязнений. Для количественной характеристики загрязнения водоемов нефтепродуктами, помимо обычно принятых способов определения нефти, находящейся во взвешенном состоянии в толще воды, необходимо определение пленочной нефти на поверхности водоема и нефтепродуктов, скопившихся на дне.

Распределение нефтепродуктов между массой воды, поверхностью, донными отложениями и берегами, как и длительность существования каждой из форм нефти, мало изучены. При небольших количествах на поверхности нефть распространяется столь тонким слоем, что перестает быть видимой. Только путем замера поверхностного натяжения (Драчев, 1948; Шулейкин, 1953) или путем наблюдения за поведением капель нефти, наносимых на поверхность водоема, можно установить присутствие тончайшей нефтяной пленки, толщина которой не более нескольких миллимикрон. Поверхностные слои нефти толщиной в десятые микрона, дающие разнообразные цветовые оттенки, являются показателями увеличения загрязнения водоема. Влияние такого рода пленок на физические свойства воды и запах ничтожно. Утолщение пленки до 0.1 мм начинает замедлять скорость проникновения кислорода в воду. Дальнейшее увеличение толщины пленки усиливает задержку газообмена, в частности, удаление углекислоты, накапливающейся при окислении нефти.

Наличие нефти на поверхности водоема не всегда сопровождается появлением запахов. Пробы воды канала им. Москвы никогда не давали нефтяного запаха, хотя загрязнение поверхности воды нефтью наблюдалось неоднократно. При искусственном внесении нефти в весьма больших количествах в небольшие водоемы нефтяные запахи не переходили в воду. Очевидно, вещества, придающие нефти специфический запах, при распределении нефти тонким слоем испаряются, не переходя в растворенное состояние. В природных условиях длительность существования пленки невелика. С одной стороны, происходит испарение нефти, с другой — рас-

предельная тонким слоем нефть подвергается энергичному воздействию микроорганизмов. Распад нефти под влиянием микроорганизмов хорошо изучен в работах В. О. Таусона (1932) и других исследователей.

А. А. Ворошилова и Е. В. Дианова (1950) наблюдали огромную концентрацию сапрофитных микроорганизмов в поверхностном слое воды при наличии нефтяной пленки. В опытных условиях ими показана интенсивность размножения бактерий за счет нефти.

При большой толщине пленки, достигающей в некоторых случаях нескольких десятков миллиметров, продолжительность ее существования увеличивается. В результате микробиального разложения пленки изменяют свой внешний вид, становятся бурыми, лохматыми. В связи с изменением удельного веса нефти, испарением более легких фракций, воздействием микроорганизмов и попаданием пылевых частиц, происходит оседание поверхностной нефти на дно. Если дно богато органическими веществами, то при процессе выделения газа происходит частичный перенос нефти на поверхность. Количество нефти, поступающей со дна в р. Москву, составляло летом 6—17, а зимой 1—1.7 г на 1 м²/сутки. Наличие нефти на поверхности водоема, помимо неприятностей эстетического характера, отрицательно отражается на гидробионтах и даже на птицах. Неоднократно отмечалась гибель птиц из-за того, что их оперение было покрыто нефтью.

Наименее изучены свойства нефти, находящейся в водоемах во взвешенном состоянии. Присутствие взвешенной нефти вызывает ухудшение физических свойств воды, появление привкусов и запахов. Опыты, проведенные по изучению потребления кислорода нефтью, показали, что распад последней происходит сравнительно замедленно. В опытах А. А. Ворошиловой за 18 дней 1 мг нефти потребил 0.5 мг кислорода. По данным М. Т. Голубевой (1960), 1 мг нефти за 8 дней потребляет всего 10—16% кислорода, теоретически потребного для полного окисления нефти. Процесс окисления идет в 5—8 раз медленнее, чем окисление органического вещества бытовых сточных вод (Голубева и др., 1949). Следовательно, полное окисление нефти в аэробных условиях закончится не ранее, чем через 100—150 дней. Распад нефти в анаэробных условиях сравнительно мало изучен. Исследования Таусона (1932) показали, что при наличии нитратов и сульфатов в слое воды, соприкасающемся с нефтью, происходит окисление нефтепродуктов. При этом отмечается явление денитрификации с появлением свободного азота и восстановление сульфатов с образованием сероводорода. Процесс происходит весьма замедленно, нефтяные отложения на дне водоема в анаэробных условиях сохраняются длительное время и могут служить, как указано выше, источником вторичного загрязнения водоемов.

Нефтяные загрязнения могут распространяться в водоеме на весьма значительные расстояния. В литературе имеются указания (Кушелев, 1958), что сбросы нефтеперегонного завода в г. Омске распространились по течению Иртыша и Оби, вплоть до г. Салехарда, на расстояние до 1800 км. Столь обширное распространение загрязнения связано с массивными аварийными выбросами. Учитывая подвижность нефтепродуктов на поверхности и стойкость к окислению, необходимо считаться с возможностью распространения нефтяных загрязнений на значительное пространство.

В водоеме влияние нефти может сказываться на увеличении цветности, окисляемости и биохимического потребления кислорода. Последний показатель является наименее чувствительным в силу стойкости нефтепродуктов к воздействию бактерий. Наиболее чувствительный показатель — запах воды. В работе Б. А. Скопинцева и И. Н. Сосуновой (1940) указывается, что керосиновый запах отмечался при внесении 1 мг/л; после хло-

рирования дозой 0.05 мг/л активного хлора появляется дополнительный неприятный привкус и запах. Более детальное исследование этого вопроса (Голубева и др., 1949) подтвердило это наблюдение. Запах туймазинской нефти в количестве 0.5 мг/л в первый день наблюдения обнаруживался опытными аналитиками и оказался нестойким, на третий день даже доза в 3 мг/л нефти не обнаруживалась по запаху. К сожалению, не имеется детальных исследований порогового запаха стоков нефтеперерабатывающих заводов. В последних могут содержаться вещества, дающие более стойкие и интенсивные запахи, чем нефтепродукты. В воде р. Москвы на протяжении свыше 100 км обнаруживался запах стоков нефтеперегонного завода, в то время как запах нефтепродуктов обнаруживался в пробах воды, взятых только в непосредственной близости от впадения стоков. Исследования влияния сточных вод нефтеперегонных заводов на рыб (Павлинова, 1939; Мосевич, 1951) показали, что основным фактором вредного воздействия стоков является содержание в них легких нефтепродуктов. В этом отношении подтверждены старые данные Г. В. Хлопина и А. Ф. Никитина (1898), И. Д. Купциса (1900), И. Н. Арнольд (1903). Особенностью влияния нефтепродуктов на рыб является нефтяной запах и привкус. Это в некоторых случаях проявляется на участках реки, не получающих непосредственно большого количества стоков, содержащих нефть. Объясняется ли это обстоятельство перемещением нефтяных загрязнений на большое расстояние или миграцией рыб, остается невыясненным.

Считается доказанным (Мосевич, 1951), что сброс сточных вод в реку создает барьер, не проходимый в меженное время для рыб, чувствительных к нефтяному загрязнению.

Непосредственное токсическое действие нефтяных загрязнений на рыбу отмечается в местах, прилегающих к нефтяным стокам, и ограничивается весьма небольшими участками. Из токсической зоны рыбы уходят, отпугиваемые изменением физических свойств. Мышьяковистый ангидрид, соединения свинца, цианистые и роданистые соединения в сточных водах нефтеперерабатывающих заводов находятся в концентрациях, не оказывающих влияния на рыбное население. Исследование кормовой фауны на участках реки, загрязняемых сбросами нефтеперегонных заводов, не показали резких отклонений от нормы.

Сточные воды химической промышленности

Химическая промышленность включает в себя разнообразные производства, дающие стоки нередко весьма сложного состава. К основным отраслям промышленности, дающим стоки, содержащие неорганические соединения, относятся промышленность минеральных удобрений, производство серной кислоты и содовые заводы. Стоки, загрязненные разнообразными органическими соединениями, дают нефтехимическая промышленность, производство искусственного каучука, вискозы, пластмасс, фармацевтические предприятия, лакокрасочная промышленность. В основном органическими соединениями загрязнены стоки предприятий, производящих средства для борьбы с вредителями сельского хозяйства: с насекомыми — инсектициды, грибами — фунгициды, с сорной растительностью — гербициды, химические средства для уничтожения древесной растительности — арборисиды.

Среди огромного количества продуктов, сбрасываемых химической промышленностью, находятся вещества, весьма активные в биологическом отношении. В качестве примера можно назвать токсафен, который при содержании 6 мкг/л оказывал отравляющее действие на рыб.

Общее количество сточных вод, сбрасываемых химическими предприятиями, с трудом поддается учету. В целом химическая промышленность является крупным потребителем воды: в 1958 г. в Великобритании суточное потребление воды исчислено в 970 мл галлонов, предположительно к 1966 г. потребление воды должно возрасти более чем на 50%, если не будет широко применяться рециркуляция (King, 1958). В США химическая промышленность использует почти четверть всей воды, потребляемой промышленностью, и находится в этом отношении на втором месте среди других отраслей производства.

В СССР общее количество валовой продукции химической промышленности с 1914 по 1961 г. возросло в 150 раз, в то время как вся промышленность за этот же срок выросла в 44 раза. Капиталовложения в химическую промышленность за 1952—1958 гг. составили около 2 млрд руб., вложения же за 1959—1965 гг. составят около 10 млрд руб. Особенно усиленно развиваются производство удобрений и молодые отрасли промышленности — производство пластмасс, детергентов, средств для борьбы с вредителями леса и сельскохозяйственных культур.

Быстрые темпы развития химической промышленности указывают на возрастающую угрозу загрязнения водоемов.

Предприятия, дающие стоки, загрязненные минеральными веществами

Содовые заводы. К предприятиям основной химической промышленности относятся содовые заводы, главной продукцией которых является углекислая сода, называемая кальцинированной. На этих же предприятиях обычно вырабатываются двууглекислая сода, каустическая сода (едкий натр), нашатырь, хлористый кальций. Заводы по производству соды располагаются в непосредственной близости от исходного сырья, которым служит хлористый или серноокислый натрий. В процессе производства по способу Сольве, принятому в данное время почти на всех заводах, хлористый натрий подвергается обработке углекислым газом и аммиаком, при этом происходит выпадение двууглекислой соды. Маточный раствор подвергается обработке известью, после чего аммиак отгоняется паром и возвращается на производство; оставшаяся жидкость, получившая название дистиллера, представляет собой основной вид сточных вод содовых заводов. Отличительной чертой жидкости является чрезвычайно высокая концентрация минеральных соединений, в основном хлористого кальция и натрия (табл. 18).

Высокое содержание минеральных солей превышает предел растворимости гипса, углекислого кальция, гидрата окиси кальция. В составе сточных вод завода Донсода сухой остаток в среднем составляет 175 г/л, количество взвешенных веществ — 11.8 г/л. К сожалению, до настоящего времени не найдено промышленного применения столь концентрированным растворам. Основной пигмент — хлористый кальций — частично извлекается на предприятиях, где налажено производство хлористого кальция, но используется лишь небольшая часть общего количества. Широко применяется накопление сточной жидкости содовых заводов в так называемых «белых морях». Обычно в поймах рек на площади в несколько десятков или даже сотен гектаров обваловываются высотой до 10 м устройства для накопления сточной жидкости. Спуск накопившихся сточных вод производится в период весеннего половодья с тем, чтобы избежать засоления и порчи качества воды в нижележащем участке реки. При небольшом расходе воды в реке спуск сточной жидкости даже в период паводка встречает затруднения. Это имеет место на основной артерии Донбасса — р. Северный Донец, в связи с чем уже давно ставится во-

прос о перекачке сточных вод находящихся здесь заводов в Сиваш по водоводу или каналу протяженностью до 500 км.

Вопрос о влиянии минеральных солей на гидробионты природных водоемов подвергся обстоятельному изучению в работах А. В. Каныгиной (1957) и др. Установлено в лабораторных опытах, что водные организмы по-разному реагируют на возрастание содержания минеральных соединений. Эффект действия в значительной мере зависит от температуры, состава минеральных соединений, физиологического антагонизма солей и фазы развития животных организмов. При воздействии на водные организмы смеси солей в известных пределах играет роль не концентрация, а количественное соотношение присутствующих в смеси ионов. В опытах с добавкой к воде из р. Москвы 1 г/л солей, содержащихся в дистил-

ТАБЛИЦА 18

Состав дистиллерной жидкости

Ингредиенты	Общее количество		В том числе нерастворимых, в г/л
	г/л	%	
Вода	900	82	—
Хлористый кальций	110	10	—
" натрий	60	5.5	—
Гидрат окиси кальция	15	1.3	12
Гипс	4	0.3	2.5
Углекислый кальций	6	0.5	4.0
Примеси (песок и пр.)	5	0.4	3.5
Всего	1100	100	22

лерной жидкости содового производства, не установлено вредного действия даже на наиболее чувствительные к солям водные организмы. Известную роль может играть солевой состав речной воды, принимающей стоки. Для р. Северный Донец необходимо учитывать минеральные соединения, обычно присутствующие в воде реки. Чувствительность гидробионтов к солевым примесям сильно зависит от температуры воды, заметно возрастая с повышением последней (табл. 19).

Данные получены в опытах с отдельными солями и могут не соответствовать природным условиям, где гидробионты подвергаются воздействию сложной смеси соединений. Обращает внимание высокая чувствительность водных организмов к сравнительно малым концентрациям калия, что подтверждается данными других исследова-

ТАБЛИЦА 19

Концентрация солей, безвредных для наиболее чувствительных гидробионтов, в мг/л

Соли	3°	18—20°
NaCl	1250	500
KCl	95	10
CaCl ₂ · 6H ₂ O	2750	500
MgCl · 6H ₂ O	2500	700

При сбросе минеральных соединений в реки необходимо учитывать ухудшение качества воды для хозяйственно-питьевого и технического использования. Согласно международному стандарту качества питьевой воды (1959 г.), допустимым считается содержание кальция 75 мг/л, избыточным — 200 мг/л, магния — допустимым 50 мг/л, избыточным — 150 мг/л; в отношении анионов сильных кислот — сульфат-иона и хлор-иона допустимым принято содержание по 200 мг/л, избыточным для хлор-иона — 600 мг/л, для сульфат-иона — 1000 мг/л.

Исследования, проведенные коллективом авторов (Драчев и др., 1959), привели к мысли о том, что имеется оптимальная величина концентрации минеральных солей в питьевых водах и что в некоторых случаях желательно повышение содержания кальция, а возможно, и некоторых других компонентов солевого состава воды. Оценка качества питье-

вых вод в зависимости от минерализации на основании проведенных исследований приведена в табл. 20.

ТАБЛИЦА 20

Качество питьевых вод в зависимости от минерализации

Концентрация ионов, в мг/л	Преобладающие соли	Вкус	Недостатки	Оценка минерализации
< 50	$\text{Me}(\text{HCO}_3)_2$	Не вполне удовлетворительный.	Мало J, F, Ca	Неполноценная.
50—250	$\text{Me}(\text{HCO}_3)_2$	Хороший.	Мало J, F	Умеренная.
250—600	$\text{Me}(\text{HCO}_3)_2 \cdot \text{NaCl}$	»	—	Достаточная.
600—1200	$\text{NaCl}, \text{MgSO}_4$	Удовлетворительный.	Избыток NaCl	Повышенная.
1200—1500	$\text{NaCl}, \text{MgSO}_4, \text{Na}_2\text{SO}_4$	Не вполне удовлетворительный.	Избыток NaCl, MgSO_4	Высокая.

Из приведенных данных следует, что в общем концентрация минеральных солей в реке не должна быть выше известного предела как по требованиям для питьевой воды, так и в интересах рыбного хозяйства. Значительные возможности для сброса в реку имеются только в период весеннего половодья, когда резко возрастают расходы воды и концентрация минеральных солей снижается до 50—100 мг/л.

Обычно принятая схема устройства накопителей представляет опасность в отношении фильтрации вод из «белых морей» в подземные горизонты. Исследования, проведенные на донецких химических заводах, показали, что фильтрация солей из накопителей даже на песчаных грунтах незначительна (Клюнков, 1948). Последующие исследования указывают на возможность ухудшения качества грунтовых и артезианских вод. По данным П. В. Маложик (1960) и Л. Ф. Левадной (1960), водозабор лисичанского районного водопровода (Лесная дача) оказался под влиянием сточных вод из накопителя донецкого содового завода, расположенного в 2.5 км от места забора. Специально проведенное разведочное бурение показало, что причиной увеличения минерализации в месте водозабора послужил поток засоленных вод от накопителя. По этой же причине вышли из строя екатерининский, воеводовский и другие водозаборы Рубежанского химического комбината. Отмечено ухудшение качества воды других подземных водозаборов мергельно-меловых вод, выведена из строя часть скважин линецкого водопровода.

При содовых заводах обычно организуются другие отрасли химической промышленности: производство хлора, хлорной извести, гипохлорита кальция, технического хлороформа, хлористого алюминия и других продуктов. Состав сточных вод хлорных комбинатов сильно варьирует в зависимости от технологии производства и состава производимых продуктов. Отличительным свойством сточных вод заводов по выработке и переработке элементарного хлора является высокий минеральный состав и присутствие значительных количеств активного хлора. По данным И. Л. Мопгайта (1950), общий сток хлорных комбинатов характеризуется показателями, приведенными в табл. 21.

Сточные воды хлорного комбината отличаются повышенной минерализацией, высоким содержанием взвешенных веществ, большим количеством активного хлора. Так как содержание последнего в водоеме не должно превышать 0.2 мг/л, необходимым условием сброса стока является дохлорирование или разбавление водой, не содержащей активного хлора. Возможно использование общего стока хлорного комбината после удале-

Состав сточных вод хлорного комбината

№	Цвет	рН	Взвешенные вещества, в мг/л	Сухой остаток, в мг/л	Хлориды, в мг/л	Активный хлор, в мг/л	Количество осадка в % от объема сточных жидкостей
25	Желтоватый.	5—11	700—1100	3600—6350	1850—3000	10—100	4.5

для взвешенных веществ для хлорирования хозяйственно-фекальных сточных вод и производственных жидкостей, содержащих большое количество органических веществ, как например стоки кожевенных заводов, мясокомбинатов, биофабрик и др.

Сернокислотные заводы. В основной химической промышленности производство серной кислоты является важнейшей отраслью. Получение серной кислоты и ее дальнейшая переработка и использование связаны с рядом других производств. Сточные воды сернокислотных заводов по своим свойствам не оказывают столь вредного влияния на водоемы, как стоки содового производства. Поэтому, несмотря на огромный масштаб предприятий, обезвреживание стоков сернокислотных заводов не является столь трудной проблемой. Большое количество воды расходуется и используется в обороте: при башенном способе производства удельный расход воды на тонну продукции составляет 30—40 м³, при контактном способе производства — 80—90 м³, добавка свежей воды соответственно 8—10 и 20—22 м³.

По своему составу сточные воды отличаются невысоким содержанием взвешенных веществ и сухого остатка, основные вредные свойства их заключаются в кислой реакции и повышенной кислотности. Повышенная кислотность обуславливается обычно попаданием серной кислоты и может быть снижена при поднятии культуры производства. Способом ликвидации вредных свойств стоков является нейтрализация известковым молоком или фильтрация через известковые и доломитовые фильтры. В некоторых случаях усреднение стока может происходить за счет смешения щелочных и кислых стоков. Для очистки сточных вод, содержащих кислоты, предложено несколько типов нейтрализационных установок.

Основными типами нейтрализации являются реагентный метод, при котором в сточную воду добавляется щелочное соединение в виде раствора или сухого вещества, и фильтрационный — сточная вода протекает через нейтрализующий материал (Хаския, 1950). В некоторых случаях преимуществом является метод фильтрации снизу вверх (Никольская, 1950). Значительным осложнением при методах нейтрализации является образование сернокислого кальция, который сильно осложняет работу фильтрационных установок.

Производство минеральных удобрений. Производство минеральных удобрений в нашей стране — одна из основных, усиленно развивающихся отраслей химической промышленности: в 1913 г. было произведено 89 тыс. т минеральных удобрений, в 1961 г. производство их составило 15.3 млн т, а в 1965 г. планируется выработать 35 млн т. Из трех основных видов минеральных удобрений — азотных, фосфатных и калийных — наибольшее значение в отношении загрязнения водоемов имеют азотные.

Наибольшее распространение имеет производство аммонийных удобрений: полученный синтетическим путем аммиак окисляется в некоторых случаях до азотной кислоты. Продукция азотнотуковых заводов является основным сырьем для производства взрывчатых веществ, красителей,

метанола и многих других соединений. Таким образом, состав и количество сточных вод сильно варьирует в зависимости от производств, входящих в состав химкомбинатов. Основным видом загрязнения от производства аммония являются минеральные соли, количество которых доходит до 300 кг на 1 т вырабатываемого аммиака. В составе солей преобладают азотнокислый натрий, сернокислый аммоний, хлористые кальций и натрий. Очень большое количество воды, используемой на производстве, составляют воды охлаждения — до 80—90% от общего количества. Общее представление о составе сточных вод дает табл. 22, составленная В. Г. Зак (1948).

ТАБЛИЦА 22
Состав сточных вод азотнотуковых комбинатов

Ингредиенты	Концентрация, в мг/л
pH	6.9—7.4
Взвешенные вещества при 150°	200—320
Плотный остаток при 105°	550—1200
Хлориды (Cl')	90—225
Сульфаты (SO ₄ ²⁻)	180—250
Азот аммонийный (N)	100—140
Азот нитратный (N)	90—180
Окисляемость O ₂	13—19

По своим физическим свойствам вода бесцветна, имеет слабый запах и температуру в пределах 18—28°. В воде содержатся в весьма небольших количествах медь, мышьяк, следы сероводорода. Таким образом, по своему составу сточные воды не являются сильно загрязненными. При сбросе их в водоем возможно бурное развитие растительности вследствие улучшения азотного питания. Хорошим видом утилизации сточных вод является применение для орошения сельскохозяйственных культур, так как при этом используются удобрительные действия азотных соединений в легко усвояемой для растений форме.

С т о ч н ы е в о д ы , з а г р я з н е н н ы е о р г а н и ч е с к и м и
в е щ е с т в а м и

В современной химической промышленности огромное значение имеет органический синтез. Синтетическим путем производятся красители, лекарственные препараты, взрывчатые вещества. За последние десятилетия выросли новые отрасли промышленности: синтетического каучука, искусственного волокна, пластических масс, красителей, моющих веществ. Список наименований искусственных веществ, получаемых синтетическим путем, содержит многие тысячи названий.

В наибольшем масштабе производится синтетический каучук, искусственное и синтетическое волокно и разнообразные по химическому составу и свойствам соединения, объединяемые в группу пластических материалов.

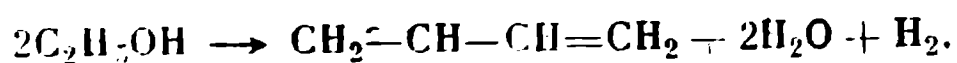
В процессе производства в сточные воды попадает большое количество разнообразных по своему составу и свойствам органических соединений, в том числе и не существовавших ранее в природе. Часть искусственно полученных соединений очень активна в биологическом отношении, в особенности те, задачей производства которых является борьба с вредителями сельского хозяйства — сорной растительностью, грибными заболеваниями растений, насекомыми, бактериальной и грибной

микрофлорой. Многие из производимых веществ являются весьма стойкими и с трудом поддаются воздействию микрофлоры и физических агентов. В связи с этим при характеристике сточных вод, содержащих органические вещества, большое значение имеет токсикологическая и биологическая характеристика указанных соединений.

Исследования по вопросу о разрушении микроорганизмами химически устойчивых соединений проведены В. О. Таусоном (1932), в течение многих лет изучавшим разложение и окисление микроорганизмами углеводов, нефти, парафина и др. Работами В. О. Таусона, Ц. И. Роговской (1951), В. А. Экзерцева и С. И. Кузнецова (1954), а также зарубежных исследователей показано, что нет веществ, недоступных воздействию микроорганизмов. Выделены многие специфические группы микробов, окисляющих соединения открытой цепи (бактерии, плесневые грибы), ароматического ряда (бактерии), полиэтиленовые соединения (бактерии и актиномицеты). Биохимическому окислению поддаются соединения, обладающие антисептическими свойствами. Указанное обстоятельство является весьма важным при решении вопросов биологической очистки промышленных сточных вод и при изучении превращений загрязняющих веществ в водоемах. Теоретические и практические вопросы превращения химических соединений под влиянием биологических агентов широко обсуждаются как в отношении органического вещества в целом, так и в отношении углеродистых соединений. Установлено, что один из широко распространенных гербисидов — 2,4-дихлорфеноксисульфатная кислота — подвергается разложению рядом бактерий (Iensen, Petersen, 1952). Микроорганизмы разрушают, особенно в анаэробных условиях, такие стойкие соединения, как природный каучук, лигнин, хитин и кератин (Nickerson, 1956). Известна стойкость к биохимическим воздействиям такого широко распространенного материала, как нейлон.

Сточные воды производства синтетического каучука. Сравнительно недавно возникшее производство синтетического каучука развивается быстрыми темпами в связи с растущим запросом различных отраслей народного хозяйства. О темпе развития этой отрасли промышленности в СССР можно судить по росту продукции автопокрышек, производство которых основано на использовании синтетического каучука: в 1928 г. было произведено 85 тыс., в 1961 г. — 19 млн. За семилетний период к 1965 г. производство искусственных каучуков увеличится в 3.4 раза.

Основой производства искусственных каучуков первоначально являлся этиловый спирт, получаемый из пищевого сырья. Основной реакцией была дегидратация и дегидрогенизация этилового спирта, происходящая по схеме:



В процессе этой реакции, помимо дивинила, образуется более 50 различных химических соединений. В данное время производство каучука значительно осложнилось в связи с тем, что исходным сырьем становится нефть, природные газы, уголь. Производство натрийдивинилового каучука заменяется выработкой дивинилстирольных и дивинилметилстирольных каучуков. Помимо каучуков общего пользования, вырабатывается несколько десятков видов специального назначения (Никитин, 1957). В соответствии с этим сильно усложнился состав сточных вод.

Изучению сточных вод синтетического каучука и способов их обезвреживания посвящено несколько работ (Акопян, Африкян, 1947; Блиох и др., 1950), наиболее обстоятельное изучение проведено на Воронежском заводе синтетического каучука (Покровский, 1958; Иванов, 1958а, 1958б, и др.), где производится в основном натрийбутадиеновый и дивинилстирольный каучук. На тонну производимого каучука образуется около

60 м³ загрязненных вод и 250—4000 м³ холодильных вод. В состав сточных вод входят спирты, эфиры, альдегиды, непредельные углеводороды. По количеству сточных вод сток довольно равномерен, но значительно колеблется качество стоков. По данным В. А. Иванова (1958а), состав сточных вод в среднем характеризуется показателями, приведенными в табл. 23.

ТАБЛИЦА 23

Средние данные о составе сточных вод общего стока производств натрийбутадиенового и дивинилстирольного каучука

Показатели	Натрий- бута- диеновый каучук	Дивинилстирольный каучук
Порог запаха при разведении	1 : 1000	1 : 2000
Прозрачность, в см	16	4
Взвешенные вещества, в мг/л	50	63
Осадок в % к объему сточных вод через 2 часа	2.8	Единичные крошки.
Сухой остаток, в мг/л	6000	3000
Прокаленный сухой остаток, в мг/л	5400	120
Кислотность, в мл	1.6	1.6
pH	5.2	4.7
Сульфаты (SO ₄ ^{''}), в мг/л	857	20
Окисляемость в O ₂ , в мг/л	100	258
БКП ₅ , в мг/л при разбавлении 1 : 500	1025	4700

В числе специфических ингредиентов сточных вод производства синтетического каучука существенное значение имеет некаль — дибутил-нафталинсульфоокислый натрий (C₁₅H₂₃SO₃Na). Вещество это обладает сильно эмульгирующими свойствами и используется в производстве синтетического каучука при эмульсионной полимеризации. В незначительных количествах некаль ухудшает органолептические свойства воды и в концентрации 5—16 мг/л оказывает токсическое воздействие на организм животных. По данным В. А. Макринова (1958), изменение вкусовых свойств воды в присутствии некаля отмечается уже при концентрации 0.05 мг/л.

Наиболее неприятным свойством сточных вод от производства синтетического каучука является присутствие веществ, изменяющих вкус и запах воды. При сбросе недостаточно очищенных сточных вод в р. Воронеж, впадающую в р. Дон, водопользование было полностью нарушено на расстоянии 12 км, ограничено на расстоянии до 100 км. Даже на более отдаленном участке реки отмечалось, что в зимнее время вода имеет специфические запахи и для питья не пригодна.

Сточные воды поддаются биологической очистке. В связи с малым содержанием в них азота и фосфора требуется добавка к общему стоку фекально-хозяйственных вод или добавление солей азота и фосфора. При высокой температуре сточных вод требуется дополнительное охлаждение стока и удаление масла перед очистными сооружениями. По указанию М. М. Калабиной и др. (1952), возможна очистка сточных вод на полях фильтрации при нагрузке до 125 м³/га в сутки на суглинистой почве. Для удовлетворительного хода очистки требуется добавка 12% фекальных вод. Очистка давала вполне удовлетворительные результаты, БПК₅ снижалось с 295 до 40 мг/л. В условиях перегрузки и неправильной эксплуатации полей фильтрации завода синтетического каучука (Иванов, 1958а) качество сточных вод после очистки на полях улучшалось незначительно: БПК снижалось с 720 до 120 мг/л, интенсивность запаха умень-

шалась в 4 раза. Особенно стойким оказался некаль, содержание которого в исходной и очищенной воде почти не изменилось. Следствием неправильной эксплуатации полей фильтрации явилось постепенное загрязнение водоносных горизонтов и стойкое ухудшение органолептических качеств подземных вод. Интенсивный «дивинилстирольный» запах и большая вспениваемость отмечены в воде скважин на глубине 18—20 м. По проведенным исследованиям, стойкость запахов и привкусов сильно увеличивается в присутствии некаля.

Стойкие запахи и привкусы соединений, содержащихся в производственных сточных водах, обусловили порчу вкусовых качеств рыбы. По данным В. А. Иванова (19586), сточные воды дивинилного производства при разбавлении 1 : 500 и дивинилстирольного при 1 : 100 вызывали порчу мяса рыб. Нарушение процессов самоочищения в водоеме наблюдалось при разведении стоков 1 : 100 и 1 : 200. При хронической интоксикации теплокровных животных вредные последствия обнаруживались при разбавлении 1 : 10. Из-за порчи органолептических свойств воды сточные воды неприемлемы для спуска в открытые водоемы даже при разбавлении в 1000—2000 раз. Замена некаля другими эмульгаторами улучшает качество сточных вод.

Сточные воды производства пластических масс. Под пластическими материалами понимается обширный ассортимент искусственных высокомолекулярных веществ, в основном органического состава, способных формоваться и затем устойчиво сохранять приданную им форму. В группу полимеров входят материалы винил-, стирол-, акрилпласты, в другую группу входят фено-, аминосилипласты. Промышленное значение пластмассы получили только в текущем столетии, особо бурного развития достигла эта отрасль промышленности за последние два десятилетия. В 1953 г. производство пластиков в капиталистических странах составило 2 млн т; в США в 1960 г. произведено 4.8 млн т, ожидается рост до 9 млн т (Middleton, Rosen, 1956).

Разнообразие видов продукции и не вполне еще сложившаяся и часто изменяющаяся технология производства делают затруднительной общую характеристику стоков даже одного и того же предприятия.

Обстоятельные исследования проведены институтом Водгео, изучавшим сточные воды производств нитрилакриловой кислоты, фенола, ацетона и этиленциангидрина, объединенных на одном из заводов (А). На другом заводе (Б) изучались сточные воды производства хлорвиниловой и поливиниловой смол, капролактама, пиролиза керосина, производства окиси этилена и полиэтиленгликолей, получения изопропилового спирта и дихлорэтана.

Один перечень производств указывает на сложность состава сточных вод и огромное количество ингредиентов.

Исследования сточных вод отдельных производств показали, что в них могут содержаться очень высокие количества органических соединений. Общие стоки заводов исследовались после предварительного отстоя и коагуляции известью. В среднем, по данным М. М. Калабиной и др., (1958), общие стоки первого и второго заводов характеризуются составом, приведенным в табл. 24.

В воде завода А содержание растворенных минеральных солей составляло 1547 мг/л. Значительно более минерализованы стоки завода Б, где содержание минерального остатка составляет 23.5 г/л. Даже после отстоя содержание взвешенных веществ было довольно высоким : 596 мг/л в стоках завода А и 1408 мг/л в стоках завода Б. Сложная смесь органических соединений поддается биохимическому окислению; опыты показали, что кривая хода потребления кислорода указывает на некоторое замедление процесса в стоке завода А и ускоренный окислительный процесс

ТАБЛИЦА 24

**Состав сточных вод заводов производства пластмасс
в мг/л**

Ингредиенты	Завод А	Завод Б
Азот аммонийный	8.4	195
Фосфаты	0	0
Окисляемость йодатная в O_2	1510	5530
Окисляемость перманганатная в O_2	372	—
Бромирующиеся вещества в Br	774	372
Фенолы летучие	82.2	—
Фенолы нелетучие	2.2	—
Летучие кислоты жирного ряда (в пересчете на уксус- ную)	252	159
БПК ₅ в O_2	431	1142
БПК в O_2 полная	1140	2760
pH (после нейтрализации)	8.8	9.6

в стоке завода Б. Смесь общих стоков заводов с добавкой 30% бытовой сточной жидкости подвергается биохимическому окислению так же, как и бытовая сточная жидкость. Однако выяснилось, что некоторые соединения, как например дихлорэтан, гексоген, хлорбензол, биохимическим путем не окисляются.

Детергенты. В числе продуктов химической промышленности особое внимание по своему отрицательному действию на очистные канализационные сооружения, внешний вид водоема и гидробионтов привлекают детергенты — синтетические моющие вещества. В 1941 г. в США производство новых моющих веществ составляло всего 1% от количества мыла, через 10 лет величина эта поднялась до 54%. В Англии производство детергентов с 13 000 т в 1949 г. возросло до 44 500 т в 1959 г. Новые моющие вещества находят широкое применение в быту, что, в частности, связано с возможностью применения детергентов независимо от жесткости воды.

По своему химическому составу детергенты весьма разнообразны, предложены многие сотни препаратов. Различают три основные группы. Группа анионного типа дает в водных растворах отрицательно заряженный органический анион и положительно заряженный катион, которым служит обычно натрий. Катионные детергенты имеют в своем составе сильное органическое основание, положительно заряженное. Наконец, имеется группа детергентов, не дающих в водных растворах ионизированных групп.

Отличительной особенностью детергентов является их способность легко образовывать стойкую пену при внесении в воду сравнительно небольшого количества вещества. Способности к пенообразованию детергенты не теряют при прохождении через канализационную сеть и очистные сооружения. Вследствие этого очистные сооружения канализации, а во многих случаях и водоемы, куда попадают сточные воды, часто бывают покрыты клубами пены. В некоторых случаях толщина слоя пены достигает 1 м и более (рис. 9). При порывах ветра пена разносится по прибрежной местности. Вследствие осложнений в работе канализационных сооружений из-за пенообразования детергенты привлекли большое внимание. Известное значение имела наглядность загрязнения. В Англии в 1953 г. был создан специальный комитет для изучения влияния детергентов, о результатах работы которого опубликовано несколько отчетов (в 1956, 1959, 1960 гг.). В США в четырех университетах созданы исследо-

вательские группы для изучения различных сторон действия детергентов, ведутся исследования в Национальном институте здравоохранения.

Наибольшее распространение как в Англии, так и в США имеют моющие вещества анионного типа, составляющие около 80% от общего коли-

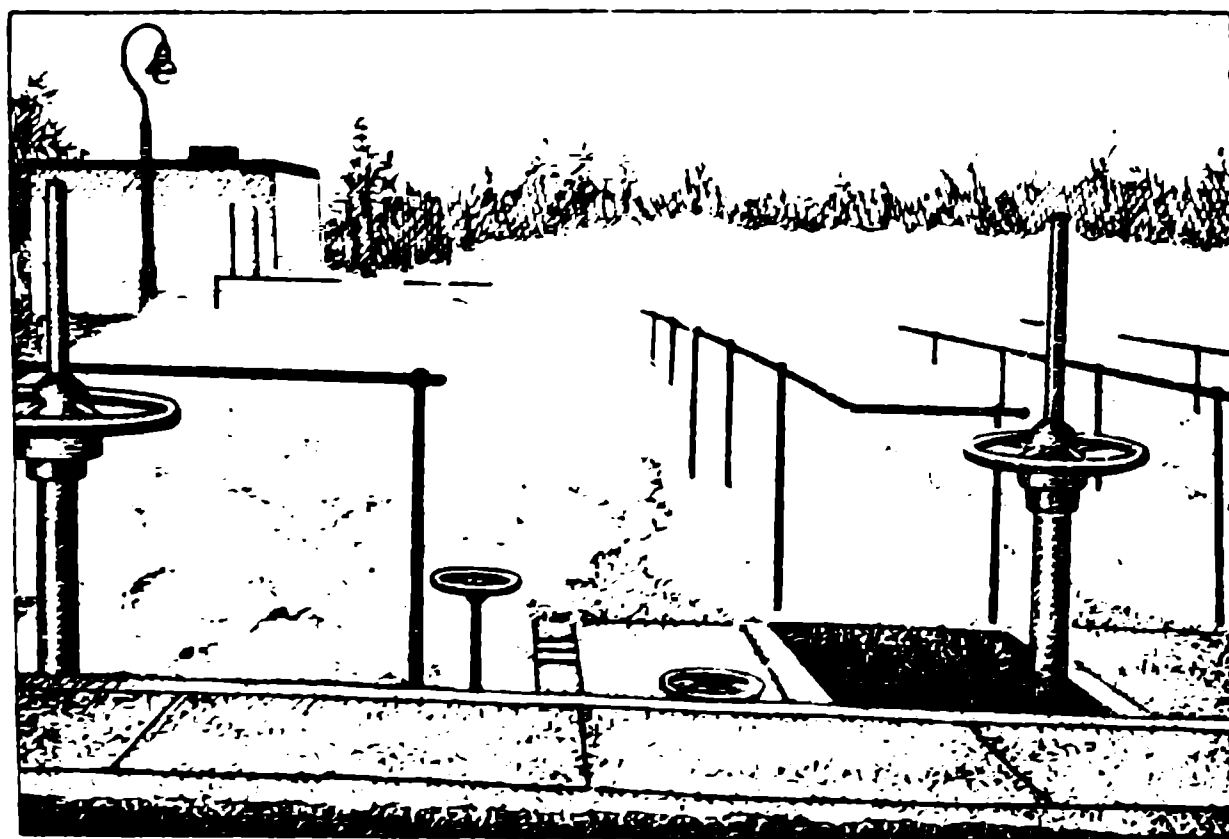
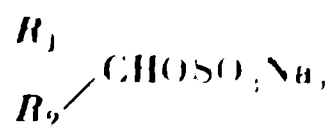


Рис. 9. Пенообразование на очистных сооружениях в Англии.

чества. Наиболее распространенными детергентами являются алкилбензенсульфонат и алкиларилсульфонат. Формулы наиболее типичных соединений следующие:



где R_1 — алкильные радикалы высокомолекулярные, R_2 — алкильные радикалы высоко- или низкомолекулярные. Широко распространены вещества с группой ароматических углеводородов с типичной формулой $\text{RC}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{Na}$, где R — радикал, содержащий от 9 до 15 атомов углерода.

В состав товарной продукции входят еще вещества, увеличивающие эффективность детергентов. В качестве добавок употребляют комплексы фосфатов, сульфат натрия, карбоксиметил-целлюлозы, силикаты, карбонат натрия. Состав добавок непостоянен и сильно варьирует в выпускаемых товарных изделиях.

Высказывается мнение, что широкое применение новых моющих веществ изменило химическую природу сточных вод даже в большей степени, чем применение измельчителей домашнего мусора (McKinney, 1957). Присутствие детергентов вызвало образование пены в аэротенках, уменьшило эффективность первичных отстойников, снизило эффективность вторичных устройств и образование газа. На водопроводных сооружениях отмечено ухудшение коагуляции и осаждения, усилилось образование привкусов и запахов, уменьшилась скорость фильтрации, пена стала появляться в обработанной воде.

Пена, собранная на аэротенках, содержит 7700 мг сухого остатка, в том числе 1800 мг жира и 900 мг растворимого в спирте детергента на 1 л жидкости, образовавшейся из пены. Образование больших количеств пены вызывает загрязнение сооружений, разносимые ветром куски пены загрязняют окружающую местность. Для борьбы с образованием пены применяются механические и химические средства, но ни химические средства, ни тем более механические не разрушают самих пенообразующих веществ. Наличие вспенивающих веществ препятствует проникновению кислорода в воду рек и снижает отдачу кислорода из пузырьков воздуха при продувании его на очистных сооружениях. Отмечается, что органические вещества детергентов способны подвергаться биохимическому окислению, но процесс идет сравнительно медленно. Отмечено снижение биохимического потребления кислорода сточной жидкости при добавлении некоторого количества детергентов (Thomas, 1954).

Стойкость многих детергентов к биологическому окислению на очистных сооружениях и в реке наряду с невысоким эффектом удаления на водопроводах представляет главные трудности в решении этой проблемы. Вместе с тем многие детергенты и, в частности, наиболее распространенный алкилбензенсульфонат являются биологически активными. Отмечено обесцвечивание листьев водного растения потамогетон за 14 дней в присутствии 6 мг/л поверхностноактивных веществ. При концентрации 9 мг/л тот же эффект наблюдался за один день. Была отмечена гибель форели за 12 дней в присутствии 5 мг/л поверхностноактивных веществ, тот же эффект наблюдался за период в 12 недель при концентрации 3 мг/л. Другие породы рыб оказались значительно более стойкими к воздействию детергента. Отмечалась повышенная чувствительность рыб к понижению содержанию кислорода в присутствии детергентов.

Воздействие детергентов на теплокровных животных и человека изучено недостаточно. Полагают, что те количества, которые обычно встречаются в воде у места забора (например, в реках Англии: в Темзе — 0.24 мг/л в среднем за год, р. Лее — 0.53 мг/л) не оказывают воздействия на организм человека. Опыты В. Ф. Гаршвина (1963) указали на малую токсичность алкилбензолсульфоната для крыс.

В результате применения детергентов значительно повысилось содержание фосфатов в реках США, где отмечено в связи с этим более пышное развитие водной растительности, в частности в реках, служащих источниками водоснабжения. Присутствие фосфатов в концентрации около 1 мг/л, по наблюдениям в США, замедляет процесс коагуляции алюминием. Явление повышенного пенообразования у места водозабора и на сооружениях наблюдалось при концентрации 1—2 мг/л, эти количества детергента почти не уменьшались в процессе очистки воды.

При хранении речной воды концентрация поверхностноактивных веществ понижалась за три недели на 20—50%, в дальнейшем снижение шло еще более замедленно, и через шесть месяцев в воде оставалось 20—45% от исходного количества.

Медленная фильтрация через песчаные фильтры снижала содержание активных веществ в зависимости от температуры на 13—50%. Таким образом, совместное действие длительного хранения и прохождения через медленные фильтры в летнее время может снизить содержание поверхностноактивного вещества на 75%, в зимних условиях совместный эффект двух приемов не превышает 30%. Эффект коагуляции и фильтрации через скорые фильтры, по данным эксперимента, снижал содержание активных веществ на 7.5—20%, по другим данным, вовсе не оказывал влияния. Эффективное удаление поверхностноактивных веществ наблюдалось в опытах с активированным углем. При исходной дозе вещества 6.5 мг/л активированный уголь в количестве 40 мг/л удалял около 30%, 100 мг/л угля удаляли около 75% вещества. Хлорирование не оказывало влияния на содержание поверхностноактивных веществ.

Осложнения в работе санитарно-технических сооружений и ухудшение состояния водоемов под влиянием широкого применения в быту новых моющих веществ настолько значительны и реально ощутимы, что привели к необходимости проведения широких исследований и создания специальных правительственных комитетов.

В СССР из новых моющих веществ находят применение нефтяные сульфокислоты, некаль, сульфанол, тексанон, игепон, из неионогенных моющих средств применяются ОП-7 и ОП-10. Изучение свойств некаля проводилось в лаборатории В. А. Покровского (1958). Материалы по характеристике поверхностноактивных веществ ОП-7 и ОП-10 получены О. Д. Гоевой (1962). Указанные продукты в основе своей являются полиэтиленгликольалкиловыми фениловыми эфирами, стойкими в отношении сохранности в водоеме. Опыты с теплокровными животными показали малую токсичность исследованных соединений; полное отсутствие токсического действия было установлено на крысах даже при питье воды, содержащей 4000 мг/л. Исследованные препараты обладают сильной пахучестью, запах обнаруживался в концентрации 0.45 мг/л для ОП-7 и 1.8 мг/л для ОП-10.

Сравнительно малое распространение в быту новых моющих средств пока не вызывало серьезных осложнений в работе наших очистных сооружений, хотя отдельные случаи и были отмечены не только на очистных сооружениях, но и в водоемах. Необходимо учесть печальный опыт стран, в которых имели место неполадки в работе очистных сооружений и загрязнения питьевой воды. Наилучшим путем представляется подбор нетоксичных поверхностноактивных веществ, нестойких в биологическом отношении и не обладающих свойствами осложнять работу очистных сооружений.

Нефтехимическая промышленность

Данные по характеристике сточных вод нефтехимической промышленности приведены в разделе нефтяной промышленности, но сейчас последняя отрасль все более смыкается с химией. Стоки становятся весьма сложными; одним из неприятных свойств является пахучесть ряда ингредиентов. Имеются указания, что в одном из случаев загрязнения реки ухудшение запаха и вкуса было отмечено на расстоянии тысячи миль (Middleton, Rosen, 1956).

В США имеется более 300 нефтехимических предприятий; предполагается, что к 1965 г. производство почти половины всей химической продукции будет связано с нефтехимическими заводами.

Обработка нефти и сопутствующего ей природного газа дает метан, этан, пропан, бутан, этилен и другие продукты, служащие для синтеза искусственного волокна — ацетатного, акрилатного, полиэтилена, нейлона и винила. Из продуктов обработки нефти производятся пластики и смолы фенольные, полиэфирные, полиэтиленовые, стирольные, виниловые, различные виды синтетического каучука — бутилового, неопренового, нитрилового и др. То же сырье служит исходным для ряда других химикатов — антифризов, гидравлических жидкостей, тетраэтилсвинца и других добавок к бензину и маслам. Здесь же производятся спирты, детергенты, лекарства, взрывчатые вещества, глицерин, кетоны, различные растворители, азотные удобрения, кроющие и красящие вещества, ракетное топливо.

Смешанные стоки химических производств

Как указывалось выше, сбросы химических заводов попадают в водоем в подавляющем большинстве случаев на сравнительно небольшом расстоянии друг от друга. В некоторых случаях стоки нескольких заводов или даже комбинатов объединены еще до сброса в водоем. Объем стока и сложность его состава особенно возрастают в тех случаях, когда поблизости находятся предприятия различных отраслей промышленности. Примером этого является объединение стоков нефтехимических и нефтяных заводов, в последнее время намечается тенденция к объединению заводов черной металлургии и химических производств.

Характерным для химических комбинатов является резкое преобладание промышленных сточных вод над хозяйственно-фекальными стоками, так как в силу автоматизации многих процессов в химических производствах количество рабочих на единицу продукции относительно невелико. В дальнейшем, по мере развития автоматизации, указанное выше соотношение станет еще более выраженным, тем более что в связи с вредными свойствами трудноустраняемых воздушных выбросов жилища должны и будут удаляться от производственного сектора на все большие расстояния.

Для иллюстрации фактически имеющего место положения со сбросом сточных вод химических предприятий можно привести данные по одному из крупных центров химической промышленности — г. Дзержинску.

Из общего количества стоков комбината на долю хозяйственно-фекальных вод приходилось всего около 2,5%. На заводах насчитывается 350 точек образования сточных вод, количество химических соединений в последних исчисляется многими сотнями. По канализационной сети комбината стоки цехов и отдельных заводов объединяются большей частью до сброса в реку.

Два стока являются наиболее мощными: один несет в реку 85 000, а другой — 400 000 м³/сутки. Первый сток имеет в основном минеральные загрязнения, второй (бабинский) объединяет сточные воды нескольких заводов, дающих в основном продукты органического синтеза. В состав этого стока входят воды от производства нитрилакриловой кислоты, фенола, ацетона, этилендиангидрида. На данном предприятии производится синтез веществ, служащих исходными продуктами для органического стекла, искусственной шерсти и др. В р. Оку суммарно сбрасывается за сутки 233 т органических и минеральных веществ, в том числе 40 т нефтепродуктов и 62 т масел. В числе загрязняющих веществ находятся соединения ртути, мышьяка, бензол, фенол, дихлорэтан, гликоль, стирол. Небольшая речка Власовиха протяженностью 42 км, в которую впадают стоки предприятий органического синтеза, превращена в коллектор сточных вод узла химической промышленности.

Река Власениха проходит через пять пойменных озер, общая площадь которых составляет 20 га, средняя глубина — 4 м. При объеме системы озер, равном приблизительно 800 000 м³, расчетный срок отстоя сточных вод составляет около 2 суток. Сроки отстоя зависят от степени заиленности озер.

С 1950 г. производится работа по удалению осадков при помощи землесосных снарядов. За год удаляется около 150 000 м³ ила, который после обсыхания на прибрежных участках засыпается песчаным грунтом. Работы ведутся круглогодично, так как озера не замерзают. В основном отстой идет в первых четырех озерах, и последнее озеро не подвергается очистке от осадков. Из последнего озера устроен перепад приблизительно на 1.5 м, после чего вода попадает в трубу диаметром 1.8 м, по которой сток сбрасывается в р. Оку. Эффект отстоя в системе озер получается весьма значительный — приблизительно 450 т взвесей в сутки. Содержание взвешенных веществ в стоке при выходе из пятого озера летом 1956 г. колебалось в пределах 10—35 мг/л, что подтверждает хорошую работу системы озер как отстойников.

При прохождении стоков через озера происходит улучшение качества воды, в частности, исчезновение нефтяных и затхлых запахов.

Развитию биологических процессов препятствует кислая реакция воды; только в последнем из озер отмечается присутствие некоторых планктонных организмов. Величина йодатной окисляемости в воде, прошедшей озера, колебалась в пределах 284—426 мг/л, до отстоя в озерах эта величина составляла 1500—5530 мг/л. Невысокое содержание кислорода после отстоя в озерах (0.3—5.0 мг/л) указывает на значительное его потребление.

Общий сток при впадении в р. Оку содержал 32—65 мг/л фенолов, 1.3—6.0 мг/л бензола, 10—69 мг/л нефтепродуктов, обнаружен свинец в количествах 0.06—2.4 мг/л и ртуть — 0.008 мг/л. Весьма высоким оставалось содержание аммонийного азота 30—80 мг/л; очевидно, в кислой среде не происходит окисления аммония за счет химических и биологических процессов. Расстояние от г. Дзержинска до впадения р. Оки в р. Волгу составляет около 50 км, расходы р. Оки (1951—1956 гг.) колебались в пределах 844—1570 м³/сек.

При минимальном расходе реки обеспечивается разбавление наиболее крупного бабинского стока приблизительно в 80 раз, и вносимое загрязнение с трудом определяется в реке обычными методами. Тем не менее сравнительно близкое расположение водозаборов города Горького заставляет особенно внимательно следить за влиянием стока на качество речной воды.

По многолетним наблюдениям р. Ока выше г. Дзержинска не имела значительных признаков химического загрязнения, хотя сравнение данных 1930 и 1955 гг. указывает на увеличение хлоридов с 11.2 до 14.7 мг/л, аммиака — с 0.2 до 0.9 мг/л, нитратов — от следов до 0.2 мг/л, окисляемости — от 7.6 до 8.2 мг/л. У места вхождения реки в черту г. Горького исследованиями отмечено присутствие фенола в пределах 0.01—0.08 мг/л, относительно высокая величина биохимического потребления кислорода до 8.8 мг/л, при содержании кишечной палочки от 111 до 266 в 1 мл (Мергасова, 1957; Беляев, Лобашев, 1959).

Наибольшие величины химических показателей загрязнения были обнаружены на расстоянии 25—100 м от того берега, с которого сбрасываются стоки предприятий, что указывает на отсутствие полного перемешивания.

Летом 1950 г. у пляжа, расположенного в 12 км ниже впадения стока, в 1 г донных отложений было найдено 0.38—1.27 мг фенола и 2.7—3.8 мг нефти. При купании со дна реки поднимались нефтепродукты. Загрязне-

ние донных отложений отмечено и на нижерасположенном пляже. За счет влияния промышленных загрязнений относят частое появление в водопроводной воде запахов. Несмотря на большое разбавление, признаки загрязнения и ухудшения качества воды в местах хозяйственно-питьевого и бытового водопользования проявляются достаточно отчетливо. Не исключена возможность попадания в водопроводную воду отдельных веществ в токсических концентрациях. Прохождение загрязненного стока через озера способствует улучшению качества воды, но не является достаточной мерой. Необходима разработка системы мероприятий по улучшению качества стоков в отдельных цехах и на заводах, сбрасывающих вредные вещества, и очистка общего стока.

Сточные воды угольной промышленности

Угольная промышленность, занимающая одно из основных мест в народном хозяйстве, дает большое количество загрязненных вод. До недавнего времени загрязнение поверхностных водоемов происходило в основном за счет шахтных вод, т. е. той воды, которая скопляется в шахтах из горизонтов, дренируемых горными выработками.

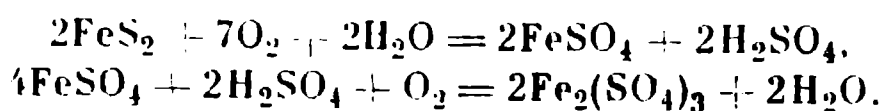
В данное время довольно значительное количество загрязненных вод образуется при новых видах добычи и обработки угля. К таким относится способ добычи угля за счет энергии воды, подаваемой под большим напором. Гидродобыча не получила еще большого развития, но, по имеющимся сведениям, в ближайшее время данный прием будет широко применяться. Имеются указания об использовании воды для транспортировки угля в шахтах, что будет сопровождаться ее загрязнением. При гидрообогащении вода используется для удаления большого количества минеральных частиц горных пород, в которых залегают угольные пласты. Таким образом, добыча угля и его первичная обработка связана с образованием большого количества загрязненных вод. Шахтные воды являются неизбежным спутником добычи угля независимо от способа добычи, транспортировки и обогащения. Состав шахтных вод в основном определяется качеством пород, находящихся поблизости от горных выработок. Просачиваясь в забои, штреки и лавы, вода постепенно образует потоки, мощность которых варьирует в зависимости от гидрогеологических и технических условий. Загрязнение воды происходит при соприкосновении с раздробленными в процессе выработки горными породами и углем, при этом происходит в основном обогащение взвешенными веществами. С санитарной стороны наибольшее значение имеет загрязнение вследствие неблагоустройства шахт, отсутствия уборных и системы удаления нечистот. По указанной причине шахтные воды по бактериологическим показателям, содержанию сапрофитных бактерий и кишечной палочки, нередко приближаются к хозяйственно-фекальным сточным водам.

Количество шахтных вод сильно варьирует в зависимости от гидрогеологических условий; колебания наблюдаются не только в отношении каменноугольных бассейнов, но и отдельных шахт. В некоторых случаях приток шахтных вод настолько значителен, что заставляет отказываться от эксплуатации подземных запасов угля.

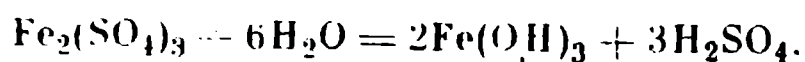
Для количественной характеристики шахтных вод применяется коэффициент водообильности, т. е. количество откачиваемой воды на 1 т добытого угля. В Кирилловском угольном бассейне (западный склон Урала) величина эта колеблется от 1.2 до 67 м³, средний коэффициент по бассейну составляет 7.1 м³. В Воркутинском угольном бассейне (Полярный Урал) коэффициент водообильности колеблется от 0.5 до 4 м³. Если добыча угля составляет в СССР свыше 500 млн т в год, при среднем коэффициенте

водообильности 2 м³, то количество сточных шахтных вод составит 1 млрд м³ в год.

Поступающие в шахты подземные воды, как правило, являются щелочными и нейтральными. Циркулируя по выработанным пространствам и горным выработкам, шахтные воды во многих случаях становятся кислыми, что связано с окислением пирита (FeS₂), сопутствующего залежам угля. Микробиологические процессы, связанные с окислением пирита, ведут к появлению в шахтных водах большого количества закисного железа. Последующий переход соединения сернокислой закиси железа сопровождается выпадением осадка гидрата окиси железа и появлением свободной серной кислоты. Реакция окисления пирита и последующего перехода сульфата закиси железа в окисное соединение железа протекает по схеме:



Сульфат окиси железа легко гидролизуется, давая свободную серную кислоту:



Количество серной кислоты во многих случаях превышает содержание щелочноземельных и щелочных оснований, связанных с бикарбонатным поном. В таких случаях после нейтрализации бикарбонатов в воде появляется свободная серная кислота. Такой характер имеют сточные воды многих бассейнов в Англии (Royal Commission. . . , 1911), Германии и США. Так, шахтные воды в бассейне р. Огайо по подсчетам содержат около 3 млн т серной кислоты, поступающей в реку и ее притоки в течение года. Многолетними наблюдениями в Кизилловском угольном бассейне установлено, что весной и осенью концентрация свободной серной кислоты в шахтных водах выше, чем летом и зимой. Отмечено, что в первое время после ввода новых шахт в эксплуатацию шахтные воды имеют нейтральную или слабую щелочную реакцию. По истечении времени, очевидно, после развития микробиологических процессов, появляются в шахтных водах сперва сульфаты, а затем свободная серная кислота. По Кизилловскому угольному бассейну среднее содержание свободной кислоты, по сообщению В. А. Азимова, составляет 445 мг/л, общее количество шахтных вод, сбрасываемых в реки бассейна, — 95—100 млн м³ в год.

Содержание сильных кислот в шахтных водах Донбасса в среднем, по данным Н. Г. Фесенко (1960), находится в пределах от 5 до 10 мг-экв./л, что составит несколько меньшую величину, чем в Кизилловском бассейне. В отдельных шахтах Донбасса содержание сильных кислот достигает 50 мг-экв./л. В шахтных водах Донбасса, помимо высокого содержания закисного и окисного железа, отмечено наличие больших количеств алюминия, повышенное содержание марганца, цинка, меди и других тяжелых металлов, общее содержание которых может составлять десятки миллиграммов на литр. Своеобразной чертой шахтных вод Воркутинского бассейна является отсутствие свободной серной кислоты и щелочная реакция в течение всего периода наблюдений. Возможно, что основной причиной этого явления служит характер подземных вод, обладающих высокой щелочностью, и горных пород, в которых залегают угольные пласты. Возможно, некоторую роль играет сравнительная молодость угольного бассейна, разработка которого началась всего около двух десятилетий тому назад, и глубокое залегание угольных пластов.

Сброс шахтных вод в неочищенном виде влечет загрязнение рек. В некоторых случаях количество сточных вод настолько значительно, что в пробах воды, взятых в весенний паводок и летнюю межень, обнару-

жено наличие свободной серной кислоты. Так, при сбросе вод на 19 шахт Кизилковского бассейна в реки Большой Кизил и Северная Вильня, протекающих в северной половине бассейна, почти во всех пробах обнаруживается свободная серная кислота в количестве 5—127 мг/л, что указывает на полное использование щелочного резерва воды. Кислые шахтные воды, сбрасываемые в эти реки в количестве 66.6 млн м³ в год, полностью нарушают нормальное состояние водоемов. Обычным следствием попадания шахтных вод в водоем является выпадение значительных количеств гидрата окиси железа (ржавые воды), откладывающегося на дне и берегах. Такого рода явления наблюдались на многих реках в Англии. США (Haworth a. Evans, 1921). Биологическое изучение рек, загрязненных шахтными водами, показало (Lackey, 1938; Morgan, 1942), что в них нет рыбы, отсутствуют черви и моллюски, отмечено присутствие ракообразных, некоторого количества водорослей и протозоа. В верхнем течении р. Огайо отмечено в период наибольшего сброса шахтных вод пониженное содержание кишечной палочки, по-видимому, в связи с действием кислых шахтных вод. Очевидно, при этом замедляются процессы самоочищения, распада органического вещества, вносимого с хозяйственно-бытовыми стоками.

Помимо высокого содержания сернокислого железа и свободной серной кислоты, отрицательное действие на водоем оказывает высокое содержание взвешенных веществ, а также в некоторых случаях очень высокое содержание растворенных солей. По данным английской комиссии по сточным водам (Royal Commission. . ., 1911), в среднем в сточных водах содержится сухого остатка 5680, железа — 710, сульфатного иона — 2000 мг/л. Позднейшие данные (Artist, 1940) указывают на еще более значительные содержания солей. Тяжелые последствия загрязнения рек шахтными водами вызывают необходимость их очистки. Убытки, причиняемые загрязнением рек для бассейна р. Огайо, исчислялись в 10 млн долларов в год, главным образом за счет усложнения способов очистки воды для хозяйственно-питьевого и промышленного использования (Hodge, 1937). Высказываются различные предложения для устранения влияния шахтных вод, вплоть до полного закрытия шахт. Эффективным способом улучшения качества воды является нейтрализация кислоты, связанная с выпадением осадков гидроокиси железа. Таким образом устраняются основные вредные свойства. Из-за большого объема стоков, высокого содержания кислоты и гидролитических кислых солей стоимость очистки высока.

В связи с высокой стоимостью химической очистки шахтных вод предложен ряд других способов, из которых заслуживает внимания способ устранения причин появления кислотности. Таким приемом является задержка проникновения воздуха в заброшенные шахты или заброшенные районы действующих шахт. Этот прием широко применялся в угольных шахтах бассейна р. Огайо (Ohio River Committee. . ., 1944), на мероприятия такого рода было затрачено около 5.5 млн долларов. Считают, что эти расходы были покрыты снижением убытков, причиняемых коррозионными свойствами загрязненной речной воды и понижением стоимости очистки промышленной и хозяйственно-питьевой воды. Другими приемами предупреждения загрязнения рек сточными водами являются сброс шахтных вод в заброшенные шахты, мероприятия по предупреждению попадания поверхностных вод в шахты, разбавление шахтных вод чистой водой и др.

Примером реки, сильно загрязняемой сточными водами, является р. Кальмиус, в которую сбрасываются шахтные воды 20 шахт. В верховье реки, до г. Донец, за год сбрасывается более 9 млн м³ шахтных вод, что примерно в два с лишним раза превышает средний сток реки. Шахтные воды местных предприятий являются весьма засоленными; средневзвешен-

ная величина сухого остатка составляет 5300, хлор-иона — 655, сульфат-иона — 2260, количество взвешенных веществ в среднем — 297 мг/л. Шахтные воды значительно загрязнены, о чем говорит весьма высокое содержание аммонийного азота — от 0.18 до 1.48 мг/л. Среднее содержание железа в водах относительно невысоко — 47.5 мг/л, но по отдельным шахтам его количество доходит до 250—280 мг/л. Выпадение гидрата окиси железа в основном происходило на зарегулированном участке реки, иловые отложения водохранилища содержали в верховьях водоема 1.9%, в средней части — 0.82% железа на сухое вещество.

О загрязнении воды свидетельствуют также бактериологические показатели: число колоний в среднем составляло 15 000, коли-индекс — 150 000. Основной причиной бактериального загрязнения стока является, по указанию Н. А. Альтермана (1959), отсутствие подземной ассенизации.

Основным приемом очистки шахтных вод служит отстаивание, если шахтные воды не кислые, удаление взвешенных веществ — основная задача очистки. Интересным примером очистки шахтных вод является применяемый на одной из шахт Воркутинского угольного бассейна способ получения воды для душевых и прачечных. Вода из шахты в течение ряда лет подвергается полной очистке с применением отстаивания, коагуляции, фильтрации и хлорирования. Полученная в результате очистки вода по физическим свойствам и бактериологическим показателям удовлетворяет требованиям к воде для хозяйственно-бытового использования.

Имеется предложение направлять шахтные воды в пруды с площадью водосбора, достаточной для аккумуляции поверхностных вод в количестве, необходимом для нейтрализации кислых шахтных вод. По предположению Н. Г. Фесенко (1960), накопление маломинерализованных вод в прудах полностью предотвратит вред, наносимый шахтными водами, и позволит снизить минерализацию воды в малых реках Донбасса в меженное время. При реализации этого предложения необходимо иметь в виду малый щелочной резерв паводочных вод и считаться с возможным наличием солей тяжелых металлов.

В зависимости от дисперсности взвесей длительность отстоя сильно изменяется, двухчасовой отстой нередко оказывается недостаточным. При сбросе отстоянных шахтных вод может происходить повышение мутности речной воды. Применение коагуляции затрудняется большим объемом шахтных вод. Поэтому весьма желательно использование шахтных вод для технических целей, полива сельскохозяйственных культур, устройства рыбных прудов. Эти виды использования легче осуществимы при сравнительно малой минерализации и нейтральной реакции шахтных вод. Подсчитано, что значительная часть шахтных вод Донбасса может быть использована для орошения полей.

При неглубоком залегании угля и других рудных ископаемых большие экономические преимущества имеет открытая добыча. Для удаления покрывающих пород в некоторых случаях производятся гидровскрышные работы, связанные с удалением огромного количества породы. Сброс сточных вод в реку резко повышает мутность воды на большом расстоянии. Так, гидровскрышные работы в Кузбассе сказались на р. Томи на расстоянии более 400 км.

Применение воды для добычи угля связано с переходом во взвешенное состояние огромного количества пустой породы и частиц угля. Содержание взвесей в этом случае исчисляется десятками и сотнями граммов на 1 л воды. С точки зрения охраны водоемов необходима разработка технических мероприятий по удалению взвесей и применение принципа максимальной оборотности воды. Трудность обработки вод этого типа заключается в том, что вода приходит в соприкосновение с огромной массой породы и во взвешенное состояние переходит большое количество тонкодис-

персной взвеси, удаление которой путем применения отстоя требует много времени.

Экономические преимущества гидровскрыши и гидродобычи, а следовательно, перспективность их развития требуют проведения исследований по обезвреживанию сточных вод этого типа.

Сточные воды от углеобогащения. При добыче угля в него попадает некоторое количество инертных материалов пород, в которых залегает уголь. Для удаления негорючих примесей применяется углеобогащение. Способы углеобогащения зависят как от качества угля, так и от требований, предъявляемых к топливу. В большинстве случаев применяется мокрое углеобогащение, являющееся источником образования сточных вод (Holmes, 1943). Количество сточных вод, образующихся на 1 т угля, зависит от того, применяется ли прямоточная или обратная система водоснабжения. При прямоточном водоснабжении количество сточных вод на 1 т угля составляет 5—6 м³, при обратном цикле — около 0.65 м³, с колебаниями от 0.25 до 1 м³. Технически возможно замкнуть оборотный цикл. Сточные воды содержат очень большое количество взвешенных веществ, исчисляемое десятками граммов на литр, большое количество растворенных соединений. Содержание органических веществ (кроме угля) относительно невелико, лишь часть органических веществ способна окисляться биологическими агентами (Черкес, 1939; Ключков, 1952).

Для очистки сточных вод наиболее распространенным является отстой в нескольких секциях отстойников. При одноступенчатом отстаивании большое количество угольной пыли уносится и загрязняет водоемы. Широко распространенным приемом является устройство запруд в балках, оврагах и других пониженных местах рельефа. В связи с усовершенствованием техники углесожжения и возможностью использования для этого мелких фракций угля полное по возможности извлечение угольной пыли из сточных вод представляет экономической интерес и должно найти широкое применение.

В зарубежной практике широко используется добавка различных веществ для более полного разделения угля и минеральных взвесей. К таким веществам, добавляемым в промывные воды, относятся щелочи, соли металлов, гидраты которых нерастворимы, желатина, крахмал.

Имеются сведения о весьма высоком эффекте отстаивания при применении синтетических органических коагулянтов (Raybould, 1941).

В тех случаях, когда при обогащении применяется флотация для лучшего отделения частиц угля от породы, состав сточных вод осложняется присутствием флотореагентов. В качестве последних применяются различные эмульгаторы, пенообразователи, сульфированный керосин, легкое среднее масло. Содержание флотореагентов в сточных водах в этом случае доходит до 500 мг/л.

Основным мероприятием по предупреждению загрязнения водоемов является сокращение расхода воды путем оборотной системы водоснабжения. Большую роль играют пруды-отстойники с длительным периодом отстоя.

Схема замкнутого цикла водоснабжения на одной из обогатительных фабрик приведена в «Методических указаниях по санитарной охране водоемов. . .» (1960).

Сточные воды коксохимической и коксогазовой промышленности

Большое количество каменного угля, торфа, древесины подвергается термической обработке для получения кокса, газа и разного рода побочных продуктов. В некоторых видах производства основным является получение кокса, потребляемого на заводах, выплавляющих металл. В дру-

гих случаях основным продуктом является газ, используемый для бытовых или промышленных целей. В результате перегонки, производимой обычно при отсутствии воздуха, получается большое количество смол и жидких продуктов отгона, содержащих много органических соединений, в том числе фенолы. Под названием фенолы понимается большое количество органических соединений циклического ряда, летучие и нелетучие фенолы (C_6H_5OH), крезолы ($CH_3C_6H_4OH$). В числе продуктов отгона имеются органические кислоты, спирты и другие соединения, постоянно присутствуют сероводород, цианиды, тиоцианаты, тиосульфаты, аммиак.

Присутствие большого количества органических веществ и ядовитых минеральных соединений делает невозможным сброс сточных вод непосредственно в водоемы. Задача обработки сточных вод является весьма сложной, трудоемкой и требующей значительных затрат. До недавнего времени сточные воды предприятий по термической переработке топлива были одним из главных видов промышленных сбросов, загрязняющих водоемы. Загрязнение обуславливалось как сбросами крупных коксохимических заводов, так и сравнительно мелкими предприятиями, вырабатывающими газ.

Общий объем загрязнений, вносимых в водоем данными видами промышленности, виден из того, что производство кокса в СССР в 1959 г. составило десятки миллионов тонн. Количество сточных вод на тонну перерабатываемого топлива при прямоточном водоснабжении колеблется от 15 до 30 м³, при полном обороте воды — от 0.1 до 0.35 м³. Так как на большинстве предприятий осуществляется лишь частичный оборот воды, то в среднем расход воды на 1 т колеблется в пределах от 1.3 до 1.5 м³. Умножая последнюю величину на годовую продукцию коксовых заводов, можно получить общее представление о количестве стоков данного вида промышленности. Состав стоков отличается большой сложностью. Задачей рационально организованного производства является максимальное извлечение ряда ценных продуктов, содержащихся в стоках. Совершенно необходимым условием является предварительное и по возможности полное извлечение из стоков смол, являющихся ценным исходным сырьем для получения ряда продуктов.

О качественном составе сточных вод, по данным зарубежной литературы (Southgate, 1948; Klein, 1957b), дает представление табл. 25.

ТАБЛИЦА 25
Средний состав стоков, в мг/л

Вид стоков	Физические свойства	Окисляемость		Фенол в пересчете на крезол	Аммиак
		3 мин.	4 часа		
Необработанная жидкость.	Темно-оранжевая, мутная, запах смол	15600	20400	12500	14000
Очищенная жидкость.	Красновато-коричневая, мутная, запах фенольный	7500	11800	2500	2600
Вода газгольдера.	Цвет соломы, довольно прозрачная	77.2	128	10	901

Вследствие большого количества аммиака воды характеризуются щелочной реакцией, рН в пределах 8.4—8.8. Из-за большого содержания органических кислот щелочность неочищенной воды составляла по фенолфталеину 8400, по метилоранжу 15 800, в очищенной воде произошло значительное уменьшение щелочности. Сухой остаток составлял в неочищен

ной воде 26.0 г/л, в очищенной — 12.2 г/л. В состав его входят почти исключительно органические вещества, содержание минеральных веществ находится в пределах 0.1 г/л. Приведенные средние данные о характеристике стоков английских коксохимических заводов отличаются от тех данных, которые приводятся в нашей литературе, что может быть объяснено особенностями как сырья, так и технологического процесса.

Исследованию состава сточных вод коксохимических заводов в СССР посвящено много работ. Состав и биологическая очистка сточных вод коксохимических заводов изучались Л. Ф. Кабаковой, Р. М. Иоффе и А. И. Рыбниковой-Комаровой и другими исследователями. В работе А. И. Жукова (1948) приведены средние данные о составе сточных вод коксохимических заводов (табл. 26).

В состав сточных вод входит ряд веществ, имеющих токсические свойства. В связи с тем, что фенолы являются наиболее неприятным соединением, сточные воды заводов по переработке твердого топлива называются нередко фенольными. Состав фенолов недостаточно исследован. Как показали работы Н. А. Базякиной и Л. И. Столяровой (1956), в некоторых случаях в составе фенолов преобладают летучие, в других сточных водах летучие фенолы составляют только около трети общего содержания органических веществ, определяемых с применением сильных окислителей (йодат, хромат).

Одним из ингредиентов, входящих в состав сточных вод данного вида производств, являются смолы, выделение которых служит непременным условием, предшествующим дальнейшей обработке сточных вод. Процесс очистки сточных вод сложен; в целом эта проблема до настоящего времени не имеет решения, полностью удовлетворяющего требованиям, предъявляемым к охране водоемов. Разностороннее освещение вопрос об очистке фенольных вод получил на совместной конференции институтов Водгео и Водного хозяйства Чехословакии в 1962 г.

В качестве комплекса приемов можно указать на «Тинглей» — процесс, получивший название от местности (Tingley), где он впервые был применен. Обработка сточных вод по этому методу включает в себя экстракцию бензолом для извлечения фенолов как начальную стадию процесса. Далее следует отгонка паром для удаления свободного аммония и сероводорода, выпаривание до 10% от исходного объема, экстракция высокомолекулярных фенолов, при помощи бутилацетата, затем повторное выпаривание для получения хлористого аммония. Последней стадией процесса является фильтрация стоков через угольные фильтры. В результате обработки величина перманганатной окисляемости снижается на 99.6% от исходной величины. Препятствием для широкого внедрения этого процесса является его высокая стоимость (2 фунта за 1000 галлонов).

Предложены и испытывались другие способы очистки фенольных сточных вод. С точки зрения охраны водоемов наиболее желательными являются приемы, полностью устраняющие попадание фенольных сточ-

ТАБЛИЦА 26
Состав сточных вод общих стоков коксохимических заводов, в г/л

Ингредиенты	Концентрация
Взвешенные вещества (при 105°):	
общее количество	0.4—0.6
летучая часть	0.2—0.3
Сухой остаток (при 105°):	
общее количество	2.5—4.0
летучая часть	1.5—2.5
Окисляемость O ₂	1.0—3.0
БПК ₅ в O ₂	3.0—5.0
Хлориды (Cl)	0.5—4.5
Аммиак (NH ₃)	0.8—1.0
Сера (общая)	0.1—0.2
Фенолы	0.5—1.5
Цианиды	0.03—0.10
Осадок (в % от объема воды)	0.5—1.5

ных вод в водоемы. К числу последних относится испарение в лагунах и на площадках, не дающее стоков в открытые водоемы. Этот способ находит сравнительно малое распространение из-за отсутствия подходящих площадей. Полностью предупреждается загрязнение водоемов при использовании фенольных сточных вод для тушения кокса. Этот прием используется на Череповецком металлургическом комбинате и некоторых других предприятиях. Отрицательной стороной этого способа является загрязнение воздуха фенолами и возникающие отсюда профессиональные вредности, так как сгорает лишь около трети фенолов, остальные же улетают в воздух, загрязняя атмосферу. Поэтому содержание фенолов предварительно должно быть снижено тем или другим способом. Применение инертных газов для тушения кокса, к сожалению, будет вытеснять этот способ ликвидации стоков.

Большой интерес представляет непосредственное использование сточных вод в качестве удобрения. Прием этот изучался в Англии (Key, 1938; Sherriff, 1952) и дал положительные результаты. Особое значение в этом отношении имеет аммиачный азот, содержащийся в сточной жидкости в большом количестве. По данным Шерриффа (Sherriff, 1952), положительные результаты дало внесение аммиачной жидкости в количестве 1500 галлонов на акр, при содержании азота 2%, что соответствует внесению на гектар 18 т жидкости с 3.6 центнера азота. Но в некоторых случаях отмечено повреждение растений и семян, объясняемое действием тиоцианатов. При внесении этого вида удобрений на луга отмечались повреждения и ожоги травянистой растительности, которые, по данным опытов, проведенных в Линкольншире, впоследствии оправлялись и давали хорошие урожаи; однако широколиственные травы при этом развивались плохо. Использование сточных вод этого вида промышленности в качестве удобрения уже давно изучалось у нас в работах В. Н. Демьяненко (1932). Аммиачные воды вносятся на поля перед посевом с помощью специально сконструированных машин, распределяющих удобрение по полю. К сожалению, этот весьма интересный опыт не нашел достаточного освещения в печати, несмотря на то что он представляет большой принципиальный и практический интерес как способ рентабельного и производительного использования сточных вод, с большим трудом поддающихся обработке.

С точки зрения охраны водоемов большой интерес представляет прием очистки фенольных вод на полях фильтрации. Этот прием изучался А. И. Жуковым (1939) как в лаборатории, так и на опытных полях в условиях разбавления фенольных стоков хозяйственно-фекальной и водопроводной водой. Установлено, что в зависимости от механического состава почв суточная нагрузка фенольных сточных вод на гектар может быть от 25 до 100 м³. При исходном содержании в 2.5—3.5 г/л небольшое количество фенолов (порядка 2 мг/л) обнаруживалось в очищенных сточных водах, поэтому для доочистки сточных вод рекомендуется устройство прудов.

В соответствии с опытами В. Н. Демьяненко (1932) и результатами использования аммиачной жидкости возможно ожидать положительных результатов применения фенольных сточных вод на полях.

Первым этапом очистки фенольных сточных вод является отделение смол либо путем осаждения, либо путем фильтрации через разнообразные материалы. Содержащиеся в сточных водах фенолы, как правило, выделяются путем экстракции или отгона. Операция эта, связанная с получением товарного продукта, является частью производственного процесса, требует сложного оборудования и должна рассматриваться не как очистка сточных вод, а как окончание производственного процесса. Для выделения основной массы фенолов из сточных вод применяется продувка острым паром. При этом начальная концентрация фенолов на Рубежан-

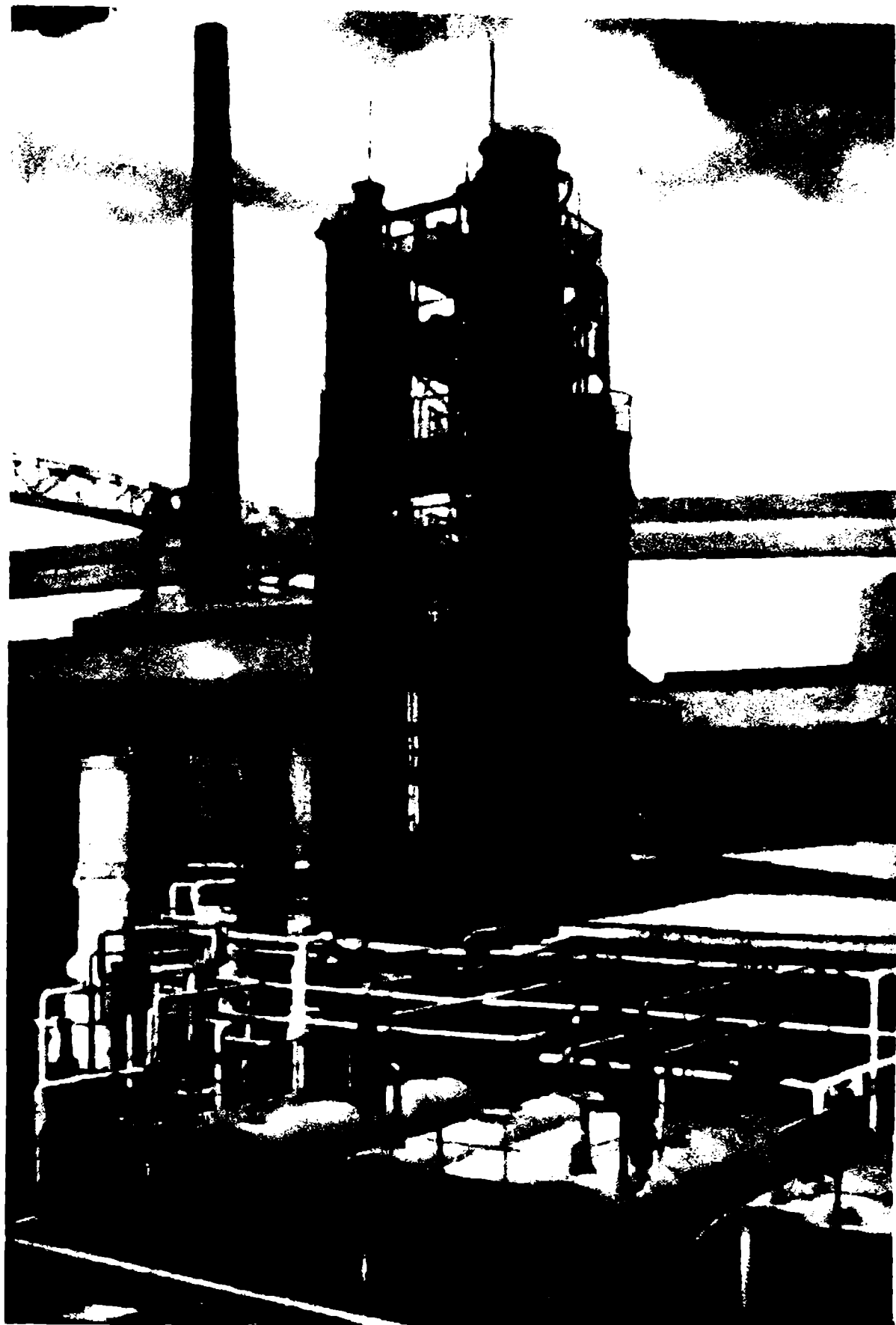


Рис. 10. Заводская установка для производства фибры
из ФРП

ском заводе снижалась с 6—10 до 1—2,5 г/л, в Подмосковье — с 2,3 до 1,4 г/л. Слабый эффект действия в последнем случае в известной мере объясняется невысоким содержанием фенола в воде. При экстракционных методах очистки сточных вод применяют различные реагенты бензол, трикрезилфосфат и феносольваны (Несмеянов, 1947). Последний растворитель является наиболее эффективным, извлечение фенола доходит до 97% от исходной величины. Установки этого типа представляют собой сложные агрегаты, работа которых в значительной мере автоматизирована. На рис. 10 представлена установка для извлечения фенола, действующая на одном из предприятий Рурского угольного бассейна.

После удаления основной массы фенолов при помощи обработки паром или методом экстракции сточные воды содержат 100—200 мг л фенолов. Дальнейшее снижение содержания фенолов в сточных водах достигается при помощи приемов биологической очистки, биофильтров, аэротенков или на полях фильтрации (Базякина, 1940). Обычно для эффективного хода процессов очистки сточных вод необходима прибавка хозяйственно-бытовых вод с тем, чтобы обеспечить развитие микроорганизмов и их питание азотными соединениями. Содержание фенолов не должно превышать 100—200 мг/л, что достигается предварительной очисткой или соответствующим разбавлением. В опытах Н. А. Базякиной была достигнута очистка концентрированных фенольных вод в аэротенках, но при этом процесс очистки происходит не до конца и получалось большое количество сильно окрашенных органических соединений, химическая природа и гигиеническое значение которых не установлены. Количество веществ, не подвергающихся дальнейшему разрушению, составляет около 40% от начального содержания органических веществ коксогозовых вод, подвергшихся полной очистке в аэротенках (Базякина, Столярова, 1956).

Очистка на биофильтрах и в аэротенках сточных вод промышленности, перерабатывающей твердое топливо, основана на окислении органических веществ микроорганизмами. Имеются предложения (Путилина, 1952) для ускорения процессов окисления вносить чистые культуры бактерий, способных окислять фенол. При обычном способе очистки биоокислители фенолов естественно вырабатываются в процессе очистки. Заражение бактериальными культурами при очистке промышленных сточных вод путем внесения активного ила представляет необходимую часть операций при пуске очистных сооружений промышленных сточных вод. Надо полагать, что положительный эффект от внесения чистых культур может оказаться полезным в начальной стадии эксплуатации сооружения, так как, хотя микроорганизмы, окисляющие фенол, широко распространены в природе, для развития их требуется некоторый промежуток времени. Так, в работах С. М. Драчева и О. В. Митягиной (1936) установлено, что при фильтрации растворов фенола через образцы почв и торфа в течение периода до 7 дней не происходит биохимического окисления. Задержка значительного количества фенола торфом — до 2,5 г на 100 г сухого вещества торфа — объяснялась исключительно явлением физической абсорбции, так как весь поглощенный фенол мог быть удален из образца торфа путем промывания водой.

Среди многочисленных соединений, выделенных из сточных вод коксогозовой промышленности, представляют интерес с гигиенической точки зрения циклические гидрокарбонаты: нафтаген, антрацен, пирен, 3,4-бензпирен, $C_{20}H_{12}$. Наличие такого рода соединений имеет значение в связи с установленными фактами канцерогенного действия названных соединений. В связи с разработанными (Wedgwood, Cooper, 1953, 1954) методами открытия и определения весьма незначительных количеств многоатомных углеводородов нужны дальнейшие исследования в этом

направлении, в частности, изучение тех изменений, которые претерпевают эти вещества при очистке стоков.

За последние десятилетия значительно развилась промышленность переработки угля на жидкое топливо. Сточные воды этого вида промышленности имеют некоторые особенности, но основными загрязнителями являются фенолы, содержащиеся в количестве от 3.5 до 17 г/л, и аммиак — до 15 г/л. Расход сточных вод на крупных предприятиях, к которым относятся заводы в Щекино, Ангарске, Кохгла-Ярве, составляет 40—150 м³/час, что соответствует 600—700 кг/час фенолов. Более мелкие предприятия (Черемхово, Ленинск-Кузнецкий, Редкино) дают 1—3 м³/час (Турский, 1958).

Единственной мерой очистки сточных вод этого вида предприятий в СССР является экстракция бутилацетатом, при помощи которой достигается снижение содержания фенолов с 4—16 г/л до 0.5—3.0 г/л. Последующая очистка на аэротенках Иркутского завода жидкого топлива снижает количество фенолов; в общем стоке содержание фенолов после очистных сооружений составило в январе—марте 1.1—0.69 мг/л, в летние месяцы (май—июнь) — 0.47—0.35 мг/л (Воробьев, 1958).

Сточные воды промышленности, перерабатывающей твердое топливо, при спуске их в неочищенном виде оказывают опустошительное влияние на водоемы. Как пример такого рода гибели водоема можно указать на р. Иж, правый приток р. Камы. Вследствие сброса неочищенных сточных вод газогенераторного завода р. Иж на всем протяжении около 140 км совершенно потеряла вид естественного водоема. Особенно отрицательное воздействие оказывает сброс смолистых веществ, которые, отлагаясь на дне и берегах водоема, оказывают губительное влияние на прибрежную растительность и донные организмы. Вода реки вплоть до устья сохраняет резкий запах продуктов сухой перегонки дерева и совершенно не пригодна для питьевого водоснабжения. Вследствие потребления кислорода на окисление органических веществ в реке на большом участке нет растворенного кислорода. В особенности это явление имеет место в зимнее время, когда река на нижнем участке покрывается льдом.

Резко отрицательное действие сброса неочищенных сточных вод отмечено рядом исследователей (Мосевич, Гусева и др., 1952) на р. Томи, в которую сбрасываются сточные воды коксохимического завода в г. Ново-Кузнецке. В данное время река потеряла почти всякое рыбохозяйственное значение. Ущерб, нанесенный рыбному хозяйству р. Томи, исчисляется суммой не менее 6 млн руб. в год (Гусев, 1957). В загрязнении рек Донбасса ведущая роль принадлежит сточным водам коксохимической промышленности. Полное уничтожение природной флоры и фауны, губительное действие на рыб, подавление развития водных растений и ухудшение кислородного режима рек Эстонской ССР произошло вследствие сброса сточных вод по переработке сланцев (Юргенсон, 1957).

Сточные воды целлюлозно-бумажной промышленности

При производстве целлюлозы и бумаги требуется очень большое количество воды, на одну тонну продукции на целлюлозных заводах расходуется около 500 м³ воды. Производственные стоки весьма загрязнены, количество кислорода, потребного на окисление восстановленных продуктов, образующихся при получении целлюлозы в расчете на тонну продукции, оказывается наибольшим по сравнению с другими видами промышленной продукции.

По данным Имгоффа (Imhoff, 1956), производство 1 т целлюлозы сульфитным способом даст со сточными водами отходы, эквивалентные

по БПК 4000—6000 человек, что является наибольшей величиной среди 16 других видов промышленности.

Производство целлюлозы в СССР быстро развивается и должно возрасти за семилетний период в 2.3 раза, за этот период должно быть введено в эксплуатацию 26 новых предприятий. Основная масса продукции производится из древесной растительности, в связи с чем промышленность размещена в основном в северных лесных районах. В данное время развивается использование других видов сырья, богатых клетчаткой, — зарослей тростника в низовьях рек, соломы, стеблей хлопчатника. В связи с этим изменяется география промышленности и места загрязнения рек. Об общем масштабе загрязнения рек этим видом промышленности можно составить представление из следующего расчета. Производство бумаги в СССР в 1961 г. составило 2.5 млн т, при расходе воды в 500 м^3 на 1 т продукции количество сточных вод составит 1.25 млрд м^3 в год. При БПК₅ в 250 мг/л годовое потребление кислорода сточных вод составит около 300 000 т.

Целлюлозно-бумажная промышленность дает разнообразные виды продукции, производство которых очень отличается одно от другого, в частности, в отношении количества и качества отходов, поступающих в сточные воды. Обычно целлюлозно-бумажное производство делится на получение полуфабрикатов (разные виды целлюлозы и древесная масса) и изготовление разнообразных видов и сортов бумаги.

В процессе производства целлюлозы применяется обработка древесины и других исходных продуктов кислотами и щелочами, что обуславливает переход в растворенное состояние большого количества органических веществ, для удаления которых требуется проведение сложных операций. При производстве древесной массы, которая является полуфабрикатом, измельчение древесины производится в основном при помощи механических средств, вследствие чего загрязнителем являются взвешенные вещества, так же как при производстве бумаги.

Производство целлюлозы имеет большие масштабы, так как она является исходным продуктом не только для изготовления бумаги, но используется и для получения синтетического волокна, взрывчатых веществ и т. д. Для получения целлюлозы в основном применяются два способа — сульфитный и сульфатный. В мировом производстве целлюлозы все большее распространение получает второй способ как допускающий использование более разнообразных видов сырья. В 1913 г. производство сульфитной целлюлозы составляло 81%, в 1952 г. — 42% от общего количества. Производство сульфатной целлюлозы в те же годы соответственно равнялось 11 и 50%.

При сульфитном производстве древесина обрабатывается бисульфитом кальция с содержанием от 3 до 8% сернистой кислоты при повышенном давлении и температуре до 155° . При сульфатном способе сырье обрабатывают смесью едкого натра и сернистого натрия при несколько более высокой температуре и давлении, но в более короткий срок. При обработке реагентами в раствор из древесины переходят в большом количестве органические вещества, сброс которых в водоем является недопустимым. При кислом способе образуются сульфитные щелока, содержащие более 100 г/л сухого остатка, около 80% которого теряется при прокаливании. В минеральной части в основном содержится кальций (около 7 г/л) и сульфат-ион (около 2 г/л). В органической части преобладают лигнин (около 60 г/л) и сахар (около 20 г/л). Полная биохимическая потребность в кислороде сульфитных щелоков на 1 т целлюлозы составляет 366 кг, пятисуточная — 250 кг. На 1 т абсолютно сухой целлюлозы образуется 10 м^3 неразбавленного сульфитного щелока.

В сульфатных щелоках на 1 т целлюлозы получается свыше 1.5 т сухого остатка, в том числе $\frac{2}{3}$ органического вещества. В последнем преобладает лигнин и оксикислоты с лактонами, в минеральной части — свободный и связанный с органическими соединениями едкий натр, сода, серпистый натрий. Особенностью сульфатного способа производства является присутствие дурнопахнущих веществ с преобладанием меркаптанного запаха.

С точки зрения охраны водоемов от загрязнения проблема утилизации и обезвреживания щелоков как при сульфитном, так и сульфатном способах является основной. По своему составу щелока не могут считаться сточной водой и должны рассматриваться как сырье для производства продуктов не менее ценных, чем целлюлоза. До настоящего времени задача полного использования щелоков не решена, и большое количество их поступает в водоемы. При сульфатном способе производства значительная часть (70%) щелоков используется после выпаривания и сжигания для получения едкого натра. Отбор сульфатных щелоков для утилизации может быть доведен до 95%.

При сульфатном способе производства большое количество сахаров, образующихся при гидролизе древесины, используется для получения (после сбраживания) этилового спирта. Барда, составляющая отход спиртового производства, может служить для получения кормовых дрожжей. Остатки после комплексной биохимической переработки щелоков могут быть использованы для получения концентратов с 30%-м содержанием сухого вещества. Последний применяется для дубления кож, брикетирования угольной и металлической пыли, приготовления опок в литейной промышленности. В качестве связующего вещества концентраты находят различное применение. При отсутствии потребителей концентраты сжигаются, предшествующее сжиганию выпаривание затрудняется выпадением солей кальция. При замене на магниевые основания накипеобразования не происходит и становится возможным регенерация магния и сернистого газа (Друбянец, 1957).

Со сточными водами производства целлюлозы уносится некоторое количество получаемого продукта: промол волокна составляют обычно несколько процентов. По имеющимся данным, потери были снижены на Камском комбинате с 3.6 до 1.6%, такого же порядка приводятся данные по Соликамскому комбинату. Представляет интерес общий баланс перерабатываемого вещества на Соликамском целлюлозно-бумажном комбинате: выход целлюлозы составлял 46.4%, 9.9% вещества теряется и 43.7% передается для использования на спиртовой завод. Из вещества, поступившего на переработку 7% используется на спирт, 1 — на производство дрожжей, 28 — на концентраты, 8% теряется в процессе переработки и 56% не используется. Таким образом, даже при нескольких этапах переработки отходов, значительное количество вещества поступает в водоем.

По расчетам Р. М. Павлиновой (1945), эффект очистки сульфитных щелоков по снижению биохимического потребления кислорода выражается следующими величинами (табл. 27).

Таким образом, даже при наиболее совершенной утилизации более 10% органического вещества щелоков переходит в сточные воды. В составную часть последних входят стоки цехов окорочного, кислотного, отбельного, сушильного. Средние данные о составе и свойствах общих стоков целлюлозных заводов приведены в табл. 28.

Приведенные данные являются средними, допускающими отклонения до 50% в ту и другую сторону. Детальная характеристика стоков по цехам дана в «Методических указаниях. . .» (1960), а также Р. М. Павлиновой (1945) и Л. А. Мазинг (1954).

Сточные воды от производства различных сортов бумаги и древесной массы характеризуются в основном высоким содержанием взвешенных веществ. Со сточными водами бумажных фабрик уносится до 6—8% от годовой продукции волокна. В сточных водах содержание взвешенных веществ, особенно при выработке низких сортов бумаги, доходит до 1—2 г/л, с содержанием до 2/3 органического вещества (Жуков, Монгайт, 1948).

Так как взвешенные вещества состоят в значительной мере из клетчатки, мало поддающейся воздействию организмов, величина БПК невелика — 20—40 мг/л. Применение замкнутого цикла позволяет сократить количество сточных вод в 10 раз (Шаблин, 1960).

Вредное действие на водоемы оказывают как сбросы целлюлозного, так и бумажного производства. В данное время оба производства обычно объединяются в комбинаты, имеющие вспомогательные производства сульфита, хлора, навести, клея и цеха для выработки дрожжей, ски-

ТАБЛИЦА 27
Эффект очистки сульфитных щелоков при различной утилизации, в %

Вид утилизации	щелоков,ambi- раемых для утилизации	
	70	90
Спирт	26	34
Спирт, дрожжи	35	45
Спирт, дрожжи, вы- парка	68	87

ТАБЛИЦА 28

Средние данные о составе сточных вод целлюлозных заводов, в г/л

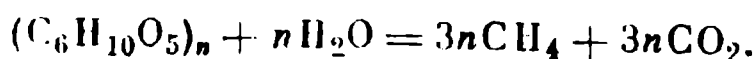
Вода	Сульфитное производство		Сульфатное пропиз- водство
	белая целлюлоза		
	без утилизации	со спирто- вым и дрож- жевым	
Цвет	Темно-желтый.		Светло- желтый.
Запах	Сульфитных щелоков.		Меркапта- новый.
pH	4	5	9
Взвешенные вещества	0.3	0.2	0.2
Сухой остаток	2.0	1.2	1.8
Потеря при прокаливании, в %	75	75	65
Окисляемость фильтрованной воды	2.0	0.6	0.5
БПК ₅	0.4	0.2	0.2

пидара, фурфурола и других продуктов. Таким образом, водоем подвергается воздействию отходов различных производств, стоки которых объединены или впадают в водоем порознь на близком расстоянии друг от друга (Баранов, 1958).

В связи с недостаточной очисткой сточных вод, сбросом большого количества щелоков и аварийными сбросами водоемы, особенно маломощные, сильно загрязнены. Резкое загрязнение отмечено на реках Сухоче, Немане, Преголе (Шерстнев, 1958), неблагоприятное действие сточных вод отмечено на крупных водоемах — Волге ниже Балахнинского комбината, на Каме ниже г. Соликамска и ниже Камского бумажно-целлюлозного комбината (Павлинова, 1941). Причина этого заключается в том, что лишь часть сульфитцеллюлозных предприятий перерабатывает щелока

на спирт и еще меньшее количество (4) имеют комплексную переработку. Большие потери волокна вызывают образование донных отложений на реках и особенно озерах. До настоящего времени не получили широкого применения фильтры Вако, обеспечивающие понижение содержания взвешенных веществ до 10—20 мг/л. Не находит применения коагуляция сернокислым алюминием, снижающая содержание взвеси, по Гарвуду (Harwood, 1953), до 8 мг/л и еще более эффективно удаляющая органическое вещество.

Отложения взвешенных веществ на дне Ладожского озера в районе Сясьского комбината и на Онежском озере вблизи Кондопожского комбината достигают нескольких метров толщины, образуя отмели и острова, препятствующие подходу судов к берегу. В местах скопления донных отложений создаются анаэробные условия. Стойкая к действию химических и биологических агентов целлюлоза подвергается распаду с образованием метана по уравнению:



Пузырьки газа, поднимающиеся со дна, насыщают воду восстановленными соединениями, бактериальное и химическое окисление которых лишает водоем остатков кислорода, не израсходованных на окисление растворенных соединений. Потребление кислорода волокном, поступающим в донные отложения, происходит сравнительно равномерно и замедленно в силу того, что активная реакция в них держится в кислом интервале, не выше pH 5 (Lardieri, 1954). Кислая реакция ограничивает деятельность метанпродуцирующих бактерий, которые при доведении реакции до нейтральной более чем удваивают образование метана. При анаэробном распаде образуются и выделяются дурнопахнущие газы — меркаптан, сероводород и др. При этом может происходить загрязнение воздуха, отмеченное в прибрежной зоне у г. Калининграда (Шерстнев, 1958).

Исследование р. Сухоны (Корсакова, 1938; Строганов, 1939) у г. Сокола, где ежедневно сбрасывалось в реку со сточными водами 3.4 т волокна, установило резко отрицательное влияние стоков на кислородный режим реки, особенно в зимнее время. Летом и зимой нормальный кислородный режим реки не был восстановлен еще на расстоянии 110 км от места сброса стоков, несмотря на впадение нескольких притоков.

В Волгу без очистки сбрасывалось ниже бумажного комбината у г. Балахны 77 000 м³ неочищенных сточных вод в сутки, содержащих 28 т волокна. Загрязнение распространялось (Строганов, 1939) на 35 км, что сказывалось в повышении содержания органического вещества, взвеси, в повышенном числе сапрофитных бактерий.

В зарубежной литературе последнего времени вопросы обезвреживания стоков целлюлозно-бумажной промышленности привлекают много внимания, причем исследования идут в различных направлениях. На первом месте стоит вопрос утилизации щелоков, но это направление остается не единственным в связи с трудностью сбыта побочных продуктов. В работе Кретшмара (Kretzschmar, 1955) указывается, что в Германии наиболее распространена утилизация щелоков на спирт и дрожжи, для чего использовалось в 1955 г. 27% щелоков, к 1960 г. предполагалось довести использование до 64%. Продукция спирта на одном канадском заводе составляла 2.5—3 млн галлонов в год (Kurl, 1957). Описано производство (Dyck, 1957) 5000 т высококачественного белкового корма в год на основе использования щелоков культурой дрожжей.

В опытах с ферментацией щелоков описано применение Мюллером (Müller, 1957) различных культур клостридий, использующих до 80% сахарозы и 50—80% уксусной кислоты. Ряд авторов (Gfeller, 1954, и др.)

описали аэробное брожение щелоков со снижением до 90% биохимического потребления кислорода.

Одним из наиболее обещающих направлений остается выпаривание и сжигание использованных щелоков. Много внимания уделяется процессам регенерации реагентов после получения древесной массы с использованием химических реагентов (Iwalow, 1956). В технике сжигания новым приемом является способ «атомизирующей» техники (Garvin, 1957).

РАДИОАКТИВНЫЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДОЕМОВ

Загрязнение радиоактивными веществами имеет некоторые особенности, отличающие этот вид загрязнения от всех других, вносимых с бытовыми и промышленными стоками. Хотя явление радиоактивности и излучающие элементы были открыты более 60 лет тому назад, добыча и использование радиоактивных веществ в широком масштабе развернулись лишь к середине текущего столетия. Большой масштаб добычи, переработки и промышленного использования веществ создал условия для загрязнения отдельных водоемов и даже речных систем. Использование радиоактивных веществ для взрывов атомных и особенно водородных бомб вызвало загрязнение радиоактивными веществами основного источника питания поверхностных вод — метеорных осадков — дождя и снега. Загрязнение водоемов происходит при непрерывном оседании пылевых частиц из атмосферы на поверхность рек и озер в той же степени, как и на земную поверхность, но, кроме того, в водоемы смывается с площади водосбора часть радиоактивных веществ. В силу перехода некоторого количества радиоактивных веществ в высокие слои атмосферы и частично в стратосферу процесс выпадения на земную и водную поверхности весьма замедлен. Имеются указания, что влияние взрывов, произведенных до 1958 г., будет сказываться в заметно повышенном содержании долгоживущих радиоактивных элементов в метеорных осадках до 1970 г. (Шведов и др., 1959). Таким образом, во второй половине текущего столетия все поверхностные воды оказались обогащенными большим количеством (свыше 200) элементов и изотопов, частично ранее не существовавших в природе. В некоторых случаях концентрация вредных радиоактивных веществ в водоеме до места сброса стоков атомных предприятий достигала нежелательного уровня (Pellerin, 1958).

Особенностью радиоактивных загрязнений является механизм вредного действия излучающих веществ. Отрицательное действие оказывают излучения, являющиеся следствием процессов, происходящих в атомном ядре. Течение ядерных процессов не может быть изменено действием какого-либо из обычных физических и химических факторов и не зависит от вхождения излучающего элемента в то или другое химическое соединение. Количества вещества, дающего излучения, признаваемые нежелательными по биологическим последствиям, весьма невелики; для урана пределом допустимого содержания в питьевой воде, по гигиеническим соображениям, является 0.05 мг/л, для тория — 0.1 мг/л. Для радиоактивных изотопов, в особенности для долгоживущих и накапливающихся в организме, весовые количества, отвечающие допустимым активностям, много ниже. Для стронция-90 верхнему пределу допустимой активности отвечает $0.36 \cdot 10^{-8}$ мг/л, для рутения-106 — $3.0 \cdot 10^{-8}$ мг/л, для цезия-137 — $12.6 \cdot 10^{-8}$ мг/л. Степень вредности радиоактивных веществ определяется характером и интенсивностью излучений.

При распаде радиоактивных элементов образуется три вида излучений, известные под названием α -, β - и γ -лучей, отличающиеся природой и энергией. Единицей измерения энергий излучения служит электроно-

вольт, т. е. энергия, которую получает один электрон под действием электрического поля в 1 вольт, обычно применяется единица в миллион раз большая — мегаэлектронвольт (Мэв).

α -Излучение представляет собой поток ядер атомов гелия, движущихся со скоростью около 10^9 см/сек., несущих два положительных заряда. Каждый α -излучатель выпускает α -частицы с одинаковой, характерной для данного изотопа энергией. α -Частицы естественных радиоактивных элементов обладают энергией 3—8 Мэв, пробег их в воздухе составляет не более 2—8 см. В качестве внешнего облучателя α -излучатели не представляют обычно опасности, защита может быть достигнута применением легких материалов. Большую опасность представляет попадание α -излучающих веществ внутрь организма. Поэтому предупреждению попадания α -излучающих веществ в водоемы, служащие источниками питьевого назначения, необходимо уделять особое внимание.

β -Излучение природных и большинства искусственных радиоизотопов представляет собой поток электронов, несущих один отрицательный элементарный заряд. Лишь немногие искусственные изотопы выпускают положительно заряженные частицы — позитроны. β -Частицы, испускаемые излучателем, не обладают одинаковой энергией, а образуют непрерывный спектр частиц с энергией от самой незначительной до максимальной для данного изотопа. Общая длина пробега β -частиц значительно больше по сравнению с α -излучением, но плотность вызываемой ими ионизации значительно меньше. К β -излучателям относятся важнейшие радиоактивные осколочные изотопы, образующиеся при распаде тяжелых ядер урана, плутония. При определении загрязнения поверхностных вод обычно используют методы, обнаруживающие присутствие β -излучателей.

γ -Лучи являются электромагнитным излучением, сходным с лучами Рентгена, но с более короткими волнами, и поэтому обладают большей проникающей способностью. Плотность ионизации, создаваемая γ -излучениями, значительно ниже по сравнению с β -лучами. Часть важнейших радиоактивных осколочных изотопов наряду с β -излучением дает γ -излучение, но при обычных методах учета радиоактивного загрязнения воды доля последнего обычно весьма невелика.

За единицу активности — кюри — принята активность препарата, в котором совершается в 1 сек. 37 млрд распадов ($3.7 \cdot 10^{10}$). При измерении активности сухих остатков воды обычно используются меньшие величины: милликюри (мкюри), соответствующая $3.7 \cdot 10^7$ распадов в 1 сек., и микрокюри (мккюри) — 37 000 распадов в 1 сек. Употребляется еще меньшая величина — микромикрокюри (мкмкюри) 10^{-12} кюри. Последняя величина, обозначаемая так же как пикокюри (European standards. . . , 1961), отвечает 2.22 распада в 1 мин.

Отличительной чертой каждого радиоактивного изотопа является скорость распада, подчиненная общему для всех излучающих веществ закону — в единицу времени распадается всегда одинаковая доля наличного количества атомов данного радиоизотопа. Мерой скорости радиоактивного распада считается время (T), в течение которого распадается половинное количество атомов данного изотопа (период полураспада). Периоды полураспада радиоактивных изотопов колеблются от тысячных долей секунды до миллиардов лет. Наиболее длительные периоды полураспада имеют естественные радиоактивные элементы: уран, торий, калий, рубидий.

К короткоживущим изотопам относят излучающие элементы с периодом полураспада не более нескольких суток. К ним относится огромное количество изотопов, образующихся при опытных взрывах. Широко используемый в медицине радиоактивный йод-131 имеет период полу-

распада 8.1 суток, фосфор-32 — 14.3 суток. Короткоживущие изотопы находят применение в различных экспериментальных работах и технике в тех случаях, когда необходима регистрация какого-либо явления в течение короткого срока.

При изучении загрязнения водоемов наибольшее внимание уделяется радиоактивным элементам с более длительным периодом полураспада, как стронций-90, половина атомов которого распадается за 29 лет, цезий-137 с периодом полураспада 33 года, рутений-106 — один год, церий-144 с периодом полураспада 282 суток и церий-141 с более коротким полупериодом — 33.1 суток.

В последнее время большое внимание привлекает радиоактивный долгоживущий углерод с атомным весом 14, дающий мягкое β -излучение, период полураспада его составляет 5568 лет.

Необходимо иметь в виду, что если к концу первого T остается половина атомов распадающегося элемента, то через $2T$ — $1/4$, $3T$ — $1/8$, $5T$ — $1/32$, $8T$ — $1/256$, $10T$ — $1/1024$.

Факторами, определяющими вредное действие радиоактивных веществ, являются вид излучения, полупериод распада, распределение в организме, скорость выведения, относительная чувствительность наиболее повреждаемого органа человеческого организма, подвергающегося облучению. В данное время практически наибольшее внимание привлекает стронций-90, дочерний продукт которого иттрий-90 с периодом полураспада в 61 час, является β -излучателем с высокой энергией частиц 2.18 Мэв. Стронций — щелочноземельный металл, близкий по своим свойствам к кальцию и большей частью сопутствующий ему в превращениях во внешней среде и организме. Попадая в организм животных и человека, стронций откладывается в минеральной части скелета. Таким образом, активный изотоп стронций-90, отложившийся в скелетных частях организма, подвергает окружающие ткани непрерывному облучению.

Механизм вредного действия излучений еще недостаточно выяснен, повреждение тканей может быть вызвано нарушением жизненно важной молекулярной структуры клетки (гипотеза мишени). По другим предположениям, вредное действие вызывается диффузией заряженных радикалов, образовавшихся под влиянием воздействия излучений.

Международной комиссией по радиологической защите разработаны предельно допустимые концентрации радиоактивных веществ в воде и воздухе, не оказывающие вредного действия на организм человека. При разработке принималось во внимание поступление в организм человека 2.5 л воды и 20 000 л воздуха в сутки.

Общая величина внутреннего и внешнего облучения не должна превышать 0.3 рентгена в неделю. В основе норм лежат экспериментальные данные опытов с животными, при которых изучалось распределение радиоактивных веществ в организме и наиболее чувствительном органе и ткани, пути и скорость выведения радиоактивных изотопов из организма.

Опубликованные таблицы допустимых концентраций радиоактивных веществ, выраженных в единицах микроюри на 1 мл, содержат длинный перечень излучающих веществ. Соответствующие таблицы в СССР содержат перечень более 200 α -, β - и γ -излучателей, кроме того, даны нормативы предельно допустимых концентраций для смеси осколочных β - и γ -излучателей неизвестного процентного состава $5 \cdot 10^{-11}$ юри/л, так же как и для α -активных смесей неизвестного состава. Для любых смесей неидентифицированного состава пределом является $3 \cdot 10^{-11}$ юри/л (Санитарные правила. . ., 1960). Для целей практического контроля в воде имеют значение нормативы суммарного содержания излучающих веществ, так как удобных методов определения отдельных излучателей при столь ничтожном их содержании не имеется.

Нормативы Международной комиссии, частично приведенные на рис. 11, направлены на обеспечение отсутствия вредного влияния радиоактивных веществ на отдельных лиц, но при этом указывается, что генетическая опасность, хотя и небольшая, остается. Нормативы эти предназначены для сравнительно небольшого круга лиц, в своей работе подвергающихся облучению. Для всего населения нормативы должны быть в 10 раз меньше. В нормативах содержится существенное замечание о том, что в связи с недостаточной изученностью вопроса следует стремиться к тому, чтобы вообще не было повышения существующего природного уровня радиоактивности. В данном случае Комиссия склоняется, по-видимому, к мнению, что нет порога вредного действия излучений и что

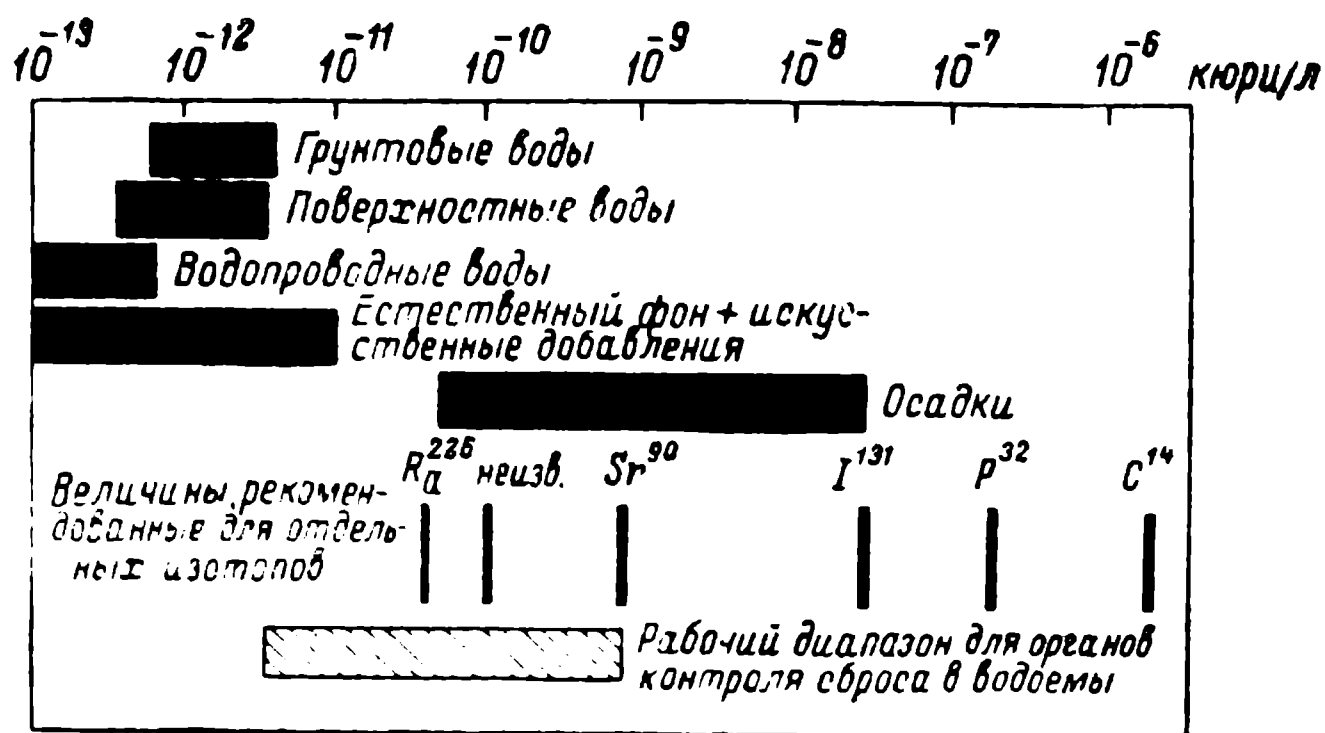


Рис. 11. Концентрации радиоактивности в воде, рекомендованные комитетом по защите от облучений в США.

всякое повышение уровня излучений может оказать вредное действие, по крайней мере в генетическом отношении. Те же мотивы, как указывает А. Н. Марей (1956а, 1956б, 1958), вынуждают весьма критически относиться к временным предельно допустимым концентрациям радиоактивных веществ в воде и атмосферном воздухе.

Промышленные источники загрязнения

В данное время имеются три основных вида источников загрязнения поверхностных водоемов: добыча и переработка урановых руд, промышленное использование радиоактивных веществ и выпадение излучающих веществ с метеорными водами. Первые два источника имеют местное значение, будучи приурочены к районам добычи, переработки и промышленного использования радиоактивных веществ. Третий источник после проведения опытных взрывов атомных и водородных бомб имеет повсеместное глобальное значение. Некоторые данные о сравнительном масштабе и значении отдельных источников загрязнения будут приведены ниже.

В связи со значительным ростом добычи урановых руд увеличивается значение этого источника загрязнения поверхностных вод. Производство окиси урана (U_3O_8) в капиталистическом мире возросло за период с 1956 по 1959 г. с 13 000 до 39 000 т. Отличительной чертой урановых руд является их бедность; руды, содержащие несколько десятых процента окиси урана, считаются богатыми, поэтому для добычи указанного количества урана перерабатывается более 10 млн т руды. Первоначальное обогащение и обработка руды производится на месте, включая измель-

чение, размол, промывание и обработку химическими реагентами. При этом получается большое количество вод, сильно загрязненных минеральной взвесью и некоторыми реагентами, употребляемыми при обработке руды. Сточные воды обычно отстаивают в прудах и лагунах, расположенных вблизи рек. Объем жидкости уменьшается за счет испарения и просачивания. В реку обычно поступают не только прямые сбросы из прудов и лагун, но часть жидкости, просочившейся через почву. Активность сточных вод обусловлена присутствием урана-238 и дочерних продуктов его распада, включающих восемь α -излучателей и шесть β -излучателей. Обычно при переработке извлекается только уран, все же остальные радиоактивные элементы, в том числе и наиболее ценившийся ранее радий, переходят в отвалы и отходы.

При поступлении в водоемы наибольшее внимание привлекает радий в связи с его свойствами и активностью в отношении биологических объектов. Первые данные о вредности радиоактивных элементов в промышленности были получены еще в начале XX в. на некоторых предприятиях Западной Европы в отношении радия, использование которого без соблюдения мер предосторожности повлекло ряд смертных случаев и тяжелые заболевания. При поступлении в организм радий-226 откладывается в костях.

Длительный период полураспада в 1620 лет и характер излучения (α -частицы) делают радий наиболее опасным отходом переработки урановых руд. При переработке нескольких миллионов тонн урановой руды, по подсчетам Тсивглоу (Tsivoglou a. oth., 1958), переходит во внешнюю среду около 2500 г радия, большая часть которого находится в нерастворенном виде и осаждается в лагунах и отстойных прудах.

По данным Тсивглоу и др. (Tsivoglou a. oth., 1960), предприятием, перерабатывающим ежедневно 500 т урановой руды, со сточными водами сбрасывалось в р. Анимас 73 кг урана, 30 мг нерастворенного и 0.8 мг растворенного радия.

Если принять, что приведенное выше соотношение производительности предприятия и сброса радия в реку характерно для всего основного района добычи урана в США у р. Колорадо, то общее поступление радия в бассейн реки в 1958 г. составило около 270 кюри.

Для сравнения можно указать, что, по проведенным наблюдениям и расчетам (Straub a. oth., 1960), поступление стронция-90 за счет атмосферных выпадений в р. Огайо за три квартала 1959 г. составило примерно 280 кюри.

Уран как расщепляющийся материал основное применение находит в различного рода реакторах, где создаются условия для цепной реакции атомов с выделением различных продуктов деления и большого количества тепла. Реакторы используются для производства радиоактивных изотопов, военных материалов, энергии в двигателях кораблей, в том числе подводных лодок и в специальных научных целях. В использовании атомной энергии для мирных целей, по-видимому, наибольшие масштабы имеет использование реакторов для получения электроэнергии. В СССР с 1954 г. работает первая в мире атомная электростанция мощностью 5000 квт; построены более мощные — Нововоронежская, Белоярская.

В большом количестве производится энергия на атомных электростанциях в Англии и США (Belter a. Bernard, 1963). Предполагается, что к 1965 г. общая установленная мощность атомных электростанций за рубежом составит 4—5 млн квт. На электростанциях используется тепло, образующееся при регулируемой реакции деления атомов урана, в других реакторах тепло является отходом. В тех случаях, когда для охлаждения используется воздух или жидкие металлы, реакторы не должны давать

радиоактивных сточных вод. В тех случаях, когда для охлаждения применяется вода, под воздействием нейтронов стабильные ионы приобретают наведенную активность. Коррозия внутренних поверхностей труб также способствует увеличению радиоактивности. В водах охлаждения могут содержаться более 60 радиоактивных изотопов ряда элементов, в том числе магний, натрий, хром, медь, кремний, фосфор, барий, стронций, скандий, кобальт. Большинство изотопов в водах охлаждения относится к короткоживущим, но некоторые имеют период полураспада до нескольких лет.

Для предупреждения наведенной активности воду охлаждения применяют по возможности более чистую или предохраняют ее от возможного действия нейтронов устройством двойной системы охлаждения. На атомной станции в Шиппингпорте (США) воды первичного замкнутого контура охлаждения непрерывно циркулируют между внутренней частью реактора и отдельно расположенным теплообменником. Воды вторичного контура не радиоактивны. Первичные воды охлаждения подвергаются понообменной очистке для удаления загрязнений, периодически вода первичного отстойника сменяется, передается в пруды и подвергается очистке на понообменниках и для удаления газов.

В зависимости от размеров реактора и его устройства количество вод охлаждения колеблется от нескольких кубометров до нескольких тысяч в сутки. Уровень активности в таких стоках при спуске в реки 10^{-9} кюри/л. Весьма значительными потребителями воды являются Ханфордские заводы по производству плутония в штате Вашингтон (США). Мощные реакторы-размножители этого крупного центра ядерной промышленности расположены вдоль русла р. Колумбии. Вода реки подвергается полной очистке, используется для охлаждения реакторов и после 1—3-часового отстоя поступает в реку. По данным Пеленджи и других исследователей (Palange a. oth., 1956), средняя величина удельной β -активности речной воды в пункте ниже всех выпусков предприятия в 1952—1953 гг. составляла $6 \cdot 10^{-9}$ кюри/л. Учитывая расход воды у г. Ханфорда, общий сброс радиоактивных продуктов в реку составлял 53 000 кюри в год. Радиоактивность речной воды у места выпуска обусловлена в основном короткоживущими изотопами, период полураспада которых измерялся часами: медь-64 — 12.8 часа, марганец-56 — 2.6 часа, натрий-24 — 15.1 часа, мышьяк-76 — 26.8 часа, кремний-31 — 2.8 часа. Около 1—2% активности обусловлено фосфором-32 с периодом полураспада 14.3 суток. На расстоянии 23 миль вниз по течению, куда вода приходила через 9 часов, активность воды снижалась на 35% (Davis, 1958).

Жидкие радиоактивные отходы атомной электростанции мощностью 60 000 квт, расположенной в Шиппингпорте (США), составляют в сумме около 3 кюри в год, сточные воды после очистки сбрасываются в р. Огайо (Емельянов, 1960).

При проектировании и эксплуатации атомных станций в СССР предусматривается специальный цех очистки, оборудованный для выдержки, разбавления и других приемов обработки. Малоактивная вода первого контура, содержащая короткоживущие изотопы, подвергается выдержке в течение 10—15 суток, обеспечивающей снижение активности до 10^{-10} кюри/л, после чего сбрасывается в канализацию (Григорьянц, 1957).

В процессе эксплуатации реакторов происходит снижение содержания атомов урана или другого вида атомного топлива и накопление продуктов деления. По истечении определенного срока действия необходима замена тепловыделяющих элементов. Отработанные урановые стержни подвергаются регенерации для дальнейшего использования; переработка

представляет собой сложный процесс и осуществляется обычно на химических заводах. В сточных водах от переработки атомного горючего содержится большое количество радиоактивных изотопов, продуктов атомного распада, обладающих в сумме очень высоким уровнем активности. Стоки эти представляют собой большую опасность, проблема их использования или ликвидации полностью не решена. Предложено и применяется несколько приемов, основанных на максимальном концентрировании: стоки выпариваются до сухого состояния, затем переводятся путем цементации в нерастворимое состояние и захораниваются в землю. В США имеются предложения опускать отходы в зацементированном виде на большие глубины в океан. Частично применяется закачивание в скважины на большие глубины.

Применяется хранение в стальных и бетонных резервуарах, обычно под землей, емкостью на несколько тысяч кубометров (Platt, 1957). Практически применяется сброс высокоактивных стоков в море, но при этом создаются условия для заражения радиоактивными веществами морских организмов, в частности рыб, а также опасности для рыбаков, лиц, купающихся и пользующихся пляжами. Сброс этих стоков в реки даже после очистки недопустим.

Сточные воды с низким уровнем активности, возникающие в некоторых стадиях химической переработки ядерного горючего, частично сбрасываются в реки. В Национальной лаборатории в Ок-Ридже (США) несколько тысяч литров таких отходов с активностью порядка 10^{-7} кюри/л ежедневно сбрасывается в речную систему р. Теннесси (Kraemer a. oth., 1958). Общее количество отходов, которое было удалено в речную систему этим ведущим центром атомной промышленности США в 1952, 1953 и 1954 гг. составило, по данным Девиса (Davis, 1958), соответственно 498, 429 и 254 кюри. В составе отходов преобладали долгоживущие продукты деления. По данным Строуба и его сотрудников (Straub a. oth., 1960), количество радиоактивного стронция-90, сброшенного из лаборатории в Ок-Ридже в р. Клинч (приток р. Теннесси) за период 1954—1958 гг. составило 76—123 кюри/год. Поступление стронция-90 со сточными водами повело к повышению удельной активности в воде р. Теннесси близ впадения р. Клинч до $3—5 \cdot 10^{-12}$ кюри/л. Таким образом, содержание стронция-90 было повышено в 2—4 раза по сравнению с содержанием этого изотопа в поверхностных водах, не загрязняемых радиоактивными стоками.

Сложной очистке подвергаются сточные воды крупного исследовательского центра в Гарулле, расположенного на р. Темзе выше забораводы для Лондона. По требованиям Медицинского совета, во избежание вредных последствий считаются безопасными следующие концентрации, которые можно вносить в р. Темзу у места сброса для α -излучателей: радий — $4 \cdot 10^{-10}$ мк/мл, для других α -излучателей — $2.4 \cdot 10^{-8}$, для β -излучателей радиокальция и радиостронция — $2 \cdot 10^{-8}$ и других β -излучателей — 10^{-6} мк/мл (Key, Kenney, 1952). Концентрация радия при этом составляет $4 \cdot 10^{-10}$ мг/л, а для радиокальция — всего $1.2 \cdot 10^{-12}$ мг/л. В другом крупном центре атомной промышленности Англии — Уиндскейле — стоки с высокой активностью сбрасываются в море трубой на расстояние 3 км от берега. Ежедневно сбрасывается 5 кюри радиостронция, 20 кюри тория, 100 кюри рутения и столько же цезия, 10 кюри церия, 50 кюри других β - и γ -излучателей. Суммарное количество сбрасываемых α -излучателей составляло сперва 0.1, затем было увеличено до 0.3 кюри в сутки. Наблюдениями установлено, что непосредственно у выпуска разбавление составляет не менее 4000 раз, в дальнейшем идет смещение за счет ветрового фактора и приливно-отливных течений.

Кроме предприятий атомной промышленности, радиоактивные изотопы используются в научных исследованиях (Каныгина, Зайцева, 1961, и др.) и учебных лабораториях, в некоторых отраслях народного хозяйства и медицине. Удельный вес этого источника загрязнения поверхностных вод сравнительно невелик. Большая часть радиоактивных изотопов, используемых в этих целях, употребляется в качестве закрытых источников и не поступает в водоемы.

В Лондоне, по данным Кенни (Кенни, 1958), за полгода использовалось около 70 кюри, из которых около 40 кюри могло попасть в сточные воды; объем сточных вод городской канализации достаточен для того, чтобы за счет разбавления был получен допустимый уровень радиации. Добавочное десятикратное разбавление для большого количества населения, по мнению автора, может быть получено за счет разбавления в реке и очистки.

По данным А. В. Топчиева, И. Т. Аладьева и П. С. Савицкого (1958), в СССР было освоено производство более 90 радиоактивных изотопов с общей величиной активности 200 000 кюри, из них на долю кобальта-60, используемого в основном как источник внешнего облучения, приходилось более 190 000 кюри. Наиболее широко используемый в медицине для внутреннего употребления β -, γ -излучатель йод-131 имеет период полураспада 8 суток, β -излучатель фосфор-32 — 14.3 суток. Методы осаждения и отстаивания дают в применении к этим изотопам удовлетворительные результаты.

Выпадения из атмосферы

В период интенсивного проведения испытаний ядерного оружия (1951—1958 гг.) атмосфера, включая стратосферу, оказалась значительно загрязненной радиоактивными веществами, в основном осколочными продуктами деления урана. Непрерывное оседание радиоактивной пыли составило общий фон радиоактивного загрязнения поверхности земного шара. Исследования Блайфорда и др. (Blifford a. oth., 1956) показали, что при выпадении дождя и снега скорость оседания радиоактивных продуктов возрастает на 90%.

Уровень активности снеговой и дождевой воды в Цинциннати (США) до весенней серии испытаний 1953 г. составлял $3-8 \cdot 10^{-11}$ кюри/л; после взрывов наблюдалось резкое увеличение активности в 100 и 1000 раз, максимальная величина составляла $3-10 \cdot 10^{-7}$ кюри/л (Nader a. oth., 1954). Максимальное количество выпадений отмечается вблизи места взрывов, но после крупных взрывов повышение активности метеорных вод происходит на всей земной поверхности. Поверхностные воды загрязняются как непосредственными выпадениями, так и стоком с территории водосбора, следовательно, реки и озера на единицу площади получают значительно больше радиоактивных выпадений, чем суша. Наиболее подвержены влиянию радиоактивных выпадений из атмосферы неглубокие озера, пруды и резервуары для сбора дождевых вод. В прудах штата Айова, служащих для питьевого водоснабжения, по данным Морриса (Morris, 1958), активность воды была с июля по октябрь 1957 г. выше предельно допустимой для β - и γ -излучателей ($1 \cdot 10^{-10}$ кюри/л) при максимальной величине $1.4 \cdot 10^{-9}$ кюри/л. Уровень активности в воде р. Айовы превышал допустимую величину только в отдельные дни после выпадения дождей. Повышение уровня активности воды в прудах на территории г. Москвы было отмечено в ноябре 1957 г. (Малов и др., 1958).

Проведенные в течение более двух лет наблюдения со сбором дождевых вод в цистерну показали резкие колебания активности цистерновых

вод от 10 до 5890 пикокюри/л, в среднем 40% радиоактивных веществ находилось в растворенном состоянии (Settler a. Straub, 1958)

В целом можно сказать, что в период проведения испытаний ядерного оружия дождевые воды в среднем по уровню активности были близки предельно допущенным уровням β -излучателей, в основном за счет короткоживущих элементов, находящихся во взвешенных веществах. Достигнутый уровень активности на 2—3 порядка превосходил естественный природный радиоактивный фон поверхностных вод.

В мало минерализованных водах фон практически определяется содержанием калия, урана, радия и продуктов распада. Содержание радия в источниках питания водопроводов 41 города в США (Hursh, 1954) колеблется в пределах, обуславливающих уровень активности от 0.009 до 6.54 пикокюри/л. В исходной воде лондонского водопровода содержание радия дает уровень активности в 0.5 пикокюри/л. По данным Лова (Love, 1951), уровень радиоактивности поверхностных вод 0.36—3.4 пикокюри/л. Естественная радиоактивность поверхностных вод США по радия $3.6 \cdot 10^{-13}$ — $3.4 \cdot 10^{-11}$ г/л. При повышенном содержании калия на уровень β -активности может оказывать влияние присутствие калия-40. Максимальная энергия β -частиц калия-40 составляет 1.32 Мэв, период полураспада 1.3 млрд лет. Содержание его в естественной смеси изотопов калия составляет 0.0119%, что обуславливает 1.81 распада в 1 мин. на 1 мг природного калия. По имеющимся данным, содержание калия в снеговой воде составляет 0.3 мг/л в поле и 0.9 мг/л в городском районе. Таким образом, в чистых метеорных водах активность, обусловленная присутствием калия (при его составе, отвечающем естественной смеси изотопов), составляет 0.24 пикокюри/л ($2.4 \cdot 10^{-13}$ кюри/л). В незагрязненных природных реках Подмосковья содержание калия колеблется в пределах 1.3—2.0 мг/л, что отвечает активности 1.0—1.5 пикокюри/л. Следовательно, можно принять, что естественный природный фон поверхностных вод выражался 1—2 пикокюри. Опубликованные данные (Settler a. oth., 1959) еженедельных измерений активности поверхностных вод на 44 станциях в основных бассейнах рек США показали, что с ноября 1957 г. по март 1958 г. активность составляла в среднем около 10 пикокюри, в последующее полугодие уровень активности значительно поднялся и за период июль—сентябрь составил в среднем в реках около 100 пикокюри/л. Более высокие величины активности были отмечены в реках с повышенным содержанием взвешенных веществ, что авторы связывают со смывом продуктов деления с площади водосбора. По расчетам авторов, поступление радиоактивных продуктов в реку с поверхностным стоком составляло в среднем 0.85% от общего выпадения на площади водосбора.

Среднее содержание стронция-90, по данным анализов поверхностных вод 15 основных водных бассейнов США (Straub a. oth., 1960), в первые три квартала 1959 г. было 0.9, 1.4 и 0.7 пикокюри/л, что составляет около 0.1 наивысшего допущенного уровня активности, обусловленного содержанием стронция-90. В бассейн р. Огайо поступало, по расчетам авторов, в среднем 7.8% от общего количества стронция-90, выпавшего на площади водосбора. Процент поступления стронция в реку оказался значительно более высоким, чем для суммы β -излучателей.

В связи со значительными колебаниями уровня активности, вызванного метеорными выпадениями по отдельным бассейнам и рекам, в период интенсивного проведения атомных взрывов в некоторых водоемах был достигнут, а местами и превзойден предел допущенного содержания излучающих веществ, как это отмечено для прудов штата Айова (Morris, 1958)

В пределах европейской части СССР, по опубликованным данным, уровень активности речной и прудовой воды в межливный период не пре-

выпал 10 пикокюри (Драчев, Былинкина, 1960а; Малов и др., 1958). В пределах СССР значительная часть радиоактивных выпадений депонируется в снеговом покрове, где сосредоточивается от $\frac{1}{3}$ до $\frac{1}{2}$ годовых выпадений. Наблюдения показали (Драчев, Былинкина, 1960а), что активность поверхностного стока наиболее высока в начальный период снеготаяния и заметно снижается в дальнейшем. В речной воде максимум β -активности совпал в общем с пиком паводка, достигнув нескольких десятков пикокюри на литр.

Абсолютные количества радиоактивных продуктов деления, поступающих в реки с площади водосбора, составляют весьма значительные величины. Исходя из активности речной воды и среднемесячных расходов, радиоактивный сток р. Миссури у Вискбурга на первое полугодие 1958 г. составил 29 000 кюри (Setter a. oth., 1959).

По данным Строуба и др. (Straub a. oth., 1960), радиоактивный сток стронция-90 со всей территории США составил 373 кюри за первый квартал 1959 г.

По данным А. А. Былинкиной, радиоактивный сток р. Волги по суммарному β -излучению в основном приходится на период половодья. Аналогичные данные по распределению радиоактивного стока получены по р. Дону (Страдомский, 1961).

Из сопоставления с данными об абсолютных количествах радиоактивных загрязнений, вносимых с промышленными загрязнениями, частично приведенными выше, следует, что в период проведения испытаний атомного оружия и непосредственно следующие за ним годы наибольшее значение имели метеорные выпадения. Повышенный радиоактивный фон, в частности, обусловленный долгоживущими изотопами, должен учитываться при сбросе в реки промышленных стоков с повышенным уровнем активности.

Значительный интерес представляет вопрос о судьбе радиоактивных изотопов в водоемах, их превращениях, переходе в донные отложения, возможности обратного перехода из гидробионтов, органических и минеральных соединений. Одним из наиболее существенных вопросов является возможность накопления излучающих веществ в гидробионтах и возможность передачи их по пищевой цепи в организм рыб, моллюсков, раков и других водных организмов, используемых для изготовления пищевых продуктов.

По химической природе радиоактивные вещества, попадающие в водоемы, весьма разнообразны: большая часть радиоактивных изотопов испытывает в водоеме превращения, свойственные нерадиоактивным изотопам того же элемента. Некоторые, как например прометий-147, в природных водах не встречаются, и их поведение при биогеохимических превращениях подлежит выяснению. Значительная часть радиоактивных загрязнений связана со взвешенными веществами и при оседании последних переходит в донные отложения. Отмечена возможность перехода радиоактивных веществ из донных отложений обратно в воду в количестве 0,4—4% в условиях нейтральной среды и до 50% при подкислении (Марей, 1958). В распределении и превращении радиоактивных веществ в водоеме большое значение имеют поверхностные явления. Физико-химические адсорбционные процессы особо значимы для веществ, содержащихся в малых концентрациях, излучающие же вещества находятся в водоемах в ничтожно малых количествах.

Исследования показали, что в пленке на поверхности водоема концентрация радиоактивных веществ много выше, чем в воде. Это явление отмечено как на водоемах, получающих загрязнение только за счет метеорных выпадений, так и на реках, получающих загрязнение при сбросе сточных вод. Значительная концентрация радиоактивных веществ проис

ходит при образовании пены. В жидкости, образовавшейся при разрушении пены, концентрация радиоактивных веществ на 2—3 порядка выше, чем в воде в пересчете на 1 л. В основе этого явления лежит флотация из воды взвешенных веществ, возможно, гидратов железа и марганца. Явление концентрации в пене планктонных организмов имеет второстепенное значение (Драчев, Былинкина, 1964).

Вопрос о накоплении радиоактивных веществ в водных организмах обстоятельно изучался на р. Колумбии (Foster, Davis, 1956), получающей стоки предприятия, производящего плутоний. Отмечено накопление радиоактивных веществ растительными и животными организмами; наибольшее накопление происходило в планктонных организмах, диатомовых водорослях и других гидробионтах с развитой поверхностью, например, губках. На первом этапе поглощения имеет значение адсорбция поверхностью биологических объектов, в дальнейшем вступает в действие механизм поступления веществ в живую клетку и процессы метаболизма в организме. Огромную роль играют пищевые цепи в биоцепозах водоема (Марей, 1958).

В связи с указанными особенностями поглощение и превращение радиоактивных изотопов носит избирательный характер. В воде р. Колумбии содержалось большое количество изотопов: за счет фосфора-32 относилось около 1% активности воды, в планктоне от 30 до 50% накопленной активности относилось за счет фосфора-32, 25—50% — за счет меди-64, от 5 до 15% — за счет натрия-24 и около 10% — за счет редких земель и других изотопов. Интенсивное накопление фосфора происходило в более высокоорганизованных организмах. Так, в небольшой рыбке *Richardsonius balteatus* концентрация фосфора-32 возросла в 150 000 раз, в личинке *Hydropsyche cockerilli* — почти в 350 000 раз.

В растительном и животном организме радиоактивные изотопы распределяются неравномерно, в растениях многие изотопы сосредотачиваются в растущих частях. В рыбах наиболее радиоактивными оказались кости и жабры, богатые фосфором. По данным Крумгольца (Krumholz, 1956), в костях рыб селективно концентрировались радиостронций и цезий, наименее активными оказывались мускулы и жир.

Уровень активности в водных растениях следует изменению концентрации радиоактивных изотопов в воде, в более высокоорганизованные организмы поступление радиоактивных изотопов происходит более замедленно. Для рыб наибольшее значение имело наличие пищи, содержащей излучающие вещества, уровень активности рыбки голопузки в общем следовал изменению температуры воды, при повышении которой в водоеме возрастало количество пищи.

ДРУГИЕ ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Основные источники загрязнения находятся вне водоема, но в некоторых случаях в самих реках и озерах могут иметь место процессы, ухудшающие качество воды.

В некоторых случаях ухудшение качества воды связано с изменением режима реки вследствие строительства гидротехнических сооружений, замедления течения, уменьшения или увеличения расходов воды, глубин и других морфометрических признаков. При этом могут происходить изменения химического состава, физических свойств и биологических признаков, которые нарушают нормальные условия существования водных организмов и могут быть квалифицированы как загрязнения водоема. Явления такого порядка могут вызываться резкими отклонениями от обычных гидрометрических условий. На некоторых реках ухудшение физических свойств воды, изменения химического состава и связанные

с ними явления гибели рыб и других организмов повторяются столь часто, что входят в обычный цикл сезонных изменений режима реки. Описание явлений подобного рода на некоторых реках Сибири дано выше (глава II).

Сток с площади водосбора

Загрязнение реки, связанное с природными явлениями вне водоема, является следствием процессов на площади водосбора. К явлениям, имеющим наиболее общий характер, относится поверхностный сток с площади водосбора после выпадения дождей и в особенности в период весеннего снеготаяния. Качество воды весеннего и летнего стоков зависит от характера площади водосбора и ее природных особенностей. Но наибольшую роль играет способ хозяйственного использования площади водосбора. Огромная количественная и качественная разница существует между стоками с распаханной территории и с территории, покрытой естественной древесной или травянистой растительностью. Связанные с распашкой эрозивные процессы вызывают повышение содержания взвешенных веществ в водоемах. Этому способствует то обстоятельство, что весеннее половодье и вызываемые дождями паводки протекают значительно более бурно на территориях, лишенных естественного древесного и травянистого покрова (Ellis, 1936; Соболев, 1948). Поверхностный сток с территории населенных пунктов и промышленных площадок является наиболее загрязненным. По своим качествам — физическим свойствам, содержанию органических веществ, микробиальному населению — поверхностный сток с территории населенных пунктов близок к составу хозяйственно-фекальных сточных вод. На это указывают данные среднего состава поверхностного стока городов Москвы, Ленинграда, Киева. В силу указанных обстоятельств поверхностный сток населенных пунктов рассматривается как сточные воды, и общесплавная система канализации предусматривает габариты очистных сооружений, рассчитанные на поверхностный сток. В странах Западной Европы во многих случаях сеть канализации и очистные сооружения рассчитаны на прием поверхностного стока.

В Англии, по правилам Министерства жилищ и местных самоуправлений, очистные сооружения городских канализаций должны быть рассчитаны на полную очистку тройного количества жидкости по сравнению с расходом сточной воды в сухую погоду. Когда из-за дождя расход жидкости возрастает до шестикратного против нормального, требуется частичная обработка в виде отстаивания, с последующей полной очисткой жидкости, накопившейся в отстойниках. В тех случаях, когда расход жидкости возрастает в шесть раз и более, разрешается выпуск неочищенной сточной жидкости. В связи с этим отмечается сильное загрязнение водоемов после дождей, вызывающее даже гибель рыб, особенно после длительного периода сухой погоды. Среднее количество взвешенных веществ в сбросах сточных вод в этот период составляет около 300 мг/л вместо требуемых по стандарту 30 мг/л.

Развитие водной растительности

Одним из природных явлений, способствующих ухудшению качества воды, является размножение растительного планктона — «цветение» воды. Явление это свойственно природным водоемам, особенно с замедленным течением. Развитию свободноплавающих водорослей типа синезеленых способствует повышенное содержание питательных минеральных соединений. В первые 2—3 года по заполнении водохранилищ создаются весьма благоприятные условия для развития планктонных (свободно-

плавающих) организмов, в особенности синезеленых. Жизнедеятельность растительных организмов ограничивается зоной проникновения солнечного освещения на глубину обычно не более 2 м. В тихую погоду синезеленые планктонные организмы всплывают на поверхность, так как удельный вес их в живом и отмершем состоянии несколько менее единицы. При этом создается своеобразная расцветка воды.

Всплывшие водоросли сгоняются ветром к берегам и в заливы, образуя значительные скопления, приобретающие при отмирании организмов лазурную окраску. Распад органического вещества с образованием неприятных запахов вызывает загрязнение водоема. В период «цветения» большие трудности создаются при очистке на водопроводных сооружениях: производительность фильтров снижается, расход воды на промывку возрастает. В первые годы эксплуатации Днепропетровского водохранилища имела место фактически полная остановка работы очистных сооружений городского водопровода (Берзин, 1936).

Такого рода катастрофические явления случаются редко; многочисленные водохранилища, созданные на Волге и других реках, в течение многих лет служат безотказными и удовлетворительными источниками водоснабжения. Развитие растительных организмов в открытых водоемах вызывает зачастую осложнения в работе водопроводов из-за запахов, придаваемых продуктами жизнедеятельности водных организмов. Запахи могут вызываться как планктонными организмами, так и высшей водной растительностью. Часто встречающиеся землистые запахи связаны с жизнедеятельностью актиноидов (Исаченко, 1946). Из диатомовых водорослей землистый запах придает воде синедра (*Synedra*). Ароматический запах вызывают диатомовые водоросли (*Meridion*, *Tabellaria*, *Diatoma*, *Cyclotella*), особенно астерионелла (*Asterionella*). Запах, производимый астерионеллой, при малом количестве организмов имеет ароматический характер, при усилении приобретает запах герани и при большом количестве организмов становится рыбным и тошнотворным. Синезеленые водоросли придают обычно воде травянистый запах, наиболее распространенные — анабена и афанизоменон (*Anabaena spiroides*, *Aphanizomenon flos-aquae*) при большом количестве дают запахи настурции, переходящие в запах свиного навоза. Наиболее неприятный рыбный запах связан с представителями типа *Chlorophyceae*, дают его также динобрион, синура и другие организмы. В литературе имеются сведения о ряде осложнений на крупных водопроводах США вследствие развития высшей водной растительности (Whipple, 1954).

Развитие растительных организмов способствует увеличению содержания органического вещества, вследствие чего повышается окисляемость, понижается прозрачность, возрастает, хотя и в небольшой степени, цветность воды. В живом состоянии растительные организмы вызывают на свету повышение содержания растворенного кислорода, при отмирании происходит потребление кислорода, растворенного в воде. Распад отмерших организмов и их дыхание при жизни вызывают снижение растворенного в воде кислорода. В темноте из-за присутствия растительного планктона величина потребления кислорода за 5 суток нередко может составить 3—5 мг/л, в отдельных случаях величина эта может достигнуть 8—10 мг/л, т. е. вызвать полное потребление растворенного в воде кислорода (Драчев, 1951).

Растительные водные организмы прижизненно выделяют в воду органические вещества (Горюпова, 1949), природа которых еще недостаточно исследована. Имеются данные о бактериостатическом и даже бактерицидном действии растительных выделений (Разумов, 1948), в том числе на кишечную палочку (Гасилина, 1961) и патогенные организмы (Остапеня и др., 1957).

Довольно много имеется указаний о токсическом действии фитопланктона на рыб и теплокровные организмы; в сводке Г. Г. Винберга (1954) приведен ряд случаев отравления скота при использовании для питья воды с большим содержанием планктических организмов. Высказываются соображения, что сравнительно легкие, не всегда регистрируемые случаи массовых расстройств желудочно-кишечного тракта связаны с употреблением для питья водопроводной воды, содержащей до очистки большое количество фитопланктона.

Имеются указания, что некоторые виды синезеленых водорослей, например микроцистис (*Microcystis aeruginosa*), продуцируют токсические вещества и при массовом развитии могут вызвать гибель скота и заболевания людей. Высказано недостаточно обоснованное мнение, что обильное развитие синезеленых водорослей в р. Волге после устройства плотин является причиной гибели сазана в низовьях р. Волги.

Таким образом, массовое развитие растительных организмов является одним из видов естественного загрязнения, имеющих многообразные последствия. Для борьбы с фитопланктоном применяется сульфат меди в количестве 0.05—0.5 мг/л (Берзин, 1936; Whipple, 1954).

Распространение этого приема осуществимо на сравнительно небольших по размерам водоемах. При этом необходимо учитывать и ядовитое действие сульфата меди на рыб. В работе Батчера (Butcher, 1946) было показано, что при сбросе воды из медного рудника, содержащей 1—2 мг/л меди, в реке были полностью уничтожены все зооорганизмы на протяжении свыше 10 км. Пределом содержания меди в речной воде, по рыбохозяйственным соображениям, считаются весьма малые величины — около 0.01 мг/л (Монье, 1946; Строганов, 1949). Следовательно, применение сульфата меди для борьбы с фитопланктоном должно быть согласовано с интересами рыбного хозяйства. Для борьбы с водной растительностью, особенно в прудах охлаждения на тепловых электростанциях, находят применение различного рода химические вещества специфического действия — гербициды. Возможности их применения на водоемах питьевого назначения ограничиваются присутствием в них пахучих примесей (Можаев, Вертебная, 1962). По данным Фитцджералда и Скууга (Fitzgerald a. Scoog, 1954), чрезвычайно ядовитым для синезеленых водорослей оказался 2,3-дихлоронафтохинон. Смертельное действие этого соединения проявлялось при дозе 0.002 мг/л при экспозиции на свету в течение 10 минут. Токсическое действие на рыб не проявлялось при дозе в 0.1 мг/л, что было подтверждено опытами на озере.

К природным процессам, ухудшающим качество воды и, следовательно, загрязняющим водоемы, относятся донные процессы, в результате которых выделяются газообразные и растворенные вещества, переходящие в толщу воды. Образование и распространение метана, водорода и других газов имеет место и хорошо изучено для озер в природных условиях Косинской лимнологической станции.

Важную роль в кислородном балансе рек с замедленным течением бесспорно играют донные отложения, содержащие органические вещества. На водохранилищах канала им. Москвы установлены и приблизительно подсчитаны количества кислорода, потребляемого за счет донных отложений и затопленных почв. За зимний период в незагрязненном водохранилище приблизительно $\frac{1}{3}$ запасов растворенного в воде кислорода расходуется на окисление газообразных растворенных продуктов донных процессов (Драчев, 1951).

Влияние дна сказывается в ухудшении физических свойств воды, возрастании цветности, увеличении мутности, появлении запахов и привкусов в придонных слоях воды. При этом возрастает содержание закисных соединений железа и марганца, повышается окисляемость. Восста-

новленные соединения частично переносятся, по-видимому, с пузырьками газов, поступающих из донных отложений. Своеобразную форму загрязнения водоема представляет перенос на поверхность и в толщу воды нефтяных загрязнений, отложившихся на дне. По данным А. А. Ворошиловой и Е. В. Диановой (1952), на 1 м² выносилось за сутки до 17 г нефти.

Источником загрязнения водоемов является грузовое и пассажирское судоходство. С точки зрения опасности для здоровья населения наиболее существенное значение имеет сброс с судов и пристаней хозяйственно-фекальных сточных вод. Опасность заключается в непосредственном попадании в воду свежих фекальных масс без задержки хотя бы на несколько часов, в течение которых происходит интенсивное отмирание патогенных микроорганизмов. Возможно, что именно здесь создается большая опасность в эпидемическом отношении, тем более, что при значительном разбавлении вода не изменяет органолептических свойств и не обнаруживает загрязнения по химическим показателям. В данном случае о загрязнении можно судить только по бактериологическим показателям.

Повышение количества сапрофитной микрофлоры было отмечено Л. Е. Корш в 1952 г. на Клязьминском водохранилище у места стоянки плавучего дома отдыха. Для ликвидации бактериального загрязнения потребовалось около двух недель после ухода судна с отдыхающими.

Приемом устранения загрязнения при судоходстве является устройство цистерн для сбора на судах хозяйственно-фекальных сточных вод с опорожнением последних в городские канализации. В СССР такая система была введена на канале им. Москвы в 1937 г. и в дальнейшем постепенно вводится на всех речных судах.

При движении судов с механическими двигателями происходит загрязнение поверхности водоема нефтепродуктами. После прохода судна всегда остается видимый след на поверхности как на морях (Шулейкин, 1953), так и пресных водоемах. Объясняется это явление изменением оптических свойств поверхности водоема под влиянием тонкой пленки нефтепродуктов. Границы распространения пленки хорошо определяются визуально и могут быть учтены путем измерения поверхностного натяжения, величина которого сильно снижается при загрязнении поверхности воды нефтью. Путем определения толщины пленки нефтепродуктов на водоеме и площади распространения приблизительно подсчитано, что количество нефтепродуктов, оставляемых после прохода катера на расстоянии 1 км по Клязьминскому водохранилищу, составляло около 250 см³ (Драчев, 1948, 1951).

ЗАГРЯЗНЕНИЕ РЕК И ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ

Одним из весьма важных мотивов санитарной охраны рек является многократно установленный факт связи между загрязнением водоемов и возникновением, распространением и переносом некоторых инфекционных заболеваний. В данном случае более точно следует говорить не о загрязнении, а о заражении водоемов возбудителями инфекционных заболеваний.

Наиболее распространенные приемы очистки — отстаивание, аэротенки, биофильтры — снижают содержание патогенных кишечных бактерий, вирусов, туберкулезных бацилл в сточных водах, но очищенные воды содержат часть каждого вида патогенных агентов, присутствующих в исходной воде. Значительно более радикальным способом ликвидации возбудителей инфекционных заболеваний является хлорирование сточных вод. До настоящего времени прием этот мало распространен (Kabler, 1959).

Водоемы не являются нормальной средой обитания для возбудителей инфекционных заболеваний человека. Попадая в воду, в основном с хозяйственно-бытовыми сточными водами, патогенные микроорганизмы отмирают в сроки, которые значительно варьируют в зависимости от вида организма. Некоторое значение имеет качество воды — физические свойства, химический состав и биоценоз водоема. Обычная среда обитания патогенных организмов, в особенности возбудителей кишечных инфекций, настолько отличается от водоема по условиям питания, температуре, кислородному режиму, что можно было ожидать весьма быстрое отмирание патогенных микроорганизмов. Однако их приспособительные силы настолько значительны, что процесс отмирания затягивается на многие часы, дни, недели, а в некоторых случаях — и месяцы. В течение этого срока вода становится опасной для питьевого и бытового использования. При непрерывном поступлении инфекционного начала, чаще всего с хозяйственно-бытовыми сточными водами, потенциально опасным становится отрезок реки от пункта впадения сточных вод до места, где заканчиваются процессы отмирания патогенных бактерий. Имеются указания (Figgert, 1959), что для возникновения заболевания достаточно очень небольшого количества патогенных организмов.

Использование загрязненной реки для централизованного водоснабжения связано с опасностью возникновения вспышек водных эпидемий. При использовании рек для децентрализованного водоснабжения всегда существует опасность возникновения спорадических заболеваний в прибрежных населенных пунктах.

К числу заболеваний, в возникновении которых загрязненные водоемы могут иметь значение, относятся брюшной тиф и паратифы, дизентерия, холера, инфекционный гепатит, водная лихорадка, инфекционная

желтуха, некоторые виды гельминтозов, конъюнктивиты (Громашевский, 1961). Подозревается возможность передачи водным путем полиомиелита. Имеются указания на возможность передачи водным путем туберкулеза, правда, при исключительных обстоятельствах (Schmidt, 1952).

Брюшной тиф и паратифы. Брюшной тиф и паратифы А и В вызываются родственными возбудителями и сходны по клиническим признакам и в эпидемиологическом отношении. Водный путь передач указанных болезней хорошо изучен и до настоящего времени является одним из обычных. По сравнению с прошлым столетием заболеваемость населения снизилась в десятки и сотни раз, но до настоящего времени еще не ликвидирована. В наиболее развитых странах заболеваемость не превышает 0.1 на 10 000 населения, в других странах на 2—3 порядка выше.

Многочисленные материалы подтверждают зависимость заболеваний брюшным тифом от загрязнения водоема. Обычно считают, что возбудители брюшного тифа и паратифов не могут долго существовать и размножаться в водоемах. Но есть сторонники противоположного мнения (Emily, Tomašic, 1954). В лабораторных опытах тифозные палочки отмирают в течение нескольких дней и лишь в редких случаях обнаруживаются по истечении семи недель. Уже давно установлено, что возбудители брюшного тифа исчезают в загрязненных водах значительно быстрее в летние месяцы по сравнению с зимними.

Начало изучения роли водоемов в распространении брюшного тифа было положено в Швейцарии в 1872 г. Был установлен сложный путь передачи инфекции через загрязненный ручей, который был связан с подземными водами, используемыми для колодезного снабжения в нижележащем селении. В дальнейшем были описаны многочисленные случаи эпидемий брюшного тифа, вызванных загрязнением источников питьевого водоснабжения. Таковы вспышки в Плимуте, Пенсильвании (1885 г.), Ашлинде, Минезоте и других городах. Вспышка брюшного тифа в Чикаго служит примером опасности использования озерной воды, в которую спускаются сточные воды города. Только после устройства канала и переброски сточных вод в другой речной бассейн прекратилось загрязнение озера и снизилась заболеваемость. Улучшение условий водоснабжения наряду с другими мероприятиями снизило смертность от брюшного тифа с 1489 случаев на 10 000 населения в 1892 г. до 0.4 в 1932 г.

Анализ заболеваемости брюшным тифом, дизереей и дизентерией в США и Канаде за срок с 1920 по 1930 г. был произведен Вольманом и Горманом (Walman, Gorman, 1931). С 1930 по 1936 г. исследованием источников этих

ТАБЛИЦА 29
Водные вспышки заболеваний в США в 1930—1936 гг

Источник или причина заболевания	Число вспышек	Число заболевших брюшным тифом	Число заболевших дизереей и дизентерией
Необработанные поверхностные воды	34	442	3283
Необработанные грунтовые воды	64	1378	1780
Загрязнение резервуаров и цистерн	4	17	196
Недостаточный контроль за очисткой воды	15	608	9678
Загрязнение в распределительной системе	15	287	1975
Загрязнение в собирающей или проводящей системе	2	5	0
Разное	36	443	1969
Итого	170	3180	18881

заболеваний занимался комитет по водоснабжению Американского общества здравоохранения. Из табл. 29 видно, что вторым по значению источником заболевания брюшным тифом являются открытые водоемы, реки, малые потоки, пруды и озера, за счет которых отнесено 34 вспышки из 170. По числу случаев заболеваний данная причина является одной из преобладающих.

Отмечено (Edward, Moore, 1956), что почти все случаи вспышек водных эпидемий происходили в холодное время, что связывается с более длительным выживанием возбудителей кишечных заболеваний при пониженной температуре.

Загрязнение питьевой воды может происходить различными путями. Вспышки в Питтсбурге, Лоуренсе, у Ниагарского водопада, в Албани и Филадельфии произошли вследствие использования неочищенной воды реки, в которую спускались бытовые сточные воды расположенных выше городов. В Чикаго, Кливленде и Бурлингтоне использовалась вода озер, в которые сбрасывались стоки названных городов. Источником загрязнения могут быть сбросы сточных вод отдельных домов, как это было в Плимуте. В Итаке источником загрязнения служили уборные, расположенные непосредственно над рекой или у берегов. В ряде случаев загрязнение происходило путем смыва нечистот с поверхности почв в период дождей или при просачивании их через почву. В Пальмертоне и других городах причиной вспышек было загрязнение водопроводных труб, проложенных по дну прудов или рек. Многочисленные случаи возникновения эпидемий отмечены в городах, имеющих двойное водоснабжение — техническое и питьевое (Бенсман, 1936).

Отмечаются случаи загрязнения, которые особенно опасны при территориальной близости к источнику водоснабжения, — сбросы из уборных поездов при пересечении мостов на реках и водохранилищах, загрязнение от лагерей туристов на берегах рек, рыбаков, экскурсий. Могут быть весьма опасным и сбросы нечистот с судов, в особенности, когда они производятся вблизи водозабора.

В пределах СССР значение загрязненных рек в распространении брюшного тифа изучалось многократно. Примером водной вспышки брюшного тифа может служить описанная В. А. Башениным (1960) эпидемия в Поречье, обусловленная поступлением загрязненной воды р. Иночь в водопровод. В короткий срок в детском городке с населением 656 человек заболело брюшным тифом 239 человек и гастроэнтеритами 117 человек. В школе, расположенной в 0.5 км и входившей в состав городка, но имевшей отдельный источник водоснабжения, заболел один человек.

При использовании загрязненного поверхностного источника для питания водопровода вспышки большей частью носят внезапный характер классических водных эпидемий. Такого рода случаи сравнительно редки. В последнее время большое значение придается водному фактору как причине, поддерживающей постоянную высокую заболеваемость брюшным тифом в результате загрязнения водоисточника, — хронические водные эпидемии, по Л. В. Громашевскому (1961). Роль загрязнения рек в развитии брюшного тифа в условиях Урала установлена А. В. Пшеничниковым (1936). Значение загрязнения воды особенно подчеркивалось в период войны 1941—1945 гг., когда в городах создались трудные условия водоснабжения. Высокая заболеваемость брюшным тифом в городах Сибири и Поволжья, по указанию Б. Г. Кальманович (1948), в основном связана с водным фактором.

По данным В. К. Викторова и других исследователей (1948), сброс хозяйственно-фекальных вод в зимнее время служил причиной возникновения эпидемии в населенных пунктах, расположенных вниз по течению реки на расстоянии 60—135 км.

По данным А. М. Зарицкого (1961), загрязнения воды на Украине играют большую роль в заболеваемости брюшным тифом в сельской местности и в небольших городах с неблагоустроенным водоснабжением. Эпидемические вспышки брюшного тифа на Украине в 1944—1958 гг. были вызваны главным образом водным фактором. Количество заболеваний, связанных с загрязнением воды, в 1958 г. увеличилось в 3 раза по сравнению с 1957 г.; в 1959 и 1960 гг. удельный вес водного фактора оставался значительным (Бирковский, Зарицкий, 1961).

Роль загрязнения воды в распространении брюшного тифа в городах и сельской местности Туркмении подчеркивается в работах А. В. Васильевой (1961), обнаружившей в источниках водопользования возбудителей заболеваний. А. М. Левитов и А. И. Толкачев (1962) придают решающую роль водному фактору в распространении брюшного тифа и паратифа А и Б в г. Куйбышеве, отмечая параллельный ход кривых заболеваемости и количества проб воды неудовлетворительного качества по бактериологическим показателям.

Зависимость уровня заболеваемости кишечными инфекциями от качества воды демонстрировалась неоднократно различными способами. Наиболее распространенным приемом является изображение данных о заболеваемости по городам с обозначением дат, отмечающих введение приемов улучшения качества воды.

Весьма наглядны картограммы распространения кишечных инфекций вниз по течению рек или ручьев с обозначением местожительства заболевших. Показательна картограмма, составленная А. В. Васильевой (1959), демонстрирующая рост заболеваемости в населенных пунктах вниз по течению реки.

Предложено несколько классификаций водных эпидемий брюшного тифа (Кальманович, 1948). Эпидемии, связанные с использованием открытых водоемов, имеют следующие особенности: 1) возможность возникновения в любое время года, чаще всего в зимний и весенний периоды; 2) связь с водоемисточником распространения заболеваний по берегам рек или близости к мелким водоемам; 3) при загрязнении реки заболевания появляются сперва в вышележащем населенном пункте и распространяются вниз по течению; 4) при использовании водоема для купания наблюдается повышенная заболеваемость в летний период, главным образом среди детей.

Дизентерия. Большое внимание привлекает вопрос о роли загрязнения рек в возникновении и распространении дизентерии. Сравнительно недавно считалось, что роль загрязнения воды в распространении различных видов дизентерии невелика и преобладающее значение имеют бытовые условия: загрязнение пищи, мухи (Громашевский, Гуслиц, 1947). Мнение о второстепенном значении воды в значительной мере определялось тем, что один из основных в прошлом возбудителей шигелла Григорьева—Шига в водной среде быстро отмирает. В данное время заболевания дизентерией вызывают шигелла Флекснера и шигелла Зонне, в 50-х годах послужившие причиной почти всех заболеваний (Жданов, 1954). Исследования последнего времени показали, что эти возбудители способны к значительно более длительному выживанию в водной среде. По данным В. П. Крыловой (1955), в кипяченой воде шигелла Зонне может сохраняться до 2—3 месяцев, шигелла Флекснера — до 1—2 месяцев, в то время как максимальный срок выживания возбудителя дизентерии шигеллы Григорьева—Шига 2 недели. Опыты В. П. Крыловой проводились в кипяченой воде, где имеются благоприятные условия для выживания из-за малого количества антагонистов, играющих значительную роль в отмирании бактерий. В работе К. Г. Медвинской (1953) установлено, что палочки Григорьева—Шига погибают в среднем через 2,2 суток. Чувствительные к сульфаниламидам палочки Флекснера погибали в среднем

через 3.9 суток, устойчивые — через 5.8 суток. Чувствительные к препарату палочки Зонне погибали через 6.5 суток, устойчивые — через 7.6 суток. Брюшнотифозные палочки в тех же условиях погибали через 5.6 суток.

По данным Ю. Г. Талаевой (1957), в речной воде при температуре 19—24° дизентерийные микробы Флекснера обнаруживаются до 3—9 суток по бактериологическим данным и до 17—41 суток по реакции преципитации с гаптенom. В автоклавированной речной воде при тех же условиях микробы Флекснера выживают до 47 суток.

Выживаемость возбудителей дизентерийных заболеваний зависит от многих условий, в числе которых большое значение имеет микробный антагонизм. В более чистых водах возбудители дизентерии выживают значительно дольше.

Имеется довольно много описаний водных вспышек дизентерии. В частности, это относится к зимним (Гальперин, Куприянова, 1940) и ранневесенним вспышкам. Возникновение последних связывается с неполноценным авитаминозным питанием, обострением хронической дизентерии, особенно в условиях военного времени (Громашевский, Гуслиц, 1947). В последнее время накопилось много данных о водном происхождении вспышек дизентерии (Бирковский, 1958; Каден, 1953; Жданов, 1954, и др.). В сводке Элассена и Камминга о вспышках водного происхождения в США из 300 случаев 35 относятся к дизентерии.

Зимняя вспышка дизентерии водного происхождения в одном из районов г. Омска описана Г. В. Корниловой и В. М. Новик (1958), А. А. Фальчевская (1958) указывает, что повышенная заболеваемость в прибрежных кварталах г. Омска в осенне-зимние месяцы связана с загрязнением р. Иртыша.

Отмечается, что заболевание дизентерией водного происхождения протекает атипично, как гастроэнтериты, энтероколиты и даже как токсикоинфекции. Обычно эти заболевания предшествуют возникновению тифозных и паратифозных заболеваний.

Водные вспышки дизентерии, по данным М. М. Каден (1953), обычно возникают в холодные месяцы года: поздней осенью, зимой и ранней весной. Характерным признаком дизентерии водного происхождения является преимущественное поражение взрослого населения и детей старшего возраста. В работе Ю. Е. Бирковского и А. М. Зарицкого (1961) описано 22 вспышки дизентерии водного происхождения. По указанию В. М. Жданова (1954), особую тревогу вызывает все возрастающая роль водного фактора в передаче дизентерий. М. М. Каден (1953) пришла к выводу, что водный фактор при дизентерии играет не меньшую, если не большую роль, чем при брюшном тифе.

Имеется ряд опытов, указывающих, что к воздействию хлора бактерии — возбудители дизентерии — более чувствительны, чем кишечная палочка. Значительно менее чувствительны к хлору возбудители амёбной дизентерии. Цисты возбудителя, выживающие, по данным Чанга (Chang, 1961) и др., особенно длительное время, более устойчивы к активному хлору. Полное обеззараживание воды достигается хлорированием дозой в 5 мг/л при контакте в течение одного часа, причем должно оставаться не менее 1 мг остаточного хлора. Надежным методом удаления возбудителя амёбной дизентерии является фильтрация воды на очистных сооружениях.

В условиях открытых водоемов исчезновение возбудителей дизентерии в числе прочих причин зависит от бактериофага. Как известно, впервые явление бактериофагии было обнаружено Д'Эреллем, выделившим лизирующее вещество из испражнений дизентерийных больных. Дизентерийный бактериофаг многократно выделялся из сточных вод, загрязненных водоемов и в некоторых случаях был обнаружен в сравнительно чистых по физическим и химическим свойствам водоемах (Корни-

лова, 1958). Может ли это считаться доказательством присутствия дизентерийных микробов, обладающих способностью к длительному выживанию в сравнительно чистых водоемах, остается неясным.

Холера. В XIX столетии хорошо была изучена и установлена роль загрязнения воды в возникновении холерных эпидемий и распространении их морскими и речными путями. Доказано, что холерный вибрион может существовать и даже размножаться в воде. Впервые холерный вибрион был найден в Индии в загрязненном водоеме, используемом населением. Заражены холерными вибрионами некоторые водоемы и в данное время. В водоемах г. Калькутты в 12 пробах из 89 были выделены холерные вибрионы (Abou Gareeb, 1960).

В 1936 г. была переиздана монография Джопса Сноу «О путях распространения холеры», содержащая классическое эпидемиологическое описание холеры в Лондоне в 1854 г., унесшей свыше 50 000 жертв. Хорошо изучена и многократно описана холерная эпидемия в Гамбурге в 1892 г., возникновение и широкое развитие которой было связано с заражением водопровода, забиравшего воду из загрязненной р. Эльбы. Распространение холеры в России в прошлом обычно связывалось с появлением заболеваний в городах Нижнего Поволжья.

В данное время в связи с отсутствием заболеваний холерой в СССР и ряде стран мира публикуется мало исследований о значении водного фактора в распространении холеры, но вопрос нельзя считать полностью потерявшим значение. В странах Юго-Восточной Азии имеются постоянные очаги, могущие служить источником распространения эпидемии.

В Египте, где случаи холеры не были известны в период с 1902 до 1947 г., заболевание это в 1947 г. широко распространилось в нижней долине р. Нила. На протяжении 3 месяцев заболело 20 047 человек, из них умерло 9760. По данным Всемирной организации здравоохранения, в 1958 г. мировой статистикой зарегистрировано более 20 000 смертных случаев от холеры.

Диарея. Загрязненные воды довольно часто являются причиной отдельных случаев и эпидемических вспышек диарей. В качестве отдельной формы выделена диарея вирусная, но вопросы этиологии остаются далеко не выясненными. В связи с тем, что заболевание не регистрируется, статистических данных о его распространенности не имеется.

При эпидемических вспышках брюшного тифа водного происхождения обычно отмечается большое число случаев желудочно-кишечных расстройств, этиология которых остается невыясненной. Возможно, что некоторые случаи являются слабо выраженной формой основного заболевания. В этих случаях особенно распространяется диарея среди детей, что, по-видимому, связано с загрязнением воды. Значительное уменьшение детской диареи было отмечено после улучшения качества воды в Гамбурге, то же самое отмечалось после введения фильтрации в Лоуренсе.

Значительная эпидемия брюшного тифа и диарей была отмечена в Бурлингтоне. Повышенную заболеваемость диареей автор связывает с загрязнением источника водоснабжения сточными водами. По данным Уиппла (Whipple, 1954), после введения очистки воды в Албани смертность от диарей уменьшилась на 57%.

Многочисленные вспышки диарей связываются с присутствием в воде нескольких микроорганизмов: *Escherichia coli*, *Salmonella enteritidis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Clostridium welchii*, *Bacillus mesentericus*.

Присутствие этих организмов нередко рассматривалось как причина вспышек желудочно-кишечных заболеваний, которые протекают с различной степенью интенсивности. Смертные случаи отмечаются редко, за исключением детей и лиц с ослабленным организмом. Взгляд на указанные выше микроорганизмы как причину заболевания диареей обосновывается тем,

что одни и те же микроорганизмы находятся в воде и в испражнениях больных. Для получения исчерпывающего доказательства необходимо проведение исследований в области специфической агглютинации.

Лептоспирозы. Под этим названием объединяется группа заболеваний, вызываемых лептоспирами. До 1959 г. было известно 35 видов патогенных лептоспир. Для лептоспир-сапрофитов водоемы являются естественной средой обитания. Патогенные лептоспиры, носителями которых являются грызуны и другие животные, могут выживать в воде от нескольких часов до 30 суток. В загрязненной воде сроки выживания более коротки, чем в чистой воде. Чаще всего патогенные лептоспиры встречаются в прудах, малых застойных водоемах, реках с замедленным течением. Из заболеваний, вызываемых лептоспирами, изучены инфекционная желтуха, носящая также название болезни Вейля—Васильева, и водная лихорадка.

Возбудителем инфекционной желтухи является *Leptospira icterohaemorrhagiae*. В природе естественным хранителем инфекции являются грызуны. Болезнь может передаваться человеку через повреждения кожи, слизистые оболочки; заражение происходит при купании, стирке. Из организма животных и больных людей возбудитель заболевания выделяется с мочой (Карасева и др., 1955). Отличительной особенностью патогенных лептоспир является устойчивость в отношении действия активного хлора: требуются дозы не менее 1 мг/л.

На Западе инфекционная желтуха была обычной во времена первой мировой войны среди войск, расположенных в сырой местности, в окопах, где в большом количестве распространились крысы. Имеются указания, что заболевание является обычным среди работников канализаций, мясников, шахтеров и лиц, купающихся в стоячих водах. Особенно распространена инфекционная желтуха среди шахтеров Шотландии и Южного Уэльса, где это заболевание является своего рода профессиональным. В Дании 90% всех случаев заболеваний относят за счет питьевой воды, 60% — за счет купания, 13% — за счет лиц, работающих в воде, и 18% — за счет лиц, попавших в воду случайно. Описана эпидемическая вспышка в Лиссабоне, где заболело 126 человек, пользовавшихся водой из фонтана, случаи заболевания в окрестностях Гамбурга за счет купания в загрязненной воде. С использованием загрязненной воды связана вспышка в Югославии, где заболело 390 человек. Специфический возбудитель заболевания был выделен из морских свинок, зараженных мочой больных. В Советском Союзе проведены большие работы по установлению хранителей патогенных лептоспир в природе и выяснению их роли в эпидемиологии (Ананьин, 1955).

Водная лихорадка, носящая также названия болотной, покосной и др., как отдельная нозологическая форма описана в 1927 г. В. А. Башениным (1928). Возбудителем лихорадки является *L. grippothyphosa*, хранителями инфекции — полевые мыши. Возбудитель проникает через поврежденную кожу и при питье через поврежденную слизистую полости рта. Заболевают чаще всего купающиеся, а также сельскохозяйственные рабочие.

Значительные исследования были проведены по выяснению роли мышей как носителей возбудителя водной лихорадки (Киктепко, 1948).

Изучение эпидемиологии водной лихорадки на Украине показало, что в основном заражение происходило через небольшие водоемы (Хоруженко, 1955). Из 33 водоемов, послуживших местом заражения, 12 представляли собой небольшие пруды, 16 — малые реки и мостами пересыхающие ручьи, 3 — копанки, 2 — шахтные колодцы, служившие местом водопоя скота на пастбищах. По мнению П. Ф. Хоруженко, за счет естественных водоемов относится 97.7% заболеваний.

Туляремия. Острое лихорадочное заболевание вызывается микробом *Pasteurella tularensis*, способным при низкой температуре месяцами сохранять жизнедеятельность в воде. Заболевание относится к зоонозам. Источниками инфекции являются грызуны. Описаны вспышки туляремии в совхозах бывшего Азово-Черноморского края. Проведены большие работы по изучению природных очагов туляремии (Олсуфьев и др., 1955), в том числе водных очагов (Карпов, 1955). Исследованы случаи возникновения вспышек, связанных с купанием в р. Егорлык, вскоре после обводнения водами р. Кубани. Заболевание туляремией возможно при переработке сельскохозяйственного сырья, обмолоте зерновых культур. А. П. Левченко (1955) описал заболевание туляремией, связанное с переработкой свеклы на сахарном заводе. Возбудитель туляремии был завезен с сахарной свеклой, зараженной мышевидными грызунами. Самая высокая заболеваемость была среди рабочих, имевших дело со свеклой до термической обработки ее.

Вирусные инфекции. Вопрос о возможности передачи водным путем вирусных заболеваний в данное время усиленно обсуждается в литературе (Ястребов, 1959). Еще в 1943 г. были высказаны предположения о значении находок вируса детского полиомиелита в сточных водах (Махсу, Howe, 1943). С тех пор в испражнениях человека было открыто более 70 новых вирусов, но вопрос о возможности передачи этого рода инфекций водным путем остается открытым. В США и Канаде были описаны две вспышки полиомиелита водного происхождения, но скорее можно говорить о предполагаемой связи, чем о строго доказанной.

По эпидемиологическим показателям Литтл (Little, 1954) относит вспышку полиомиелита в Эдмонтоне за счет использования загрязненной воды р. Саскачеван. Использованием воды, загрязненной сточными водами, Банкрофт и другие исследователи (Bankroft a. oth., 1957) объясняют вспышку заболеваний в штате Небраска.

Инфекционный гепатит — первое вирусное заболевание, для которого считается доказанным водный путь передачи инфекций. В работе Кларка и Чанга (Clarke a. Chang, 1959) описывается 17 вспышек, в которых эпидемиологически доказано или подозревается их водное происхождение. Из 6 случаев, имевших место в США, возникновение заболеваний инфекционным гепатитом связывается с загрязнением сточными водами, непосредственно попадавшими в водоемы или проникшими в колодцы через почву. 9 вспышек в странах Европы большей частью имеют не только эпидемиологические, но и лабораторные подтверждения. Мосли (Mosley, 1959) описывает 28 водных эпидемий инфекционного гепатита, из которых шесть относятся к городам с коммунальным водопроводом. При этом Мосли приходит к важному выводу, что отрицательная реакция на присутствие кишечной палочки не доказывает отсутствия вирусов. Общее количество заболеваний обычно исчисляется несколькими десятками и не превышает 350 случаев.

Совершенно другой характер носила эпидемия инфекционного гепатита в Индии, в г. Дели. Приводимые в литературе сведения о числе заболевших противоречивы. В работе В. А. Башенина (1960) указывается 29 300 заболевших, общее же число заболевших, принимая во внимание неясно выраженные заболевания, равно 97 000. По Кларку, число зарегистрированных и учтенных случаев заболевания составляет 30 000—50 000 (Clarke a. Chang, 1959), в работе Денниса (Dennis, 1959) приводятся сведения о том, что по исчислению местных ответственных лиц общее число заболеваний доходило до 1 млн. Возникновение эпидемии связано с попаданием в р. Джумна сильно загрязненных вод небольшого ручья, куда спускаются хозяйственно-бытовые стоки. В период возникновения эпидемии расход воды в реке сильно сократился и сточные воды составляли большой

процент в питании реки. Содержание хлоридов в воде возросло с 5—6 до 90 мг/л, из чего видно, что сточные воды составляли значительную часть общего расхода. Вода проходила фильтрацию через песчаные фильтры и хлорировалась, дозы хлора после обнаружения загрязнения были повышены с 0.5 до 2.6 мг/л. В момент возникновения вспышки гепатита уровень заболевания дизентерией и брюшным тифом не повысился. Таким образом, можно предположить, что вирус гепатита является более устойчивым к действию активного хлора, чем возбудители дизентерии и брюшного тифа.

Водный путь передачи гепатита имел место в 1959 г. на одной из шахт Воркутинского угольного района. Водный характер вспышки находит подтверждение во внезапности начала эпидемии и массовости заболевания. Заражение источника водоснабжения могло произойти вследствие спуска в реку шахтных вод, которые сильно загрязнены кишечной микрофлорой.

Лабораторные исследования по вопросу об изменении содержания вируса в воде при ее хранении и различных способах обработки показали, что снижение содержания вируса на 99% в слабо загрязненных водах происходит приблизительно в течение недели. Холодная температура в значительной мере способствует сохранению вируса. Эффективными средствами для борьбы с вирусами является активный хлор, озон, йодирование и нагревание. Активированный уголь и фильтрование через песок оказались не эффективными в отношении удаления вирусов из воды (Kally a. Sanderson, 1959).

Весьма важный вопрос о том, может ли вирус гепатита сохраняться в воде после фильтрации и обработки активным хлором, остается невыясненным. Отсутствие увеличения заболеваемости брюшным тифом в Дели и Воркуте во время вспышек инфекционного гепатита позволяет предположить о большей устойчивости вируса по сравнению с возбудителями заболеваний брюшным тифом и дизентерией.

Гельминтозы. Некоторые организмы, обитающие в воде, — рыбы, раки, моллюски, отдельные представители зоопланктона — служат промежуточными хозяевами гельминтов, поражающих человека. Биогельминтозы (так классифицируется вид заболеваний, вызываемых паразитами, в цикл развития которых входит смена хозяев) довольно широко распространены среди прибрежного населения природных и искусственных водоемов (Подъяпольская, Капустин, 1958).

В загрязненных водоемах иногда в значительных количествах обнаруживаются яйца геогельминтов, паразитических червей, развитие которых во внешней среде происходит без смены хозяев. Яйца столь распространенного вида гельминтов, как аскариды, могут развиваться в водоемах до инвазионной стадии и, таким образом, становятся опасными для человека (Гефтер, 1949; Усачева, 1951).

Основным источником заражения водоемов яйцами гельминтов служат хозяйственно-бытовые сточные воды и поверхностный сток с территорий населенных пунктов. Значительную опасность в этом отношении представляет загрязнение водоемов фекалиями из уборных пристаней, речных и морских судов, загрязнение пляжей. О размерах продуцирования яиц гельминтами можно получить представление из того, что самка аскариды ежедневно откладывает в кишечнике человека до 245 тыс. яиц, самка анкилостомы — около 11 тыс. яиц. Поэтому, несмотря на огромное разбавление в реках и даже в море, яйца гельминтов могут служить показателем загрязнения мест купания.

Содержание яиц гельминтов в бытовых сточных водах зависит от пораженности гельминтозами населения. По исследованиям З. Г. Васильковой (1949), сточные воды г. Москвы после частичного осветления в отстойниках в 1 м³ содержали 5900 яиц аскарид, 30 власоглавок, 50 гениид. В воде

р. Москвы ниже города З. Г. Василькова (1949) обнаружила в пункте выше сброса сточных вод в среднем 29 яиц гельминтов, ниже главного выпуска — до 263 в 1 м³, на расстоянии 32 км ниже количество яиц снизилось до 91. Загрязненность воды р. Москвы ниже города яйцами гельминтов была подтверждена исследованиями В. А. Гефтер (1949). По данным П. И. Горьчева (1947), в воде р. Иртыша в 1 м³ было обнаружено зимой 100, а весной — 400 яиц гельминтов, в воде р. Оми зимой — 200, весной — 600 яиц гельминтов. У места выпуска сточных вод в большой пруд С. Л. Альф (1953) обнаружила в 1 м³ 5400—8225 яиц гельминтов, в других частях водоема — 300—500 яиц. В ряде прудов Ростовской области и Ставропольского края С. Л. Альф (1953) находила яйца гельминтов в количестве от нескольких десятков до нескольких сотен в 1 м³. Жизнеспособные яйца были обнаружены также в донных отложениях прудов и водохранилищ.

Возможность инвазий при питье воды, содержащей яйца гельминтов, вероятна, но значение водного фактора распространения геогельминтозов неясно.

Дегельминтизация сточных вод наиболее актуальна на полях орошения, полях фильтрации и в прудах. Для предупреждения загрязнения почвы и овощей яйцами аскарид и власоглавов требуется предварительное осветление воды в отстойниках. По данным З. Г. Васильковой (1949), применение методов искусственной биологической очистки удаляет 93—96% яиц гельминтов. Хлорирование не действует на яйца паразитических червей.

Многочисленные работы показали, что при термофильном брожении осадков яйца гельминтов теряют жизнеспособность. В условиях Южной Африки отмечена, вопреки тому, что наблюдалось в европейских условиях, гибель только 45% яиц аскарид в перебродившем осадке. По данным Хогг (Hogg, 1950), после 4 месяцев высушивания яйца на поверхности осадка теряли жизнеспособность, но сохраняли ее на глубине 7.5 см.

Из биогельминтов, жизненный цикл которых связан с водными организмами, наиболее опасны *Dephylobotrium latum* и *Opisthorchis felinus*. Широкий лентец, относящийся к ленточным червям, в качестве промежуточного хозяина имеет веслоногих рачков-циклопов, или диаптомусов. Дополнительным хозяином является рыба, поедающая циклопов, чаще всего щука и налим. Поражаются также ерш, сиг, форель и некоторые другие пресноводные рыбы.

Заражение человека происходит при употреблении в пищу сырой или недостаточно проваренной рыбы. Заболевание дифиллоботриозом распространено среди прибрежного населения больших рек. В Архангельске дифиллоботриоз составляет половину всех глистных инвазий. Значительное количество заболеваний было описано А. М. Сологуб (1957) в г. Череповце.

Двуустка сибирская, или кошачья, — ленточный червь, в качестве промежуточного хозяина имеет моллюска *Bithynia leachi*, дополнительного — рыб из семейства карповых. Заражение человека происходит при поедании сырой или недостаточно проваренной рыбы. Заболевание описторхоз распространено в Западной Сибири, в Казахстане по берегам Иртыша и некоторых других рек (Мясоедов, 1960).

К числу заболеваний, ликвидированных на территории СССР, относится дракункулез, или ришта, вызываемый червем *Dracunculus medienensis*, ранее очень распространенным в Средней Азии (Кадыров, 1954).

В последнее время привлекло внимание обнаружение в водопроводной воде многих городов США нематод — круглых червей, в особенности в связи с предположением о возможности переноса ими возбудителей кишечных инфекций.

В условиях Африки широко распространено заболевание шистосомоз, или бильгарциоз, вызываемое паразитическим червем шистосома, во взрос-

дом состояннии живущим в брюшных венах человека. Цикл развития этого червя довольно сложен. Яйца взрослого червя из крови через почки поступают в мочевой пузырь и оттуда вместе с мочой попадают в воду. В воде из яиц развиваются личинки, которые в течение суток должны найти второго хозяина — моллюска онкомеланна (*Oncomelania*).

Попадание мочи больного человека в водоем служит непосредственной причиной распространения этого вида паразитических червей, вызывающих заболевание. Развитие орошаемого земледелия может способствовать распространению заболевания. В связи с особенностями жизненного цикла паразита задержка сточной жидкости на очистных сооружениях влечет гибель личинок до того, как они найдут второго хозяина. В сельской местности борьба с заболеванием представляет значительные трудности.

ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДОЕМОВ НА РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО

Сбросы промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод могут изменить химический состав, физические свойства воды (рН, содержание электролитов, температуру, поверхностное натяжение) и внести в растворенном или взвешенном состоянии новые ингредиенты, не свойственные природным водам. Тем самым создаются новые условия обитания водных организмов, что может повлечь за собой полное изменение микро- и макронаселения водоемов. В учении о зонах сапробности отражаются изменения растительного и животного населения в водоемах под влиянием загрязнений.

Влияние сбросов хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод наиболее изучено в отношении рыб. В связи с экономическим значением рыбного хозяйства имеется обширная литература, освещающая вопрос как с исследовательской, так и с практической стороны. Помимо большого числа описаний отдельных случаев гибели рыб под влиянием сброса сточных вод, имеются сводные материалы по водоемам СССР (Гусев, 1957, 1961). Многочисленные работы посвящены влиянию на рыб отдельных веществ, элементов и физических условий, в частности, температурных (Ellis, 1937; Schaut, 1939; Doudoroff, Katz, 1950). Одним из приемов установления вредного действия промышленных вод на водоем является определение токсичности сточных жидкостей в целом и отдельных ингредиентов. Методика определения влияния сточных вод на рыбное население постепенно усложнялась (Строганов, 1940; Веселов, 1950). От простейших наблюдений за выживаемостью рыб исследователи перешли к сложным экспериментам, включающим контроль и автоматическую регуляцию температуры, рН, концентрации растворенного кислорода и изучаемого ядовитого соединения. На рис. 12 дано изображение одной из подобного рода установок, используемых в Исследовательской лаборатории по загрязненным водам в Стивенейдже. Изучается влияние на пкру, пкрометание, реакция мальков и взрослых рыб на содержание отдельных ядовитых соединений (Строганов, 1940; Таусон, 1947). Обширная сводка материалов по влиянию загрязнения отдельными химическими элементами и соединениями дана сравнительно недавно (Doudoroff, Warren, 1957).

Детально изучен вопрос о влиянии содержания растворенного кислорода, который является одним из важнейших факторов, определяющих возможность существования рыбы. Снижение содержания кислорода в воде рек может быть следствием природных условий (Поляков, 1877). Дефицит кислорода может возникнуть или усилиться при окислении органических веществ, поступающих в водоем со сточными водами (Мосевич, 1941). Количество кислорода, потребного для жизни рыб, при низкой температуре значительно меньше, чем при высокой. В холодной воде рыба способна выживать при небольшом насыщении кислородом, тем не менее де-

фицит кислорода в зимний период может быть выражен настолько резко, что вызывает гибель рыб. Заморные явления, отмеченные на р. Волге в зимние периоды 1937—1941 гг., 1955—1956 г., связаны с дефицитом кислорода. Различные виды рыб обладают способностью к выживанию при различном уровне содержания кислорода. Данные в отношении нижнего предела выживаемости рыб довольно противоречивы. По данным Гарднера (Gardner, 1926), точкой асфиксии для форели является 1.16 мг/л кислорода, для золотой рыбки — 0.57 мг/л, для щуки — 0.48 мг/л. Другие авторы приводят более высокие величины. Общим правилом является указание, что рыбы, обладающие способностью к быстрому движению могут выживать при большей степени дефицита кислорода. Как правило, более крупные рыбы способны в большей степени обходиться небольшими величинами кислорода (Gardner, 1926). Детальные исследования Эллиса (Ellis, 1937) показали, что форель и другие рыбы, требующие высокого содержания кислорода, никогда не встречаются в реках, где концентрация растворенного кислорода менее 4 мг/л (43% насыщения при 20°).

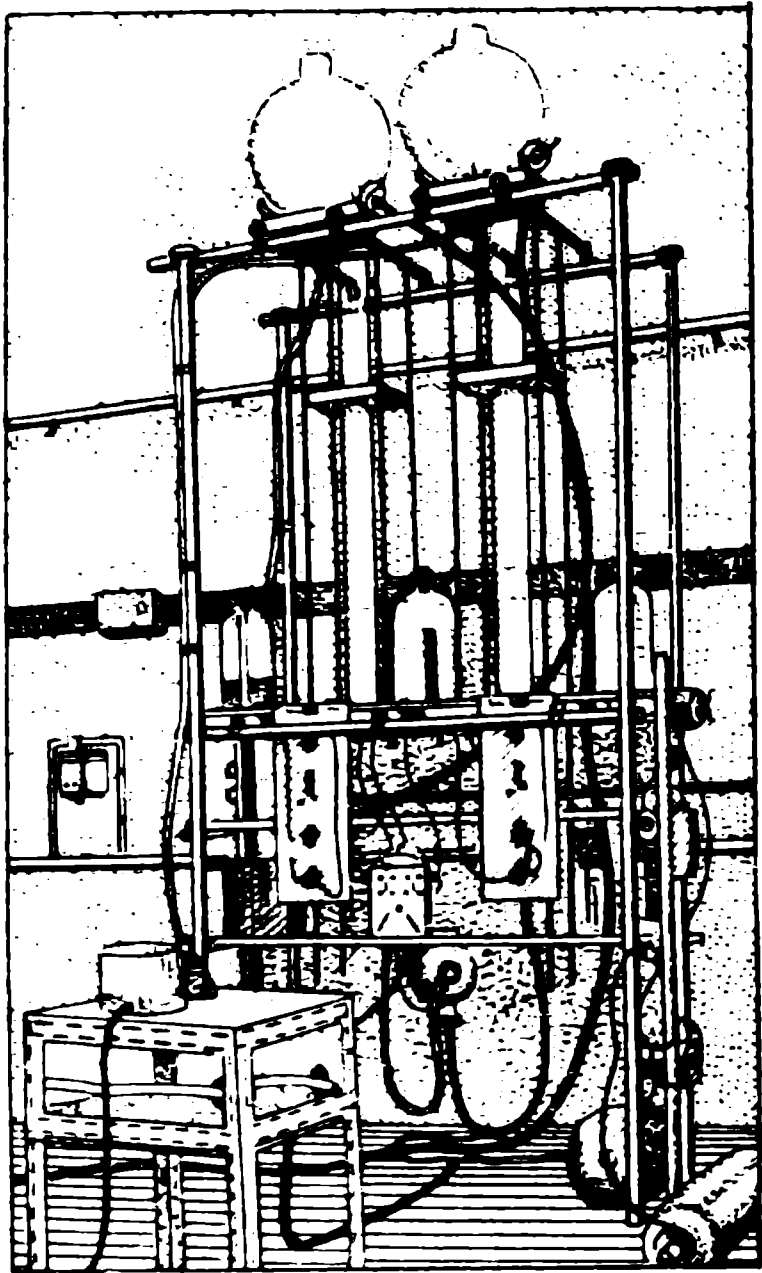


Рис. 12. Установка для рыбных проб в Стивенсидже.

Весьма существенным обстоятельством является то, что содержание растворенного кислорода определяет токсическое действие других соединений. Как правило, токсические вещества действуют значительно более эффективно при малом содержании кислорода. Саусгейт и другие исследователи (Southgate a. oth., 1933) показывали, что при 30%-м насыщении воды кислородом цианиды приблизительно в 10 раз более токсичны, чем при полном насыщении кислородом.

Большое количество исследований проведено в отношении действия отдельных веществ на рыб. Обширный экспериментальный материал с трудом поддается обобщению, так как различие в методике постановки опытов и приемов обнаружения токсического действия делают трудносравнимыми полученные результаты. Далеко не всегда исследуются причины токсического действия. Давно известное токсическое действие катионов связывают с образованием соединения металлов с сульфгидрильной группой или действием на ферменты. В недавних исследованиях (Shaw, Grushkin, 1957) установлено, что токсичность металлов уменьшается в следующем порядке: серебро, ртуть, медь, кадмий, свинец, цинк, никель, кобальт, марганец. Соединения цинка особенно токсичны в мягких водах. В строго определенных условиях постановки опытов рыбные пробы приобретают значения весьма точных исследований. При помощи этого приема может быть даже в некоторых случаях определено содержание неизвестного катиона в малых концентрациях с большой точностью более просто и быстро, чем с помощью химических приемов.

Вопрос о токсическом действии металлов и других токсических соединений сильно осложняется тем, что сточные воды всегда содержат большое

количество ингредиентов. Поэтому при исследованиях токсического действия сточных вод уделяется внимание явлениям синергизма и антагонизма. Под первым термином понимается усиление токсического действия одного соединения в присутствии другого. Антагонистическое действие проявляется в уменьшении силы токсического действия ядовитых соединений при одновременном присутствии. Исследования Саусгейта (Southgate, 1948) показали, что фенол и паракрезол взаимно заменимы, т. е. токсическое действие одного прибавляется к действию другого. В случае одновременного присутствия ксиленола и паракрезола прибавление сублетальных доз крезола к токсическим концентрациям ксиленола не увеличивает токсичности. В соответствии с природой различных веществ токсичность в поверхностных водах может сильно возрасти, слегка увеличиться или остаться без изменения при поступлении новых сбросов. В одном опыте прибавка паракрезола в концентрации 4 мг/л к смеси сточных вод, токсичность которых обуславливалась присутствием цианидов, не оказала влияния на форель. То же самое количество паракрезола при прибавлении к воде, токсичность которой в основном обуславливалась присутствием кислых смол, в 5 раз увеличила ядовитое действие последних.

Одним из весьма токсических веществ является соединение циана, многочисленные исследования посвящены изучению действия различных соединений циана. Характерным признаком отравления рыб цианидами является увеличение яркости окраски жабер по сравнению с нормальной, что связано с действием цианидов на оксидазу, обуславливающую перенос кислорода из крови в ткани (Bassindale a. oth., 1933). Ядовитость цианидов, связанных в комплексы, обычно значительно меньше по сравнению с простыми цианистыми соединениями. Так, ферроцианид калия в концентрации 5.2 мг/л циана не оказывал эффекта на голопузку в течение 50 суток, и даже 370 мг/л циана в связанном виде не оказывали эффекта в течение 1 часа. Однако отмечается, что токсичность таких веществ, как цианиды меди и кобальта, в которых металл, связанный с комплексом сам по себе токсичен, много выше.

К весьма ядовитым соединениям относятся сернистые соединения, ядовитость сернистого натрия увеличивается по мере снижения pH. очевидно, в силу образования больших количеств свободного сероводорода (Stroede, 1933). При содержании сульфида натрия в количестве 3.2 мг/л серы форель показала признаки отравления через 4 минуты при pH 6 и только через 2 часа при pH 9. Многочисленные исследования проведены в отношении изучения действия на рыб соединений меди. По данным Уиппла (Whipple, 1954), безопасными для рыб концентрациями сульфатов меди являются для форели 0.14, для карпа — 0.3, окуня — 0.75 мг/л. Значительно более выносливым оказался морской окунь, для которого безопасная концентрация составила 2.1 мг/л (Whipple, 1954). По данным Н. С. Строганова и А. Г. Пожиткова (1941), исследовавших действие меди не только на взрослых рыб, но также на икру, мальков и физиологические функции рыб, активно действующей концентрацией оказалась еще более низкая.

ТАБЛИЦА 30
Допустимые концентрации тяжелых металлов по рыбохозяйственным и санитарно-бытовым соображениям, в мг/л

Элементы	По рыбо- хозяйст- венным	По санит- тарно-быт- овым
Кадмий	0.005	0.01
Медь	0.01	0.1
Никель	0.01	0.1
Цинк	0.01	1.0

Значительно менее чувствительны рыбы к содержанию в воде мышьяковистых соединений. По данным сводки Эллиса (Ellis, 1937), 5.3 мг/л мышьяка оказался нетоксичными для многих видов американских рыб в течение 148 часов.

Весьма высокая чувствительность рыб к металлам видна из сопоставления нормативных концентраций с точки зрения интересов рыбного хозяйства и санитарно-бытового использования водоемов (табл. 30).

Как видно, требования рыбного хозяйства более строги. Среди нормативов к питьевой воде в США (Klein, 1957b) содержались указания о допустимости использования воды с содержанием 3 мг меди и 15 мг цинка, т. е. по сравнению с рыбохозяйственными нормативами увеличение для меди и цинка составляло 300 и 1500 раз.

В отношении других элементов и соединений (мышьяк, свинец) требования совпадают или несколько выше для рыбохозяйственных целей, как например в отношении нефтепродуктов (Гусев, Мосевич, 1952).

ВЛИЯНИЕ НОВЫХ ВИДОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

В данное время применяются химические средства для борьбы с водорослями и водной растительностью. К таковым относятся сульфат меди, мышьяковистые соединения, активный хлор и в последнее время различные органические препараты — гербициды, обладающие специфическими свойствами в отношении растений. Одним из широко распространенных гербицидов является натриевая соль дихлорфенооксиуксусной кислоты (Na-2, 4-D), применяемая для уничтожения сорных трав, древесно-кустарниковой растительности и для борьбы с высшей и низшей водной растительностью. При изучении влияния данного гербицида на рыб и дафний установлено, что вредное действие сказывается с концентрации 5 мг/л, концентрация же в 1 мг/л оказала стимулирующее действие на дафний.

Для борьбы с насекомыми применяется более ста органических соединений, эффективно воздействующих на насекомых, в основном эти вещества относятся к двум классам — хлорированные углеводороды и органические фосфаты. Первые являются более стабильными, сохраняют токсичность в течение длительного времени и более токсичны по отношению к рыбам. Мейо (Mayhew, 1955) изучал токсичность в отношении радужной форели 7 инсектицидов: хлордана, гептахлора, элдрина, диэлдрина, токсафена, метоксихлора и ДДТ. Наиболее токсичными оказались токсафен и диэлдрин, наименее — хлордан и ДДТ. По данным, приведенным в работе Вебба (Webb, 1963), элдрин токсичен для рыб в ничтожных концентрациях — 0.0013 мг/л, токсафен — 0.0055 мг/л. Теплокровные животные более устойчивы; токсическая концентрация для крыс: элдрин — 4—45 мг/л, токсафен — 40 мг/л.

При смыве с площади водосбора и другими путями инсектициды и другие пестициды попадают в водоемы. В крупных реках США — Миссисипи, Миссури, Колумбии и других — обнаружено присутствие ДДТ в количестве 1—20 мкг/л. Действием пестицидов объясняют многочисленные случаи гибели рыб. В США из 185 случаев массовой гибели рыб, зарегистрированных в 1960 г., 73 случая (около 40%) относят за счет действия пестицидов (Pollution — caused. . ., 1960). Широкое применение органических инсектицидов вызвало несколько случаев массовой гибели рыб в результате уменьшения количества организмов, служащих пищей для рыб. По описанию Орхейма (Orheim, 1957), опыление площади в 132 800 акров препаратом ДДТ летом 1955 г. повлекло гибель рыб осенью того же года. Причиной гибели рыб явилось, по-видимому, вымирание организмов, служащих пищей для рыб, так как для самих рыб ДДТ малотоксичен.

Сравнительно немного данных имеется в отношении влияния радиоактивных стоков на рыб. Крумгольц (Krumholz, 1956) в течение трех лет изучал влияние радиоактивных стоков Национальной лаборатории в Ок-Ридже на рыбное население вблизи расположенного озера. Было обнаружено, что рыбы в озере росли более замедленно и продолжительность их жизни была меньше, чем в расположенном недалеко незагрязненном водоеме. Установлено, что радиоактивные вещества избирательно накапливались в тканях. Радиоактивный стронций и фосфор были найдены в твердых тканях, цезий и редкие земли — в мягких тканях. Общее количество внешней радиации, получаемой рыбами, составляло 57 гер¹ в год, внутренняя радиация была в несколько раз больше. Выделения радиоактивных веществ было значительно более замедленно у травоядных рыб по сравнению с хищными. Быстроплавающие хищные рыбы, получавшие с пищей стронций-89, выделяли большую часть его за несколько часов. Оставшийся стронций задерживался в основном в скелетных частях организма.

Широкое применение новых моющих веществ — синтетических детергентов — повлекло значительное повышение их содержания в сточных водах. При очистке сточных вод не происходит полного разрушения детергентов, вследствие чего часть этих соединений попадает в реки. Проведены изучения влияния на рыб как самих детергентов, так и веществ, содержащихся в качестве примесей в товарных изделиях. Было установлено, что не являются токсичными или оказывают только слабое действие сульфат натрия, триполифосфат натрия, пирофосфат натрия и перборат натрия. Алкиламид убивал всех рыб за 24 часа при концентрации 24 мг/л. Исследования Герберта и др. (Herbert a. oth., 1957) указали, что детергенты действуют на эпителий жабер и кожи, но ухудшения пищевых качеств рыб не вызывают. При сравнительно высоких концентрациях (10—25 мг/л) алкиларилсульфонаты действуют на бентические организмы, служащие пищей для рыб; наиболее чувствительными оказались хирономиды. Так как содержание детергентов в сточных водах в данное время приближается к указанным выше токсическим концентрациям, необходимо учитывать действие детергентов на водную фауну.

ПРАКТИЧЕСКИЕ СЛЕДСТВИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Отрицательное влияние загрязнения водоемов может сказываться на рыбном хозяйстве различным образом. Загрязнения вызывают: 1) непосредственную гибель рыб под влиянием токсических соединений, содержащихся в сточных жидкостях, или вследствие ухудшения условий существования, в частности, дефицита кислорода; 2) порчу качества рыбной продукции, в частности, появление нефтяных и фенольных привкусов; 3) ухудшение условия существования рыб из-за гибели растительности и животных организмов, служащих пищей для рыб. Особый случай вредного влияния загрязнения водоемов на рыбное хозяйство представляет образование в реках загрязненных зон, препятствующих миграции проходных рыб. Подобного рода заградительные барьеры наблюдались на реках Англии. В силу маловодности рек рыболовство в Англии почти не имеет промышленного значения, но условия для любительского и спортивного рыболовства² резко ухудшились. В результате значительного загрязнения большинства рек Англии рыболовство фактически может иметь место только в верховьях рек.

В промышленно развитых и плотнонаселенных странах Европы, а также индустриальных районах США во многих реках рыболовство

¹ Физический эквивалент рентгена.

² Спортивное рыболовство имеет в Англии большое распространение: в 1947 г. было выдано свыше полумиллиона разрешений на ловлю рыбы.

практически не имеет значения. Даже такие крупные реки, как Рейн, Эльба и др., некогда славившиеся рыбными богатствами, в данное время потеряли свое значение в рыбохозяйственном отношении. Большой ущерб наносит рыбному хозяйству загрязнение рек стоками бумажной и целлюлозной промышленности в Финляндии, Швеции и Норвегии.

В отношении ущерба, наносимого загрязнением водоемов рыбной промышленности в СССР, имеются многочисленные материалы, собранные в основном Всесоюзным научно-исследовательским институтом озерного и речного рыбного хозяйства (ВНИОРХ). Вопросы о причинах заморных явлений на р. Волге в зимние периоды 1937—1941 гг. неоднократно обсуждались в печати. Одни из авторов (Скопинцов, Чапиков, 1940) основной причиной считали изменение гидрологического режима рек, в частности, малые расходы в зимнюю межень. Другие авторы подчеркивали значение ухудшения кислородного режима под влиянием загрязнений, сбрасываемых в Волгу многочисленными стоками (Быков, 1940; Мосевич, 1941; С. П. Жданов, 1947). В последующие годы массовая гибель рыбы в бассейне Волги отмечалась неоднократно, причем в качестве причин гибели рыбы указывается загрязнение теми или другими видами промышленных сточных вод (Мосевич, 1941). По указанию А. Г. Гусева (1957), заморы рыбы на р. Каме ниже г. Краснокамска наблюдаются ежегодно. Резкое снижение содержания растворенного в воде кислорода на расстоянии до 442 км под влиянием сточных вод целлюлозно-бумажного комбината, установленное исследованиями Р. М. Павлиновой (1952), связывается с ежегодно наблюдавшимися заморами рыб не только в зимние, но иногда и в летние периоды. В июле 1951 г. и весной 1956 г. гибель рыб отмечена на р. Белой, притоке р. Камы, под влиянием сильного загрязнения стоками нефтезаводов и химического завода. В затонах р. Волги ниже г. Волгограда ежегодно начиная с 1938 г. после освобождения реки ото льда вылавливаются сотни центнеров погибшей рыбы. В качестве причины гибели рыбы указываются загрязнения нефтью. Общее количество ежегодно гибнущей рыбы А. Г. Гусевым (1957) исчисляется в 20 тыс. ц. Годовой ущерб рыбной промышленности волжского бассейна под влиянием загрязнений исчисляется миллионами рублей.

Почти ежегодная массовая гибель рыбы под влиянием сильного загрязнения промышленными стоками отмечена в Северном Донце, притоки которого — Сухой Торец, Казенный Торец, Нежеголь и ряд др. — потеряли рыбопромышленное значение (Лобачева, 1960). На рыбное население северных рек наиболее отрицательное действие оказывают сточные воды целлюлозно-бумажной промышленности. В июле 1953 г. отмечена массовая гибель рыбы в районе г. Святогорска на р. Вуоксе под влиянием сбросов сточных вод. Случаи массовой гибели рыбы под влиянием сбросов сточных вод отмечены в 1952, 1954 гг. в Курском заливе.

В Сибири наиболее загрязненной является р. Томь, дававшая в прошлом ежегодно около 5000 ц рыбы, в том числе 20% ценных пород. Под влиянием загрязнения сточными промышленными водами ценные породы рыб не вылавливаются, уловы других рыб составляет 400—500 ц.

Во многих случаях под влиянием загрязнений отмечается порча качества рыбной продукции. Установлено, что для ухудшения вкусовых качеств рыбы достаточно всего 0.1 мг/л нефтепродуктов (Гусев, Подоба, 1956). Особенно ухудшается качество ценных пород рыб — стерляди, минноги и др. (Мосевич и др., 1952). В 1953 г. был введен запрет на лов стерляди в Волге из-за непригодности в пищу вследствие нефтяного запаха. По той же причине в августе 1956 г. было забраковано 250 тыс. банок рыбных консервов астраханского рыбозавода. Такого рода случаи отмечались неоднократно. Фенольные запахи отмечаются в рыбах на реках Миус, Кальмиус и др. Большой ущерб рыбной промышленности наносится послед-

ствие того, что в загрязненные водоемы рыбы перестают заходить для нереста. Такого рода явления отмечены в бассейне р. Даугавы. Курском заливе, на реках бассейна Кубани и др.

В отдельных случаях большие убытки рыбному хозяйству наносятся при аварийных выбросах нефтепродуктов, как это было в 1955 г. при вводе в эксплуатацию Омского нефтеперерабатывающего завода. В этот период отмечено распространение загрязнения на огромное расстояние по Иртышу и по Оби, вплоть до г. Салехарда.

В народнохозяйственном плане мероприятия по санитарной охране водоемов и охране водных ресурсов должны рассматриваться как единый комплекс. Реки и озера, где ухудшены условия существования рыб и тем более в тех случаях, когда происходят заморы, не могут быть признаны благополучными в санитарном отношении. Гибель рыб в водоемах указывает на резкое изменение условий существования водных организмов, которые обычно свидетельствуют об ухудшении свойств водоема как источника водоснабжения. Наиболее частой причиной гибели рыб является понижение или полное исчезновение растворенного кислорода. При отсутствии кислорода в водоеме обычно происходит появление и усиление запахов и привкусов воды, увеличение цветности и мутности, т. е. ухудшение именно тех свойств воды, которые наиболее важны для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Рыбы являются чувствительным индикатором наличия в водоеме нефтепродуктов, фенола и его производных, соединений циана, сернистых соединений, тяжелых металлов.

Хотя в некоторых случаях возможно отравление рыб специфически действующими веществами, безразличными для теплокровных организмов, самый факт гибели рыб не может не рассматриваться как явление антисанитарное, препятствующее использованию водоема как источника водоснабжения и в бытовом отношении.

Возможно присутствие в водоеме соединений, безвредных для рыб, но могущих оказывать отрицательное действие на человека. Но практически наиболее губительно действуют на рыб сточные воды тех же промышленных предприятий, которые ухудшают качество воды для питьевого водоснабжения и препятствуют использованию водоемов для спорта и отдыха. К числу наиболее вредных для водоемов сбросов относятся сточные воды нефтяной и химической промышленности, предприятий черной и цветной металлургии и предприятий целлюлозно-бумажной промышленности. Охрана водоемов от загрязнения радиоактивными стоками связывается как со стремлением не допустить повышение излучающих элементов в питьевой воде, так и предупредить накопление их в организме рыб.

Необходимость санитарной охраны водоемов, не имеющих непосредственного значения в качестве источников водоснабжения, хорошо видна на примере Англии. Согласно действующему долгое время положению был разрешен сброс неочищенных сточных вод в расширенные устья рек — эстуарии. Расчеты на то, что приливно-отливные течения будут относить загрязненные воды и допные отложения с этих участков рек, не оправдались. Накопление большого количества донных отложений в устьях рек Темзы, Мерсей и других вызвало резкую порчу воды, полное исчезновение растворенного кислорода, образование большого количества сернистых соединений и свободного сероводорода. Неприятные запахи над поверхностью воды и в прибрежных участках создали плохие условия для населения, проживающего на берегах рек, и пассажиров. Огромные убытки причинила порча портового оборудования, причалов и металлических судов. Значительный ущерб был нанесен рыбному хозяйству, так как проходные рыбы не смогли преодолеть загрязненных участков и не поднимались вверх по течению.

ПРИЗНАКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ И ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВОДОЕМОВ

Изменение свойств природных вод под влиянием жизнедеятельности человека глубоко и многообразно. Явление это может рассматриваться как часть процесса изменения человеком среды обитания, включающего воздействие бытовой и производственной деятельности на состав воды, воздуха и почвы. В силу особенностей среды, загрязнения почвы остаются наиболее локализованными. При загрязнении воздуха огромную роль играют явления перемешивания, при помощи которого большей частью происходит ликвидация концентрированных выбросов. При загрязнении воды обычно нельзя рассчитывать на локализацию загрязнений из-за большей подвижности среды, явление же разбавления по сравнению с воздухом значительно ограничено не только меньшей подвижностью, но и незначительностью запасов воды.

По классификации В. И. Вернадского (1933), воды, измененные деятельностью человека, относятся к «культурным», и в зависимости от химического состава они занимают различное место в предложенной автором классификации. Рассматривая деятельность человека как фактор геологического значения, В. И. Вернадский подчеркивает интенсивность и значение воздействия человека на поверхностные воды, образование новых типов и видов вод. Не всякое воздействие человека на природный состав и свойства природных вод может рассматриваться как загрязнение.

Свойства природных водоемов и качество воды в них в значительной степени варьирует. В пределах СССР имеются реки, содержащие в течение круглого года большое количество взвешенных веществ; в некоторых водах содержится много органического вещества природного происхождения. Известно явление естественного загрязнения водоемов, например, в осеннее время при отмирании обильно развившейся водной растительности происходит ухудшение качества воды.

Одним из наиболее общих признаков значительного загрязнения является пониженное содержание кислорода, но и этот признак не всегда указывает на загрязнение. Так, крупная и практически незагрязненная р. Обь в среднем и нижнем течении почти каждую зиму содержит ничтожные количества растворенного кислорода. В зимнее время при наличии ледяного покрова бескислородная зона малых рек с грунтовым питанием может распространяться на значительное расстояние (см. главу II). Не вполне применимо слово «загрязненные» к таким крупным рекам, как Аму-Дарья, Сыр-Дарья, в которые практически не поступают сточные воды. Тем не менее они содержат большое количество взвеси и сапрофитной микрофлоры. Таким образом, понятие о чистом водоеме не всегда совпадает с понятием природного водоема.

В юридической литературе (Coulson and Forbes, 1952) понятие загрязнения определяется как прибавление к воде чего-нибудь изменяющего ее

природные свойства, вследствие чего владелец берегов не может получить из реки воды природного качества. В данном случае под изменением природных свойств понимается ухудшение возможности использования. В качестве типичных примеров загрязнения, которые составляют основание для успешной юридической защиты, приводится увеличение жесткости воды, бывшей до того времени мягкой, повышение температуры воды. Сюда же входит прибавление веществ, могущих реагировать с чем-либо находящимся в природной воде, в результате чего происходит загрязнение. Хотя каждое из соединений в отдельности является безвредным.

Таким образом, в понятие «загрязнение» входит представление об использовании водоема в том или ином виде (Черкинский, 1948). Вмешательство в природные условия водоема не всегда связано с ухудшением его природных свойств. Так, например, положительное влияние на качество воды в реках оказывает регулирование расхода воды, в некоторых случаях удаление высшей водной растительности. Уменьшение цветности, снижение мутности, запахов и привкусов воды при отстое убедительно показаны на примере Учинского водохранилища (Францев, 1953) и других водохранилищах СССР (Драчев, 1956). Вода р. Аму-Дарья при прохождении через систему озер в Каракумском канале освобождается от взвесей, при этом резко улучшаются прозрачность и цвет воды. Следовательно, в понятие «загрязнение» должно входить нарушение естественного состояния водоема с ухудшением возможности использования его для той или другой цели. Изменения эти могут касаться водоема в целом или отдельных свойств воды.

Обычно при загрязнении происходит комплексное изменение физических свойств воды, химического состава, микро- и макронаселения водоема. В отдельных случаях, при сбросе сточных вод одного вида промышленности, имеют место резкие изменения одного или нескольких показателей загрязнения. Например, при сбросе сточных вод тепловых электростанций основным признаком загрязнения — повышенная температура, при сбросе сточных вод атомных предприятий преобладающим признаком является радиоактивность.

Важная задача — определение признаков состояния водоема и свойства воды, могущих служить для измерения степени загрязнения. За последнее полустолетие возникла обширная литература, в которой обсуждаются вопросы оценки состояния водоема как в широком плане влияния загрязнения на водоем в целом, так и в свете более узких практических задач. В гидробиологической литературе, стремящейся охватить жизнь водоема в целом, влияние загрязнения рассматривается как изменение среды обитания гидробионтов, часть которых под влиянием новых условий начинает усиленно развиваться, другие же замедляют развитие или даже отмирают. Учение о сапробности, изложенное главным образом в работах Кольквитца и Марссона (Kolkwitz a. Marsson, 1909), продолжает развиваться и модифицироваться, что освещено в ряде работ (Liebmann, 1951; Hynes, 1960; Aquatic life. . ., 1960).

В практических целях для оценки состояния водоема и картирования используются по преимуществу показатели оценки состояния водоемов по физическим, химическим и бактериологическим признакам. При этом во внимание могут быть приняты только признаки, поддающиеся в том или ином виде количественному выражению.

СИСТЕМЫ САПРОбНОСТИ

Предложено несколько систем для определения степени загрязненности водоема сточными водами. Первой системой, получившей широкую известность и распространение, является классификация водоемов по са-

пробности. Оценка состояния водоема проводится по биологическим признакам, установленным в результате исследования зоо- и фитонаселения водоема. Эта система, предложенная Кольквитцем и Марссоном еще в 1909 г. (Kolkwitz и Marsson, 1909), подверглась дальнейшей разработке. В отечественной литературе в наиболее полном виде она была впервые изложена Г. И. Долговым и Я. Я. Никитинским (1927).

Понятие сапробности авторы определяют как комплекс физиологических свойств данного организма, обуславливающих его способность развиваться в воде с тем или иным содержанием органических веществ, той или иной степени загрязнения.

Г. И. Долгов и Я. Я. Никитинский дополнили обширные списки показательных организмов, которые характерны для водоемов с различной степенью загрязнения. При этом из 744 организмов выделено 102 вида наиболее типичных для каждой из зон загрязнения. Уточнение списков сапробных организмов дано в монографии Либманна (Liebmann, 1951), который предложил сократить список показательных организмов, биологически обосновывать их место в системе, основное внимание уделять простейшим (Ciliata).

По Кольквитцу и Марссону, система включает 4 зоны, начиная от олигосапробной области практически чистой воды до полисапробной — участка сильнейшего загрязнения, в котором развиваются анаэробные гнилостные процессы. Промежуточная область, обозначаемая как мезосапробная, разделена на две подзоны — альфа (α), по ряду признаков приближающаяся к полисапробной зоне, и бета (β), граничащая с олигосапробной зоной. Поскольку существование биоценоза растительных и животных организмов тесно связано с внешними условиями, в характеристику сапробных зон входят признаки химического состава и свойств воды.

Для каждой зоны приводятся химические признаки, наиболее тесно связанные с жизнью организмов: содержание газов — кислорода, углекислоты, сероводорода, из минеральных соединений — формы азота и железа. В систему включены бактериологические показатели. Под последними понимается сапрофитная микрофлора, так как прямой счет бактерий в то время (1909 г.) был еще не известен.

По химическим признакам олигосапробная зона характеризуется наличием азота в окисленной форме, в виде нитратов. В воде присутствует кислород, источниками которого являются как диффузия из воздуха, так и фотосинтез. Биохимические процессы идут в сторону окисления органического вещества до минеральных соединений углерода и азота. Железо присутствует в окисной форме, большей частью в виде нерастворимого гидрата окиси.

Характерной особенностью олигосапробной зоны является большое разнообразие видов растительных и животных организмов, при этом обычно нет преобладания отдельных форм. В воде много автотрофных организмов, способных продуцировать органическое вещество путем ассимиляции углекислоты. В основном это водоросли зеленые, диатомовые, перидиновые; в большом количестве присутствуют высшие водные растения. В связи с малым содержанием бактерий лишь в незначительном количестве присутствуют организмы, питающиеся бактериями, зато много организмов, питающихся животными и растениями. К числу животных, обитающих в водоемах этого типа, относятся коловратки, мшанки, губки, ракообразные, личинки насекомых, рыбы. Все организмы, обитающие в олигосапробных водоемах, отличаются большой потребностью в кислороде.

При поступлении в водоем большого количества органического вещества с хозяйственно-бытовыми и некоторыми промышленными сточными водами полностью изменяются основные условия водной среды как места

обитания организмов, создаются новые экологические условия. При этом резко уменьшается светопроницаемость воды, коренным образом нарушается естественный газовый режим. Кислород исчезает, в составе растворенных газов появляется сероводород, в избытке присутствует углекислота. В составе газовых компонентов появляются продукты анаэробного распада: метан, водород. В силу восстановительных процессов и наличия сероводорода образуется сернистое железо. Резко восстановительные условия обнаруживаются пробой с метиленовой синькой, которая обесцвечивается немедленно при внесении в воду или через некоторое время при стоянии пробы. В силу слабого развития автотрофных растений главным источником снабжения реки кислородом становится поступление из воздуха.

Существенно изменены условия азотного питания водных организмов. В воде в изобилии присутствуют белковые вещества и продукты начальных стадий распада сложных органических соединений. Окисленные формы азотных соединений обычно отсутствуют, небольшие количества, поступившие из вышележащих участков реки, быстро восстанавливаются до аммонийных солей. Восстановлению могут подвергаться окисленные соединения серы — сульфаты.

Загрязнение поверхности водоема, темно-серая окраска воды, отсутствие растений в водоеме и прибрежной зоне совершенно изменяют естественный облик реки, приобретающей вид сточной канавы. Для характеристики такого рода водоемов применяют эпитеты «мертвая, безжизненная река».

Такого рода определения оправданы только в отношении рек, получающих загрязнение некоторыми видами промышленных сточных вод, содержащих значительное количество кислот или сильно токсических веществ. Обычно при отсутствии высших форм растений и животных количество микробов в реках, загрязненных сточными водами, сильно повышено, что связано со способностью микроорганизмов выживать и размножаться в самых разнообразных условиях.

Характерным компонентом населения полисапробной зоны является сапрофитная микрофлора. Количество бактерий исчисляется сотнями тысяч и миллионами в 1 мл воды. В присутствии значительных запасов питательного материала создаются условия пышного развития отдельных видов организмов. Изменение условий сопровождается нередко катастрофической гибелью и почти полным вымиранием существующих сообществ и быстрым развитием новых. Высшая водная растительность в зоне значительного загрязнения представлена слабо, здесь нет условий для ее развития, как и для многих свободноживущих планктонных организмов, продуцирующих органическое вещество. В растительном и животном мире преобладают потребители готовой пищи, обильно развиты инфузории и жгутиковые, питающиеся бактериями. Организмы, живущие за счет растений, отсутствуют, мало организмов, питающихся животными.

В полисапробной зоне происходит резкое загрязнение дна, образуются донные отложения с высоким содержанием органического вещества. Это обстоятельство создает условия для развития бентосных организмов, использующих запасы питательных материалов. Разительное отличие в составе донного населения р. Москвы на чистом и загрязненном участках видно на рис. 13 и 14.

При выпуске в реки неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод, накопление донных отложений служит показателем санитарного состояния реки и оказывает значительное влияние на качество воды.

Протяженность полисапробной зоны в реке зависит от количества поступающих загрязнений и от соотношения расходов воды и сточных жидкостей. На малых реках возможно распространение полисапробной зоны

вплоть до устья. В большинстве же случаев зона максимального загрязнения переходит в мезосапробную зону.

Количество органического вещества в этой зоне значительно ниже, чем в полисапробной. В α -мезосапробной зоне азотсодержащие вещества представлены продуктами распада белка: аминами, аминокислотами, аммонием, переходящими в β -мезосапробной зоне в нитриты и нитраты. Восстановительно-окислительные процессы вышерасположенного участка



Рис. 13. Дно р. Москвы в незагрязненном районе. По Г. И. Долгову и Я. Я. Никитинскому (1927).

зоны переходят в окислительные. В верхнем участке зоны еще довольно много углекислоты и сероводорода, в β -мезосапробной зоне указанные соединения присутствуют, но в небольшом количестве. Закисные формы железа в донных отложениях переходят в окисные. Проба воды, взятая в α -мезосапробной зоне, загнивает, в нижележащем участке этого не наблюдается.

В соответствии с изменением условий местообитания сменяют друг друга биоценозы. Уменьшение доступного бактериям органического вещества приводит к снижению количества сапрофитных бактерий, которое все же остается высоким — сотни тысяч в α -мезосапробной зоне и десятки тысяч в 1 мл воды на менее загрязненном участке.

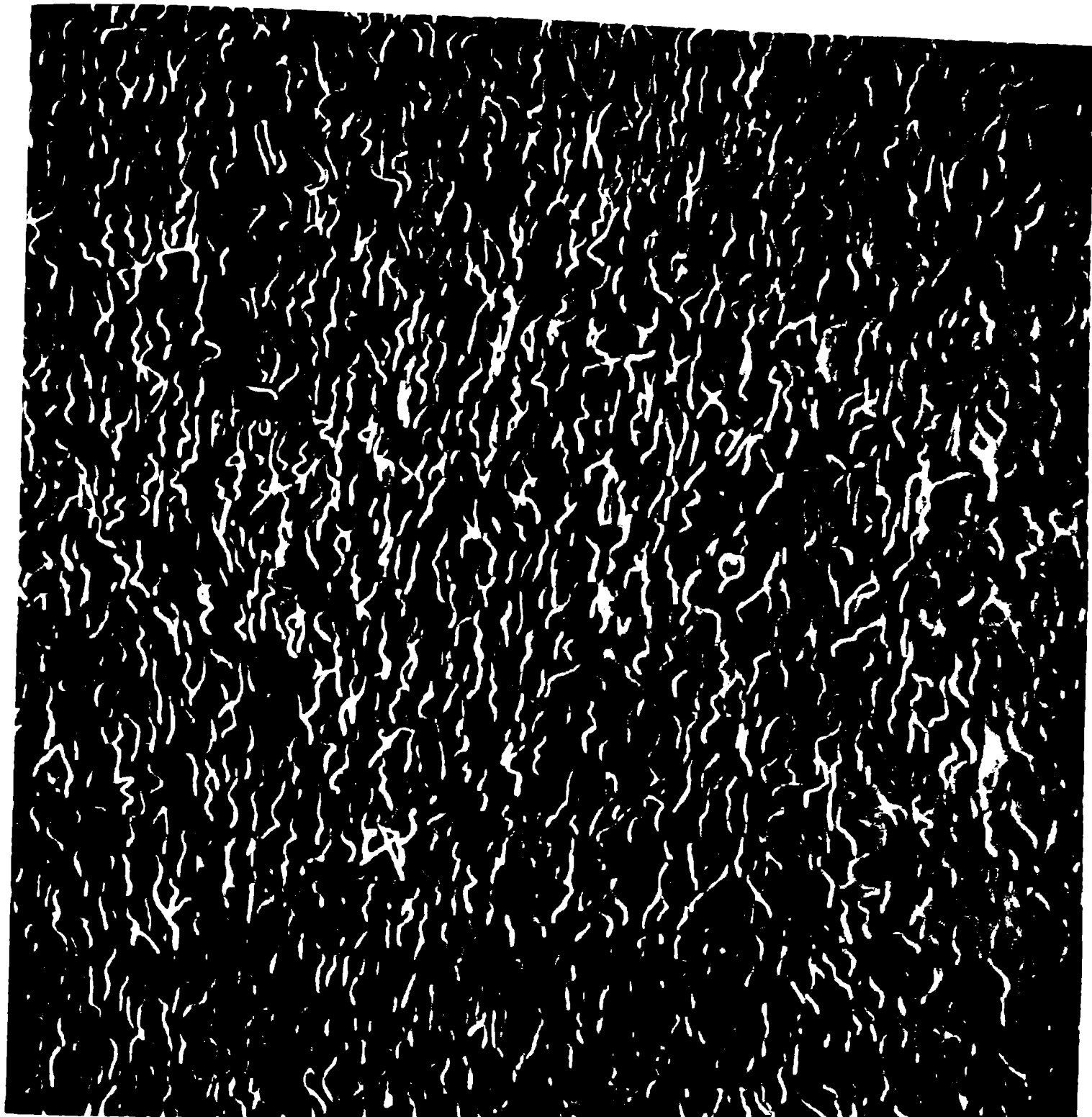


Рис. 14. Дно р. Москвы в загрязненном районе. По Г. И. Долгову
и Я. Я. Никитинскому (1927).

В такой же последовательности небольшое разнообразие видов макро- и микронаселения сменяются значительным; смена сообществ имеет тенденцию к замедлению, возрастает количество организмов, типичных для каждой зоны. Начинает возрастать число организмов, продуцирующих органические вещества. Высшие водные растения еще не находят благоприятных условий для развития, но уже в α -мезосапробной зоне развиваются синезеленые и зеленые водоросли, в нижележащей зоне к ним присоединяются диатомовые.

Типичным представителем α -мезосапробной зоны являются водные грибы, образующие густые массы, прикрепленные ко дну, камням и прибрежной растительности. В нижележащем участке реки грибы не находят благоприятных условий и встречаются только в виде клочковатых масс, оторванных и унесенных течением из вышерасположенного участка. В животном мире основными представителями являются инфузории и жгутиковые; по мере улучшения качества воды к ним добавляются колониальные, ракообразные, личинки насекомых, рыбы, требующие для своего существования и развития большого количества кислорода. Заметным источником последнего являются высшие растения и фитопланктон.

Тесная зависимость водных организмов от условий среды позволяет выделить руководящие, показательные, или индикаторные, организмы. Количество их определялось приблизительно в одну тысячу.

При определении степени загрязнения реки по биологическим признакам имеет значение как появление новых форм, находящихся в благоприятных условиях в изменившейся среде обитания, так и исчезновение типичных для природного водоема организмов.

Совокупность биологических признаков может служить для определения степени загрязнения водоема стоками, содержащими большое количество органических легко разлагающихся веществ.

В дальнейшем предложено несколько других схем классификации состояния водоема, отличающихся терминологией и вносящих дополнения по существу.

В системе Кольквитца предполагается, что после окончания процесса самоочищения в реке вновь создаются условия олигосапробности, аналогичные тем, которые были в реке до загрязнения. Такого рода переход реки в естественное состояние, если и имеет место, то по истечении весьма длительного времени. В схеме, предложенной Фобсом и Ричардсоном (Fobres, Richardson, 1913), участок реки выше места загрязнения обозначен как чистый; для конечного участка реки, где по биологическим признакам процесс самоочищения закончен, предлагается термин «сравнительно чистый», поскольку полного восстановления свойств воды не происходит.

В отношении других признаков и категорий загрязнения предложенная авторами схема отличается только терминологией: так, полисапробной зоне отвечает септическая, α -мезосапробной — грязная и β -мезосапробной — загрязненная.

В схеме, предложенной Сютером и Муром (Suter and Moore, 1922) выделяются несколько иные границы участков загрязняемой реки. Непосредственно за участком чистой реки, после впадения сточной жидкости, выделяется участок свежего загрязнения, за которым следует септическая зона, затем зона «восстановления» и, наконец, участок сравнительно чистой воды.

Уиппл (Whipple, 1954) предлагает зону свежего загрязнения обозначать как зону деградации, за которой следует участок активной распада, затем следуют зоны восстановления и сравнительно чистой воды. В качестве показателей состояния реки большое значение придается химическим соединениям, в особенности тем из них, которые суммарно отражают и

тесно связаны с сущностью процессов загрязнения и самоочищения водоемов.

Смена зон при загрязнении реки описана Уипплом (Whipple, 1954) следующим образом. В зоне деградации, при поступлении в чистую реку большого количества сточных вод с высоким содержанием органического вещества, происходит увеличение мутности, река приобретает серый цвет. Солпечный свет не проникает в реку, часть взвешенных веществ оседает на дно, образуя донные отложения, которые разлагаются медленно. Сравнительно свежее органическое вещество привлекает рыб, которые им питаются. Вскоре начинается процесс разложения органического вещества, возрастает количество сапрофитных бактерий, потребляющих кислород. Появляются грибы, густой массой покрывающие погруженные в воду камни, палки, растения, образуя клочковатые массы, непрерывно колеблемые течением. Цвет их сперва белый, по мере старения приобретает оливковые или серо-зеленые тона, переходящие в более старых частях в ржаво-коричневые. Развитие грибов происходит за счет органического вещества сточных вод. Окисление органического вещества в процессе жизнедеятельности грибов происходит с потреблением кислорода. Для своего развития грибы требуют в летнее время содержания кислорода в воде не менее 4 мг/л.

Наряду с грибами, развивается большое количество ресничных инфузорий и нитчатых бактерий, образующих вместе плотные студенистообразные массы. Главнейшим представителем бактериальной флоры является сферотрикс. Водные растения могут присутствовать на этом участке реки, но отсутствие света и непрерывное оседание взвесей на поверхность растений угнетает развитие. Низшие представители растительной жизни оказываются более стойкими, они покрывают прибрежные камни и дно у берега; из-за недостатка света и оседания взвесей зеленые и синезеленые водоросли приобретают коричнево-серые оттенки. При образовании донных отложений, богатых органическим веществом, в большом количестве появляются малощетинковые черви-тубифициды, играющие большую роль в переработке загрязняющих дно органических веществ.

Для зоны деградации характерно присутствие сравнительно свежего органического вещества, требующего для окисления большого количества кислорода. БПК на этом участке реки обычно достигает максимума. Вместе с тем в воде присутствует кислород, так как процесс окисления органического вещества происходит сравнительно замедленно. Кроме того, здесь встречается растительность, продуцирующая некоторое количество кислорода. Характерным признаком этой зоны является размножение сапрофитной микрофлоры, в том числе кишечной палочки. В отношении патогенной микрофлоры, приспособленной к развитию в специфических условиях кишечного тракта, размножение представляется маловероятным. Но на отрезке реки, непосредственно примыкающем к месту сброса хозяйственно-фекальных сточных вод, имеется большая опасность в эпидемическом отношении. Таким образом, выделение отдельной зоны вблизи места впадения сточных вод оправдано. По Сютеру и Муру (Suter a. Moore, 1922), нижний предел зоны свежего загрязнения определяется снижением содержания кислорода до 40% от полного насыщения, что соответствует приблизительно 3.5 мг/л кислорода в летних условиях. При значительном загрязнении реки снижение содержания кислорода до указанного предела достигается приблизительно через сутки. В пределах названного срока обычно отмечается возрастание сапрофитной микрофлоры в загрязненных реках. При средней скорости течения в 20 см/сек. нижняя граница зоны свежего загрязнения будет отстоять от места сброса сточной жидкости на расстоянии приблизительно 17 км.

Название «зона свежего загрязнения» более отвечает сущности явления и его значению в санитарном отношении, чем предложенное Уипплом

название «зона деградации», так как ухудшение свойств реки продолжается и в дальнейшем на участке активного разложения, или септической зоны, по обозначению других авторов. В условиях, когда загрязнение невелико или расход воды в реке, принимающей стоки, относительно велик, дальнейшего ухудшения качества воды может не наступить, но с точки зрения возможной опасности для здоровья зона свежего загрязнения не может быть признана благополучной.

Участок реки, расположенный ниже зоны свежего загрязнения, отнесен Уипплом к зоне активного разложения, которая захватывает всю оставшуюся часть полисапробной зоны и распространяется приблизительно на половину α -мезосапробной зоны Кольквитца. Границы зоны активного разложения охватывают участки с содержанием растворенного кислорода около 40% от полного насыщения. Таким образом, в пределы зоны входят как участки реки с преобладанием процессов потребления кислорода, так и те, где происходит улучшение кислородного режима. Полный анаэробнозис в случаях сильного загрязнения имеет место только в центральной части зоны активного разложения, где распад органического вещества происходит за счет анаэробных бактерий. На участке реки, находящемся в наиболее тяжелом состоянии, протозоа и другие представители зоопланктона представлены анаэробными формами. В нижнем участке зоны обильно развиваются пожиратели бактерий и другие хищники микромира. Для участка полного анаэробнозиса характерно исчезновение грибов, обильно развивающихся на вышележащих участках. Для этого участка характерно также отсутствие высших водных растений, среди донных организмов исчезают черви тубифекс (*Tubifex*), вновь появляющиеся в нижнем участке зоны активного разложения. Рыбы в этой зоне не могут существовать.

По предложению Сютера и Уиппля, зона, характеризующаяся улучшением качества воды и восстановлением природных свойств водоема, обозначена как зона восстановления.

В зоне восстановления улучшаются физические свойства воды, содержание кислорода постепенно возрастает до полного насыщения, донные отложения меняют свой характер, выделение пузырьков газа из них прекращается. Характерным является развитие процессов нитрификации, содержание аммонийных солей уменьшается, появляются нитриты и нитраты. Содержание сапрофитных бактерий уменьшается до десятков тысяч в 1 мл и менее. Грибы развиваются в ограниченном количестве.

Синезеленые и зеленые водоросли получают возможность развития, в нижней части зоны развивается большое количество диатомовых. Появляются высшие водные растения, на камнях и стволах растений распространены губки и мшанки. В донных отложениях увеличивается количество червей, состав их становится более разнообразным, создаются благоприятные условия для существования на дне моллюсков и личинок насекомых. Появляются рыбы, менее требовательные к содержанию кислорода и другим внешним условиям.

Ниже зоны восстановления, по всем имеющимся классификациям, располагается зона более чистой воды, соответствующая олигосапробной зоне Кольквитца. В системе сапробности эта зона характеризуется теми же чертами, что и участок реки до загрязнения. Другие авторы для характеристики отрезка реки, расположенного ниже зоны восстановления, предлагают иные обозначения, чем для участка, не подвергавшегося загрязнению. С этим нельзя не согласиться, так как некоторые свойства вод восстанавливаются весьма медленно. Например, весьма медленно восстанавливается природный цвет воды, особенно после попадания в реку сточных вод текстильных фабрик. Весьма стойкими являются некоторые химические ингибиторы промышленных сточных вод, придающие воде привкусы и за

пах. Имеются предположения, что весьма стойки некоторые ингредиенты бытовых сточных вод, как например окрашенные вещества мочи — урохром (Hettche, 1958). Полное самоочищение реки требует весьма значительного времени, а следовательно, и протяженности реки. Общепринятым является положение, что при благоприятных условиях полного насыщения кислородом, при температуре 18° и отсутствии влияния донных отложений, полный распад органического вещества хозяйственно-бытовых стоков происходит за 20 дней. При средней скорости перемещения водной массы в 20 см/сек. для этого понадобится участок реки протяженностью около 300 км. Еще более длительные сроки и большая протяженность реки необходимы для распада многих веществ промышленных стоков. К числу авторов, предлагающих более подробные характеристики внутри сапробных зон, относится Шрадек-Гушек (Šrámek-Hušek, 1956), который считает нужным в полисапробной зоне выделить гиперсапробную подзону, характеризующуюся преобладанием массового развития зооглей, дрожжей, свободноплавающих бактерий и бесцветных флагеллят. Гиперсапробная подзона образуется в водоеме при сбросе сточных вод с высоким содержанием органических веществ, например, сахарных заводов. Шрадек-Гушек включает в систему сапробности катаробную зону. Катаробы — организмы обитающие в заведомо чистых, незагрязненных водах, например в горных ручьях с высоким содержанием кислорода и пониженной температурой. В зарубежной литературе, главным образом немецкой, эта группа организмов нередко выделяется.

Г. И. Долгов, основываясь на практике санитарно-гидробиологических исследований в нашей стране, считает целесообразным более детальное деление зон сапробности (до 10 подзон).

Описанные выше системы классификации водоемов по степени загрязнения и влияния его на жизнь водоемов разработаны в применении к загрязненным стокам, богатым легко разлагающимися веществами, в первую очередь — хозяйственно-фекальным. В данное время количественно преобладают сбросы промышленных сточных вод, в составе которых имеются вещества весьма активно изменяющие физические свойства воды, нередко ядовитые для человека и многих гидробионтов. Закономерности распада ингредиентов промышленных сточных вод в водоемах изучены сравнительно слабо, равно как влияние на водную растительность и зоонаселение водоема, включая рыб. Системы сапробности и установление индикаторных водных организмов разработаны в основном по результатам непосредственных наблюдений на водоемах с самыми различными степенью и характером загрязнений.

В данное время в связи с преобладанием промышленных стоков над хозяйственно-бытовыми, с развитием новых отраслей промышленности, дающих отходы синтетических веществ, не существовавших ранее в природе, перед гидробиологией встают новые задачи (Разумов, 1962). Разрешение этих задач требует не только наблюдений в природе, но и углубленного изучения физиологии, морфологии и экологии водных организмов и реакции их на новые ингредиенты промышленных сточных вод. На необходимость связать учение о сапробности с изучением физиологии организмов уже давно указывали многие авторы (Артари, 1913; Успенский, 1925, 1932; Никитинский, 1938).

Разработка «промышленной сапробности» с определением влияния ингредиентов промышленных сточных вод на физиологические функции и морфологию водных организмов только начинается (Разумов, 1961, 1962).

Совершенно новым фактором являются загрязнения радиоактивными веществами, вопросы превращения которых в водоеме усиленно изучаются. Большое внимание уделяется накоплению излучающих веществ в различных биологических объектах и передаче по пищевым цепям. Отправным

пунктом для описанных выше характеристик водоемов являлось поступление большого количества загрязнений в пункте сброса сточных вод в реку, до того не загрязненную.

В данное время такого рода ситуация встречается довольно редко, так как к месту выпуска городских сточных вод река подходит обычно в той или иной степени загрязненной и новое загрязнение является дополнительной нагрузкой. Начальные и легкие стадии загрязнения, не вносящие резких изменений в жизнь водоема, наиболее отчетливо можно наблюдать на крупных реках, где большое разбавление смягчает отрицательное влияние.

Первоначальной стадией ухудшения качества воды, которое может быть отмечено обычными методами лабораторных исследований, является бактериальное загрязнение.

На незагрязненных реках чувствительность данного метода настолько велика, что позволяет учитывать загрязнение не только при спуске сточных вод, но и бытовом использовании водоема. Поступление большого количества сапрофитных бактерий в воду при купании хорошо известно из практики эксплуатации купальных бассейнов. Т. А. Соловьевой удалось установить факт повышения содержания сапрофитных бактерий при массовом купании. В работах Л. Е. Корш (1948) показана возможность учитывать даже на больших водохранилищах местное влияние таких факторов, как стойбища скота на берегу, поверхностный сток с территории деревень. Даже однократное массовое посещение берегов водохранилища большой группой отдыхающих отражается на содержании сапрофитной микрофлоры в воде. Особый интерес представляют наблюдения над влиянием плавучего дома отдыха на содержание сапрофитной микрофлоры в воде. Плавучий дом отдыха имел более или менее продолжительные стоянки в одном из заливов Клязьминского водохранилища. Систематически проведенные наблюдения до прихода судна в залив, во время стоянки и после ухода показали тесную зависимость содержания сапрофитной микрофлоры от нахождения судна в данном месте. Была получена возможность проследить за скоростью исчезновения бактериальных показателей загрязнения после ухода судна из залива.

В пределах СССР, даже в европейской части страны имеются водоемы с весьма хорошими показателями качества воды. Это относится к верхнему течению р. Волги, где во многих пунктах содержится лишь несколько десятков сапрофитных микроорганизмов в 1 мл воды. Кишечную же палочку иногда не удается найти в 10 и даже 100 мл. Столь высокое качество воды обнаруживается даже недалеко от берегов в Иваньковском и Рыбинском водохранилищах (Сологуб, 1957). В некоторых случаях высокое качество воды по бактериальным показателям является природным следствием отсутствия загрязнений, в других — следствием процессов бактериального самоочищения.

В 1913 г. Объединенная международная комиссия по изучению бактериального загрязнения пограничных вод Канады и США установила, что в центре озера Эри не удастся обнаружить кишечной палочки в 100 мл воды, в то время как в воде р. Детройт, питающей озеро, содержалось в среднем несколько сот кишечных палочек в 1 мл (Phelps, 1944).

Бактериальное загрязнение водоемов может быть отмечено в тех случаях, когда ни химические, ни биологические наблюдения не дают признаков загрязнения. В пределах олигосапробной зоны и зоны более чистой воды, по Уинплю, можно обнаружить загрязнение, в значительной мере ограничивающее возможности использования воды для хозяйственно-питьевых надобностей.

Таким образом, представляется целесообразным в пределах водоемов выделить зоны совершенно чистые и зоны, имеющие признаки бактериаль-

ного загрязнения, как следующую категорию. К первой категории можно отнести водоемы с содержанием не более нескольких десятков сапрофитных организмов в 1 мл, кишечная палочка в этом количестве воды обычно не может быть обнаружена. Водоемы с более высоким содержанием сапрофитных бактерий (несколько сот в 1 мл и не более одной-двух тысяч) и имеющие титр кишечной палочки 0.1 мл, относятся ко второй группе. Водоемы такого типа могут использоваться как источники хозяйственно-питьевого водоснабжения. Сопоставление данных о качестве исходной воды и эффективности очистки на водопроводных сооружениях привело Стритера (Streeter, 1934) к выводу, что пределом содержания кишечной палочки в источнике питьевого водоснабжения при применении только хлорирования является титр коли 2, при применении полной очистки допустим титр кишечной палочки 0.02. При указанном качестве исходной воды может быть получена очищенная вода, удовлетворяющая нормам, по которым среднее содержание кишечной палочки не должно превышать 1 кишечной палочки в 100 мл воды с допустимым пределом колебаний до 6 на 100 мл, но не более, чем в 5% всех исследуемых проб.

С. Н. Строганов (1939) на основании сопоставления большого количества материалов обследования водоемов пришел к выводу, что на незагрязняемых сбросах сточных вод участках рек выше городов содержание кишечной палочки в среднем составляет 0.1 мл (по титру), содержание сапрофитных бактерий около 2000 в 1 мл.

В особых случаях загрязненный по внешнему виду водоем не имеет признаков бактериального загрязнения толщи воды. Это отмечается, например, вблизи пристаней и населенных пунктов на берегах крупных водохранилищ. Глубинные слои водоема, на поверхности которого плавают пленки нефтепродуктов, клочки бумаги и другой мусор, по бактериальным показателям оказываются незагрязненными, так же как и соседние участки, не имеющие признаков видимого загрязнения. Причина этого явления заключается в том, что при замедленном течении перемешивание идет слабо и бактериально загрязненной оказывается только поверхность водоема (Драчев и др., 1957). В поверхностной пленке в составе сапрофитной микрофлоры, при наличии загрязнения нефтепродуктами, содержится большой процент организмов, способных разлагать углеводороды (Ворошилова, Дланова, 1950).

В таких случаях изменения во внешнем виде водоема — загрязнение его поверхности — оказываются наиболее чувствительным показателем. В качестве лабораторных методов обнаружения и фиксации этой стадии загрязнения может служить определение бактериального загрязнения поверхности и определение величины поверхностного натяжения непосредственно на водоеме (Драчев, 1951; Шулейкин, 1953).

Таким образом, бактериальные показатели оказываются весьма пригодными для обнаружения начальных степеней загрязнения водоема. При помощи простейшего определения сапрофитных бактерий может быть выделена зона очень чистых вод (катаробная). Наряду с предложенными в разное время системами классификации состояния водоемов советскими авторами разработана схема изменения качества воды, обычно наблюдающегося на водоемах СССР. Схема включает последовательную смену зон: очень чистой воды, слабо загрязненной, очень грязной, грязной, загрязненной, слабо загрязненной и чистой.

Необходимо иметь в виду, что всякая группировка и классификация степени загрязнения водоема имеет условный и относительный характер.

В практических условиях зоны загрязнения не имеют строго определенных границ, последние не являются резко очерченными. Значению различных показателей состояния реки, как биологических, так и химических, может значительно изменяться. Например, выпуск цистерны с по-

чистотами с парохода может совершенно чистый водоем сделать непригодным для питьевого водоснабжения.

Нередким случаем внезапного изменения состояния реки хозяйственного, а иногда эпидемического значения могут быть аварийные выбросы городских и промышленных сточных вод.

Характер загрязнения реки, отдельные признаки загрязнения и даже их совокупность зависят в основном от расхода воды в реке и температурных условий. Если изменения температуры носят закономерный и постепенный характер, то расходы воды в реке, а следовательно, и условия разбавления могут изменяться внезапно и, до известной степени, случайно. Вместе с расходом реки может происходить изменение границ зон загрязнения. Особенно резкие изменения характера реки происходили и происходят во время весеннего половодья, когда в десятки, а иногда сотни раз возрастает расход воды в реке. Еще Кольквитцем и Марсоном (Kolkwitz и. Marsson, 1909) в схеме было указано, что в половодье частицы гниющего ила с сероводородом могут быть обнаружены во всей толще воды. Наряду с бактериями гниения встречаются зеленые растения, свойственные чистым рекам растительные организмы и нормальный ил с характерным присутствием гидрата окиси железа. В зависимости от расхода воды в реке границы зон могут сдвигаться, перемещаться и даже вовсе исчезать.

Увеличением расхода воды в пределах, не вызывающих резкого повышения скорости, можно улучшить состояние водоема. Поэтому в некоторых случаях находит применение перекачка воды из другого водоема как средство улучшения санитарного состояния реки.

Состояние водоема находится в тесной зависимости от сезона года. Особые условия создаются в водоемах в зимний период, когда воздухо-непроницаемый ледяной покров со снегом изолирует воду от атмосферы, тепловой и световой радиации. Изменения состояния реки в зимний период обусловлены как замедлением биологических процессов при низких температурах, так и влиянием ледяного покрова. Последнее особенно сказывается при загрязнении водоема.

В реках влияние низких температур в основном сказывается на смещении зон загрязнения вниз по течению. Дальность распространения загрязнения в период низких температур значительно возрастает. Вместе с тем более высокое содержание кислорода вследствие повышенной его растворимости при низких температурах и замедленное потребление в процессах окисления могут предотвратить образование анаэробной зоны.

КЛАССИФИКАЦИЯ ВОДОЕМОВ ПО ХИМИЧЕСКИМ, БАКТЕРИОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ И ФИЗИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ

Описанные выше гидробиологические приемы изучения состояния водоема дают широкую картину изменений природных биоценозов под влиянием загрязнений, детально характеризуют качественный состав гидробионтов и их количественные соотношения. Но в практике изучения загрязняемых водоемов с целью оценки их состояния обычно находят применение в большей степени приемы химических, бактериологических и физических исследований. Множественность показателей, трудность выражения их в единых сравнимых величинах, невозможность использования непосредственно для расчетов затрудняют применение гидробиологических исследований непосредственно на практике. Существенную роль играет трудоемкость и сложность детальных гидробиологических исследований, требующих, кроме того, весьма квалифицированных исполнителей. В силу указанных причин при классификации водоемов по степени их загрязнения используются данные химических и бактериологических методов. Гидро-

биологические данные при этом используются лишь в качестве вспомогательных материалов.

Детально разработанная для практических целей классификация рек по степени загрязнения, в основном по химическим показателям, предложена Королевской комиссией по сточным водам в Англии в 1912 г. Согласно внешним признакам загрязнения, водоемы были разделены на 6 групп: очень чистые, чистые, довольно чистые, сравнительно чистые, сомнительные и плохие. В основу были взяты следующие признаки: запах, мутность, взвешенные вещества, наличие или отсутствие рыб, характер водной растительности, данные химического анализа. В качестве показателей взяты БПК₅, окисляемость, аммонийный, альбуминоидный, нитратный азот, взвешенные вещества, хлор-ион и растворенный кислород. Шкала охватывает водоемы с содержанием аммонийного азота от 0.04 до 6.7 мг/л и БПК₅ от 1 до 10 мг/л. Наибольшее значение придавалось величине БПК.

В Речном совете бассейна р. Трент принято 5 классов загрязнения, главным образом на основании величины окисляемости перманганатом и зоонаселения водоемов. В связи с преобладающим загрязнением металлами величина БПК признается непоказательной. В бассейне р. Мерсей принято деление на 7 групп на основании величины БПК₅, интервал колебаний БПК₅ охватывает величины от 1 до 20 мг/л и более.

Имгофф (Imhoff, 1956) делит водоемы на четыре класса по ряду признаков и возможности использования для различных целей. Водоемы хорошего качества, пригодные как источники водоснабжения, должны в период межени удовлетворять определенным требованиям в отношении содержания кишечной палочки и содержать не более 250 мг/л хлор-иона. Водоемы, пригодные для купания, должны содержать не более 10 кишечных палочек в 10 мл. В водоемах, используемых для рыболовства, содержание кислорода должно быть не ниже 3—4 мг/л, БПК — не выше 5 мг/л. В группе водоемов плохого качества, пригодных для сельскохозяйственного использования и обычных технических целей, единственным требованием является отсутствие запаха.

В Польше Институтом коммунального хозяйства было предложено деление рек на 6 классов, Институтом гигиены — на 4 класса, в дальнейшем было принято деление на 5 классов (Cabeiszek a. oth., 1960).

В качестве признаков приняты физические свойства, гидробиологические и бактериологические показатели, содержание токсических соединений. Наибольшее значение придается запаху, рН, титру кишечной палочки, показателю сапробности, содержанию токсических веществ.

В действующих в данное время у нас «Правилах охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами», утвержденных Министерством здравоохранения 15 июля 1961 г. и согласованных с Госпланом СССР, выделяются водоемы, используемые для хозяйственно-питьевого водоснабжения, водоемы, используемые для купания, отдыха и спорта, а также водоемы в черте населенных мест. Допустимые изменения качества воды при сбросе сточных вод для указанных категорий отличаются в отношении содержания взвешенных веществ, окраски и биохимического потребления кислорода.

В отношении водоемов, используемых для рыбохозяйственных целей, согласно «Правилам», имеются две категории: а) водоемы, используемые для сохранения и воспроизводства ценных видов рыб, обладающих высокой чувствительностью к кислороду, и б) водоемы, используемые для всех других рыбохозяйственных целей. Во второй категории допускается увеличение содержания взвешенных веществ за счет сброса сточных вод на 0.75 мг вместо 0.25 для первой категории и понижение содержания кислорода до 4 мг/л вместо 6.0 мг/л для первой категории.

Таким образом, действующие «Правила» до известной степени выделяют категории водоемов незагрязненных и слабо загрязненных. Такого рода группировка водоемов не исчерпывает всей шкалы загрязнений и степени деградации. Имеется довольно значительное количество водоемов, особенно с малым расходом воды, которые сильно загрязнены. (От степени использования для орошения и различных технических нужд, отрицательное воздействие на население, пассажиров судов, возможность использования местности для курортов, домов отдыха, санаториев. Мероприятия по оздоровлению водоемов весьма различны по техническим приемам, затрате денежных средств и материальных вложений и зависят от степени и характера загрязнения. С этой точки зрения, особенно при составлении сводных обзоров и карт, целесообразно иметь более широкую градацию степеней загрязнения.

Сделано предложение (Былинкина и др., 1962) классификации водоемов СССР с разделением категорий по химическим признакам загрязнения (табл. 31), по бактериологическим и гидробиологическим признакам (табл. 32) и по физическим свойствам (табл. 33).

ТАБЛИЦА 31
Химические показатели состояния водоемов

Степень загрязнения	Растворенный кислород			БПК ₅ , в мг/л	Окис- ляемость, в мг/л O ₂	Аммо- ниный азот, в мг/л
	в мг/л		% насы- щения			
	лето	зима				
Очень чистые	9	14—13	95	0.5—1.0	1	0.05
Чистые	8	12—11	80	1.1—1.9	2	0.1
Умеренно загрязненные .	7—6	10—9	70	2.0—2.9	3	0.2—0.3
Загрязненные	5—4	5—4	60	3.0—3.9	4	0.4—1.0
Грязные	3—2	5—1—0	30	4.0—10.0	5—15	1.1—3.0
Очень грязные	0	0	0	>10	>15	>3

Примечание. Окисляемость относится к рекам с цветностью воды не более 30°.

К категории очень чистых относятся водоемы, находящиеся в природном состоянии, практически не измененные воздействием человека. Такого рода реки и озера почти не встречаются в Западной Европе, но составляют еще довольно большую группу не только в Сибири, но и в европейской части СССР. Таковы, например, верховья Волги, включая столь обширные водохранилища, как Рыбинское, нижняя часть Иваньковского, Ладожское и Онежское озера, северные реки.

К вполне пригодным для хозяйственно-питьевого использования относится категория чистых водоемов, сохраняющих природный характер, но уже носящих следы воздействия бытовой и производственной деятельности человека. Признаком этого является обычно некоторое повышение содержания сапрофитной микрофлоры; на данной стадии по химическим показателям загрязнению водоема почти не отмечается. Водоемы второй группы, так же как и первой, могут быть использованы для хозяйственно-питьевого водоснабжения. При удовлетворительных физических свойствах в качестве гарантии обеззараживания для централизованного водоснабжения достаточно хлорирования.

К категории умеренно загрязненных относятся водоемы, в которых наряду с увеличением неблагоприятных биологических показателей загрязнения отмечается возрастание содержания аммонийного азота, незначительное повышение хлор-иона, окисляемости, БПК. К водоемам

ТАБЛИЦА 32

**Бактериологические и гидробиологические показатели
состояния водоемов**

Степень загрязнения	Бактериологические			Яйца гель- мин- тов, в 1 м ³	Санитарно-гидробиоло- гические	
	кишечная палочка (титр)	сапрофитные микро- организмы, в 1 мл	пря- мой счет		сапробность	биоло- гический пока- затель загряз- нения
Очень чистые	10—100	a · 10	10 ⁵	Нет.	Катаробная.	0—5
Чистые	< 10—1	a · 100	10 ⁶	Нет.	Олиго- сапробная.	6—10
Умеренно загряз- ненные	< 1—0.05	a · 1000	10 ⁶	1—3	α-мезо- сапробная.	11—20
Загрязненные	< 0.05—0.005	a · 10000	10 ⁷	10	β-мезо- сапробная.	21—60
Грязные	< 0.005—0.001	a · 100000	10 ⁷	500	Поли- сапробная.	61—99
Очень грязные	< 0.001	a · 1000000	10 ⁸	1000	То же.	100

Примечание. Биологический показатель загрязнения (БПЗ), принятый в международном стандарте качества питьевой воды (1958 г.), представляет собой отношение количества одноклеточных организмов, не содержащих хлорофилла (В), к общему количеству организмов, включая содержащих хлорофилл (А), выраженное в ‰
$$\text{БПЗ} = \frac{В}{А + В} \cdot 100 \text{ (Hogawa, 1956).}$$

ТАБЛИЦА 33

**Показатели состояния водоемов по физическим
свойствам**

Степень загрязнения	Взве- шенные вещества, в мг/л	Прозрачность		Запах, в баллах	Нефть		рН
		по Секки, в м	по Снел- лену, в см		в бал- лах	в мг/л	
Очень чистые	1—3	> 2	> 30	1	0	0.00	6.5—8.0
Чистые	4—10	2—1	30—20	2	1	0.1—0.2	6.5—8.5
Умеренно загряз- ненные	11—19	1—0.3	19—3.0	3	2	0.3	8.0—9.0
Загрязненные	20—50	0.3—0.1	2.0—1.0	4	3	1	5—6, 9—10
Грязные	51—100	0.1—0.02	< 1.0—0.5	5	4	2	5—6, 9—10
Очень грязные	> 100	< 0.02	< 0.5	5	5	5	2—4, 11—13

этой группы относятся во многих случаях небольшие по размерам реки и пруды в населенной местности, загрязняемые за счет поверхностного стока и бытового использования.

В категорию загрязненных включены реки и озера, природные свойства которых значительно изменены сбросами сточных вод, что заметно отражается на химическом составе, содержании сапрофитной микрофлоры и кислородном режиме.

При образовании ледяного покрова на загрязненном участке реки могут создаваться анаэробные условия.

Применяя сложные способы очистки, водоемы этого типа используют в Западной Европе и США для хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Дальнейшее увеличение загрязнения переводит водоемы в категорию грязных. Природные качества воды в них сильно изменены, использова-ние для целей питьевого водоснабжения исключается, становится невоз-

возможным использование для бытовых нужд населения. В летнее время запахи и внешний вид доставляет неприятные ощущения пассажирам судов и населению прибрежной полосы.

К категории очень грязных отнесены водоемы, которые полностью потеряли природный облик и превратились в сточные канавы. В эту группу входят ручьи, реки с малым расходом, озера и пруды, используемые как отстойники для сточных вод, ручьи и малые реки, проходящие по территории городов. Примерами такого рода водоемов являлись р. Яуза до ее реконструкции на территории г. Москвы, р. Исеть в г. Свердловске, Уводь в г. Иваново и др. К этой категории может быть отнесена р. Темза в устьевом участке, где большие убытки доставляет коррозия судов и портовых устройств, в силу большого содержания агрессивной углекислоты и сернистых соединений.

По мере роста загрязнения ограничиваются возможности использования водоемов для тех или других нужд; при некоторых видах загрязнения возникают затруднения и опасности эпидемического порядка. Это в первую очередь относится к сбросам фекальных сточных вод. В отношении некоторых видов промышленных сточных вод наиболее чувствительным индикатором загрязнения оказываются рыбы, например, при сбросе некоторых металлов (цинк, медь), в других случаях — водные растения. При использовании вод для питания котлов отрицательное влияние оказывает даже незначительное содержание аммонийного иона и органического вещества. Для фото- и кинопромышленности большую опасность представляет содержание незначительных количеств радиоактивных веществ. Один из первых описанных в литературе случаев загрязнения водоема радиоактивными веществами был обнаружен в связи с порчей фотопленки, при производстве которой использовалась речная вода, содержащая излучающие вещества.

В табл. 34 приведены схематические данные о влиянии степени загрязнения на возможности использования водоемов в различных отраслях народного хозяйства и бытовом отношении.

Изменение свойств воды и водоема в целом наглядно может быть показано при нанесении на картограммы ряда типичных признаков. Таким образом может быть дана характеристика состояния водоема, отражен процесс восстановления природных свойств водоема и возможностей его использования для тех или иных нужд. Схема для картирования по биологическим признакам предложена Либманом (Liebmann, 1959). Составлена карта чистоты водотоков в Чехословакии (Ироушек, 1960), в Польше. Г. М. Лебедева и Н. Г. Фесенко (1963) составили карту загрязненности рек Донбасса.

Для составления карты загрязнения множественность показателей представляет затруднения, особенно в том случае, когда по значению многих показателей река может быть отнесена к различным классам. Указанное затруднение может быть обойдено путем выделения главных показателей. Важно, чтобы число этих показателей было невелико и чтобы они были представлены в тех случаях, когда обследование проведено по схеме краткого анализа (Былинкина и др., 1962). В качестве показателей взяты пять следующих: титр кишечной палочки, запах, БПК₅, азот аммонийный и внешний вид водоема у места взятия проб. Каждому из показателей может быть придано цифровое значение, соответствующее величине и значимости данного определения. Суммирование числовых значений условных показателей с последующим делением на число признаков может дать общий показатель загрязнения, имеющий цифровое выражение. Таким образом, может быть определена степень загрязнения водоемов и возможно нанесение на карту, характеризующую санитарное состояние реки и отдельных участков

Влияние загрязнения на возможность использования водоемов

Состояние водоемов	Виды использования						
	хозяйственно-питьевое, пищевая промышленность	купание, физкультура, спорт	бытовое использование	рыбное хозяйство, рыболовство	промышленное использование	транспортные суда, портовые устройства	прочие
Очень чистые.	Вполне пригодны.	Вполне пригодны.	Вполне пригодны.	Пригодны.	Пригодны.	Пригодны.	Пригодны.
Чистые.	Пригодны.	Пригодны.	То же.	»	»	»	»
Умеренно загрязненные.	Пригодны с ооткой.	Используются.	Пригодны.	Пригодны для некоторых видов рыб.	Пригодны не для всех видов.	»	»
Загрязненные.	Не пригодны.	Не пригодны.	Не пригодны.	Не пригодны.	Затруднительно.	Затруднительно.	Пригодны с ограничениями.
Сильно загрязненные.	»	Совершенно не пригодны.	»	»	Возможно для специальных целей после очистки.	Влечет значительные потери и разрушения.	Встречает затруднения.
Грязные.	»	Не используются.	Совершенно не пригодны.	Невозможно.	.	.	Возможно в отдельных случаях.

ТАБЛИЦА 35

Показатели загрязнения реки по титру кишечной палочки и коэффициент для выведения общего показателя

Степень загрязнения	Титр коли	Коли-индекс	Коэффициент для выведения общего показателя
Очень чистые	100—10	10—100	0
Чистые	< 10—1	100—1000	2
Умеренно загрязненные	< 1—0.05	> 1000—5 · 10 ⁵	4
Загрязненные	< 0.05—0.005	> 5 · 10 ⁵ —5 · 10 ⁶	10
Грязные	< 0.005—0.001	> 5 · 10 ⁶ —1 · 10 ⁸	15
Очень грязные	< 0.001	Более 1 · 10 ⁸	30

В табл. 35 дана классификация водоемов по признаку загрязнения кишечной палочкой и условные коэффициенты для выведения общего показателя загрязнения. Данному признаку придается наибольшее значение, так как наличие кишечной палочки в известной мере служит показателем возможности нахождения патогенных микроорганизмов и вирусов.

Большее значение по сравнению с химическими показателями загрязнения должно быть придано запаху воды, свидетельствующему обычно о плохом санитарном состоянии водоемов и нередко указывающему на присутствие весьма нежелательных ингредиентов промышленных стоков. В табл. 36 дана классификация водоемов по запаху и внешнему виду в баллах.

В табл. 36 внешний вид водоема оценивается в баллах по степени загрязнения нефтью. Аналогичная оценка может быть применена при загрязнении водоема другими пла-

вающими примесями как промышленного, так и бытового характера. В табл. 37 даны показатели состояния реки по биохимическому потреблению кислорода и содержанию аммонийного азота.

В табл. 35—37 приведены показатели, которые чаще всего употребляются при изучении водоемов. Весьма важным показателем санитарного состояния водоемов является содержание токсических веществ, в том числе и радиоактивных. В качестве показателя степени загрязнения водоемов по содержанию токсических веществ можно принять отношение количества токсических веществ, найденных аналитически, к допустимым концентрациям, согласно существующим нормативам (табл. 38). В отношении содержания радиоактивных веществ показателем может быть взята суммарная β-активность, поскольку в отношении данного определения имеется наибольшее количество аналитических материалов. Коэффициент для выведения общего показателя и группировка водоемов по данным признакам приведены в табл. 38.

ТАБЛИЦА 36

Показатели состояния реки по запаху и внешнему виду

Степень загрязнения	Запах		Внешний вид	
	в баллах	коэффициент для выведения общего показателя	в баллах по степени загрязнения	коэффициент для выведения общего показателя
Очень чистые	0	0	0	0
Чистые	1	1	1	1
Умеренно загрязненные	2	2	2	2
Загрязненные	3	8	3	6
Грязные	4	10	4	8
Очень грязные	5	20	5	10

ТАБЛИЦА 37

Показатели состояния реки по биохимическому потреблению кислорода и содержанию аммонийного азота

Степень загрязнения	Аммонийный азот		БПК ₅	
	мг/л	коэффициент для выведения общего показателя	мг/л	коэффициент для выведения общего показателя
Очень чистые	0,05 и менее	0	1	0
Чистые	0,06—0,15	1	2	1
Умеренно загрязненные	0,16—0,29	3	3	5
Загрязненные	0,3—0,59	6	4—5	8
Грязные	0,6—1,0	12	6—10	12
Очень грязные	> 1	15	10	15

ТАБЛИЦА 38

Показатели состояния реки по содержанию токсических веществ на уровне радиоактивности

Степень загрязнения	Токсические вещества		Радиоактивность общая и по отдельным элементам	
	отношение к допустимой концентрации	коэффициент для выведения общего показателя	отношение к допустимой концентрации	коэффициент для выведения общего показателя
Очень чистые	0	0	0,1	0
Чистые	0,1—0,9	1,0	0,1	1
Умеренно загрязненные	1,0—5,9	3	1,0	3
Загрязненные	6,0—10,9	8	10	5
Грязные	11,0—20,0	15	100	15
Очень грязные	20	25	1000	25

Общий показатель загрязнения, как сказано выше, выводится путем суммирования коэффициентов, отвечающих содержанию отдельных загрязнителей, согласно табл. 35—38 и делению полученной суммы на число показателей. Для класса очень чистых рек общий показатель загрязнения

ТАБЛИЦА 39

Общий показатель загрязнения

Степень загрязнения	Суммарный коэффициент загрязнения	Окраска по карте распределения загрязнения	Штриховка
Очень чистые	0—1	Голубой.	Без штриховки.
Чистые	2	Зеленый.	Параллельная.
Умеренно загрязненные	3—4	Желтый.	Косая.
Загрязненные	5—7	Оранжевый.	Перекрещивающаяся.
Грязные	8—10	Фиолетовый.	Перекрещивающаяся с тушью.
Очень грязные	10	Черный	Полностью закрашено.

должен находиться в пределах величин 0—1, для чистых водоемов — 2 для умеренно загрязненных — 3—4, загрязненные водоемы характеризуются показателем 5—7, грязные — 8—10 и очень грязные — более 10 (табл. 39).



Рис. 15. Карта санитарного состояния р. Москвы летом

Загрязненность вод: 1 — очень чистые, 2 — чистые, 3 — умеренно загрязненные, 4 — загрязненные, 5 — грязные, 6 — очень грязные

Необходимо иметь в виду служебное значение предлагаемых таблиц, задачей которых является систематизация и наглядное выражение накопленного обширного материала. Такого рода работа должна предшество-



Рис. 16. Карта санитарного состояния р. Москвы зимой
обозначения те же, что на рис. 15

вать составлению карты распределения загрязнений. При резких отклонениях активной реакции, высоком содержании взвешенных веществ, яв-

гельминтов эти показатели могут быть использованы для определения состояния водоемов. Общим правилом должна быть, по-видимому, ориентировка на отнесение к тому классу, которому отвечает отдельный признак наиболее сильного загрязнения.

Для отнесения водоемов к тому или другому классу загрязнения должны использоваться средние данные для периода наиболее критического состояния водоемов. В большинстве случаев этому периоду соответствует зимнее время, в частности, первые месяцы года. В других случаях, более редких, наиболее трудные условия создаются в период летней межени.

На рис. 15 и 16 дан пример изображения степени загрязнения по общему показателю (табл. 39) р. Москвы по средним данным многолетних наблюдений. А. И. Ицковой составлены карты степени загрязнения отдельно для летнего и зимнего периодов. Достаточно наглядно представлено распределение загрязнения в реке в зависимости от впадения стоков и процессов самоочищения. На представленных картах-схемах наглядно отображено влияние сезонов года. В силу задержки процессов самоочищения язык загрязнения в зимний период протягивается на значительно большее расстояние, захватывая р. Оку ниже впадения загрязненных вод р. Москвы.

ПРОЦЕССЫ САМООЧИЩЕНИЯ В РЕКАХ

Классифицируя природные воды, В. И. Вернадский (1933) выделяет в особую группу воды, сильно измененные воздействием человека, присваивая им малоудачное название «культурных». Основные загрязнители водоемов городские и промышленные сточные жидкости и поверхностный сток с территории населенных пунктов и промышленных площадок может быть охарактеризован как специфический биотоп и своеобразная гидрохимическая система, в которой могут содержаться элементы и соединения, не только не свойственные естественным водам, но и вообще не существовавшие в природе. Загрязненные стоки могут резко отличаться от природных вод физическими свойствами — цветом, прозрачностью, температурой, радиацией.

В процесс самоочищения входят процессы в основном биохимического порядка, в конечном итоге ведущие к восстановлению природных свойств водоема. Все разнообразие этих процессов, их значимость и сущность еще недостаточно изучены и не могут быть полностью охарактеризованы, в особенности в отношении ингредиентов промышленных сточных вод.

Степень воздействия сточных жидкостей и загрязненного поверхностного стока на водоем представляет собой бесконечную гамму оттенков, начиная от еле заметных, с трудом улавливаемых даже усовершенствованными аналитическими приемами, до полного изменения свойств природных вод. Преобладающая значимость явлений жизни в гидросфере в целом и в особенности в поверхностных водах выдвигает на первое место необходимость рассмотрения процессов микробного самоочищения. Практически и теоретически весьма важны превращения вещества, находящегося в сравнительно мало диспергированном состоянии — взвешенных веществ, в особенности органических. Как правило, именно органическая часть аллохтонного органического вещества наиболее активно воздействует на кислородный режим водоемов, нередко в ничтожных количествах заметно изменяет вкус и запах воды.

Изменение кислородного режима водоемов является одним из наиболее изученных процессов воздействия загрязненных стоков. Несомненно, под влиянием загрязнения изменяется содержание метана и других газов, создающих благоприятные условия для хемосинтеза, как это прослежено в чистых водоемах. В процессах превращения загрязняющих веществ, существенное значение имеют как процесс распада органических веществ, так и поступление их в сравнительно мало измененном виде в растительные и животные организмы. Накопление и своеобразное распределение отдельных элементов в зоо- и фитоорганизмах прослежено в отношении некоторых радиоактивных изотопов, но в этом отношении предстоит еще большая работа.

Улучшение качества воды и свойств водоема может происходить и обычно в той или иной мере происходит под влиянием разбавления при впадении незагрязненных притоков и поступлении грунтовых вод. Большей частью разбавление загрязненного потока и процессы самоочищения в собственном смысле слова имеют место одновременно, причем, в зависимости от условий, преобладающее значение может принадлежать или собственно самоочистительным процессам, или разбавлению (Adeney, 1928). С. Н. Строганов (1939) считает, что следует различать две стороны этого процесса — перемешивание загрязненной струи со всей массой речной воды, т. е. явление чисто физическое, и самоочищение в собственном смысле слова — процессы минерализации органических веществ и отмирания чуждых реке бактерий. Клейн (Klein, 1957b) основное внимание отводит биохимическим процессам, связанным с разложением органического вещества микроорганизмами до безвредных конечных продуктов распада. Разбавление рассматривается наряду с другими факторами — осажждением, влиянием солнечного света.

Фелпс (Phelps, 1944) наиболее важным элементом понятия «самоочищения» считает отмирание болезнетворных микроорганизмов и биохимические реакции распада органического вещества, теснейшим образом связанные с кислородным режимом водоемов. Уиппл (Whipple, 1954), считая, что процесс самоочищения определяется физическими, химическими и биологическими факторами, не включает явление разбавления в указанное понятие.

В вышедших в 1948 г. методических указаниях по определению условий спуска производственных сточных вод в водоемы указываются способы расчета допустимой нагрузки на водоем как с учетом только разбавления, так и с учетом поглощения кислорода и поступления его из воздуха. В последующих работах, имеющих целью дать практические указания по расчетам сброса сточных жидкостей в водоемы (Черкинский, 1951; Салтыков, 1959, 1960; Зак, 1960), основной упор делается на фактор разбавления. Собственно процессы самоочищения могут быть приняты во внимание только в том случае, если имеется достаточно данных для того, чтобы считать, что «это явление резко выражено и если достаточно изучена закономерность его развития во времени» (Салтыков, 1960, стр. 64).

Возможности и перспективы ликвидации сточных вод путем разбавления в большом объеме природных вод на первый взгляд представляются весьма привлекательными. Прием этот издавна не только применялся на практике, но и находил одобрение санитарных инженеров и гигиенистов. Еще в прошлом столетии Петенкоффер (цит. по: Хлопин, 1902) твердо считал, что хозяйственно-фекальные стоки могут сбрасываться в водоем без всякой очистки, если расход воды в реке в 15 раз превышает количество стоков. Это мнение, высказанное авторитетным гигиенистом, послужило основанием к задержке строительства очистных сооружений в ряде городов Германии. В 8-м отчете английской комиссии по сточным водам (Royal Commission. . . . 1912) допускался сброс необработанных сточных вод в реки в том случае, если расход воды в реке обеспечивал разбавление свыше 500 раз, требовались только решетки и отстойники для удаления песка. После удаления взвешенных веществ допускался сброс сточных вод без очистки в тех случаях, если обеспечивалось разбавление в 300—500 раз. Возможности сброса сточных вод без очистки были широко использованы в Англии вблизи расширенных устьев рек с весьма печальными последствиями для рыбного хозяйства. На реках штата Массачусетт было установлено, что по химическим показателям создаются неблагоприятные условия при расходе воды менее 2.5 куб. футов (70 л/сек.) на 1000 жителей. В дальнейшем было установлено, что достаточно благоприятные условия создаются при расходе воды в реке от 3.5 до 6 куб. футов в 1 сек. на

1000 человек. Для канала в Чикаго было принято 4 куб. фута в 1 сек в дальнейшем эта величина была снижена до 3.33.

При указанных разбавлениях в реке могут поддерживаться удовлетворительный кислородный режим и физические свойства воды, но реки в таких случаях сильно загрязнены по бактериальным показателям. По расчетам Фелпса (Phelps, 1944), для того, чтобы река могла быть использована для водоснабжения или купания, разведение должно быть примерно в 500 раз больше.

Расчет на разбавление как способ ликвидации загрязнений не оправдал себя на более крупных реках США, из-за большого загрязнения которых пришлось строить очистные сооружения в Нью-Йорке и Бостоне.

По мнению Клейна (Klein, 1957b), следует весьма осторожно подходить к вопросу об использовании разбавления для сброса промышленных сточных вод. Лишь в странах, где реки велики и источники загрязнения отстоят далеко один от другого, прием этот может найти применение в отдельных случаях. По исследованиям Кинга (King a. oth., 1949), лишь после обработки сточных вод химических производств возможно использование небольшой части щелочности и запасов кислорода в речной воде. В странах с большой плотностью населения, развитой промышленностью и интенсивным сельским хозяйством возрастает количество и особенно сильно ухудшается качество поверхностного стока с площади водосбора, в связи с этим возможности использования рек для разбавления сточных вод становятся нереальными (Hollis, McCallum, 1959).

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ВОДОЕМАХ

Факторами, определяющими распространение загрязнений, являются в равной степени свойства загрязняющего вещества и характер водоема: расход воды, скорость течения, особенности русла реки, температурный и ветровой режим водоема.

В отношении распределения загрязняющего вещества наиболее существенным является его дисперсное состояние. Растворенные вещества распределяются в водоеме со скоростью смешения струй загрязненной и чистой воды. Для взвешенных веществ наибольшее значение имеет удельный вес и размеры частиц. Для живой взвеси микроорганизмов большое значение имеет природа организмов, попадающих в водоем, способность их к выживанию в новых условиях, скорость размножения и отмирания. В отношении организмов, загрязняющих водоемы, так же как и в отношении загрязнений, доступных биологическому воздействию (органическое вещество, аммонийные соли, фосфаты), имеет значение не только смешение, но в большей мере изменения под влиянием биопроцессов. Расчленив явления биологического воздействия, объединяемые понятием самоочищения, и результаты смешения, происходящего под влиянием механических воздействий, во многих случаях довольно сложно.

Несмотря на сложность разделения механического смешения и явления самоочищения имеются данные, позволяющие наметить закономерности и производить расчеты разбавления. Скорость смешения сточной жидкости с речной водой уменьшается по мере замедления течения; при полном отсутствии течения смешение может идти только за счет диффузии со скоростью, свойственной этому процессу. Но данная возможность является только теоретической, так как даже в стоячих водоемах имеются течения, вызванные ветровыми волнениями, термической неоднородностью, разницей в солевом составе.

Весьма сложны отношения между объемом загрязненной воды и расходами воды в реке. В малых реках, ручьях (с расходом до 1 м³/сек) смешение происходит практически весьма быстро. Уже на расстоянии десят-

ков метров вода становится однородной по своему составу под влиянием турбулентности воды в потоках малой мощности. Замедленный обмен происходит только в частях водоема, отделенных от основного русла растительностью, отмелями или в старицах, слабо связанных с основным руслом. Чем более мощный поток, тем более замедленно происходит смешение. Это можно видеть наглядно при слиянии двух рек, например Камы и Волги, Оки и Волги, и даже при смешении горных рек с большой скоростью течения, например Куры и Арагвы.

Влияние скоростей течения и соотношения смешивающихся струй могут быть прослежены и изучены в экспериментальных условиях. Более сложным представляется влияние формы русла, глубины, ширины русла, рельефа дна. Комбинации всех указанных факторов настолько многочисленны и разнообразны, что теоретическая разработка этих вопросов весьма затруднительна.

Перемешивание не исключает струйности в больших реках с быстрым течением, когда часть потока остается прижатой к одному берегу.

Определение распространения загрязненной струи в реке или озере и места полного смешения струй является одной из задач при санитарном изучении водоема. Существует значительное разнообразие форм и видов смешения, вплоть до переброса загрязненной струи в реке к другому берегу.

Показатели смешения

При изучении загрязненной струи чаще всего прибегают к определению электропроводности. Другими показателями могут быть, в зависимости от местных условий, хлориды, щелочность. Определение сухого остатка в практике не находит применения из-за длительности и трудоемкости. При исследовании смешения в реке, загрязненной стоками городских сточных вод, хорошим показателем служит аммонийный ион. Разница в содержании аммонийного иона в городских сточных водах и чистой речной воде составляет не менее чем 2 порядка и достигает 3—4 порядков. Таким образом, использование этого показателя имеет значительные преимущества, хотя явление смешения осложняется переходом аммонийного иона в нитритный и нитратный под воздействием бактерий. В случае спуска в водоем промышленных сточных вод для определения скорости смешения используется показатель, характерный для данного вида сточных жидкостей. К числу таких показателей относится окраска воды, характерная для сточных жидкостей красильных фабрик, тяжелые металлы — для металлургических предприятий.

Сброс в воду большого количества взвешенных веществ в значительной степени понижает прозрачность, что при заметной скорости течения в реке и соответствующей дисперсности взвеси может быть использовано для изучения смешения.

Распределение в водоеме фенолов также может служить показателем смешения сточной жидкости с водой реки. Но необходимо считаться с довольно быстрым распадом фенолов в водоеме. Явления биологического порядка в данном случае накладываются на механический процесс смешения струй.

При спуске в водоем горячей воды в качестве показателя смешения следует использовать определение температуры. Разность удельных весов холодной и теплой воды сама по себе является существенным фактором распределения загрязненной струи в водоеме.

Наиболее быстрым, простым и точным способом во многих случаях является определение электропроводности. При пользовании приборами, приспособленными для работы в полевых условиях, определения могут быть сделаны на месте, в соответствии с чем ускоряется получение данных

и отпадает необходимость в транспортировке проб. Метод может успешно применяться при разнице содержания солей в водоеме и сточной жидкости. При большой мощности смешивающихся потоков, даже при сравнительно незначительной разнице (в пределах одного порядка) в концентрации солей, неоднородность реки прослеживается на расстоянии свыше 100 км, как это показано в работах Г. И. Долгова (1928, 1954).

При незначительном расходе сточных жидкостей, впадающих в мощный водоем, загрязненная струя не обнаруживается даже на незначительном расстоянии от пункта впадения ни одним из обычных химических пока-

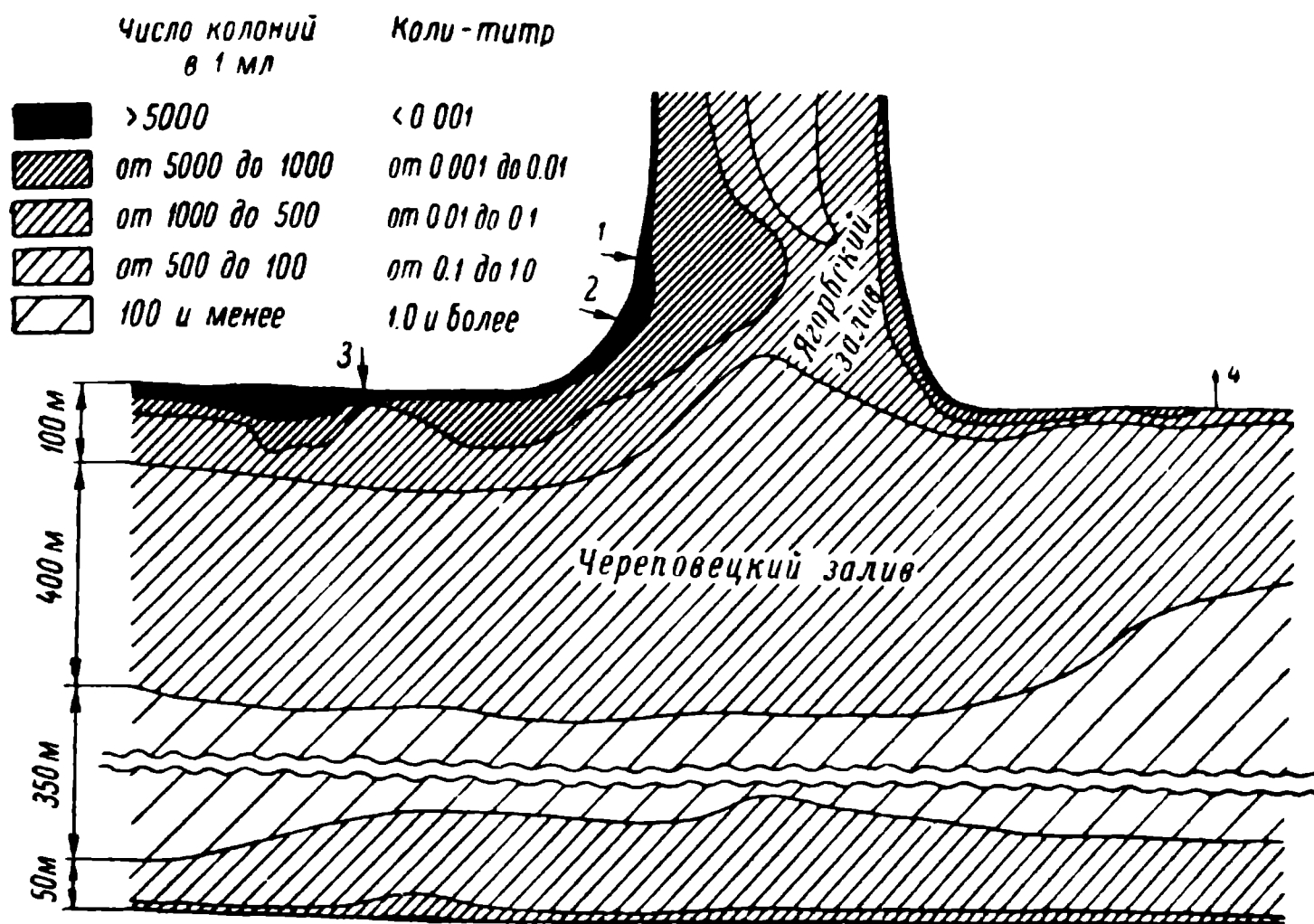


Рис. 17. Бактериальное загрязнение Рыбинского водохранилища у г. Череповца.

Выпуск сточных вод: 1 — Металлургострой, 2 — города, 3 — больницы, 4 — водозабор

зателей. Чувствительность обычных методов химического анализа является для этого недостаточной.

Во многих случаях более пригодно бактериологическое исследование. Одна из причин этого заключается в большой разнице содержания сапрофитных бактерий в сточной жидкости и в чистой речной или озерной воде. В незагрязненных поверхностных водах содержание сапрофитных бактерий составляет десятки или сотни бактерий в 1 мл, в хозяйственно-фекальных сточных жидкостях — десятки миллионов в 1 мл. Расхождение между бактериологическими данными для чистых и загрязненных водоемов значительно больше, чем для всех обычных химических и физических показателей.

При оценке данных бактериологического исследования следует иметь в виду особенности бактериального загрязнения, при котором вносятся живые клетки, способные к размножению. Увеличение числа сапрофитных бактерий в поверхностных водах в силу превышения скорости деления бактериальных клеток над скоростью отмирания доказано для группы сапрофитных бактерий в целом. В некоторых случаях создаются благоприятные условия для размножения кишечной палочки специфического показателя фекального загрязнения.

Примером обнаружения неоднородности струй в реке по бактериальным признакам может служить распределение сапрофитных бактерий и

книжной палочки в р. Волге ниже г. Калинина (Драчев, Кононов, 1937). Прижатая к правому берегу струя воды с повышенным содержанием бактерий обнаруживалась ниже сброса городских сточных жидкостей на протяжении свыше 50 км, на более далекое расстояние, чем можно было обнаружить по определению электропроводности и хлор-иона. Примером возможности использования бактериальных показателей для установления ареала распространения сточной жидкости в водохранилище могут служить данные А. М. Сологуб (1957) о загрязнении прибрежной части Рыбинского водохранилища в районе г. Череповца.

Влияние сброса относительно ничтожных количеств сточных жидкостей и распределение загрязнений отчетливо видно на рис. 17. Между тем ни один из показателей физических свойств воды и химического состава не давал указаний на изменение качества воды. Повышение содержания бактерий могло быть следствием непосредственного влияния загрязненной струи, содержавшей сапрофитных бактерий в 100 тыс. раз больше, чем в воде незагрязненного участка водохранилища. Возможно, что распределение сапрофитной микрофлоры в водоеме отвечало ареалу распространения доступных бактериям органических веществ, вносимых в водоем со сточной жидкостью в концентрациях, которые не обнаруживались по определению окисляемости.

Скорость разбавления сточных вод в реках

Вопросы общей теории процессов перемешивания при турбулентном движении, свойственных речному потоку, достаточно разработаны (Маккавеев, 1931). Имеется ряд исследований, более приближающихся к частным случаям разбавления сточных вод (Караушев, 1946; Фролов, 1950; Родзиллер, 1954, 1959), но практически задача решена не полностью. Применение разработанных формул сильно затрудняется сложностью расчетов, для облегчения чего разработан ряд номограмм, приведенных в работах Г. Л. Зак (1960) и Е. В. Салтыкова (1960).

Многообразие русловых потоков, широкая амплитуда колебаний расходов воды в реках, особенности сезонных изменений в характере русла, как например развитие водной растительности, ледяной покров зимой, дают возможность решить задачу скорости смешения только в весьма усредненном виде. Решение дается для растворенных соединений. Закономерности распределения взвеси, в особенности бактериальной, до настоящего времени еще менее изучены. Весьма важно накопление данных наблюдений в естественных условиях. На основе наблюдений на реках Англии с небольшим расходом воды принято, что в зависимости от скорости течения смешение происходит в указанные в табл. 40 сроки.

Сохраняют значение сведения С. Н. Строгановым (1939) и С. А. Несмеяновым (1951) данные о перемешивании сточной жидкости в реках со

ТАБЛИЦА 40

Скорость смешения сточной воды с речной в зависимости от скорости течения

Характер течения	Приблизительная скорость течения в реке, в м/сек.	Приблизительное время полного смешения
Очень быстрое	0,5 и более	5—1 мин.
Быстрое	0,3—0,5	20—40 "
Умеренное	0,2—0,3	90—300 "
Медленное	0,1—0,2	3—2 часа
Очень медленное	0,1 и менее	6—3 "

свободным течением и при подпоро. В табл. 41 приведены данные для при-
ближенного определения пунктов полного перемешивания в реках (Не-
смейнов, Черкинский, 1948).

В табл. 40, взятой из 8-го отчета английской комиссии по сточным во-
дам (Royal Commission. . . ., 1912), основным фактором смешения при-
нята скорость течения, что, по-видимому, правильно отражает общую
закономерность при значительных
сбросах сточных вод в небольшие
реки. В таких случаях смешение
происходит быстро; даже при мед-
ленном течении выравнивание
концентрации происходит не бо-
лее чем за 3—6 часов.

В табл. 41 основным фактором
скорости смешения принят расход
воды в реке и соотношение рас-
хода речной воды к сточной. При
увеличении расхода реки скорость
смешения замедляется; особенно
длительное время занимает про-
цесс выравнивания концентрации
при относительно малом количе-
стве сточных вод.

Основное правило смешения речной и сточной воды в отношении како-
го-либо ингредиента подсчитывается по уравнению:

$$K = \frac{QK_1 + qK_2}{Q + q}$$

где K — концентрация данного ингредиента в речной воде после смешения;
 Q и q — объем речной и сточной воды; K_1 и K_2 — концентрация данного
ингредиента в речной и сточной воде. Первоначально лишь небольшой
объем речной воды (Q) участвует в смешении со сточной водой, вследствие
чего на больших реках смешение со всем объемом речной воды происходит
замедленно.

Для практических целей и при проведении научных исследований
важно определить пункт полного смешения и концентрацию того или дру-
гого ингредиента на некотором расстоянии от места впадения сточных вод.
Теоретическая разработка вопросов смешения проведена А. В. Карауше-
вым (1946), применившим метод конечных разностей. Движение воды в реке
происходит не ламинарно, а турбулентно, с постоянной пульсацией ско-
ростей и непрерывным обменом соседних объемов жидкости. Коэффициент
турбулентного обмена зависит от глубины потока, скорости течения, шеро-
ховатости ложа, действия ветра, температуры. Все методы расчета раз-
бавления основаны на использовании средних величин глубин, скоростей
течения и среднем коэффициенте турбулентного обмена. Изложение мето-
дов расчета, предложенных В. А. Фроловым (1950), И. Д. Родзиллером
(1954), Л. Г. Демидовым (1954), Г. М. Риммаром (1952), и способы их при-
менения даны в работе Е. В. Салтыкова (1960). Некоторые из приведенных
методов довольно сложны в осуществлении и требуют длительного времени.
Результаты расчетов по разным методам сильно расходятся и не подвер-
гались проверке в натурных условиях в широком масштабе.

Наиболее простыми являются предложения М. А. Руффоля (1960),
основанные на работах А. В. Караушева (1946), дающие возмож-
ность получить картину распределения загрязненного потока по всем
сечениям реки в различных условиях выпуска сточных вод, но требующие
сложных расчетов.

ТАБЛИЦА 41
Время полного перемешивания
сточных вод в реках при
выпуске у берега

Соотношение рас- хода воды в реке к расходу сточ- ных вод	Время паступления полного перемешивания (в час.) при расходе воды в реке, в м³/сек.			
	до 5	5—50	50—500	свыше 500
1:1—5:1	0.6	0.8	1.0	1.5
5:1—25:1	4.5	5.5	6.7	8.0
25:1—125:1	12.0	13.5	17.0	22.0
125:1—600:1	28	33	39	55
Свыше 600:1	56	66	77	112

Некоторое разбавление сточных вод происходит в первый момент их попадания в водоем; это начальное разбавление (n_n) происходит быстро и для целей расчета принимается мгновенным. Кратность разбавления при этом принимается зависящей от скорости течения в реке, соотношения объемов речной и сточной воды, ширины и глубины реки. На величину кратности разбавления влияет концентрация смешивающихся ингредиентов в речной и сточной воде. Под влиянием турбулентной диффузии загрязненная речная вода смешивается с остальной речной водой; этот процесс обозначается как основное разбавление (n_o). Через некоторое время теоретически должно произойти полное смешение речной и сточной воды, обозначаемое как общее или суммарное разбавление (n):

$$n = n_n \cdot n_o.$$

Теоретически полное разбавление сточных вод должно происходить на бесконечно большом расстоянии от выпуска. Для практических целей принимается выравнивание концентрации на 85—90%.

ТАБЛИЦА 42
Значения $D = 18.9 L^{0.85}$
в зависимости от расстояния

$L,$ в км	D	$L,$ в км	D	$L,$ в км	D
0.1	2.66	2	34.1	16	199.6
0.2	4.8	2.5	41.2	18	220.6
0.3	6.19	3	48	20	241.0
0.4	8.68	3.5	54.8	25	291.1
0.5	10.5	4	61.4	30	339.3
0.6	12.2	4.5	67.8	35	389.9
0.7	13.9	5	74.3	40	434.7
0.8	15.6	6	86.6	45	480.1
0.9	17.3	7	98.7	50	524.5
1	18.9	8	110.7	60	612.4
1.2	22.1	9	122.3	70	699.7
1.4	25.1	10	133.8	80	783.6
1.6	28.2	12	156.1	90	865.4
1.8	31.1	14	177.8	100	946.9

Процесс сильно замедляется при разбавлении, превышающем 75% от возможного полного смешения, в последней фазе смешения большое значение имеет отношение ширины реки к глубине.

Принимая за полное разбавление концентрацию, на 10% отличающуюся от средней для данного вещества в водоеме, и отношение ширины реки к глубине равным 15, М. А. Руффель вывел следующую формулу для расчета основного разбавления:

$$n_o = 1 + 18.9 \frac{L^{0.85}}{H}, \tag{1}$$

где L — расстояние в километрах от места выпуска; H — средняя глубина реки.

Для облегчения вычисления выражения $L^{0.85}$, обозначенного символом D , составлена табл. 42, где приведены рассчитанные значения для расстояний до 100 км.

Величина начального (n_n) разбавления рассчитывается по формуле:

$$n_n = \frac{QH}{9qB} = \frac{VHBH}{9qB} = \frac{VH^2}{9q}, \tag{2}$$

где Q — расход реки, в м³/сек.; H — средняя глубина реки на исследуемом участке, в м; B — средняя ширина реки, в м; V — средняя скорость течения реки в м/сек.; q — расход сточных вод, м³/сек.

Как указано выше, общее разбавление сточной воды в реке равно произведению начального разбавления на основное. Таким образом, оно может быть вычислено по формуле:

$$n = \frac{VH^2}{9q} \cdot \left(1 + 18.9 \frac{L^{0.85}}{H}\right) = \frac{VH^2}{9q} \cdot \left(1 + \frac{D}{H}\right), \tag{3}$$

где обозначения те же, что и в предыдущих формулах.

На основании приведенной формулы может быть рассчитано разбавление сточных вод в реке у того берега, где производится выпуск сточных вод на том или ином расстоянии от места выпуска, а также расстояние до места полного перемешивания.

Если требуется рассчитать, каково будет разбавление сточных вод на расстоянии 1, 2, 3 км от места выпуска сточных вод в количестве 0.2 м³/сек. в реку с расходом в 450 м³/сек., имеющую ширину 150 м, среднюю глубину у места выпуска 5 м, необходимо провести расчеты начального и основного разбавления по формулам (1) и (2).

Величина начального разбавления рассчитывается по формуле:

$$n_n = \frac{H^2 V}{9 q} = \frac{0.6 \cdot 5^2}{9 \cdot 0.2} = 8.33$$

Величина основного разбавления на расстоянии 1, 2 и 3 км рассчитывается по формуле:

$$n_o = 1 + 18.9 \frac{L^{0.85}}{H} = 1 + \frac{D}{H}.$$

Отыскав значение D по табл. 42 для 1 км равным 18.9, получаем величину основного разбавления на расстоянии 1 км равной

$$n_o = 1 + \frac{18.9}{5} = 4.78.$$

Величина общего разбавления на этом расстоянии составит по формуле

$$n = n_n \cdot n_o = 8.33 \cdot 4.78 = 39.8.$$

В связи с изменяющимся значением D , находимым по табл. 42, определяем, что величина основного разбавления на расстоянии 2 км составит 7.82, на расстоянии 3 км — 15.86 и соответственно общее разбавление — 65 и 132 раза.

Расстояние до пункта полного перемешивания (L_n) высчитывается по формуле:

$$L_n = 0.0229 H^{1.167} \left(\frac{B}{H}\right)^2 = M \left(\frac{B}{H}\right)^2, \tag{4}$$

где L_n — расстояние, в км; B — средняя ширина реки, в м; H — средняя глубина, в м.

Для облегчения вычисления выражения $0.0229 H^{1.167}$, обозначаемого как M , составлена табл. 43 для глубин, начиная от 0.5 до 12 м.

Для приведенного выше примера расстояние до пункта полного перемешивания по формуле (4) и табл. 43 составит:

$$L_n = M \left(\frac{B}{H}\right)^2 = 0.1493 \left(\frac{150}{5}\right)^2 = 134 \text{ км.}$$

Формула М. А. Руффеля, рассчитанная на выпуск сточных вод у берега, что представляет наиболее частый случай, привлекает своей простотой. Вместе с тем, учитывая весьма важный фактор начального разбавления, формула не принимает во внимание поперечных течений, особенно выраженных на извилистых реках, где смещение будет происходить быстрее. Произведенное М. А. Руффелем (1960) сопоставление расчетов по формуле

Фролова—Родзиллера и Риммара дало для приведенного выше примера резко различающиеся данные о пункте полного перемешивания.

Недостаточное количество фактического материала натурных наблюдений не позволяет с определенностью говорить о преимуществах и недостатках практически доступных формул расчета. Ввиду множественности факторов, определяющих сложный процесс перемешивания в реке и переменного их значения, отклонения расчетных величин от фактических могут быть весьма значительными.

Разбавление сточной жидкости в водоемах с замедленным течением

Условия смешения сточной жидкости в озерах и водохранилищах отличаются от речных. В предплотинных частях водохранилищ, так же как и озерах, течения, создаваемые наклоном водной поверхности, весьма незначительны, преобладающее значение приобретает ветровой фактор. Трения ветра о поверхность воды приводят в движение сперва самые поверхностные слои, вовлекающие постепенно нижележащие. Создаваемый поверхностными ветровыми течениями наклон водной поверхности и подток воды из глубины вызывают компенсационные, или градиентные, течения.

Схематически движение водных масс в водохранилищах под влиянием ветровых течений представляется следующим образом. Вода движется в соответствии с направлением ветра с различными скоростями, начиная от максимальных в поверхностном слое. В нижележащих слоях скорость течения постепенно затухает, падая до нуля на глубине, составляющей 0.4 от общей глубины водоема. Ниже этой глубины создается компенсационное течение, направленное в обратную сторону. Скорость перемещения водных масс сперва возрастает с глубиной, а затем быстро уменьшается, падая в придонном слое почти до нуля. Такое идеальное распределение скоростей движения водных масс сильно осложняется при переменных глубинах, изрезанности береговой линии, перемещениях водных масс в направлении к плотине и наличии температурного скачка в водохранилищах и озерах.

М. А. Руффель (1957) провел на ряде озер и водохранилищ (Селигер, Ладожское, Рыбинское, Клязьминское) исследования перемещения водных масс и распространения загрязнений. Разработка полученных данных позволила предложить методы расчета смешения сточной жидкости в водохранилищах и озерах для выпуска сточных вод у берега и на глубине — на некотором расстоянии от берега. Так же как и для рек, основными понятиями при расчете разбавления вводятся начальное, основное и полное разбавление. В понятие начального разбавления входит понятие концентрации веществ в жидкости непосредственно у места сброса. Величина начального разбавления (n_n) зависит от количества выпускаемой сточной жидкости, скорости течения, глубины, скорости ветра. На месте начальное разбавление может быть определено по соотношению между концентрацией того или иного ингридиента в сточной жидкости и водоеме до попадания в него загрязнения.

Принимая некоторые средние величины скорости ветра, скорости перемещения поверхностного слоя воды, М. А. Руффель предлагает следующую формулу для расчета величины начального разбавления при выпуске сточных вод с берега:

$$n_n = \frac{q + 0.111 H^2 V}{q + 0.111 H^2 r V} \quad (5)$$

где q — расход сточных вод, в $\text{м}^3/\text{сек.}$; H — средняя глубина водохранилища (в м) на участке, где происходит разбавление сточных вод; ширина

этой зоны принимается: 100 м при средней глубине 3–4 м, 150 м — 5–6, 200 м — 7–8, 250 м — 9–10 м; V — скорость ветрового течения; r — отношение концентрации загрязнения у места выпуска к концентрации того же загрязняющего ингредиента в водоеме.

В качестве усредненных данных принимаются следующие значения для двух последних величин (V и r): при выпуске сточных вод в прибреж-

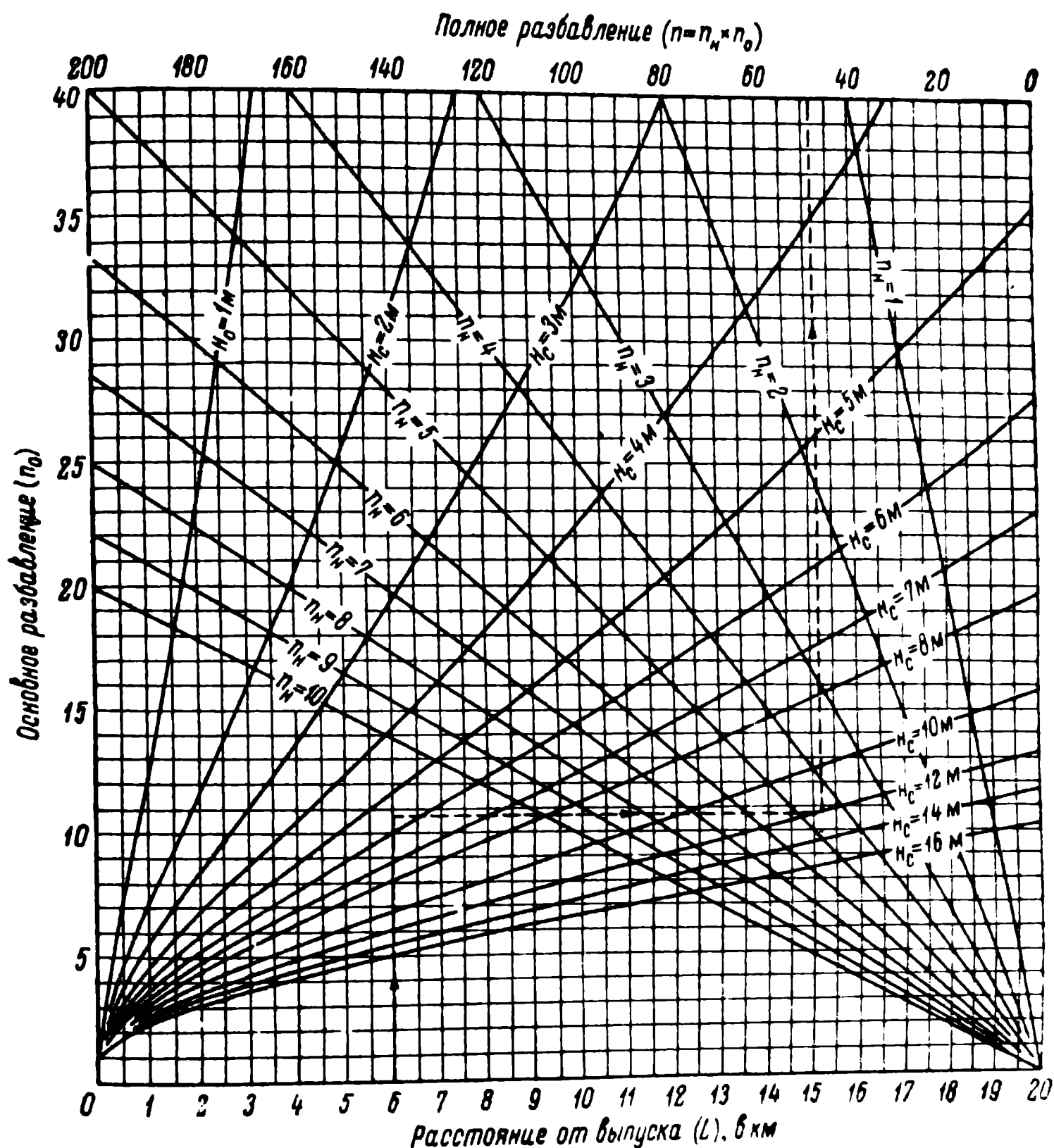


Рис. 18. Номограмма для расчета разбавления сточных вод при выпуске у берега водохранилища.

H_c — средняя глубина водохранилища в прибрежной полосе; n_n — начальное разбавление

ной мелководной части или в верхней трети глубины — 0.106 и 0.1, в средней трети глубины — 0.028 и 0.075, в нижней трети глубины — 0.078 и 0.05.

При выпуске сточных вод на некотором расстоянии от берега начальное разбавление происходит в несколько раз быстрее. В этом случае величина начального разбавления может быть определена по формуле:

$$n_n = \frac{q + 0.0057 H^2}{q + 0.000435 H^2} \quad (6)$$

где q — расход сточных вод, в м³/сек.; H — средняя глубина водохранилища (в м) на участке от места выпуска до берега.

Концентрация загрязнений, установившаяся в результате начального разбавления, в дальнейшем понижается за счет смешения в водоеме. Этот процесс обозначается как основное разбавление n_0 . Полное разбавление обозначается n .

М. А. Руффелем предложены формулы и номограммы для расчета величин основного и полного разбавления в озерах и водохранилищах.

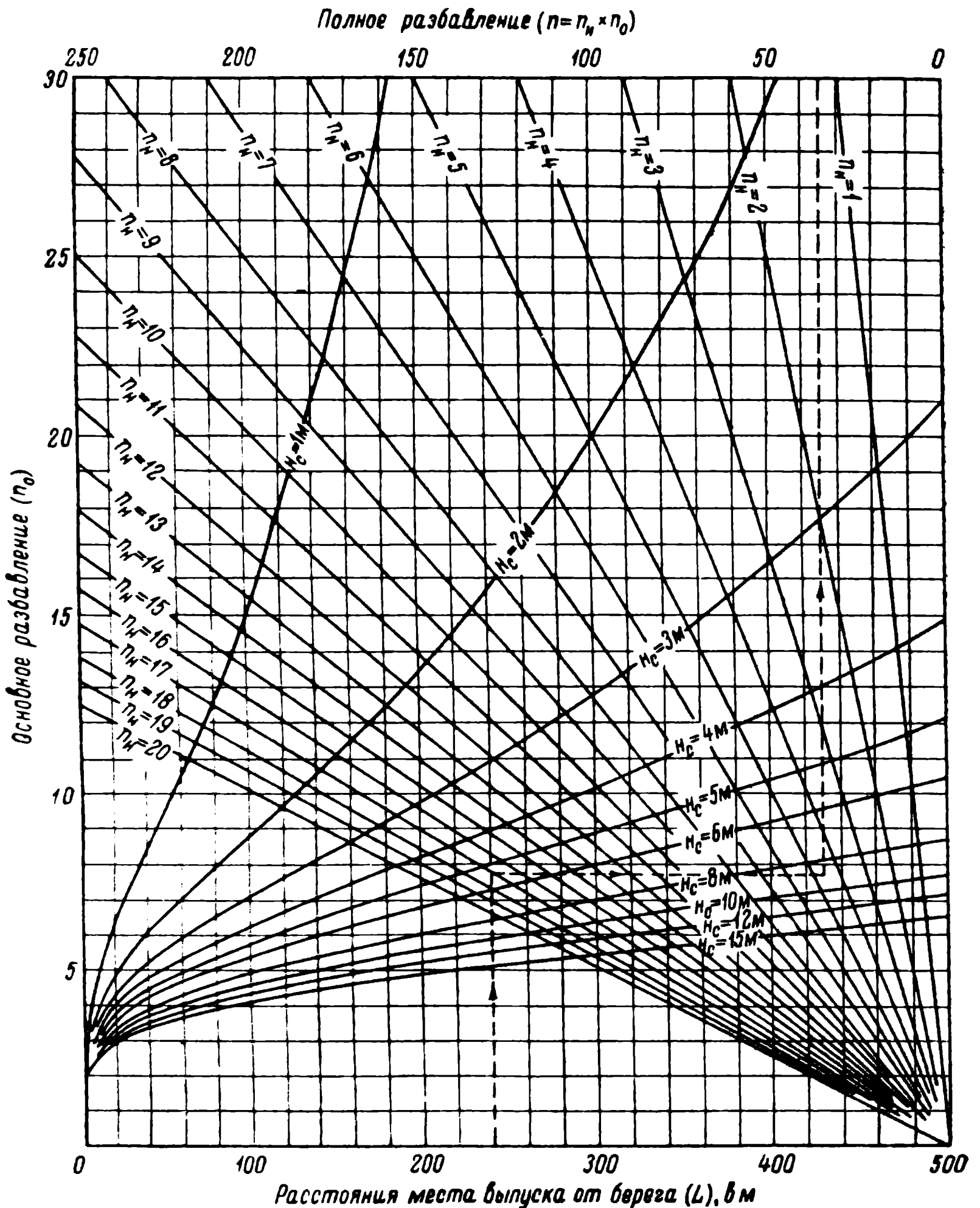


Рис. 19. Номограмма для расчета разбавления сточных вод при выпуске на расстоянии от берега водохранилища.

H_c — средняя глубина водохранилища на протяжении L от берега, n_n — начальное разбавление.

Формула для расчета полного разбавления при выпуске сточных вод у берега имеет следующий вид:

$$n = \left(\frac{q + 0.111 H^2 V}{q + 0.111 H^2 r V} \right) \left[1 + 0.412 \left(\frac{L}{\Delta x} \right)^{0.627 + 0.0002 \frac{L}{\Delta x}} \right], \quad (7)$$

где $\Delta x = 6.53 H^{1.167}$; L — расстояние от берега.

Остальные обозначения те же, что и в предыдущих формулах. Первая половина формулы в скобках представляет начальное разбавление, которое легко может быть подсчитано. Расчет основного разбавления из-за дробных показателей представляет затруднения, поэтому М. А. Руффель у берега (рис. 18) и для расчета при выпуске на расстоянии от берега (рис. 19). На рис. 18 по оси абсцисс отложены расстояния от места выпуска до места водопользования, на оси ординат — основное разбавление сточных вод и на верхней оси абсцисс (справа налево) — полное разбавление.

Пучок кривых соответствует различным глубинам водохранилища, пучок прямых — величинам начального разбавления, которое может быть подсчитано по формуле (6). Пользование номограммой весьма несложно. Находим на нижней оси абсцисс расстояние, для которого надо рассчитать величину разбавления, например, 6 км; проводя вертикаль вверх от этой точки до пересечения с кривой средней глубины 5.4 м, получаем величину основного разбавления — 10.8; затем, подсчитав величину начального разбавления, проводим горизонталь до пересечения ее с прямой, отвечающей начальному разбавлению, равной в данном примере величине 4.5. Проводя вертикаль вверх от пересечения величины основного разбавления с начальным, находим величину полного разбавления на верхней оси абсцисс; величина эта равна 48.

По рис. 19 может быть приближенно рассчитано разбавление для веществ, растворенных в сточных водах; взвешенные вещества не подчиняются установленным закономерностям разбавления. В связи с малыми скоростями течения непосредственно у выпуска сточных вод происходит осаждение основной части взвешенных веществ, создающее массу донных отложений. Наличие донных отложений с большим содержанием в них органических веществ образует вблизи выпуска сточных вод весьма значительное загрязнение. Так, у выпуска сточных вод Кондопожского комбината окисляемость достигает 978 мг/л, что в 1.8 раза превышает окисляемость сточных вод. То же самое наблюдалось на Ладожском озере у выпуска сточных вод Питнаракского сульфатцеллюлозного завода и на других водохранилищах и озерах.

Отмечается значительное влияние направления ветра на распределение загрязнения от места сточных вод. При ветре к берегу мало разбавленные сточные воды распространяются в обе стороны от места выпуска, а также в значительной степени в глубь водоема. Наиболее тяжелые условия наблюдаются при ветре вдоль берега.

Степень обеспеченности расхода воды в реках

При расчетах разбавления сточных жидкостей в водоемах одним из основных параметров является расход воды в реках. В водоемах замедленного стока (озера, водохранилища) расход воды имеет второстепенное значение, наиболее существенным является в этом случае объем воды и его колебания по сезонам года.

Расходы воды в реках подвержены значительным колебаниям в течение суток, месяцев и лет. Ясно выраженную закономерность имеют колебания расхода воды по сезонам года, что связано с циклом метеорологических явлений. Закономерности колебания годового стока рек во времени еще не изучены в связи со сложностью явления и недостаточным количеством сроков наблюдений (Гостев, 1946). Поэтому при обработке имеющихся материалов приписывается точка зрения случайности гидрологических явлений, что дает возможность применить методы математической статистики, пренебрегая причинными связями. При таком способе обра-

ботки материалов важное значение приобретает длительность наблюдений, так как вероятная ошибка изменяется в общем обратно пропорционально корню квадратному из продолжительности сроков наблюдений (Агупов, 1959; Попов, 1963).

Массовые водомерные наблюдения на реках начались в нашей стране в 1878—1881 гг., следовательно, давность наблюдений составляет сейчас в среднем 80 лет. В связи с разной амплитудой колебаний годового стока, в зависимости от зоны, средняя квадратическая ошибка при указанной длительности периода наблюдений составляет в лесной зоне 3%, в степной — 7% и полупустынной зоне —12% (Соколовский, 1952).

О масштабе колебаний годового стока можно судить по тому, что такая крупная река, как Волга, у г. Ярославля при среднем многолетнем расходе в 1150 м³/сек. в засушливом 1921 г. имела расход 488 м³/сек., в многоводный 1899 г. средний расход составил 1700 м³/сек. Строя по многолетним наблюдениям кривые распределения стока и применяя метод аналогии, можно рассчитать процент обеспеченности стока. При этом приеме обработки данных календарный ход стока не может быть предсказан заранее. Можно предвидеть лишь вероятность различных сочетаний.

Согласно действующим у нас правилам охраны водоемов от загрязнения при спуске сточных вод в качестве расчетного принимается год 95%-й обеспеченности. В данном случае во внимание принимается расход воды, ниже которого за столетний период можно ожидать не чаще, чем в течение 5 лет. Изменение годового стока, на которое можно рассчитывать при различных процентах обеспеченности, для крупнейших рек СССР приведено в табл. 79. Для менее крупных рек уменьшение вероятного расхода по мере роста обеспеченности является еще более выраженным. Например, для р. Воронежа у г. Воронежа при 50% обеспеченности расход воды составляет 77.2 м³/сек., при 95% обеспеченности можно рассчитывать лишь на 42.5 м³/сек.

Весьма существенным является указание, что при сбросе сточных вод расчеты следует проводить по **наименьшему** среднемесячному расходу воды года 95%-й обеспеченности.

Расходы воды в реках по месяцам значительно колеблются, как это можно видеть, например, из расходов р. Волги у г. Ярославля за период наблюдений с 1876 по 1940 г. При среднем расходе в 1120 м³/сек. по месяцам в течение года расходы были таковы:

Январь	382	Май	3760	Сентябрь	695
Февраль	297	Июнь	1120	Октябрь	869
Март	311	Июль	742	Ноябрь	976
Апрель	2390	Август	640	Декабрь	629

Таким образом, если принять за расчетный средний год, то надо ориентироваться на расходы в феврале 297 м³/сек., т. е. принимать во внимание величину, в 4 раза меньшую среднегодовых расходов. Вниз по течению реки колебания расходов несколько сглаживаются, но даже у Волгограда при среднегодовом расходе в 8150 м³/сек., расходы в феврале составляют 2830 м³/сек.

Правила охраны водоемов от загрязнения сточными водами содержат еще более жесткое требование о согласовании сбросов сточных вод в течение суток с суточными расходами воды в реке. Вопрос об обеспеченности суточных расходов воды сравнительно мало разработан (Лившиц, 1946), хотя для обеспечения водой энергетических, промышленных предприятий имеет не меньшее значение, чем для хозяйственно-питьевых водопроводов. Наименьший суточный расход в течение года представляет меньшую величину, чем среднемесячный. Так, для р. Волги у г. Ярославля наименьший

суточный расход в летнее время за указанный выше срок наблюдений составил $419 \text{ м}^3/\text{сек.}$, для зимы — $233 \text{ м}^3/\text{сек.}$, а для Волги у г. Волгограда т. е. 58% от среднемесячных расходов в феврале и 20% от многолетнего среднего за год.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ МИКРОБИАЛЬНОГО САМООЧИЩЕНИЯ ВОДОЕМОВ

Микробиальное загрязнение поверхностных вод происходит в основном за счет хозяйственно-фекальных сточных вод и поверхностного стока с территории населенных мест. Весьма богаты сапрофитной микрофлорой некоторые промышленные сточные воды кожевенных и меховых фабрик, производства биологических препаратов, предприятий пищевой промышленности — мясокомбинатов, молокозаводов и других предприятий, перерабатывающих органические материалы.

Источники и характер бактериальных загрязнений

На первом месте в отношении опасности передачи инфекционных заболеваний стоят хозяйственно-бытовые сточные воды.

Микрофлора бытовых сточных вод в основном связана с испражнениями человека, сухое вещество которых в значительной части представляет собой бактериальные тела. Моча здорового человека не содержит микробов, почти стерильна, хотя богата веществами, являющимися благоприятной средой для развития микроорганизмов.

Микрофлора кишечного тракта человека, в частности его конечного участка — прямой кишки, может рассматриваться как своеобразный биоценоз, формирующийся на первом этапе жизни человека и сопровождающий его всю жизнь.

Благоприятные температурные условия, обилие пищи в виде непереваренных и неусвоенных остатков способствуют росту и размножению огромного количества сапрофитной микрофлоры, количество которой с трудом поддается исчислению. Суточное выделение сапрофитных бактерий организмом человека исчисляется величинами порядка триллионов.

Несмотря на ничтожные размеры бактериальных тел суммарное содержание последних в сточных жидкостях составляет заметные величины как по объему, так и по весу. По расчетам С. Н. Строганова, суммарный объем бактериальных тел занимает около 0.04% от объема сточной жидкости и весит около 400 мг/л. При расчете на сухое вещество количество бактериальных тел весит 60—80 мг/л. Фрост и Стрэттер (Frost, Streeter, 1924) для обозначения числа бактерий ввели понятие «количественной единицы» (quantity unit); за эту величину принимается число бактерий, проходящих сечение реки в один день при концентрации микроорганизмов 1000 в 1 мл и расходе воды в 1 куб. фут (28.32 л) в 1 сек. Величина эта составляет $2.45 \cdot 10^{12}$ бактерий. При выражении в этих единицах суточное поступление 300 млрд кишечной палочки на человеко-день эквивалентно 0.122 количественных единиц. При исследовании бактериального состава сточных вод, попадающих в водоем, установлено, что в зимнее время в реки поступает из канализации значительно меньше загрязнений, чем летом, как это видно из табл. 44.

Наибольшее внимание при учете бактериальных выделений здорового человека уделялось специфическому аборигену кишечной микрофлоры — палочке, выделенной Т. Эшерихом в конце прошлого века (1885 г.) и получившей название Эшерихия коли (*Escherichia coli*). При исследовании сточных вод в бассейне Огайо установлено, что суточное выделение орга-

пизмом человека Эшерихиа коли колебалось в пределах от 222 до 358 млрд. По данным исследований в Чикаго, величина эта несколько выше — 400 млрд. С. Н. Строганов, К. К. Корольков (1934) указывают значительно меньшую величину — около 50

ТАБЛИЦА 44
Количество кишечной палочки в городских сточных водах (в количественных единицах)

Города	Январь—март	Июнь—октябрь	За год
Цинциннати	0.049	0.239	0.147
Луизвиль	0.079	0.119	0.092
Чикаго	0.013	0.166	—

млрд кишечных палочек в сутки на человека, а в расчетах возможного влияния сточных вод на качество воды С. Н. Строганов (1939) принимает еще более низкую величину — 10 млрд.

Количественно кишечная палочка составляет доли процента от общего количества сапрофитных бактерий, выделяемых организмом человека.

С точки зрения охраны здоровья населения наибольшее значение имеет присутствие в бытовых сточных водах патогенных микроорганизмов и, в частности, возбудителей кишечных инфекций. Последние выделяются с ис-

пражнениями больных, выздоравливающих и некоторых практически здоровых людей — бациллоносителей. Обнаружение патогенных микроорганизмов в сточной и речной воде представляет значительные аналитические трудности. Как показали исследования в лаборатории лондонского водопровода, при внесении определенного количества возбудителей тифа в речную воду удается открыть от 1/3 до 1/3 от внесенного количества; в сточных водах обнаруживается лишь около 10%.

Сделано несколько попыток выяснить количественные соотношения между кишечной палочкой и возбудителями кишечных инфекций в сточных водах. В этом отношении большой интерес представляет работа Кера и Баттерфильда (Kehr a. Butterfield, 1943), посвященная рассмотрению этого вопроса. Авторы использовали наблюдения на лондонском водопроводе, проведенные с 1927 по 1938 г. Определения возбудителя паратифозных заболеваний *Salmonella schottmüller* (*Bact. paratyphi*) многократно проводились в связи со вспышками паратифа в Эппинге, где было 260 случаев заболеваний в 1931 г., 22 случая в 1933 г. и 2 случая в 1935 г. Использованы также наблюдения Уилсона (Wilson, 1933), проводившего определение возбудителя тифа и паратифа с использованием предложенной им висмут-сульфитной среды.

Сопоставление имеющихся в литературе и собственных исследований позволило Керу и Баттерфильду сделать весьма существенные выводы. Установлено, что на 1 млн кишечной палочки приходится от 0.4 до 120 возбудителей тифозных заболеваний как в сточных водах, так и загрязненных реках. Количество возбудителей заболевания (*Eberthella typhi*) возрастает в зависимости от заболеваемости тифом населения на площади водосбора (табл. 45).

ТАБЛИЦА 45
Относительное содержание тифозной (*Eberthella typhi*) и кишечной палочки в сточных водах и загрязненных реках в связи со смертностью от тифа на площади водосбора

Смертность от брюшного тифа на 100 000 населения	Количество тифозных палочек на 1 млн кишечных палочек
0.5	6
1.0	9
5.0	19
10.0	26

Отношение между количеством возбудителей тифозных заболеваний и количеством кишечных палочек мало менялось при прохождении сточных вод через очистные сооружения. По наблюдениям, проведенным в течение восьми лет с выемкой каждый год 17 образцов сточных вод и такого же количества проб очищенных стоков, установлено, что в среднем отношение между содержанием кишечной палочки и возбудителем паратифа составляло для сточных вод 1518 : 1 и для очищенных стоков — 1105 : 1. Как видно, отношение было довольно близким, особенно, если учесть трудности обнаружения возбудителя паратифа в сточных водах.

Отмечено постоянство соотношений между количеством кишечных палочек и возбудителей желудочно-кишечных инфекций даже в тех случаях, когда содержание кишечной палочки в процессе очистки снижается до 3% от исходного.

Это положение противоречит общепринятому взгляду на более быстрое отмирание возбудителей инфекционных заболеваний по сравнению с кишечной палочкой. При расчетах Кер и Баттерфильд за кишечные палочки принимали все аэробные и факультативно анаэробные, грамотрицательные неспороносные бактерии, способные разлагать лактозу с образованием газа. Таким образом, в расчет принималась вся группа кишечной палочки, в том понимании, которое близко к сформулированному И. Е. Минкевичем (1949).

Кер и Баттерфильд (Kehr a. Butterfield, 1943) сделали попытку на основе развитых положений подойти к количественному расчету возможности появления инфекционных заболеваний при определенном содержании кишечной палочки в питьевой воде. В основе расчетов лежало предположение о возможности заболевания человека при минимуме инфекционного начала. Проведенные расчеты для нескольких городов США сходились с фактической заболеваемостью.

В связи с показательным значением кишечной палочки проведены обширные обследования по систематике, биологическим свойствам, изменчивости и экологическим признакам бактерий из группы кишечной палочки. Имеются весьма значительные расхождения в оценке санитарного значения многочисленных разновидностей кишечной палочки.

Исследования, проведенные в СССР и за границей, показали, что группа кишечной палочки представляет собой совокупность организмов, имеющих ряд основных общих свойств, но вместе с тем широко варьирующих по ряду биохимических признаков. Отличительной чертой группы кишечной палочки является изменчивость в зависимости от внешних условий. И. Е. Минкевич (1949) связывает подвижность признаков кишечной палочки с разнообразными условиями биотопа, в котором происходит развитие этой группы организмов.

В кишечном канале людей и животных кишечная палочка находится во взаимодействии с макроорганизмами, со всеми особенностями его жизнедеятельности и в особенности с составом питания, весьма разнообразного у человека. Условия существования кишечной палочки изменяются под влиянием других микроорганизмов, особенно при внедрении в организм хозяина патогенных кишечных бактерий. Не менее значительны изменения условий питания кишечной палочки в сточных водах, речной воде, почве. Изменения внешней среды способствуют выживанию форм, наиболее приспособленных к новым условиям.

Имеется много данных об изменении биохимических свойств кишечной палочки при воздействии факторов внешней среды (Кудлай, 1954; Мисущенко, Перцовская, 1954). Под влиянием химических веществ — фенолов, формалина, ничтожных количеств серебра, кишечная палочка утрачивает способность к индолобразованию и снижает ферментативные свойства (Калкина, 1949). Ряд изменений свойств микробов наблюдается

при длительном нахождении в проточной воде (Хайт, Фрадкина, 1933), под влиянием хлорирования (Киченко, 1939).

Из многих форм и разновидностей кишечной палочки в данное время выделено три типа. Типичным для кишечной микрофлоры теплокровных животных являются *Bact. coli commune* (*Escherichia coli*) не способные усваивать углерод солей лимонной кислоты и способные расти на пептоно-глюкозной среде при температуре 45—46°. Ко второму типу *Bact. coli aërogenes* относятся формы, способные усваивать углерод цитратов и образовывать ацетил-метилкарбинол. Этот тип более часто встречается в южных районах СССР. Штаммы, выделенные в северных районах, в большинстве случаев не вызывают брожения при 45—46° (Мишустин, Перцовская, 1954). Третий тип кишечной палочки *Bact. coli citrovorum* (*Citrobacter*) по своим биохимическим свойствам занимает промежуточное положение, показывая положительную реакцию с метиловым красным, как первый тип, и способный расти на цитратах, подобно второму. Особый тип составляют бактерии параколи (*Bact. paracoli*), выделяемые в массовых количествах больными кишечными инфекциями (брюшной тиф, паратифы, дизентерия), особенно в конце болезни; отличительным биохимическим признаком является подавленная способность сбраживать лактозу в жидких средах.

При оценке санитарного значения отдельных типов кишечной палочки большое значение имеет вопрос о генезисе. В работах многих американских авторов было высказано утверждение о двойственном происхождении группы бактерий, объединяемых под общим названием «кишечной палочки»: бактерии подгруппы коли развиваются в кишечнике и являются микробами, показательными в санитарном отношении. Бактерии подгруппы аэрогенес являются почвенными микробами и санитарного значения не имеют. Но в работах И. Е. Минкевича (1949) и других авторов приведены убедительные доказательства общего происхождения бактерий группы кишечной палочки: «Никаких иных источников появления кишечной палочки во внешней природе, кроме кишечного тракта человека и животных, мы не знаем» (стр. 105). Попадая во внешнюю среду, в водоемы и почву, кишечные палочки изменяют свои свойства и, в частности, приобретают способность усваивать углерод лимоннокислых солей. Таким образом, в санитарном отношении индикатором фекального загрязнения является вся группа в целом, а не отдельные ее разновидности. Это положение принято в существующих у нас государственных стандартах и руководствах по изучению качества воды.

Свойство усваивать углерод цитратов кишечная палочка приобретает при длительном нахождении вне организма, поэтому на первое место как показатель свежего фекального загрязнения выдвигается цитрат — отрицательные формы кишечной палочки.

В связи с показательным значением кишечной палочки проводены были многочисленные исследования сравнительной скорости отмирания во внешней среде кишечной палочки и бактерий, вызывающих желудочно-кишечные заболевания. Результаты работ, начиная с проведенных в начале текущего столетия, показали, что кишечная палочка является более устойчивой по отношению к условиям внешней среды. Фелпсом (Phelps, 1909) установлено и в дальнейшем другими учеными подтверждено, что кишечная палочка является несколько более стойкой к воздействию активного хлора, чем возбудитель брюшного тифа (*Eberthella typhi*). К тому же результату привели опыты по выживаемости указанных двух организмов при пастеризации молока. Установлено, что кишечная палочка обладает способностью проникать через песчаный фильтр в большей степени, чем возбудитель брюшного тифа.

Процессы бактериального самоочищения

Микробиальный биоценоз фекальных масс претерпевает существенные изменения в пределах канализационных сточных труб, коллекторов, очистных сооружений и водоемов. Резкое изменение температурных условий, особенно значительное в зимнее время, условий питания, кислородного режима вызывают быстрое отмирание части микроорганизмов. Свою роль в отмирании сапрофитной микрофлоры, кишечной палочки и патогенных бактерий служила предметом многочисленных исследований.

Процессы бактериального самоочищения в реках и озерах связаны главным образом с отмиранием микрофлоры, но фактически в водоемах непрерывно идут два процесса, неразрывно связанные диалектическим единством противоположностей.

Лабораторные исследования

Для понимания сложности процессов развития микробиального населения следует ознакомиться с некоторыми закономерностями развития, установленными в лаборатории при выращивании бактерий в оптимальных условиях (Monod, 1942; Стефенсон, 1951).

На основе многочисленных исследований кривая развития бактерий схематически представлена на рис. 20. В развитии бактериальной популяции при высеве небольшого количества бактерий на благоприятную среду и выращивании в оптимальных условиях различают по количеству клеток и скорости роста восемь фаз. На рисунке обозначены фазы: I — стационарная, или латентная, когда размножения не происходит; II — фаза задержки, или лаг-фаза, с медленным размножением и увеличением скорости роста; III — логарифмическая с максимальной скоростью деления клеток; IV — отрицательного ускорения, когда скорость деления замедляется, но число клеток продолжает увеличиваться; V — стационарная фаза, когда число делящихся клеток становится равным числу отмирающих и количество клеток достигает максимальной концентрации; VI — ускоренной гибели, когда число отмирающих клеток начинает превышать количество вновь образующихся; VII — логарифмическая фаза гибели, когда отмирание происходит с постоянной скоростью; VIII — фаза уменьшения скорости отмирания, когда число клеток продолжает снижаться, но с замедленной скоростью.

В условиях водоемов подвергалась изучению фаза, связанная со снижением числа микроорганизмов, составляющие сущность бактериального самоочищения водоемов. Но среди огромного количества микроорганизмов бытовых сточных вод имеются группы бактерий, для размножения которых новая среда — канализационные или речные воды — может оказаться благоприятной. Фактически размножение микробиального населения в ре-

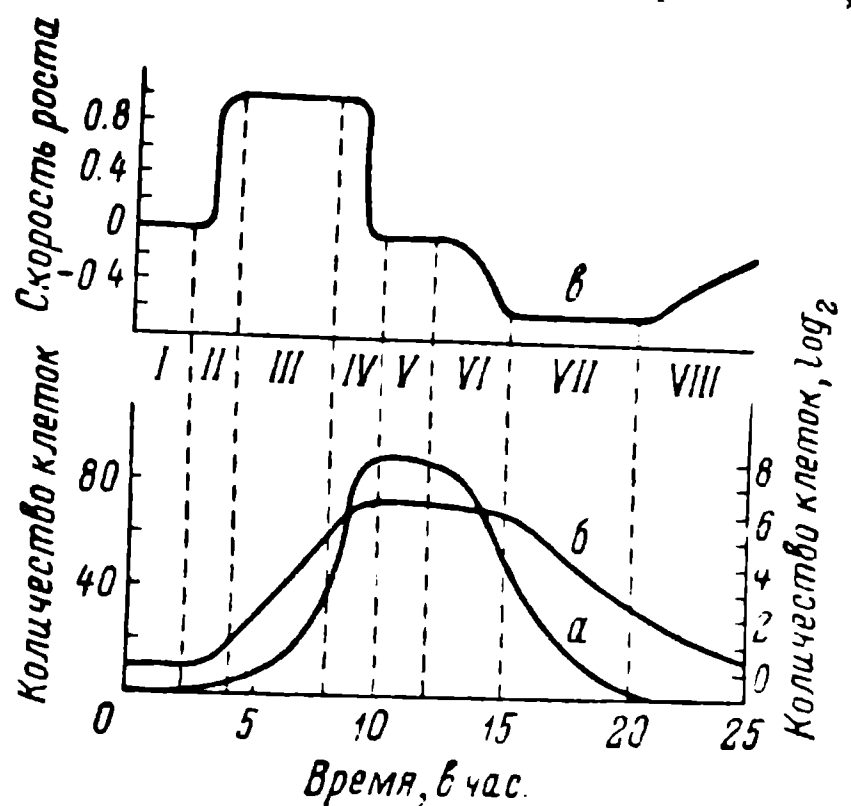


Рис. 20. График роста бактерий. (По: Monod, 1942).

Римские цифры — фазы роста, а — рост как функция времени, б — ход роста как функция времени — скорость роста как функция времени

ках и озерах отмечалось рядом исследователей, хотя мало изучено. Таким образом, первая половина кривой в применении к изучению водоемов имеет не только теоретическое значение.

Полный охват явления развития бактериальных популяций в водоемах должен включать изучение первых фаз, связанных с размножением бактериального населения.

Рост числа бактерий при посеве на благоприятную питательную среду в первое время происходит весьма замедленно, что трактуется как период приспособления организмов к новым условиям среды. Длительность первых фаз зависит от ряда факторов: возраста исходной культуры, видовых особенностей микроорганизмов, характера питательной среды, температуры выращивания и концентрации углекислоты в питательной среде и клетке. Значение указанных факторов не требует особых пояснений за исключением влияния углекислоты, роль которой остается до настоящего времени невыясненной. В зависимости от комбинации указанных факторов длительность периода приспособления может выражаться в минутах или достигать многих часов.

В следующей — логарифмической фазе — скорость размножения клеток достигает максимальной величины, время, потребное для деления клетки, снижается до минимальной величины (В. М. Жданов, 1947). Скорость размножения бактерий может быть выражена числом поколений, образующихся за определенный период времени. Для определения числа генераций (n) за некоторый промежуток времени пользуются формулой:

$$n = 3.31 \lg \frac{B}{B_0},$$

где B — количество клеток в конце периода; B_0 — начальное количество клеток.

Таким образом, для определения числа поколений за известный промежуток времени нужно число бактерий в конце периода времени (t) разделить на начальное количество бактерий и логарифм полученного числа умножить на приведенный в формуле коэффициент. Путем деления времени, в течение которого проводились наблюдения, на число поколений может быть определен другой показатель скорости размножения — период генерации (g).

$$g = \frac{t}{n} = \frac{t}{3.31 \lg \frac{B}{B_0}}.$$

Показателем скорости размножения бактериальных клеток служит коэффициент (k), который может быть вычислен из уравнения:

$$B = B_0 e_n^{kt},$$

где e_n — основание натуральных логарифмов (2.71), а остальные обозначения те же, что и в предыдущей формуле.

Коэффициент (k) может быть также вычислен по формуле:

$$k = \frac{e_n^2}{g}.$$

Опытным путем установлено, что среднее число размножающихся клеток в логарифмической фазе размножения составляет около 80% от общего числа бактерий. Таким образом, в логарифмической фазе, даже в лабораторных условиях, количество бактерий за каждую генерацию не удваивается, а возрастает в 1.6 раза. В практически чистых водоемах число микробных клеток, способных к делению, составляет

не менее 80%. Таким образом, при определении времени длительности одной генерации необходимо вместо коэффициента 2 приписать 1.6. В таком случае формула для вычисления количества генераций (n) принимает следующий вид:

$$n = \frac{\lg B - \lg B_0}{\lg 1.6}.$$

Расчет времени генерации производится по формуле:

$$g = \frac{t \cdot \lg 1.6}{\lg B - \lg B_0} \text{ (часы)}.$$

Длительность периода генерации зависит от многих факторов, имеют значение физиологические особенности вида бактерий, состав питательной среды, температура, при которой происходит выращивание. Установлено, что длительность периода генерации кишечной палочки при температуре 5.5—8.5° составляет более 5 суток; повышение температуры резко снижает эту величину, достигая минимальной в 17.2 мин. при температуре 37.5°. Дальнейшее повышение температуры вновь вызывает увеличение периода генерации, рост постепенно замедляется и при 50° прекращается вовсе (Тимаков, Гольдфарб, 1958).

После периода быстрого размножения наступает так называемая фаза отрицательного ускорения, когда число делящихся клеток начинает уменьшаться, но общее количество бактерий продолжает возрастать. Причины замедления роста еще не вполне изучены. Явление имеет место и при достаточном количестве питательных веществ. Указывают, что в этом случае может играть роль снижение специфических питательных веществ, необходимых для развития данного вида бактерий, или накопление в среде токсических продуктов обмена.

В следующей фазе существования микробного населения устанавливается равновесие между количеством погибающих и вновь образующихся клеток — это фаза стационарного развития. Количество жизнеспособных бактерий некоторый период времени держится на максимальном уровне, обозначаемом как М-концентрация. Если в питательную среду поместить микробы в количестве, соответствующем максимальной для данного вида концентрации, то увеличение числа микроорганизмов не происходит. Величина М-концентрации различна для отдельных видов бактерий: у возбудителя дизентерии величина эта меньше, чем у кишечной палочки или стафилококка.

Через некоторый период времени число погибающих клеток становится больше, чем число вновь образующихся, что означает наступление фазы ускоренной гибели, кривая численности бактерий начинает снижаться. Процесс этот ускоряется и переходит в новую фазу — логарифмической гибели, в течение которой отмирание клеток происходит с постоянной скоростью. Эта фаза имеет большое практическое значение в применении к изучению процессов бактериального самоочищения в водоемах.

Схема развития и отмирания бактериальной культуры в питательной среде (рис. 20) представляет собой обобщение многочисленных лабораторных опытов. Фактические наблюдения обычно дают некоторое отклонение от идеальной кривой развития и отмирания, но в общем тщательно проведенные лабораторные опыты дают совпадение с приведенной схемой.

Решающая роль температурного фактора на ход микробиологических процессов хорошо видна из опытов, в которых посевы (*Escherichia coli*) выдерживались в одной серии при 46°, в другой — при 4° в течение различных сроков. Затем производился пересев и инкубация при 37°. При 46° кривая имеет обычный вид, указывающий на отмирание основной

массы бактерий в течение первых часов. При низкой температуре процесс отмирания оказался чрезвычайно растянутым. При 46° за 32 часа погибло более 99%, тогда как при температуре 4° за этот же период — менее 10%. По многочисленным литературным данным, скорость размножения бактерий и их биохимическая активность увеличивается в среднем в 2—3 раза, при повышении температуры на 10° (Q_{10}). В данном случае для выражения закономерностей биологического процесса использован известный коэффициент Ван-Гоффа, определяющий скорость химических реакций в зависимости от температуры. Применение этого коэффициента ограничивается некоторым температурным интервалом и в некоторых случаях может варьировать в весьма значительных пределах. Так, в опытах с тифозными бактериями (*Bact. typhi*) было установлено, что при температурах, приближающихся к точке коагуляции белков, величина коэффициента составила 136; имеется много данных о том, что коэффициент может варьировать и при более низких температурах.

Наблюдения на реках

Условия водоема по ряду признаков резко отличаются от лабораторных, и вопрос о применимости указанных закономерностей требует специального рассмотрения.

Изучение закономерности развития микробиальной флоры в процессах самоочищения загрязненных рек представляет значительные трудности в силу многообразия факторов, определяющих развитие и отмирание микроорганизмов в природных условиях. Кроме влияния температуры, имеет значение скорость течения реки, разбавление, влияние донных отложений зоо- и фитопланктон, влияние бактериофагов.

При сравнении данных разных исследователей следует учитывать возможное отклонение от постоянства состава питательной среды и других деталей лабораторной техники — посевов, инкубации и подсчета микроорганизмов.

В многочисленных работах наибольшее внимание уделялось фазе отмирания микроорганизмов. Предложено несколько способов математического выражения процесса отмирания бактерий в водоемах. С. Н. Строганов (1939) предложил судить о скорости отмирания бактерий, вычисляя процент часовой убыли бактерий. При этом определяется процент убыли бактерий между двумя створами на реке. Время передвижения воды от верхнего створа к нижнему принимается как величина t . Расчет производится по формуле:

$$P = \frac{(N - N_t) \cdot 100}{N_t},$$

где P — процент часовой убыли бактерий; N — количество бактерий в 1 мл воды в верхнем створе реки; t — время в часах; N_t — количество бактерий в нижнем створе за время перемещения воды.

Другими способами выражения гибели бактерий является определение константы отмирания (k) и полупериода жизни бактерий — условная величина, отвечающая периоду времени, в течение которого начальное число бактерий уменьшилось вдвое. Указанные выше величины, характеризующие скорость отмирания бактериального населения, представляют собой производные, вычисленные на основе эмпирических формул.

Зависимость между начальным B_0 и конечным B — количеством бактерий в стадии отмирания за время t выражается формулой:

$$\frac{dB}{dt} = -KB_0.$$

После интегрирования и перехода к обычным логарифмам формула принимает вид:

$$\lg \frac{B}{B_0} = -kt.$$

Формула отражает результаты опытов, в которых постоянный процент бактерий отмирал за последовательные промежутки времени. Наиболее часто применяемая величина k лежит в основе формул выражения скорости мономолекулярных реакций. Аналогичное математическое выражение предложено для изображения хода процесса биохимического окисления органического вещества. Отражает ли однообразие формул математического выражения столь разнообразных процессов некоторую общность их сущности или является случайным совпадением, остается невыясненным. В отношении отмирания бактерий под влиянием дезинфицирующих веществ, где наблюдается та же закономерность, высказано предположение, что причиной совпадения хода процессов является отмирание бактерий под влиянием изменения одной единственной молекулы в организме клетки.

В реках, загрязняемых сбросами городских сточных вод, зимой обычно обнаруживается более высокое количество сапрофитных бактерий. Одной из причин этого обстоятельства является замедление отмирания сапрофитной микрофлоры при пониженных температурных условиях. Наблюдения, проведенные в США на р. Огайо, показали значительную разницу в скорости отмирания бактерий в теплый период времени года, с апреля по ноябрь при температурах в пределах 8—27°, по сравнению с периодом холодных температур, ниже 5°, с октября по март месяц. Данные, приведенные на рис. 21, показывают, что количество кишечных палочек уменьшается почти до одной десятой начальной величины в течение приблизительно двух дней как в теплый, так и холодный периоды. В дальнейшем начинается резкое расхождение: процесс отмирания идет значительно быстрее в теплый период года.

Исследования, проведенные на реках США, показали неожиданно большое поступление бактерияльного загрязнения в периоды теплого времени года; явление это отмечено на нескольких реках и его достоверность не вызывает сомнения (табл. 44). Одна из причин, которую можно привлечь для объяснения этого явления, — возможное возрастание выделения сапрофитных бактерий в летние месяцы организмом человека. Второй причиной может служить размножение сапрофитных бактерий во время прохождения воды по канализационным трубам. Влияние размножения в речной воде кишечных микроорганизмов считается менее вероятной причиной, хотя не может быть исключенной (Phelps, 1944).

Для выражения скорости отмирания сапрофитных бактерий проводились вычисления константы отмирания и полупериода жизни по форму-

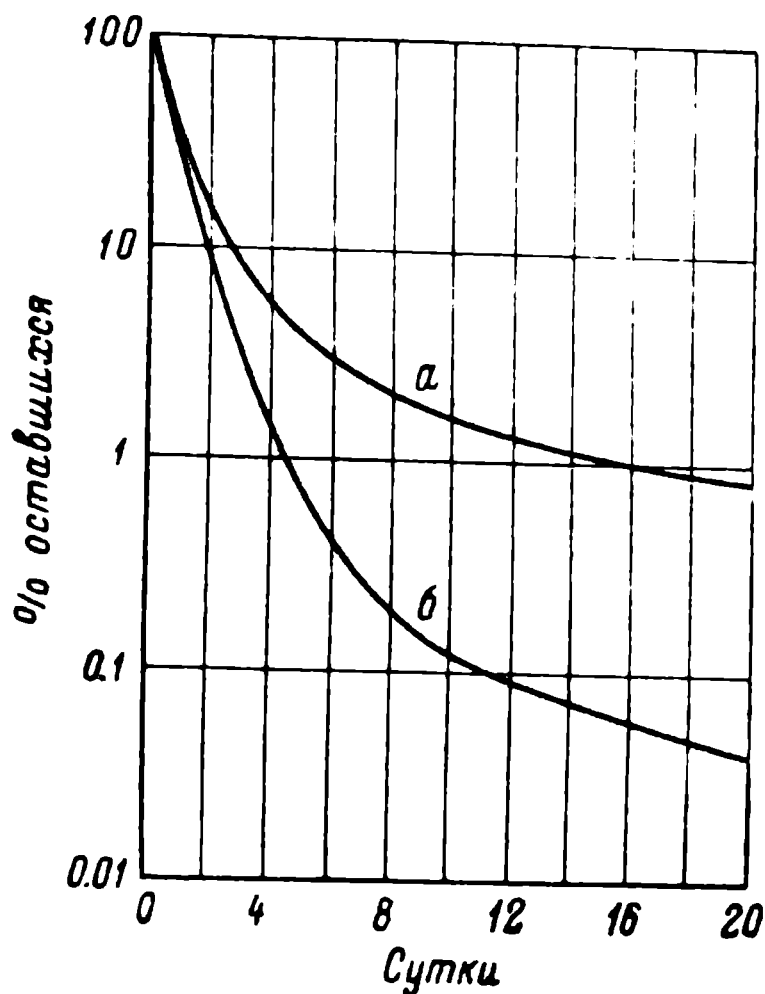


Рис. 21. Отмирание кишечной палочки в воде р. Огайо.

а — в холодное время; б — в теплое время.

лам, приведенным выше. Вычисление величины константы на реках Огайо, Потомак и других показали, что величина константы является функцией времени, составляя десятые доли в первые сроки наблюдения, в дальнейшем снижается до сотых. Полупериод жизни бактериальной популяции в летнее время составил на р. Огайо на участке между городами Цинциннати и Лунзвиль в летнее время 0.4, зимой — 0.2, соответственно полупериод жизни составляет 0.8 суток летом и 1.4 суток зимой. Обычная формула расчета константы отмирания оказалась неприменимой, так как в реке находится некоторое количество кишечной палочки со значительно более продолжительным полупериодом жизни, исчисляемым несколькими сутками в летний период и еще большими величинами зимой.

Данные наблюдения более точно укладывались в формулу:

$$B = B_0 \cdot 10^{-k \cdot t} + B'_0 \cdot 10^{-k' \cdot t}.$$

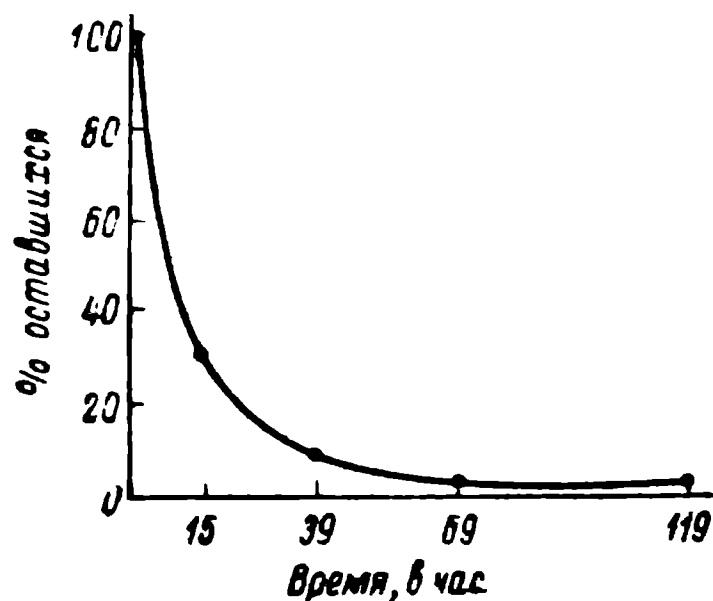


Рис. 22. Скорость отмирания бактерий в реках СССР.

Формула выражает факт различной скорости отмирания отдельных групп бактерий B_0 и B'_0 . Отношение констант отмирания k и k' колебалось несколько раз, особенно зимой.

Весьма обширный цифровой материал получен при исследованиях загрязнения и самоочищения рек, проведенных с 1936 по 1940 г. на водоемах СССР и частично обобщенных в работе С. Н. Строганова (1939). Обследованы были реки, начиная от малых с расходом 1—2 м³/сек. до мощных с расходом

в несколько тысяч кубометров в секунду, с различным гидрологическим режимом и степенью загрязнения. Единобразие методики исследования позволяет делать обобщение материала. Часовая скорость отмирания сапрофитных бактерий, выраженная в процентах от исходного бактериального загрязнения, указывает на постепенное снижение данного показателя, начиная от величины порядка 4—5% в течение первых суток, до 3—2% и ниже в последующие сроки. На 8—10-е сутки часовая убыль бактерий составляла около 0.5%. Представилось возможным вычислить и обобщить данные о ходе отмирания бактерий в летний и осенний периоды на 8 реках: Свислочь, Уда, Уводь, Москва, Вологда, Днепр, Сухона и Упа. Скорости отмирания микробной микрофлоры в процентах к исходному количеству приведены на рис. 22.

Как видно, 70% сапрофитных бактерий отмирает в течение первых 15 часов, к концу 2-х суток отмирает более 90% и на 5-е сутки остаются доли процента от исходного количества. Если принять среднюю скорость течения в реке 20 см/сек., то расстояние, которое пройдет вода в указанные сроки, составит 10.8, 35, 85 км. В исследованиях отмечено, что реки со свободным течением (Днепр, Вологда, Сухона, Уводь) летом и осенью дают такие же коэффициенты отмирания во времени, как и зарегулированные реки с замедленным течением (Москва, Свислочь, Упа). Таким образом, при замедлении течения дальность распространения загрязнения значительно сокращается.

Приведенные на рис. 22 результаты обработки материалов дают закономерную картину при выводе средних из величин, значительно колеблющихся, но в общем виде отвечающих действительности. Средние данные, полученные на реках США, говорят о том, что в теплое время года содержание кишечной палочки снижается в водоеме до 1% в течение 4.5 суток, что весьма близко подходит к величинам, полученным на реках СССР.

Приведенные выше формулы расчета и графические изображения хода развития микроорганизмов в загрязненных водоемах являются неполными, так как они захватывают только одну сторону процесса отмирания микроорганизмов, игнорируя многочисленные факты увеличения числа микроорганизмов в реках.

Размножение в водоемах сапрофитных бактерий, растущих при 20 и 37°, и кишечной палочки на участках реки ниже места сброса сточных вод отмечено в реках США в течение первых 10—15 часов на участках вниз по течению.

На реках Вологде, Сухоне и Упе случаи повышения числа бактерий наблюдались через 24—48 и даже 60 часов. Детальное изучение процессов бактериального самоочищения было проведено на р. Москве. Бактериологические исследования производились на отрезке реки ниже впадения сточных вод, прошедших биологическую очистку. Работы проводились в 1946—1949 гг. Было установлено 6 пунктов наблюдений, в каждом пункте еженедельно производилась выемка трех параллельных проб, в конечном пункте у г. Коломны наблюдения производились 2 раза в неделю. Таким образом, накоплен обширный аналитический материал, позволяющий выявить общие закономерности хода бактериального самоочищения. Гидрологические исследования предоставили возможность связать полученные данные со скоростью перемещения воды. Наблюдения выявили значительно более низкое содержание бактерий в зимнее время в пункте полного перемешивания со сточными водами (табл. 46). Факт этот представляется неожиданным, так как в зимнее время возрастает нагрузка на очистные сооружения и сильно ухудшаются условия работы очистных сооружений (Строганов, Корольков, 1934). Как видно из таблицы, в начальном пункте наблюдений в летний период количество микробиаьного населения было значительно выше, чем зимой. В конечном пункте наблюдений, расположенном в 138 км от места выпуска сточных вод, содержание сапрофитных бактерий сильно снижалось в летнее время и возрастало зимой.

ТАБЛИЦА 46
Количество сапрофитов в 1 мл, в тысячах

Сезон года	Темпера- тура воды, в °С	Начальный пункт			Конечный пункт		
		1946 г.	1947 г.	1948 г.	1946 г.	1947 г.	1948 г.
Лето	19.5—21	430	490	150	29.3	4.2	52
Зима	0.1—3	55.5	70.3	90.0	460	338	182

Наблюдения в летний период подтвердили, что за срок около 100 часов содержание сапрофитных бактерий падает до десятых долей процента от исходной величины. В зимний период бактериальное самоочищение не наблюдалось на всем участке в 138 км за время продвижения воды в течение 260 часов.

Наблюдениями отчетливо выявлено размножение сапрофитных микроорганизмов как в летний, так и зимний период. Фаза наибольшего размножения бактерий в зимний период запаздывала по сравнению с летним периодом. Особенно характерным для зимнего периода было замедленное снижение числа сапрофитных микроорганизмов вниз по течению реки. Считая температурный фактор определяющим процесс размножения и отмирания, Е. В. Цианова и А. А. Ворошилова (1952) предложили схему развития бактерий в реке в зависимости от температуры.

Общая схема явлений дана на рис. 23, где изображено развитие процесса в летний и зимний периоды с учетом влияния температур. Размножение сапрофитных бактерий и последующий спад их количества в воде значительно быстрее протекает в летний период повышенных температур. При пониженной температуре зимой фаза роста числа микроорганизмов растягивается на гораздо более продолжительный срок. Фаза максимальной концентрации в холодное время достигается в такой срок, при котором летом уже завершается фаза снижения числа организмов. В реальных

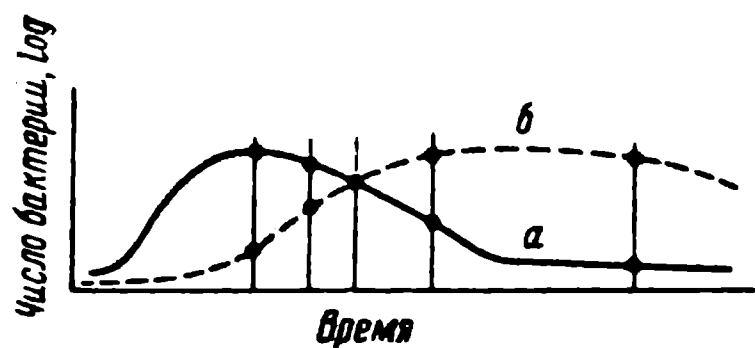


Рис. 23. Развитие бактерий в зависимости от температуры.

а — летом; б — зимой.

условиях реки это означает распространение бактериального загрязнения в зимний период на значительные расстояния вниз по течению реки.

В указанную схему общего развития микробного населения водоема в зависимости от температурных условий довольно хорошо укладываются результаты определений количества сапрофитных бактерий в различные сезоны года (рис. 24). Обширный фактический материал наблюдений на р. Москве

подтверждает предположение авторов о решающей роли температурного фактора в темпах развития и отмирания бактерий на водоеме и дает более общие закономерности по сравнению с предложенными ранее схемами развития микроорганизмов в процессе самоочищения, охватывавших только стадию отмирания.

Значительное запаздывание процесса размножения и спада в развитии бактериальной популяции в зимнее время не было отчетливо выявлено

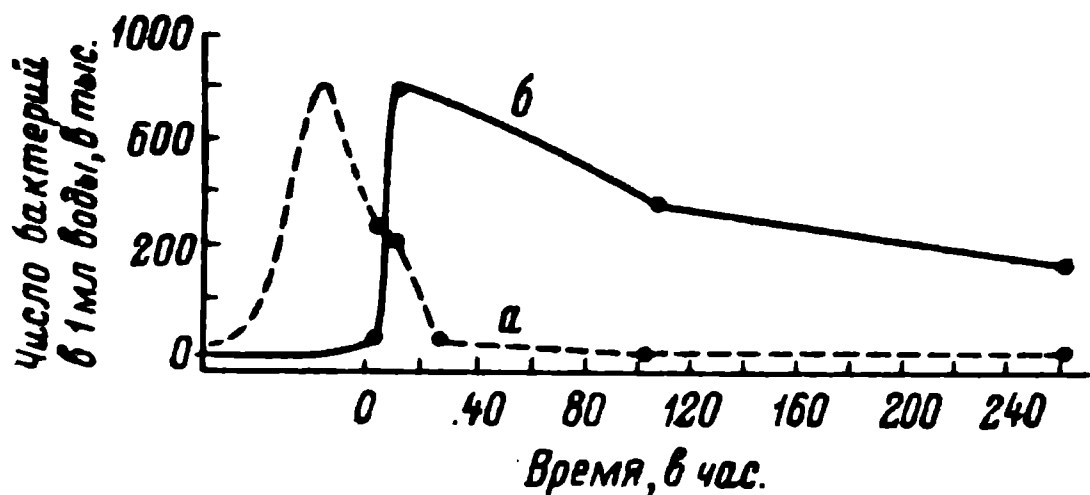


Рис. 24. Изменение количества бактерий в реке по течению в зависимости от сезона.

а — летом; б — зимой.

в проведенных ранее исследованиях, так как число наблюдений зимой было сравнительно невелико (Строганов, 1939; Phelps, 1944). Замедленное отмирание сапрофитной микрофлоры имеет весьма существенное значение, так как говорит о возможности продвижения бактериально загрязненной воды в зимнее время на далекие расстояния. Поскольку содержание сапрофитной микрофлоры и кишечной палочки служит показателем загрязнения воды и возможности нахождения патогенных бактерий, установленный факт приобретает весьма важное практическое значение. Необходимо отметить, что процессы бактериального самоочищения изучены еще не полностью. Наблюдаются большие колебания в ходе процессов бактериального самоочищения на отдельных реках. Справедливым остается указание Уиппла (Whipple, 1954) на то, что в каждой реке и даже на ее отдельных участках процесс самоочищения может протекать

своеобразно. Значительные изменения могут вносить колебания гидрометеорологических условий.

В качестве примера своеобразного хода процесса бактериального самоочищения можно привести данные по р. Лобпе, левому притоку р. Клязьмы. На этой небольшой реке, сильно загрязняемой, проведены двухлетние наблюдения с частой выемкой проб для химического и бактериологического анализов. Длина реки от места загрязнения до устья по прямой составляет 5—6 км, истинная длина с учетом извилистости — 11.35 км. Скорость течения воды в реке сильно варьирует: быстотоки и перепады чередуются с заводами и омутами.

В межепный период скорость течения в реке колебалась от 0.07 до 0.19 м/сек., расход реки — 0.012 до 0.150 м³/сек. Количество сточной жидкости, спускаемой в реку без очистки, в среднем составляло 0.05 м³/сек., что дает 30—420% от расхода реки. Систематически проведенные М. А. Суражевской бактериологические наблюдения показали весьма быстрый ход процесса самоочищения. Количество бактерий, составляющее у места ниже выпуска сточных вод сотни тысяч и миллионы в 1 мл, на расстоянии 5 км снижалось до десятков тысяч, а к устьевому участку — до тысяч в 1 мл. Следовательно, процесс бактериального самоочищения, обычно проходящий на протяжении 4—5 суток, заканчивался примерно в одни сутки. Указанное явление, по-видимому, стоит в связи с более повышенной скоростью самоочищения на реках с малым расходом (Драчев, 1940; Klein, 1957a).

Вопрос о поведении в водоемах наиболее важной в санитарно-гигиеническом отношении группы микроорганизмов — патогенной микрофлоры — мало изучен. Наиболее часто высказывается мнение о невозможности размножения возбудителей инфекционных заболеваний в водной среде, но основанием к тому являются общие соображения, а не фактические данные.

При исследовании озера Мичиган установлено, что в воде возбудители тифа обнаруживаются в сроки от 4 до 8 суток. Факторами длительности выживания служат наличие пищи и отсутствие конкурирующих организмов. Одним из важнейших факторов скорости отмирания является температура воды. В этом отношении показательны данные, полученные Гаустоном (Houston, 1915) на лондонском водопроводе, где в лабораторных условиях изучалось значение температурного фактора на выживаемость возбудителей брюшного тифа при хранении воды р. Темзы. Во все сосуды было внесено по 103 000 бактерий в 1 мл. Наблюдения, проведенные в продолжение 7 недель, показали сроки выживания микроорганизмов при различных температурах (табл. 47).

Коец (цит. по: Phelps, 1944) получал сравнительную скорость отмирания *Escherichia typhi* и *E. coli* в зависимости от условий температуры и активной реакции. При температуре 20° наиболее благоприятным для вымирания *E. coli* оказался интервал рН от 5.0 до 6.4, когда коэффициент колебался от 0.011 до 0.014 и соответственно полупериод жизни — от 27 до 21 часа. При рН 3.8 коэффициент *k* возрастал до 1.08 и полупериод

ТАБЛИЦА 47

Выживание возбудителя
брюшного тифа в зависимости
от температуры

Температура, в °C	Число оставшихся бактерий в 1 мл						
	недели						
	1	2	3	4	5	6	7
0	47800	980	65	34	3	2	1
5	14900	26	6	3	0.3	0.1	0
10	69	14	3	0.3	0.0		
18	39	3	0.4	0.0			
27	19	0.1	0.0				
37	5	0.0					

Коец (цит. по: Phelps, 1944) получал сравнительную скорость отмирания *Escherichia typhi* и *E. coli* в зависимости от условий температуры и активной реакции. При температуре 20° наиболее благоприятным для вымирания *E. coli* оказался интервал рН от 5.0 до 6.4, когда коэффициент колебался от 0.011 до 0.014 и соответственно полупериод жизни — от 27 до 21 часа. При рН 3.8 коэффициент *k* возрастал до 1.08 и полупериод

сокращался до 0.28 часа. В щелочном интервале от 7.1 до 9.5 влияние рН не было столь резким: коэффициент при рН от 7.1 до 9.5 постепенно возрастал от 0.044 до 0.29 и полупериод жизни сокращался от 6.8 до 1.0 часа.

ВЗВЕШЕННЫЕ ВЕЩЕСТВА

Значительная часть загрязнений попадает в реки в нерастворенном состоянии в виде взвесей, способных удерживаться в толще воды более или менее продолжительное время.

Во взвешенном состоянии в воде могут присутствовать вещества твердые, жидкие и газообразные. Практически под взвешенными веществами понимаются суспензии — твердые частицы, размер которых превышает 0.1 мк. Сравнительно небольшая часть взвешенных веществ находится в коллоидальной степени измельчения размерами от 1 до 100 мкм. В жидком состоянии содержатся взвеси нефтепродуктов, жиров, масел. В газообразном состоянии в водной среде могут длительно находиться взвешенные вещества только в коллоидальной степени измельчения. В последнее время практическое значение приобретает пена, состоящая из газа и жидкости с примесью твердых веществ.

Длительность пребывания нерастворенных веществ во взвешенном состоянии зависит от степени их измельчения и удельного веса. Взвеси с удельным весом меньшим, чем вода, имеют тенденцию сосредотачиваться на поверхности водоема, образуя плавающие примеси. Более тяжелые движутся в направлении дна, образуя иловые отложения.

По химическому составу взвешенные вещества чрезвычайно разнообразны; наиболее отрицательное влияние на водоем оказывают органические и органоминеральные взвеси, особенно при накоплении на дне.

Т е р р и г е н н а я в з в е с ь

Взвешенные вещества являются составной частью естественного стока с площади водосбора. Взвесей поступает в водоемы в целом не меньше,

ТАБЛИЦА 48

БПК₅ в расчете на 100 мг
абсолютно сухого вещества
взвесей

Почвы	Потребление O ₂ , в мг
Оподзоленные, суглинок и супесей	1.5—4.4
Черноземы	0.7—1.6
Торф	6.0—28.4
Подпочвы, суглинок	1.0—1.1

чем растворенных веществ. Поступление взвешенных веществ в водоемы с поверхностным стоком может рассматриваться как загрязнение, ибо при этом увеличивается мутность воды, возрастает содержание сапрофитной микрофлоры. Органическое вещество взвешенных веществ в процессе окисления потребляет кислород. По данным лабораторных опытов (Драчев, Митягина, 1939), величина потребления кислорода значительно колеблется в зависимости

от характера почвенного покрова (табл. 48).

Потребление кислорода в общем возрастает в почвах, богатых органическим веществом, но черноземные почвы с более высоким содержанием гумуса в среднем потребляют кислорода меньше, чем оподзоленные. Потребление кислорода в основном происходит за счет тонкодисперсной фракции, остающейся во взвеси и увлекаемой в виде агрегатов на дно.

Значительное количество взвешенных веществ попадает в реки с поверхностным стоком после дождей и таяния снега с территории, имеющей искусственные покрытия. В санитарном отношении наибольшее значение имеют взвешенные вещества поверхностного стока с территории населен-

ных мест. Состав поверхностного стока в р. Москву с различных по замощению районов города приведен в табл. 49.

ТАБЛИЦА 49
Содержание взвешенных веществ в дождевом стоке с территории г. Москвы (1936 г.)

Характер замощения	Число анализов	Взвесь, в г/л	Окисляемость, в мг/л O ₂	БПК ₅ , в мг/л	Количество бактерий, в миллионах в 1 мл
Асфальт	24	1.08	101	186	1.2
Булыжное	15	3.48	125	215	2.1
Смешанное (булыжное, асфальт) . . .	18	3.03	164	285	2.8

При общесплавной канализации во время дождей поступление поверхностного стока повышает содержание взвешенных веществ в несколько раз по сравнению с периодом сухой погоды. В канализации г. Шеффилда (Royal Commission. . ., 1908) выпадение осадков повысило содержание взвешенных веществ с 592 до 1700 мг/л. Сильный дождь, продолжавшийся 4 часа, сразу увеличил содержание взвесей до 2380 мг/л, в дальнейшем содержание взвесей постепенно понижалось и через 7 часов после начала дождя упало до 180 мг/л.

Х о з я й с т в е н н о - ф е к а л ь н ы е с т о ч н ы е в о д ы

По данным С. Н. Строганова и К. К. Королькова (1934), количество взвешенных веществ на одного жителя в сутки колеблется в пределах от 16.4 до 77 г. Среднее содержание взвешенных веществ (высушенных при 105°) в бытовых сточных водах принимается в 35—50 г в сутки на одного жителя. Содержание взвешенных веществ в канализационных водах городов СССР обычно колеблется в зависимости от расхода воды и других факторов в пределах от 500 до 1000 мг/л.

По данным Имгоффа (Imhoff, 1956), городские сточные воды при водопотреблении в 150 л воды на человека большую часть органических загрязнений содержат во взвешенном состоянии (табл. 50).

ТАБЛИЦА 50

Среднее содержание растворенных и взвешенных веществ в городских сточных водах, в мг/л

Вид загрязняющих веществ	Минеральные	Органические	Сумма	БПК
Взвешенные	90	300	390	130
В том числе:				
осаждающиеся	60	200	260	96
неосаждающиеся	30	100	130	34
Растворенные	300	150	450	200
Всего	390	450	840	330

Как видно, в хозяйственно-фекальных водах $\frac{2}{3}$ органического вещества содержится в виде взвесей, способных потребить около 40% от

общей БПК. Содержание минеральных веществ составляет во взвешях 23%, в растворенном же веществе 33% составляют органические вещества. Весьма важным обстоятельством является содержание во взвешенном состоянии живой взвеси — бактериальных тел, яиц гелминтов. Некоторая часть микроорганизмов содержится в свободном состоянии, но основная масса находится на поверхности или внутри взвешенных агрегатов частиц. Общеизвестна способность бактериальной микрофлоры концентрироваться и усиленно развиваться вблизи твердой поверхности. В богатых органическим веществом взвешенных частицах и на их поверхности происходит усиленное размножение сапрофитной микрофлоры. Здесь же

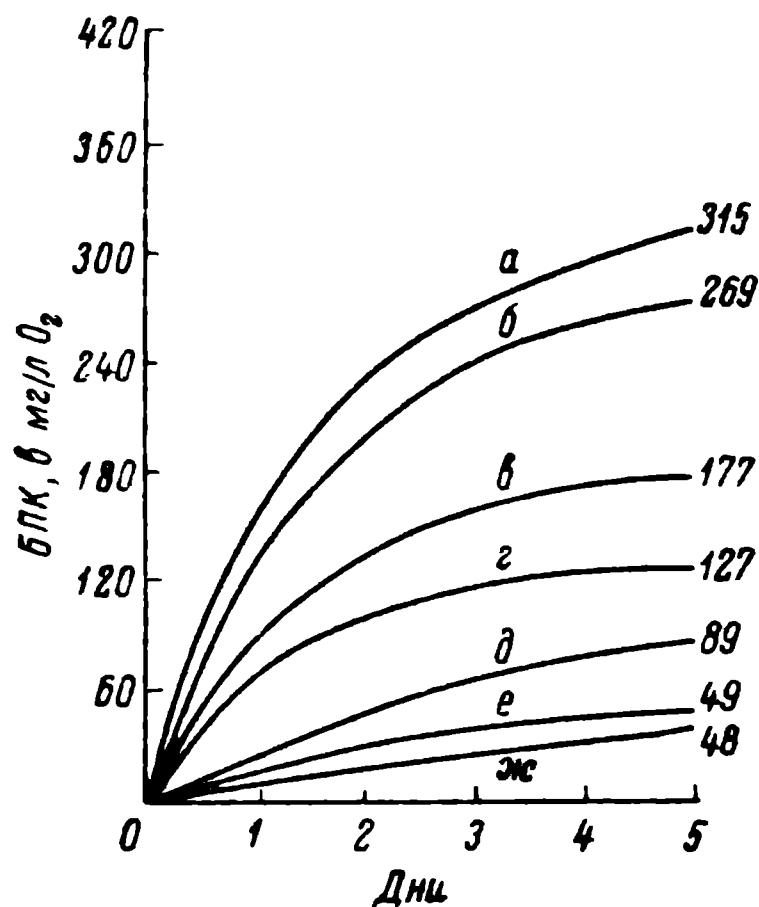


Рис. 25. Потребление кислорода отдельными фракциями бытовых сточных вод.

а — исходная сточная жидкость. Фракции: б — неоседающая, в — коллоидальная, г — растворенная, д — надколлоидная, е — коллоидальная, ж — оседающая.

потребление растворенными, оседающими, коллоидальными и надколлоидальными частицами. К фракции оседающих веществ отнесены частицы, осевшие за один час, размерами более 100 мк. Надколлоидальная фракция размерами от 1 до 100 мк выделялась при помощи суперцентрифуги. Коллоидальная фракция получалась путем фильтрации при высоком давлении через мембранный ультрафильтр. Ход потребления кислорода отдельными дисперсными фракциями приведен на рис. 25. Вычисление констант скорости потребления кислорода показало, что с наибольшей скоростью окисляется растворенная часть ($k=0.39$), с наименьшей — осаждающаяся фракция ($k=0.08$).

Промышленные сточные воды

Промышленные сточные воды всегда содержат некоторое количество взвешенных веществ, обычно в твердом состоянии. В стоках нефтеперерабатывающих, металлургических и некоторых других заводов во взвешенном состоянии в виде тонкой, трудно отделимой взвеси находятся масла, нефть. В водах охлаждения обычно присутствует небольшое количество нефтепродуктов в виде тонкой взвеси.

имеются условия для наиболее длительного выживания и размножения патогенной микрофлоры.

При отстаивании бытовых стоков происходит выпадение части взвешенных веществ, осадок содержит большое количество воды, в среднем 97.5%. Поэтому объем осадка на одного жителя при двухчасовом отстое составляет в среднем 1.4—1.9 л в сутки.

Осадок в основном состоит из органических веществ. По данным К. А. Овсяниковой (1934), минеральные вещества в осадке из отстойников составляли всего 10%. Из органических соединений в осадке содержались гемицеллюлоза (25.4%) и альфа-целлюлоза (10.3%), в большом количестве находились вещества, экстрагируемые эфиром (14.3%), количество последних в некоторых случаях доходило до 30—35% на сухое вещество.

Биохимическое потребление кислорода отдельными фракциями сточных вод по степени дисперсности изучал Болмат (Balmat, 1957), выделивший по-

Некоторые сточные воды содержат огромное количество взвешенных веществ. В первую очередь сюда относятся стоки производств, связанных с добычей руд, минералов и их первичной обработкой. В данное время вода все больше находит применение при добыче торфа, угля, широко начинает применяться вскрыша пород гидравлическим способом. Этот прием используется в гидротехническом строительстве при намыве плотин, устройстве каналов. Обогащение и сортировка на рудообогатительных фабриках дает сточные воды с содержанием 20—140 г/л взвешенных веществ. Производства фарфора и фаянса дают стоки с содержанием 5—10 г взвесей в 1 л.

В большинстве случаев по своему характеру взвесь в сточных водах указанных производств является минеральной или содержит природное органическое вещество в трудно разлагаемой форме, как например при торфо- и угледобыче.

Некоторые промышленные стоки содержат взвеси с большим содержанием легко разлагающихся органических соединений. Богаты органическим веществом взвеси стоков таких производств, как кожевенное, карто-фелекрахмальное, спиртовое, дрожжевое, бумажное, мясокомбинаты (табл. 51).

Простейшим способом удаления взвесей является отстаивание в неподвижной или медленно движущейся воде. В качестве отстойников используются искусственные сооружения или природные понижения, карьеры, овраги. В некоторых случаях используются механические способы ускорения осаждения путем медленного перемешивания вращающимися лопастями. Для удаления грубых взвесей из промышленных сточных вод находит применение фильтрация через сетки с ячейками различных размеров, вплоть до 20 мк в диаметре. В Англии изучалось Гарвудом (Harwood, 1953) применение сульфата алюминия для очистки от взвесей сточных вод, некоторых видов промышленности (табл. 52).

ТАБЛИЦА 51
Содержание взвешенных веществ, богатых органическим веществом, в некоторых видах производств

Виды производств	Количество взвеси, в мг/л	% органического вещества в среднем
Картофелекрахмальное	2500—13000	70
Кожевенное	1300—2500	50
Консервирование овощей и фруктов	1200—3000	—
Молочное	750	—
Мясокомбинаты	600—950	55
Дрожжевое	500—2000	—

ТАБЛИЦА 52
Удаление взвеси путем осаждения сульфатом алюминия с последующим отстаиванием

Стоки промышленности	Дога, в мг/л	Другие добавочные реагенты	Содержание взвешенных веществ, в мг/л	
			исходная вода	очищенная вода
Бумажной	40	Алюминат натрия	200	8
Кожевенной	300	—	7880	24
Красильной	200	—	260	8
Шерстомойки	800	Серная кислота	1200	46
Шахтные воды	150	Известь	3000	20

Применение сравнительно дешевого технического продукта, содержащего небольшую примесь солей железа, оказалось весьма эффективным способом удаления основной массы взвешенных веществ.

В бытовых сточных водах удаляется путем отстаивания 40—75% взвешенных веществ, при помощи химического осаждения от 70 до 90%, методами биологической очистки с предшествующим отстаиванием удаляется до 80—95% взвешенных веществ.

На некоторых крупных очистных сооружениях Англии, обрабатывающих бытовые сточные воды с примесью значительного количества промыш-

ленных стоков, были получены следующие результаты (табл. 53).

Очистные станции обслуживают население в несколько сот тысяч человек каждая, промышленные стоки составляют 10—50% общего объема стоков в сухую погоду. На первых трех станциях вода очищается с применением активного ила. В Брадфорде, где велика примесь промышленных вод от мытья шерсти, вода предварительно подкисляется для выделения ланолина и других продуктов.

На сооружениях по очистке сточных вод г. Москвы снижение содержания взвешенных веществ происходило следующим образом.

Количество взвесей в исходной сточной жидкости составляло на очистных сооружениях в Люблине 224 мг/л, в Курьянове — 223, после первичных отстойников — 164 и 133, после полной биологической очистки — 17.4 и 12.9 мг/л. В среднем снижение содержания взвешенных веществ происходило на 93% от исходного количества взвесей (Попова, Болотина, 1963).

П р е в р а щ е н и е в з в е ш е н н ы х в е щ е с т в в в о д о е м е

При попадании взвешенных веществ в водоем происходит их распределение в зависимости от ряда факторов, среди которых наибольшее значение имеют удельный вес вещества или точнее его удельная поверхность, скорость течения воды, вязкость, значительно меняющаяся в зависимости от температуры, и некоторые другие факторы. В стоячей воде скорость падения частиц определяется обычно по формуле Стокса, установленной на основании изучения поведения в воде частиц определенного размера, веса и формы. Формула Стокса имеет следующий вид:

$$V = \frac{2}{9} g r^2 \cdot \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\eta} ,$$

где V — скорость падения, в см/сек.; g — ускорение силы тяжести; r — радиус частицы; σ_1 — плотность падающих частиц; σ_2 — плотность среды; η — вязкость среды.

Для почвенных частиц, удельный вес которых равняется 2.6 (для минеральной фракции) при диаметре в 100 мк и температуре 15°, скорость падения составит 8.1 мм/сек., при 25° — уже 10.3 мм/сек., для частиц диаметром в 1 мк соответственно — 0.0008 и 0.001 мм/сек.

Замедление скорости падения частиц при уменьшении их размеров видно из табл. 54.

Для того чтобы пройти путь в 30 см, частице размером в 0.05 мм потребуется 140 сек., частица в 10 раз меньшего диаметра пройдет этот путь приблизительно за 4 часа, а в 100 раз меньшего диаметра — почти за 16 суток.

Необходимо иметь в виду, что радиус частиц, соответствующий скоростям падения по уравнению Стокса, есть «средний эффективный радиус» (Sven Oden, 1925), т. е. радиус идеальной сферы, из материала той же плотности, что и исследуемые частицы. Таким образом, более точно следует говорить не о диаметрах частиц, а о их гидравлическом значении, т. е. о скорости падения частиц.

В «Правилах охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами» (1961), действующих в СССР, запрещены к спуску в проточные водоемы взвеси со скоростью падения более 0.4 мм/сек., в водохранилища — со скоростью 0.2 мм/сек. По Стоксу, частицам с указанной скоростью падения соответствуют частицы диаметром 0.02 и 0.016 мм (Астапов, 1928).

Указанные значения относятся к минеральным частицам с удельным весом около 2.6. Органические вещества, имеющие значительно меньший удельный вес, даже в неподвижной воде падают значительно медленнее. Удельный вес целлюлозы 1.36, жиры имеют плотность меньшую, чем вода, живые планктонные организмы, содержащие большое количество воды, имеют удельный вес, близкий к единице. Таким образом, падение под влиянием силы тяжести веществ органического состава в водной среде происходит весьма замедленно. Вполне понятно, что путем отстаивания из городских сточных вод можно удалить не более $\frac{1}{3}$ органических веществ. Выпадение их происходит за счет того, что органические вещества обычно образуют более или менее прочные агрегаты с минеральным веществом. Это относится также ко многим ингредиентам промышленных сточных вод, в частности, нефтепродуктам. В оседании последних на дно имеет значение не только возрастание удельного веса в силу обеднения легкими фракциями под влиянием испарения и других процессов, но и прилипание минеральных частиц и другие факторы (Ноак, 1959).

В донных отложениях, образующихся на крупных водохранилищах канала им. Москвы, не получающих загрязнения со сточными водами, содержание органического вещества обычно не превышает 10—12%.

В силу падения твердых частиц в водоемах происходит образование донных отложений. При значительной скорости потока 0.5—0.6 м/сек. образование донных отложений вблизи места впадения стока не происходит. На этом основано предложение о возможности сброса в водоемы сточных вод без очистки при достаточной мощности реки и значительной скорости течения.

Загрязнение водоемов взвешенными веществами сказывается на изменении физических свойств воды. В первую очередь снижается светопрозрачность. Между содержанием взвешенных веществ и оптическими свойствами воды, ее прозрачностью и мутностью, существует определенная зависимость. По изменению светопоглощаемости с известным приближением можно судить о содержании взвешенных в воде веществ. На Рублевской станции московского водопровода разработан прием определения количества взвесей по определению прозрачности методом креста или с при-

ТАБЛИЦА 54
Скорость падения частиц в зависимости от их размера

Диаметр частиц, в мм	Скорость падения частиц, в мм/сек.
0.05	2.04
0.01	0.085
0.005	0.0214
0.001	0.00086
0.0005	0.00021
0.0002	0.000034

менением фотоэлемента (Вайнштейн, 1937). Приближенное представление о соотношении между прозрачностью (по Снеллену) и содержанием взвешенных веществ в водоеме дает график, составленный на основании определений в прудах с большим содержанием почвенной взвеси (Драчев и др., 1953). Значение содержания взвесей для жизни водоема освещено в работах Эллиса (Ellis, 1936) и В. И. Жадина (1946).

С санитарной точки зрения весьма важное значение имеют взвеси, находящиеся в хозяйственно-фекальных сточных водах и некоторых промышленных стоках, богатых органическим веществом. Менее вредны минеральные взвеси, но при сбросе большого количества минеральной взвеси может происходить резкое нарушение режима водоема и ухудшение качества воды.

Содержание взвешенных веществ в водоемах — один из гидробиологических факторов большого значения. Влияние минеральных взвешенных веществ на рыб позволило установить зависимость между длительностью выживания рыб и концентрацией суспензии (Herbert a. Merkons, 1961).

Ярко выраженным примером губительного действия минеральных взвесей может служить р. Медведка — маломощный приток р. Москвы с расходом воды 0.3—0.4 м³/сек. В реку сбрасываются без очистки сточные воды фосфоритового рудника с содержанием взвешенных веществ 58.6—86.6 г/л; взвесь представляет собой породу, промываемую для выделения фосфоритов. Вблизи места впадения стока вода реки содержит 2490 мг/л взвешенных веществ, на расстоянии 16 км от места впадения стока содержание взвешенных веществ снижается до 96 мг/л. Несмотря на минеральный характер взвеси и отсутствие каких-либо токсических соединений, река на протяжении 7 км имеет безжизненный вид: погибла прибрежная растительность, кустарники и даже деревья. Лишь к устью реки появляется фито- и зоопланктон, свойственный незагрязненному участку реки (Черкинский, 1938).

Имеются указания на значительное ухудшение состояния реки при сбросе загрязненных вод, образующихся при гидровскрышных работах в Кузнецком угольном бассейне.

Большое количество взвеси попадает в реки при намыве гидравлическим способом плотин. Так, при строительстве гидроузла выше г. Можайска р. Москва на значительном протяжении приобрела красновато-желтый цвет, стала мутной. В пробах воды, взятых ниже плотины, содержание взвешенных веществ составляло сотни миллиграммов в 1 л.

Большое количество взвешенных веществ органического состава может попадать в реки при гидромеханической добыче торфа. Взвешенные и растворенные в воде органические вещества снижают прозрачность воды и увеличивают цветность. Примером загрязнения рек сбросами вод от гидромеханической добычи торфа может служить безымянный ручей, впадающий в р. Клязьму ниже г. Павлова Посада. В устье притока реки образовались отложения в несколько тысяч кубических метров в виде топкой массы.

Огромное количество взвешенных веществ минерального состава засоряет водоемы при попадании в них вод гидрозолаудаления. Золой полностью заполнен один из заливов Шатовского водохранилища, отмель образовалась в открытой части водоема. Отложения взвешенных веществ в водоемах наиболее наглядно обнаруживаются в непосредственной близости от места впадения стоков, но более тонкодисперсные частицы, несмотря на значительный удельный вес ($d = 2.4—2.7$), могут перевозиться на большие расстояния. В период строительства плотины на р. Дюш у станции Цимлянкой в 1951 г. отмечено значительное понижение прозрачности воды в районе водозабора Шахтинского водопровода, расположен-

ного в 165 км ниже плотины. Показатели прозрачности воды (2.0—19.0 см по диску) были в 2—4 раза ниже отмеченных в годы перед строительством плотины (Фердинанд, 1957).

В некоторых сточных водах взвешенные вещества содержат вредные соединения. Это относится к сточным водам, образующимся при обработке руд цветных металлов и других ископаемых, содержащих вещества активные в биологическом отношении. Хорошо изучен случай длительного воздействия на водоемы отходов свинцовых рудников в Англии (Carpenter, 1925; Laurie, Jones, 1938). Рудники были закрыты в конце прошлого столетия, но отвалы породы, содержащие некоторое количество руды, служили источником повышения свинца в местных водоемах в течение долгого времени. На протяжении двух десятков лет в водоемах содержалось 0.2—0.3 мг/л свинца, в дальнейшем содержание его упало до 0.02 мг/л. Присутствие свинца оказало значительное воздействие на обитателей водоема: уменьшилось количество видов и число организмов. Наиболее чувствительными оказались рыбы, исчезнувшие в водоеме при содержании в нем свинца в количестве 0.3 мг/л.

Неоднократно указывалось на возможность перехода вредных соединений из донных отложений в воду. При восстановительных процессах, создающихся под влиянием анаэробных условий, могут образоваться такие ядовитые соединения, как мышьяковистый водород (Драчев, 1933). Имеются данные о переходе из донных отложений в толщу воды и на поверхность нефтепродуктов (Ворошилова, Дпанова, 1950), радиоактивных веществ (Марей, 1958).

Органическое вещество. Условия для вторичного загрязнения водоема создаются при осаждении на дно взвесей, богатых органическими соединениями. Особенно это заметно на водоемах замедленного стока — озерах, прудах, водохранилищах, где взвешенные вещества откладываются в непосредственной близости от места выпуска сточных вод. Фактор разбавления, на котором во многих случаях основываются правила сброса сточных вод, в данном случае теряет свое значение.

У выпуска сточных вод Кондопожского целлюлозно-бумажного комбината, расположенного на берегу Онежского озера, куда в прежние годы приставали суда с большой осадкой, в настоящее время образовалась отмель площадью 700×200 м². Вдоль берега озера донные отложения распространились на 1—1.5 км. Анаэробные процессы брожения, происходящие в толще массивных донных отложений, создают условия для весьма значительного загрязнения. Над донными отложениями у места выпуска сточных жидкостей озерная вода оказывается значительно более загрязненной, чем сами стоки. Величина окисляемости достигала 978 мг/л, что в 1.8 раза превышало содержание органического вещества в стоках; величина БПК в озере была в 1.6 раза выше, чем в сточной воде. Примерно та же картина наблюдалась на Ладожском озере у места выпуска сточных вод Питияракского сульфат-целлюлозного завода (Драчев и др., 1959). Образование донных отложений ниже сброса сточных вод бумажно-целлюлозных предприятий имеет место при сбросе не только в озера, но и в реки. Так, на р. Сухоне за зимний период оседает на дно ежедневно около 11 т органического вещества.

Накопление большого количества донных отложений происходит при сбросе сточных вод кожевенного завода в озеро Селигер. Образование донных отложений происходит в небольшом заливе, расположенном в 500 м к юго-востоку от места выпуска сточных вод. В этой части озера, носящей вполне оправданное название Грязевца, вода имеет темный цвет, резкий запах, на поверхности плавают куски мездры, клочки шерсти. В Грязевце и прилегающих частях озера наблюдается бактериальное загрязнение, число сапрофитов достигает 7.8 млн в 1 мл, в 5 раз больше,

чем в сточных водах. Вследствие нагона сточных вод и выпадения в заливе значительного количества легко загнивающих взвешенных веществ залив является самым загрязненным местом в озере Селигер и служит постоянным источником загрязнения прилегающих частей водоема.

Некоторые виды промышленных стоков содержат небольшое количество взвешенных веществ. Так, сточные воды маргаритовых заводов содержат 21—79 мг/л взвеси, сернокислотные заводы — 5.6—32.4 мг/л. Но, по-видимому, почти все производственные процессы сопровождаются увеличением содержания взвешенных веществ в стоках, если не в виде суспензий, то в коллоидальном состоянии. В водах охлаждения, прошедших конденсаторы тепловой электростанции, наблюдается изменение люминесцентных свойств, соответствующее повышению содержания нефтепродуктов порядка нескольких десятых долей миллиграмма в 1 мл (Драчев и др., 1961).

О способе расчета допустимого к сбросу количества взвешенных веществ в сточных водах. В действующих «Правилах охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами» (1961) установлено, что содержание взвешенных веществ не должно увеличиваться больше чем на 0.25 мг/л у пунктов питьевого водопользования и не более чем на 0.75 мг/л у пунктов культурно-бытового водопользования. Количество взвешенных веществ, допустимое к сбросу со сточными водами, должно исчисляться исходя из разбавления сточных вод в реке. Не останавливаясь в данном случае на обоснованности расчета на полноту смешения взвешенных веществ в речном потоке, а тем более в озере, следует указать на различные толкования приведенного положения.

В работе Г. Л. Зак (1960), предназначенной для проектировщиков и санитарных врачей, количество взвешенных веществ, допустимое к сбросу со сточными водами (b), предлагается рассчитывать по следующей формуле:

$$b = a + c \left(\frac{Q + 1}{q} \right), \quad (1)$$

где a — количество взвешенных веществ в воде реки, в мг/л; c — допущенное правилами увеличение взвеси в водоеме, в мг/л; Q — расчетный расход воды в реке; q — расход сточных вод.

Формула эта выведена из основной формулы:

$$\frac{Qa + qb}{Q + q} = a + c. \quad (2)$$

где обозначения те же, что в предыдущей формуле.

В соответствии с указанной формулой составлены номограммы для облегчения расчетов.

Аналогичная формула рекомендуется для расчетов в недавно вышедшем учебнике «Канализация» (1960).

В «Методических указаниях...» по спуску сточных вод (1948) для расчетов предлагается другая формула:

$$b = \frac{Q}{q} \cdot c, \quad (3)$$

где обозначения те же, что в первой формуле. Нетрудно видеть весьма существенную разницу между первым и вторым способами расчета.

При расчетах по первой формуле учитывается то обстоятельство, что количество взвешенных веществ в сточных водах, соответствующее содержанию взвесей в воде реки, не может сказаться на повышении их содержания в 1 л речной воды. Эта предпосылка создает неограниченные возможности сброса в реки средней и высокой мутности сточных вод (с мут-

ностью 50—500 мг/л). В эту категорию входят бытовые сточные воды, поскольку содержание в них взвесей обычно не превышает 500 мг/л. К рекам средней и повышенной мутности относятся реки на обширных пространствах лесостепной и степной части СССР (Шамов, 1956).

При расчете по формуле (1) подразумевается, что взвесь в реке и сточных водах равноценна в смысле воздействия на качество воды, с чем, конечно, нельзя согласиться. Авторы, рекомендуя производить расчет допустимого количества взвесей в сточной воде по формуле (3), исходя из соотношения расходов в реке и в стоке, по существу, более правы (Несмеянов, Черкинский, 1948), хотя их предложение может показаться несоответствующим точной формулировке правил.

Расхождения по расчету между двумя формулами будут тем выше, чем больше мутность реки.

Например, при сбросе 0.5 м³/сек. сточных вод в реку, используемую для культурно-бытовых надобностей, с расходом 35 м³/сек. при различной мутности воды в реке: 5, 50 или 200 мг/л, допустимая концентрация взвешенных веществ в сточных водах (x_1 , x_2 , x_3) составит соответственно при расчете по формуле (1):

$$x_1 = 5 + 0.75 \left(\frac{33}{0.5} + 1 \right) = 59.2 \text{ мг/л,}$$

$$x_2 = 50 + 0.75 \left(\frac{35}{0.5} + 1 \right) = 104.2 \text{ мг/л,}$$

$$x_3 = 200 + 0.75 \left(\frac{35}{0.5} + 1 \right) = 254.2 \text{ мг/л.}$$

При расчете по формуле (3) во всех случаях допустимое к сбросу количество взвешенных веществ составит 54.2 мг/л. С точки зрения действенной охраны водоемов следует руководствоваться именно этой формулой.

ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА И ИХ ПРЕВРАЩЕНИЯ

Состав и количество органического вещества в сточных водах весьма разнообразны и обычно отличаются большой сложностью. В хозяйственно-фекальных водах концентрация органического вещества определяется расходом воды на одного жителя и теми примесями, которые вносятся с промышленными стоками, спускаемыми в городские канализации. В промышленных сточных водах состав и количество органического вещества определяются характером исходного сырья и технологическим процессом. В состав стоков могут входить многочисленные и разнообразные продукты органического синтеза, нередко обладающие своеобразными и специфическими по действию на организм свойствами.

Количество органического вещества с известной степенью приближения может быть выражено потерей при прокаливании сухого остатка нефльтрованной сточной жидкости. Наиболее обычной формой выражения содержания органического вещества служит величина БПК. Органические вещества хозяйственно-бытовых сточных вод почти полностью окисляются в течение 20 суток. Указанная величина в применении к бытовым водам носит название полной биохимической потребности в кислороде. Обычно определение проводят в течение пяти суток (БПК₅). По данной величине для бытовых вод легко может быть рассчитана величина БПК. Для большинства промышленных сточных вод определение БПК требует значительно более длительных сроков и носит условный характер, так как зависит от особенностей химического состава органического вещества и присутствия соединений, необходимых для развития бактерий. Тем не менее потребность органического вещества сточных промышленных вод

в кислороде является одним из основных характерных признаков. В американской литературе сравнение промышленных сточных вод производится по «эквиваленту населения». Полное БПК на одного жителя принимается в 112 г, отсюда может быть вычислен «эквивалент населения» на 1 т того или иного вида промышленной продукции. На этой основе может быть вычислено суммарное количество бытовых и промышленных загрязнений, поступающих на очистные сооружения или в реку.

В связи с трудностью определения БПК особенно в промышленных стоках применяют химический способ определения с сильными окислителями — двуххромовокислым калием, йодатом калия, бромом. Применяя вещества с высоким окислительным потенциалом в кислой среде при высокой температуре, можно произвести полное окисление органического вещества, определить химическую потребность в кислороде (ХПК). Обычное определение окисляемости сточных вод с применением перманганата калия имеет условное значение, так как при этом происходит частичное окисление органического вещества. Лишь строгое соблюдение деталей методики определения придает ценность этому определению, позволяя его сравнивать с огромным количеством ранее накопленных данных.

Из-за трудоемкости и сложности определений почти не находит применения при изучении органического вещества сточных вод элементарный анализ с определением органического углерода, азота, серы, фосфора, хотя в данное время сделаны некоторые успехи в разработке более доступных методов (Крылова, 1957).

Городские сточные воды

В состав органического вещества хозяйственно-фекальных сточных вод входят три основных группы органических веществ — углеводы, белки, жиры. Как указано в табл. 50, около 2/3 органического вещества находится во взвешенном состоянии. В состав осаждающихся веществ входят на 60.9% вещества, теряющиеся при прокаливании, что приблизительно отвечает содержанию органических веществ. Состав органической части осаждающихся веществ следующий: протеин — 31.8, жиры и мыла — 41.4, клетчатка — 17.7, гуматы — 6.6%.

В группу протеинов входят вещества с высоким молекулярным весом порядка 15 000—18 000. Значительная часть органического азота бытовых сточных вод принадлежит к белковым соединениям микробных тел. По подсчетам С. Н. Строганова и К. К. Королькова (1934), в 1 л сточной жидкости содержится около 70 мг сухого вещества бактериальных тел, общее количество азота в них (6—8 мг) примерно отвечает содержанию органического азота.

Молекула протеина из-за размеров непосредственно недоступна для бактерий и, прежде чем быть усвоенной, подвергается гидролитическому расщеплению под влиянием энзимов, выделяемых бактериями. При этом образуются аминокислоты и их амиды, сперва более сложного характера, в дальнейшем расщепляющиеся до более простых, типа аланина ($\text{CH}_3 \cdot \text{CH} \cdot \text{NH}_2 \cdot \text{COOH}$), легко усвояемых микроорганизмами. Конечным продуктом распада белковых соединений является минеральный азот в форме аммонийного иона.

Белковые соединения находятся в различной степени дисперсности, как это было показано в работе Геукелекиана и Болмата (Heukelekian и Bolmat, 1959). Авторы исследовали нерастворенную часть бытовых сточных вод, разделив ее на три фракции по размерам: коллоидальную, надколлоидальную размерами от 0.1 до 1 мк в диаметре и оседающую размерами более 1 мк. Потеря от прокаливания была наибольшей в надколлоидальной фракции — 83, коллоидальной — 81 и несколько ниже в оседае-

мой — 78%; во фракции растворенных веществ потеря от прокаливания составила всего 20%. Для изучения азотсодержащих органических веществ произведен кислотный гидролиз с последующим определением отдельных аминокислот методами бумажной хроматографии и спектрофотометрическим. Общее содержание аминокислот составляло в отдельных фракциях от 65 до 81% от общего количества азотсодержащих веществ. Наибольшим было содержание аминокислот в надколлоидальной фракции, где оно достигло 35% от сухого остатка, в двух других фракциях — около 17%.

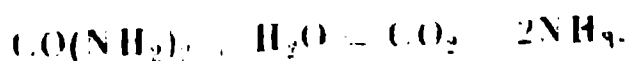
Учеными Индии (Subrahmanvam и др., 1960) состав аминокислот изучался в сухих остатках сточных вод, осадках, образовавшихся при коагуляции алюминием, осадках в септиках, активном иле. Были найдены и определены следующие аминокислоты: цистин, лизин, гистидин, аргинин, серин, глицин, аланин, пролин, тирозин, фенилаланин, лейцин; обнаружены были аспарагиновая и глютаминовая кислоты. В сточной жидкости аминокислоты исчезали полностью после 4 часов аэрации, в реке наблюдалось постепенное исчезновение в процессе естественного самоочищения. Изменение состава азотсодержащих органических веществ и, в частности, аминокислот в процессе естественного самоочищения водоемов, возможно, связанное с изменением видового состава сапрофитной микрофлоры, до настоящего времени не изучено.

В составе сточных жидкостей изучались по преимуществу аминокислоты, образующиеся при кислотном гидролизе белковых веществ; в естественных условиях распад сложной молекулы происходит при помощи ферментов — протеаз, выделяемых бактериями. Имеются указания, что не все группы сапрофитных бактерий обладают свойством расщеплять сложную молекулу белка, так, например, этим свойством не обладает кишечная палочка.

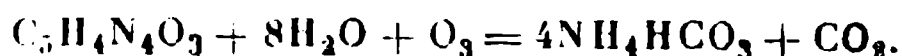
В процессе кислотного гидролиза таких стойких соединений, как гуминовые вещества, образуются те же разнообразные группы моно- и диаминокислот и их амиды, как и при гидролизе сточных жидкостей (Драчев, 1927). Таким образом, некоторая часть продуктов распада может быть образована за счет гуматов, как указано выше, присутствующих в органической части осаждающихся веществ.

Продукты расщепления сложных высокомолекулярных соединений используются микроорганизмами частично как энергетический материал, частично — для построения микробных тел. Продукты внутриклеточного обмена выделяются микроорганизмами во внешнюю среду; среди последних большое значение имеют восстановленные соединения: аммоний, сероводород, органические сульфиды, в том числе дурнопахнущие, как меркаптан. В аэробных условиях продукты распада при участии бактерий подвергаются дальнейшему превращению.

Весьма существенное значение имеют процессы превращения аммонийного азота. Последний образуется в большом количестве как конечный продукт превращений азотсодержащих органических соединений. Кроме сложных органических соединений типа белков, в хозяйственно-бытовых сточных водах источником аммонийного азота служат азот, содержащийся в моче (мочевине, мочевой и гиппуровой кислотах). В моче человека 2.4% мочевины, 0.04% мочевой кислоты ($C_4H_6N_4O_6$) и 0.1% гиппуровой кислоты ($C_{10}H_8N_4O_6$). В виде указанных соединений выделяется большая часть азотсодержащих продуктов обмена в организме человека. Мочевина в канализационной жидкости подвергается распаду под влиянием энзима уреазы, выделяемой особой группой бактерий — уробактериями, широко распространенными в природе. Распад — деамидирование мочевины — идет по схеме:



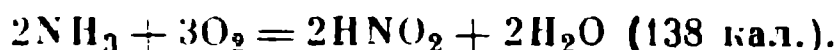
Распад мочевины происходит, по-видимому, внеклеточно. Гиппуровая кислота, как и мочева, служит источником азота и углерода для бактерий. Разложение мочево́й кислоты представлено на схеме:



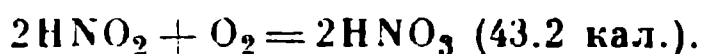
Гиппуровая кислота распадается с образованием гликоля и бензойной кислоты по схеме:



В аэробных условиях аммонийные соединения подвергаются дальнейшим превращениям, окислению в нитриты и нитраты. Окисление аммонийных соединений производится бактериями, хотя некоторое количество окисленных соединений азота может образоваться под влиянием солнечной радиации, как можно судить по искусственному облучению ультрафиолетовой частью спектра (Драчев, Митягина, 1957). Практически в условиях водной среды окисление происходит специфическими организмами нитрозомонас (*Nitrosomonas*) для первой стадии:



Дальнейшее окисление производит другой вид — нитробактер, реакция идет по схеме:



Названные микроорганизмы принадлежат к группе автотрофных, усваивающих углерод из воздуха и создающих органическое вещество из минеральных соединений. Источником энергии служит при этом окисление аммонийных солей; количество калорий, выделяющееся на каждой стадии, приведено в представленных выше уравнениях в скобках. Процесс нитрификации имеет существенное значение в процессах самоочищения в реках и на сооружениях для очистки сточных вод, так как при окислении аммонийного азота расходуются значительные количества кислорода. На окисление 1 мг аммонийного азота до нитритов расходуется 3.43 мг кислорода, при окислении до нитратов — 4.57 мг. Если на хорошо работающих сооружениях по очистке сточных вод происходит окисление аммонийного азота до нитратов, то водоемы, куда поступают сточные воды, получают значительный запас кислорода в связанной форме. Связанный в виде нитратов кислород при наступлении в силу тех или иных причин анаэробных условий может расходоваться на окисление некоторых органических соединений. При этом происходит окисление органического углерода и образование азота:

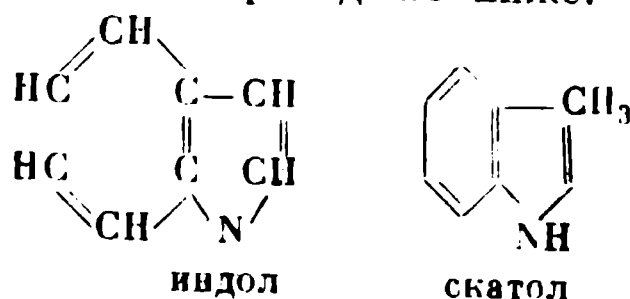


Процессы нитрификации и денитрификации широко распространены в природе, образование большого количества нитратов имеет место при превращении органического вещества в почвах. Особенно много нитратов образуется на удобренных навозом полях в периоды отсутствия на них растительности (после вспашки паровых полей, взмета зяби). Обогащенные нитратами грунтовые воды поступают в водоемы, что служит причиной повышения содержания последних в речной воде. Явление это особенно заметно в зимний период, когда повышается роль грунтового питания и нет потребления нитратов водной растительностью.

Процессы превращения азота, подобно всем биологическим процессам, находятся под влиянием температурных условий. По наблюдениям Н. А. Базякиной (1925), скорость нитрификации при температуре 9—26° мало меняется, ниже 9° снижается, при 6° резко падает, а при температурах, близких к нулю, процесс этот вовсе не идет. В условиях природных водоемов последнее наблюдение не подтверждается, так как появле-

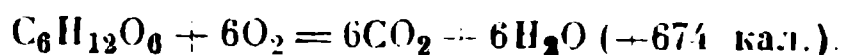
ние значительных количеств нитратов отмечается в водохранилищах именно в зимний период. Явление это не может быть отнесено за счет поступления окисленного азота с грунтовыми водами, так как роль последних в питании водохранилища совершенно незначительна.

В хозяйственно-фекальных сточных водах, помимо указанных выше азотсодержащих соединений, имеются некоторые циклические соединения, содержащие азот. К таковым относятся индол и скатол, обуславливающие неприятный запах свежих сточных вод. Соединения эти относятся к конденсированным гетероциклическим соединениям. Структурные формулы индола, или по современной терминологии бензопиррола, и его метилпроизводного метилиндола приведены ниже:

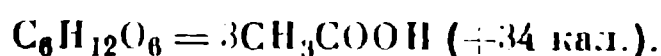


Углеводов в сточной жидкости городов содержится меньше, чем жиров и белков. В детальных исследованиях Геукелекиана и Бальмата (Heukelikian a. Balmat, 1959) в 1 л сточной жидкости было найдено 28.6 мг углеводов, в основном в оседающей фракции. В составе этой группы выделены и определены пектин, гемицеллюлозы, целлюлоза, лигнин. Наибольшее количество лигнина содержалось в надколлоидальной и коллоидальной фракциях, целлюлозы — в оседающей, общее содержание пектина было невелико.

Углеводы используются микроорганизмами в процессе дыхания и брожения значительно быстрее, чем белковые соединения, в особенности это относится к простым сахарам типа глюкозы ($C_6H_{12}O_6$). Сложные соединения типа лигноцеллюлозы сперва расщепляются на более простые соединения; образовавшиеся сахара используются микроорганизмами. При окислении образуется большое количество энергии:



При анаэробном распаде выделяется значительно меньше энергии:



Образование уксусной кислоты, являющееся одним из распространенных в природе видов брожения, дает почти в 20 раз меньший калорический эффект, чем дыхание ($674 : 34$). Еще меньший выход энергии дает спиртовое и метановое брожение. Последний вид брожения имеет место при образовании анаэробных условий в донных отложениях, образовавшихся при сбросе неочищенных сточных вод. Образование продуктов брожения типа метана вызывает снижение растворений кислорода при последующем окислении восстановленных продуктов брожения. Некоторая часть сложных углеводов не подвергается полному распаду в процессе биологической очистки сточных вод, а переходит в более сложные соединения.

В нерастворимой части хозяйственно-фекальных сточных вод содержание жиров превышает количество белков и углеводов. Под понятием жиры подразумеваются вещества, растворимые в эфире; сюда относятся животные и растительные жиры, мыла, нефтепродукты, воска. Общее количество жиров, поступающих в канализацию городов США, составляет 20 г на человека в сутки. В отстойниках часть жиров всплывает, часть оседает на дно. По данным С. Н. Строганова и К. К. Королькова (1934), в 1933 г. в отстойниках собирали 0.23 г жиров на одного жителя. В условиях нормального пищевого режима следует ожидать около 1 г в сутки.

Жировые вещества в осадке в 1928 г. составляли 24.8% от веса сухого остатка.

По данным Геуколекяна и Бальмата (Heukelekian a. Balmat, 1959), в хозяйственно-фекальной жидкости общее количество жиров составляло 45.3 мг/л, почти равномерно распределенных между коллоидальной, надколлоидальной и осаждающейся фракциями. Сухой остаток коллоидальной фракции состоял по преимуществу (на 51.5%) из жиров, в надколлоидальной и осаждающейся фракциях части жира составляли 24 и 19%. Наиболее заметную группу во всех трех фракциях представляют насыщенные глицериды жирных кислот, особенно много их в коллоидальной фракции. Насыщенные и ненасыщенные свободные жирные кислоты и фосфолипиды присутствовали в небольшом количестве. В состав фракции жиров могут входить стерины — вторичные предельные или ненасыщенные жиры, хорошо растворимые в органических растворителях, в частности, копростерин, впервые выделенный из кала.

Вещества, растворимые в эфире, подвергаются воздействию микроорганизмов, скорость их распада зависит от химического состава. Механизм распада под влиянием микробиологических агентов довольно хорошо изучен как в лабораторных, так и в природных условиях (Селибер, 1926; Таусон, 1947).

Жиры обычно расщепляются на глицериды и жирные кислоты, последние претерпевают дальнейшее превращение, образуя кислоты, менее сложные по составу, некоторые из них обладают неприятным прогорклым запахом, как например валериановая.

Постоянным компонентом хозяйственно-бытовых сточных вод являются мыла. Последние представляют собой соли оснований и высших жирных кислот. Наиболее широкое применение имеют щелочные соли высокомолекулярных жирных кислот, например пальмитат калия $C_{15}H_{31}COOK$. При взаимодействии с солями кальция, обычно присутствующими в воде, образуются нерастворимые соли пальмитата кальция. В этом виде мыла переходят в осадок. Некоторые мыла, например олеат кальция, стеарат железа, сравнительно трудно растворяются в эфире, которым обычно экстрагируются жиры, но легко растворимы в хлороформе.

О р г а н и ч е с к и е в е щ е с т в а п р о м ы ш л е н н о г о п р о и с х о ж д е н и я

В хозяйственно-бытовых сточных водах обычно встречается некоторое количество нефтепродуктов, поступающих из промышленных предприятий, сбрасывающих сточные воды в городскую канализацию. С промышленными стоками могут поступать на очистные сооружения и в водоемы многие тысячи органических соединений. Так, характерным и легко обнаруживаемым ингредиентом сточных вод московской канализации являются красящие вещества, поступающие с анилокрасочных заводов, с текстильных предприятий и производств, где применяется окраска кожи, бумаги, чернил.

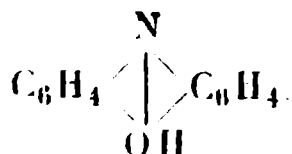
Краски обычно содержат характерные группы — нитро- NO_2 , азо- $N-N-$, карбонил- CO , придающие молекуле окраску, и вспомогательные группы, способствующие растворимости краски и связи ее с нитями ткани, сюда входят группы сернистой кислоты SO_2H , карбоксил- $COOH$, аминно- NH_2 , диметиламино- $N(CH_3)_2$, гидроксил- OH .

В последнее время входят в употребление в быту и промышленности детергенты — моющие вещества различного химического состава. Присутствие этих веществ оказывает большое влияние на свойства сточной воды, в частности, на способность к пенообразованию. Активность некоторых видов детергентов и их стойкость в процессе очистки сточных вод

и в дальнейшем в водоемах привлекают большое внимание к этому типу соединений.

Общим для всех органических веществ свойством является способность снижать содержание кислорода в процессе биохимического окисления. Некоторые органические вещества в очень небольших количествах способны изменять органолептические свойства воды, сообщать запахи и привкусы. В некоторых случаях свойство это усиливается при хлорировании воды.

Некоторые органические вещества оказывают отравляющее влияние на водные организмы и, в частности, на рыб. К таковым относятся таниды, смолистые вещества. По сводке Клейна (Klein, 1957a), фенолы вызывают гибель рыб в концентрации от 1 до 10 мг/л, органические основания, встречающиеся в стоках коксовых заводов, вызывают гибель рыб: пиридин C_5H_5N при концентрации 1 г/л, более ядовит акридин



проявляющий ядовитое действие уже при концентрации 0.7—1.0 мг/л. Сравнительно менее ядовиты нафталин $C_{10}H_8$, встречающийся в сточных водах коксовых заводов (вызывает отравление рыб при концентрации 10—20 мг/л), формалин $HCHO$, служащий исходным сырьем для производства пластмасс (ядовитое действие его проявляется при 50 мг/л).

Весьма ядовитым для рыб веществом оказывается меркаптан, в частности метилмеркаптан, встречающийся в сточных водах производства целлюлозы и нефтеочистительных заводов: гибель рыбы отмечалась при концентрации 1 мг/л в течение 2—6 часов.

Ядовитыми для рыб оказались гербициды и инсектициды — специфические вещества, применяемые для борьбы с сорной растительностью и вредными насекомыми. Для борьбы и уничтожения древесной растительности, в частности, при подготовке ложа водохранилищ (Волгоградского и др.) применялись арборициды. Из них 2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота оказывает вредное действие на рыб при концентрации выше 500—1500 мг/л. Значительно более ядовит пентахлорофенат натрия, применяемый для борьбы с сорной растительностью: вредное действие его проявлялось уже при концентрации 0.2 мг/л. Изучение этого соединения (Можаев, Вертебная, 1962) показало, что весьма неприятным свойством промышленного продукта являются некоторые примеси, придающие воде запах. Вредное действие на теплокровных животных проявляется при значительно больших дозах.

Чрезвычайно токсическими для рыб свойствами обладают инсектициды, в том числе такой распространенный, как ДДТ, применяемый для борьбы с мухами на сооружениях по очистке сточных вод и москитами (>0.1 мг/л). Весьма токсичны для рыб органические фосфорсодержащие соединения — тетраэтилфосфат и $O : O$ — диэтил O — p — нитрофенилтиофосфат, проявляющие ядовитое действие на рыб в концентрациях 0.2—0.25 мг/л.

Наибольшей токсичностью обладают гексахлорциклогексан, вредное действие которого отмечено при концентрации 0.035 мг/л, и хлорпропаный камфен (токсафен), один из наиболее ядовитых инсектицидов, оказывающий вредное действие на рыб при концентрации приблизительно 0.005 мг/л. Гибель большого количества рыб была отмечена в водоемах (Оклахома (Ward, 1953) после обработки хлопковых полей токсафеном и алдрином, последний также обладает токсическими свойствами.

Влияние токсических веществ на теплокровных животных и человека изучено значительно менее, чем на водные организмы. В послевоенные годы проведено изучение влияния многих веществ на организм теплокров-

ных животных с применением различных методов токсикологии и физиологии (Черкинский, 1954, 1960; Stokinger, Woodward, 1958). «Правила охраны водоемов от загрязнения сточными водами» (1961) устанавливают предельно допустимые концентрации по санитарно-токсикологическому признаку для 8 органических соединений (табл. 55).

ТАБЛИЦА 55

Органические соединения, содержание которых нормируется по санитарно-токсикологическому признаку

Соединения	Химический состав	Сточные воды производств	Допущенное содержание, в мг/л	Литература
Бензол.	C_6H_6	Химических, красильных, взрывчатых веществ. . . .	0.5	Гурфейн, Павлова, 1960
Гексоген (тринитроциклотриметилен-триамин).	$C_3H_6N_6O_6$	Взрывчатых веществ.	0.1	Елизарова, Замыслова, 1959а
Гексохлорбензол.	C_6Cl_6	Красителей, электрооборудования, инсектофунгисидов. .	0.05	Гурфейн, Павлова, 1960
Нитрохлорбензол.	$C_6H_4NO_2Cl$	Применяется как растворитель	0.05	Гурфейн, Павлова, 1960
Нитрил акриловой кислоты.	CH_2CH-CN	Синтез пластмасс, красителей, лекарств	2.0	Забезинская и др., 1960
Пиридин.	C_5H_5N	Красителей, кокса .	0.2	Зяббарова, 1960
Урсол Д (парафенилендиамин).	$C_6H_4(NH_2)_2$	Антиокрасочная, меховая	0.1	Жаков, 1960
Формалин (формальдегид).	CH_2O	Пластмасс, красителей, лекарств . .	0.5	Назаренко, 1960

В группе металлоорганических соединений весьма ядовитыми свойствами обладает тетраэтилсвинец $Pb(C_2H_5)_4$, в технической литературе часто сокращенно обозначаемый ТЭС. Небольшие добавки «этиловой жидкости» значительно улучшают качество бензина, поэтому ТЭС широко применяется в качестве добавки к моторному топливу. ТЭС является ядом, избирательно действующим на центральную нервную систему. Опыты с теплокровными животными (Грушко, 1955; Елизарова, Замыслова, 1959б) установили изменения в организме при воздействии сотых долей микрограмма на килограмм веса животного. В силу высокой токсичности и кумулятивных свойств попадание ТЭС в водоемы признается недопустимым. Необходима практически полная очистка и разрушение ТЭС в производственных сточных водах; концентрация последнего не должна превышать 0.1 мг/л с последующим разбавлением в водоеме не менее чем в 1000 раз.

Некоторые органические соединения, содержащиеся в сточных водах, представляют собой ценность, и извлечение их может быть оправдано с экономической точки зрения. Из хозяйственно-фекальных вод могут быть извлечены и использованы жиры, всплывающие при отстае. Органическое вещество осадков, выпадающих при отстае сточной жидкости бытовой канализации, используется для получения метана, образующегося при анаэробном брожении осадка.

Из производственных сточных вод нефтеперерабатывающих заводов извлекается значительное количество всплывающей в ловушках нефти, вновь поступающей в производственный процесс.

Значительное количество бумажной массы при производстве бумаги может быть задержано и возвращено на производство благодаря применению сеток или флотации. Положительный результат дало применение гуминовой кислоты для осаждения бумажной массы из производственных вод (Scholz, 1953). Сульфитные щелока, содержащие большое количество органических загрязнений, могут быть ликвидированы путем выпаривания и сжигания с получением каустической соды. Органическая часть таких производственных сточных вод может быть использована для получения кормовых дрожжей и спирта.

Весьма значительно содержание органических веществ в сточных водах от первичной обработки шерсти: по данным Е. А. Кулакова (1959), на 1 т мытой шерсти в среднем поступает в воду 203 кг жира, 53 кг жирных кислот, БПК составляет 226 кг, за 20 суток — 325 кг.

В сточной жидкости от промывок шерсти количество взвешенных веществ в основном органического состава исчисляется в 3.5—7.0, плотный остаток — в 55—64, при содержании минеральных веществ — 19—22, жира — 12.9—15.3 г/л. Значительное количество жира в шерсти (ланолина) позволяет извлекать и утилизировать ценные продукты. Такого рода извлечение ценных продуктов из смеси производственных и хозяйственно-фекальных сточных вод имеет место в Брадфорде (Англия), где в производственном масштабе получается ланолин и другие продукты, частично идущие на экспорт.

Непосредственная биологическая очистка шерстомойных сточных вод как аэробным, так и анаэробным путем затруднительна. Опыт совместной очистки шерстомойных и городских сточных вод на Кожуховской станции аэрации (Москва) показал, что возможны значительные осложнения в работе очистных сооружений. В частности, на аэротенках и метантенках появлялось огромное количество пены, сильно затруднявшее их эксплуатацию (Демина, Шмульян, 1959). Очистка шерстомойных вод совместно с городскими сточными водами не вызывала затруднений в тех случаях, когда количество мытой шерсти составляло 200—250 кг на 1000 м³ сточной жидкости. При этом интенсивность аэрации в аэротенках не должна превышать 10—11 м³ на 1 м² поверхности тенка в час. При более интенсивной аэрации образование пены создает затруднения. Большие осложнения в работе Кожуховской аэростанции создавались при содержании жировых веществ 130 мг/л; по зарубежным данным, норма содержания жировых веществ в сточной жидкости составляет 1 г/л.

При сбросе сточных вод шерстомойных фабрик необходимо снизить предварительно до минимума содержание шерсти и жировых веществ, представляющих собой значительную ценность. Опыт работы очистных сооружений в Брадфорде показывает, что технически возможно извлечение ценных продуктов даже из смеси городских и производственных вод шерстомойки.

БИОХИМИЧЕСКОЕ ПОТРЕБЛЕНИЕ КИСЛОРОДА

Процессы окисления в природных водоемах являются основными, определяющими пути распада органического вещества в повышающих содержание окисленных минеральных соединений. Общее окислительное направление процессов минерализации органического вещества даже в природных незагрязненных водоемах не исключает одновременно идущих восстановительных процессов. Восстановительным является сложный процесс фотосинтеза, протекающий в растительных организмах,

населяющих водоемы. Несмотря на крупный масштаб фотосинтеза, в природных водоемах преобладают процессы окисления, связанные с потреблением кислорода. В связи с этим даже в чистых реках обычно нет полного насыщения воды кислородом.

В загрязненных водоемах наиболее существенной химической реакцией является окисление органического вещества, связанное с потреблением растворенного в воде кислорода. Количество кислорода, необходимое для окисления содержащихся в воде восстановительных соединений, является весьма важной величиной, характеризующей состояние водоема. Величина БПК служит одним из основных измерителей количества загрязнений, поступающих в водоемы с хозяйственно-бытовыми и многими видами промышленных сточных вод. Предположение о необходимости наличия кислорода для нормального хода процессов самоочищения высказано еще до того, как было установлено, что в основе превращения органического вещества лежат биохимические внутриклеточные процессы. В начале текущего столетия определение БПК было предложено как величина для измерения загрязнений, вносимых со сточными водами. В данное время БПК в речной воде служит одним из показателей состояния водоема и пригодности его в качестве источника водоснабжения. Величина БПК служит основным критерием для сравнения хозяйственно-бытовых сточных вод с промышленными сточными водами. Принимая БПК₅ на одного человека в сутки равным 54 г и зная эту величину на единицу промышленного продукта, рассчитывают эквивалент числа жителей для разных видов промышленности (Imhoff, 1956). Данные табл. 56 позволяют приблизительно рассчитывать в сравнимых единицах количество загрязнений, поступающих в реку с городскими и промышленными сточными водами.

ТАБЛИЦА 56

Эквивалент населения для разных видов промышленности по величине БПК₅

Вид промышленности	Единица измерения	Эквивалент населения
Сахарные заводы	1 т свеклы.	120—400
Пивные заводы	1000 л пива.	300—1200
Спиртовые заводы	1000 л зерна.	1500—2000
Крахмальное производство	1 т кукурузы.	800—1000
Кожевенное производство	1 т кожи.	1000—4000
Шерстемойня	1 т шерсти.	2000—5000
Бельевое отделение	1 т товара.	250—350
Серпистое крашение	1 г товара.	2000—3500
Сульфит-целлюлозное производство	1 т целлюлозы.	4000—6000
Бумажная фабрика	1 т бумаги.	100—300
Производство искусственной шерсти	1 т искусственной шерсти.	500—700

Окислительно-восстановительные процессы

Сложные химические и биохимические превращения органического вещества в водоеме протекают в основном с изменением валентности реагирующих элементов, т. е. относятся к типу окислительно-восстановительных реакций. В незагрязненных водоемах превращения органического вещества в водной среде направлены в основном к окислению — потере электронов; по мере загрязнения водоемов, особенно в долинах отложениях, начинают преобладать реакции восстановления, связанные с присоединением электронов. Измерение окислительно-восстановительного потен-

циала, отражающего суммарное воздействие концентрации окислителей и восстановителей в водной среде, по существу, должно быть показателем санитарного состояния водоема. Но до настоящего времени это определение не нашло применения при исследовании степени загрязнения водоемов. Основной причиной этого являются аналитические трудности в получении устойчивых и воспроизводимых величин. Практически определение окислительно-восстановительного (редоксидного — Eh) потенциала нашло применение для определения стабильности воды с метиленовой синькой. В восстановительных условиях, когда величина окислительно-восстановительного потенциала выражается отрицательной величиной порядка -0.040 мв, раствор индикатора становится бесцветным. При положительном значении редоксидного потенциала порядка $+0.062$ мв метиленовая синька почти полностью (98%) переходит в окисленную окрашенную форму.

Высокий положительный Eh порядка от $+200$ до $+600$ мв характерен для окислительных условий на очистных сооружениях аэротенков с активным илом. При анаэробном сбраживании осадков Eh характеризуется величинами порядка от -100 до -200 мв (Hood, 1949).

Отрицательные значения редоксидного потенциала создаются в донных отложениях, богатых органическим веществом, при замедленном течении в придонных слоях воды, находящихся под непосредственным воздействием восстановительных процессов.

Связь восстановительных процессов с высоким содержанием органического вещества была хорошо показана в опытах С. М. Драчева, Т. К. Карельской, Е. С. Брук (1939). При изучении влияния затопленных почв на водоем были залиты водой образцы с различным содержанием органического вещества: богатая органическим веществом торфянистая почва, гуминовый слой оподзоленной почвы и не содержащий органического вещества подпочвенный слой суглинка. Через определенные сроки производились анализы воды, которые показали резкое снижение содержания кислорода, обогащение растворенным органическим веществом, железом и марганцем в сосуде с торфянистой почвой. Те же процессы более замедленно шли в сосуде с гуминовым слоем оподзоленной почвы. Почти полное отсутствие изменений было установлено в сосуде с подпочвенным образцом, практически не содержащим органического вещества.

Одновременно проводились определения окислительно-восстановительного потенциала, для чего были использованы платиновые электроды, впаянные в притертую стеклянную крышку сосуда. Результаты опытов приведены в табл. 57.

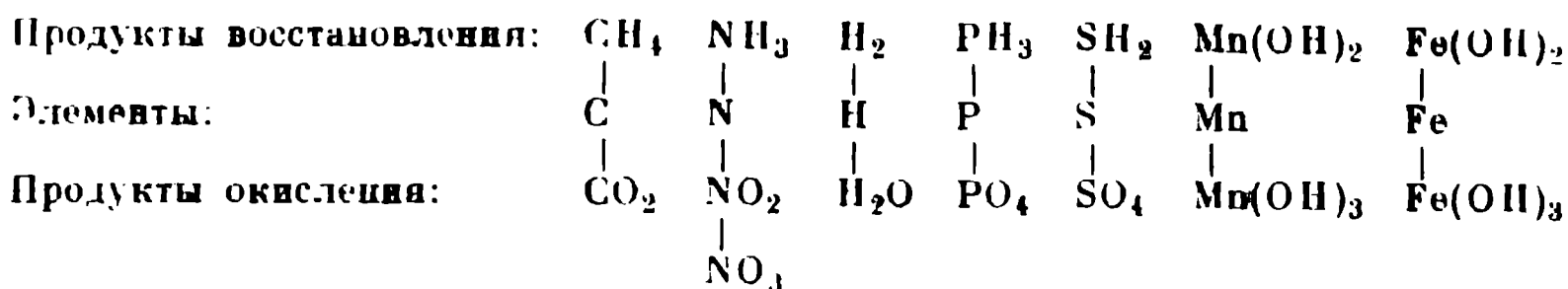
ТАБЛИЦА 57

Окислительно-восстановительный потенциал и качество воды в зависимости от содержания органического вещества

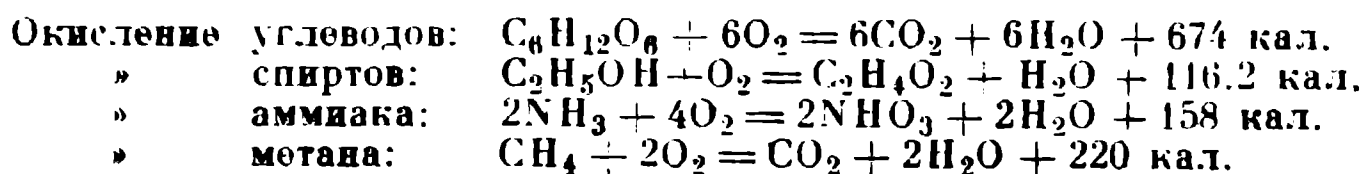
Образцы почв	Еh, приведенный к водородному электроду, в мв		Содержание O_2 в мг/л	Цветность, в град.	Обесцвечиваемость O_2 в мг/л	Fe в мг/л
	поверхность	у дна				
Подпочва, 0 0% гумуса . .	353	357	8.2	3	2.0	0.0
Гуминовый слой, 20% гумуса	246	411	2.0	30	5.1	2.9
Торфянистый	16.7	-67.0	0.0	250	53.0	10.0

Данные хорошо отражают связь редоксидного потенциала с кислородным режимом и многообразными изменениями качества воды. В природных условиях в процессах самоочищения кислород является элементом,

присоединяющим к себе электроны от веществ, которые он окисляет. Богаты кислородом конечные продукты окисления органического вещества и элементов, превращения которых тесно связаны с судьбой, формами и запасами органического вещества в водоеме и донных отложениях. Кислород отсутствует вовсе или присутствует в меньших количествах в продуктах восстановления, как это видно из следующей схемы:



Разложение органического вещества биохимическим путем в аэробных условиях может рассматриваться как процесс дыхания микроорганизмов, связанный с использованием химической энергии, освобождающейся в ходе реакции. Такого рода энергия освобождается при окислении восстановленных органических и минеральных соединений. Примерами такого рода реакций могут быть следующие:



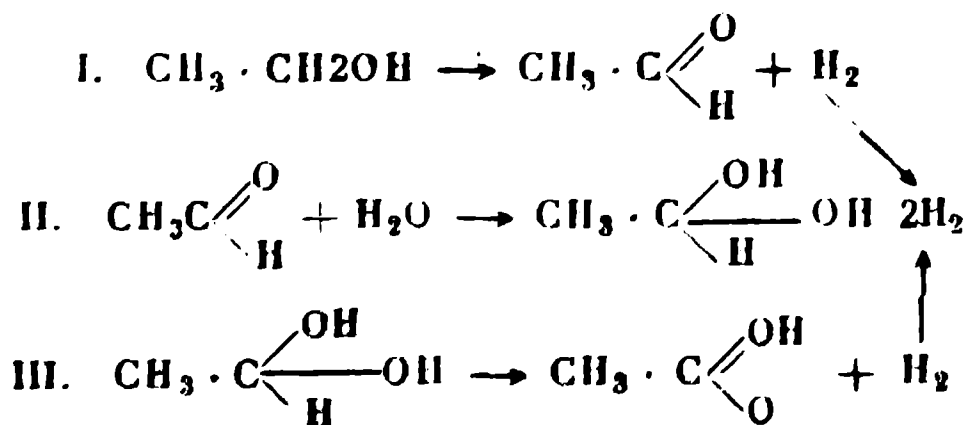
Часть энергии, освобождаемой в процессе дыхания, затрачивается на синтетические процессы, связанные с построением тела микроорганизмов. Таким образом, минерализация органического вещества связана с образованием некоторого количества новых органических соединений, но количество последних относительно невелико.

Процессы окисления органических соединений весьма сложны: первым этапом во многих случаях является энзиматическая деятельность, происходящая большей частью вне тела организмов. Дальнейшие этапы превращения органических соединений связаны с образованием промежуточных продуктов, используемых непосредственно организмом или выделяемых во внешнюю среду.

В частности, продукты обмена могут использоваться в качестве защиты, путем выделения веществ, оказывающих неблагоприятное действие на конкурирующие организмы. Поверхность многих растительных организмов является стерильной, что в условиях водоема представляется необычным, так как микроорганизмы сосредотачиваются на любой поверхности твердого тела (Разумов, 1948).

Сложность процесса окисления даже простых органических соединений видна из схемы окисления спирта до уксусной кислоты. При этом сначала кислородом отнимается водород; затем уксусный альдегид, соединяясь с водой, образует гидратное соединение, из которого вновь акцептором отнимается водород и образуется уксусная кислота.

Схематически реакция проходит следующим образом:



Образовавшийся водород поглощается акцептором. При этом используется примерно треть энергии (117 кал.), могущей образоваться при полном окислении спирта до угольной кислоты (325 кал.). По мнению Н. Н. Худякова (1926), этот тип дыхания, неэкономный в энергетическом отношении, является хорошим орудием борьбы с окружающими микроорганизмами, которые не переносят кислой среды, создаваемой уксусной кислотой.

В условиях загрязненного водоема одновременно протекают многие процессы, значительно более сложные, чем на приведенной схеме. В сточных водах подвергается изменениям большое количество соединений жирного и ароматического ряда, циклических соединений, большое количество азотсодержащих органических соединений, от белковых молекул до многочисленных продуктов распада, включая моно-, диаминокислоты, амиды. Присутствуют и проходят последовательные стадии распада жиры, липиды, воска, углеводороды, смолы.

Все разнообразие процессов в конечном итоге может быть сведено к биохимическому окислению, включающему цепь окислительно-восстановительных реакций. Разнообразные органические соединения при этом теряют электрон, акцептором которого является молекулярный кислород. Изучение закономерностей хода окислительного процесса связано с решением многих практических задач очистки сточных вод и охраны водоемов от загрязнения. В связи с этим проведено множество исследований, главным образом в лабораторных условиях, по изучению закономерностей процесса окисления разнообразных органических веществ. Наиболее детально изучено аэробное окисление органических веществ хозяйственно-фекальных сточных вод. На основе этого рода исследований разработаны основные представления о закономерностях распада органического вещества в водной среде в аэробных условиях. Увеличивающийся сброс в водоемы промышленных сточных вод привлек внимание к изучению биохимического окисления органических соединений производственных сточных вод (Базякина, Столярова, 1956; Калабина и др., 1958). В работе Геукелекиана и Ренда (Heukelekian a. Rand, 1955) сведены многочисленные данные по биохимическому окислению органических кислот и их солей, спиртов, альдегидов, кетонов и хинонов, углеводов, эфиров, гетероциклических соединений, углеводородов, продуктов их хлорирования и нитрования, простых и сложных фенолов. Меньшее место в сводке занимают исследования по определению биохимической потребности протеина, аминокислот и продуктов их распада. В последнее время много внимания уделяется изучению биохимического окисления искусственных моющих веществ — детергентов (Мансу, Okun, 1963; О'Сонног, 1963).

В отношении азотсодержащих органических соединений изучено влияние нитрификации на величину биохимического потребления кислорода и способы устранения ошибки, вносимой процессом окисления аммонийных солей (Gaffney a. Heukelekian, 1958).

Подвергнут изучению процесс разложения органического вещества отмершего планктона как смешанного, так и отдельных видов (Скоинцев, 1947). Установлено, что распад нестойкой части органического вещества биомассы планктона происходит сравнительно быстро, в сроки, сопоставимые с ходом разложения органического вещества бытовых сточных вод. Стойкая же часть, составляющая 20—30% от общего содержания органического вещества планктона, продолжает распадаться весьма замедленно. При обильном размножении фитопланктона, которое имеет место в водоемах замедленного стока, величина БПК может достигать высоких значений даже в практически чистых водоемах. Так, в водохранилищах канала им. Москвы в первые годы их образования в летнее

время величина БПК₅ в пробах, взятых из поверхностного слоя, нередко составляла 3—5 мг/л, а в отдельных случаях поднималась до 14 мг/л (Драчев, 1956).

Изучение процесса окисления органического вещества почвенных частиц (Драчев, Митягина, 1939) показало, что в них содержится некоторое количество легко разлагающегося органического вещества, которое окисляется в водной среде довольно быстрыми темпами, в особенности если почва предварительно подверглась высушиванию до воздушно-сухого состояния.

С п о с о б ы о п р е д е л е н и я б и о х и м и ч е с к о г о п о т р е б л е н и я к и с л о р о д а

При контрольных анализах городских сточных вод обычно проводят определение БПК в отстоянной сточной жидкости. Для определения берут от 1 до 5% сточной воды и разводят водой с минимальным содержанием веществ, потребляющих кислород (Анализ городских сточных вод, 1945).

Метод разбавления является наиболее распространенным, но при высоком потреблении кислорода сточной жидкостью этот способ становится недостаточным. В этих случаях прибегают к прямому методу, при котором манометрическим путем определяют убыль кислорода в замкнутом сосуде, куда помещена сточная жидкость. Образующаяся в процессе биохимического окисления углекислота при этом поглощается щелочью (Несмеянов, 1951; Standart Methods. . . , 1955).

В качестве источника кислорода при определении БПК могут быть добавлены нитраты, кислород которых используется для окисления органического вещества. По разности между содержанием нитратного азота в начале и в конце определения можно судить о количестве кислорода, пошедшего на окисление органического вещества.

Значительные затруднения создаются при содержании в сточной воде соединений, токсических в отношении сапрофитной микрофлоры. Как показали исследования О. П. Опариной (1949), содержание ничтожных количеств меди и хрома влияет на процесс окисления органического вещества. Малые концентрации металлов Cu (0.001—0.005 мг/л) оказывают стимулирующее влияние на потребление кислорода: десятые доли миллиграмма меди в литре задерживают потребление кислорода.

Влияние ядовитых веществ падает с увеличением концентрации органического вещества. По данным О. П. Опариной (1949), при окисляемости разбавленной сточной воды в 3—5 мг/л задержка БПК происходила при дозе меди 0.1 мг/л. При окисляемости 80 мг/л для этого требовалось 3—5 мг/л меди и при окисляемости 165 мг/л задержка БПК отмечена при содержании от 20 до 30 мг/л меди. Присутствие меди и других токсических веществ не только задерживает ход окисления, но и снижает общую потребность в кислороде, при дозе меди 5 мг/л полное БПК снижалось примерно на 30%. В воде, прошедшей полную очистку, содержание органического азота снизилось в отсутствие меди на 86%, в присутствии меди — на 59% по сравнению с исходной величиной. Еще более значительно было снижение йодатной окисляемости (Дэйдзио, 1938). В отсутствие меди снижение содержания органических веществ составило 78%, в присутствии меди — всего 47%. Таким образом, определение истинной величины БПК составляет трудную задачу.

В речной воде и сточных водах, прошедших полную очистку, значительные затруднения представляют разделение потребления кислорода на окисление органического вещества и окисление минерального азота до нитритов и нитратов. При обычном способе определения величина

БПК характеризует количество потребляемого кислорода, независимо от характера процессов. При санитарной оценке важно знать, потребляется ли кислород на окисление органического вещества или происходит траты. Предложено несколько аналитических приемов для устранения влияния процесса нитрификации на величину биохимического окисления. Для сточных вод, прошедших очистку, предложена фильтрация через пермутит для удаления аммонийного катиона. В числе других приемов рекомендуется подкисление до pH 3.0 с последующей нейтрализацией и заражением отстойной свежей сточной жидкостью, не содержащей нитрифицирующих бактерий. Деятельность нитрифицирующих бактерий может быть подавлена, по указанию Эббота (Abbott, 1948), путем прибавления метиленовой сини.

О. В. Митягиной было подтверждено, что подавление нитрификации может быть достигнуто путем пастеризации пробы сточной жидкости.

Величины, полученные при определении БПК, могут претендовать на реальное значение только в том случае, если при разбавлении убыль кислорода в склянке за срок наблюдений была не менее 3 мг/л и остаточное содержание кислорода — не менее 2 мг/л. При несоблюдении этих условий данные становятся ненадежными. Ошибка особенно возрастает при больших разбавлениях. В некоторых работах это правило не выдерживается, что ведет к получению неправильных данных и к ошибочным выводам.

При учете нагрузки промышленными сточными водами на водоем и очистные сооружения необходимо считаться с полной потребностью в кислороде на основе определения химической потребности в кислороде (ХПК). Для этого применяются сильные окислители, как йодат калия, двуххромовокислый калий и др. Разработаны методы сухого сжигания для определения органического углерода (Крылова, 1957). Для расчетов потребления отдельными соединениями могут быть использованы обширные аналитические материалы (Heukelekian a. Rand, 1955), в которых полученные данные выражаются в граммах потребления кислорода на 1 г вещества.

Окисление органического вещества промышленных сточных вод во многих случаях идет отлично от типичного хода окисления органического вещества хозяйственно-бытовых сточных вод. На рис. 26, составленном на основании данных, приведенных в работе М. М. Калабиной и др. (1958), даны кривые окисления органического вещества сточных вод от производства ацетона и капролактама. БПК₅ в сточных водах от производства ацетона составляет 86% от полной потребности; в сточных водах от производства капролактама в первые 5 суток процесс окисления вовсе не развивался.

При окислении отдельных соединений и некоторых промышленных сточных вод необходимо развитие специфической микрофлоры, прибавление которой может значительно ускорить процесс.

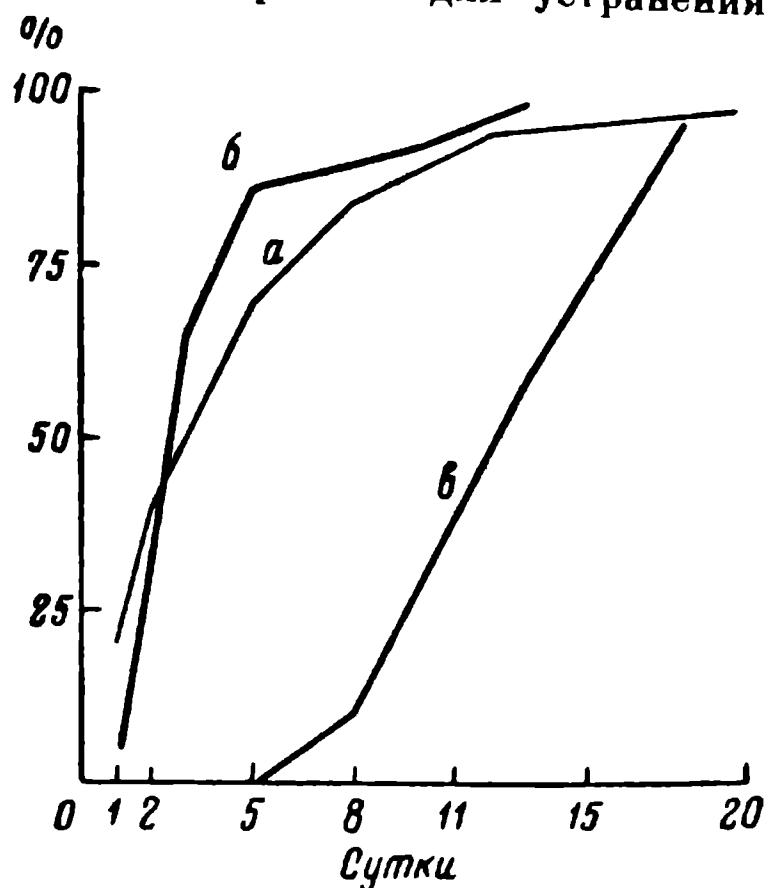


Рис. 26. Ход потребления кислорода в сточной воде.

а — бытовой; б — от производства ацетона; в — от производства капролактама.

Математическое выражение скорости биохимического потребления кислорода

Окисление органического вещества, различного по составу и происхождению, в водной среде идет с убывающей скоростью. Изучение скорости окисления органического вещества хозяйственно-бытовых сточных вод указало на аналогию этого процесса с ходом химических мономолекулярных реакций. Многочисленные (свыше 2600) наблюдения над соотношением между реакцией восстановления метиленовой сини и относительной стабильностью сточной жидкости позволили Фелпсу (Phelps, 1944) вычислить ход окисления органического вещества в процентах от общего его количества, способного к окислению. Развитие этих исследований позволило сформулировать общее положение о том, что скорость биохимического окисления органического вещества пропорциональна количеству остающегося неокисленного органического вещества, выраженному в окисляемости. Под последним термином понимается полное БПК (Streeter a. oth., 1925).

В соответствии с законом мономолекулярных реакций идут многие сложные превращения органических соединений. По Гортнеру, распад мальтозы на две молекулы глюкозы, идущий с участием энзимов, выражается уравнением:

$$V = \frac{dx}{dt} = K(a - x),$$

где V — скорость реакции за время t ; x — количество вещества, которое уже образовалось за время t ; K — константа; a — начальное количество вещества.

В гибкую формулу показательного уравнения укладываются многие явления, имеющие весьма отдаленное отношение к мономолекулярным реакциям и химическим процессам вообще.

В применении к окислению органического вещества хозяйственно-бытовых сточных вод Стритер и др. (Streeter a. oth., 1925) предложили следующее выражение в дифференциальной форме:

$$\frac{dL}{dt} = KL.$$

После интегрирования и перехода к десятичным логарифмам выражение принимает форму

$$\frac{Lt}{L} = 10^{-nt},$$

где Lt — величина БПК в пробе по истечении времени t (для измерения может быть взят любой промежуток времени, обычно принимаются сутки); L — величина БПК в начале реакции. Началом реакции считается момент фиксации кислорода при постановке опыта для определения БПК.

Величина константы k имеет различное цифровое выражение. В качестве выражения нормальной скорости процесса окисления органического вещества сточных вод принимается величина 0.1. Для сточных вод г. Москвы были получены значительно большие величины порядка 0.2—0.3 (Строганов, Корольков, 1934). Донные отложения, образовавшиеся при спуске в реки бытовых сточных вод, окисляются со скоростью, соответствующей величине констант 0.01—0.05 в зависимости от возраста осадков. Большие колебания в ходе потребления кислорода дают промышленные стоки (Базякина, 1954).

Ряд наблюдений над ходом потребления кислорода при распаде фитопланктона, в основном состоящего из синезеленых водорослей, показал, что скорость процесса отвечает величине константы в пределах 0.05—0.10 (Скопинцев, 1938; Драчев, 1941). Практически с такой же скоростью идет разложение азотистых органических соединений отмершего планктона (Скопинцев, 1947).

Для гумифицировавшихся отложений процесс окисления идет со скоростью, определяемой константой 0.001 и даже менее.

Зная величину константы, можно определить полное БПК на основе определения за 5 суток, а также вычислить эту величину за любой срок. При величине константы в одну десятую 99% нестойкого органического вещества переходит в минеральные соединения за 20 суток. Довольно часто процесс этот обозначают как стабилизацию органического вещества. В действительности стабилизуется, т. е. переходит в стойкие гумусоподобные соединения, лишь весьма небольшая часть легко разлагающихся органических соединений. Таким образом, более подходящие термины — «разложение» или «минерализация» органического вещества.

При обычно принимаемой скорости распада органического вещества хозяйственно-бытовых сточных вод 0.1 половина кислорода, потребного для окисления органического вещества, расходуется в течение трех суток.

По аналогии с распадом радиоактивных веществ для обозначения этого времени применяют термин «период распада».

Время, потребное для окисления половины органического вещества, — период распада — при $k=0.1$ может быть вычислено следующим образом:

$$\lg \frac{Lt}{L} = \lg 0.50 = 1.699 = -0.301 = -kt;$$

$$t = \frac{0.3}{k}.$$

Величина суточного потребления кислорода при данной скорости распада ($k=0.1$) составит 20.4% от количества органического вещества к началу суток.

Ход окисления органического вещества при различных значениях константы приведен в табл. 58 и на рис. 27. Определив величину БПК за некоторый срок и зная константу окисления, по таблице можно установить, какая часть органического вещества окислена за данный срок, рассчитать полную БПК и срок, необходимый для полного окисления.

Если БПК₅, по данным определения, составило 4.2 мг/л при $k=0.1$, то, как видно из таблицы, в этот период времени окислилось 68% органического вещества, следовательно, полная БПК составит:

$$\frac{4.2 \cdot 99}{68} = 6.1 \text{ мг.}$$

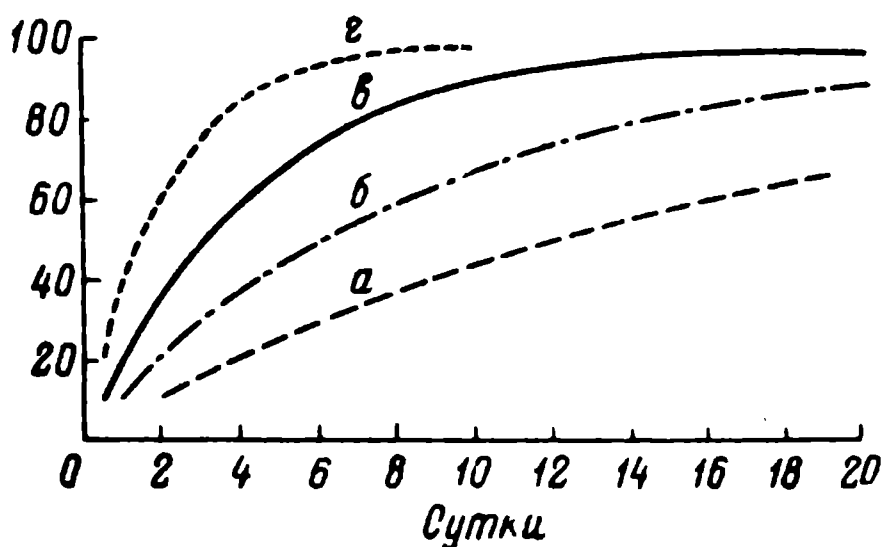


Рис. 27. Ход потребления кислорода при разном значении константы.

а — 0.025; б — 0.05; в — 0.10; г — 0.20. По оси ординат — количество окисленного вещества, в %

При $k = 0.02$ за 5 суток, как видно из таблицы, окислится 21 % органического вещества, следовательно, БПК за срок 100 дней потребует кислорода:

$$\frac{4.2 \cdot 99}{21} = 19.8 \text{ мг.}$$

Для определения величины k потребления кислорода предложено несколько способов, в основе которых лежит определение БПК в несколько

ТАБЛИЦА 36

Ход окисления органического вещества при различных значениях константы скорости окисления (k)

Количество окисленного вещества, в %, от исходного	Время в сутках при k							
	0.4	0.3	0.2	0.1	0.05	0.04	0.02	0.01
11	0.13	0.17	0.25	0.5	1	1.3	2.5	5
21	0.25	0.33	0.50	1.0	2	2.5	5.0	10
30	0.38	0.5	0.75	1.5	3	3.8	7.5	15
37	0.50	0.66	1.0	2.0	4	5	10	20
44	0.63	0.80	1.3	2.5	5	6.3	12.5	25
50	0.75	1.0	1.5	3	6	7.5	15	30
60	1.0	1.3	2.0	4	8	10	20	40
68	1.25	1.7	2.5	5	10	12.5	25	50
75	1.5	2.0	3.0	6	12	15	30	60
80	1.75	2.3	3.5	7	14	17.5	35	70
84	2.0	2.7	4.0	8	16	20	40	80
87	2.25	3.0	4.5	9	18	22.5	45	90
90	2.5	3.3	5.0	10	20	25	50	100
92	2.75	3.7	5.5	11	22	28	55	110
94	3.0	4.0	6.0	12	24	30	60	120
95	3.25	4.3	6.5	13	26	33	65	130
96	3.5	4.7	7.0	14	28	35	70	140
97	4.0	5.3	8.0	16	32	40	80	160
98	4.5	6.0	9.0	18	36	45	90	180
99	5.0	6.7	10.0	20	40	50	100	200

последовательных дней. К таковым относятся метод наименьших квадратов, предложенный Ридом и Терно (Reed, Theriault, 1931), предложения Фера (Fair, 1936), Томаса (Thomas, 1937), Мура и др. (Moore, Thomas, Snow, 1950). Предложения эти рассмотрены С. А. Несмеяновым (1948).

Наиболее простым способом является расчет по данным определения БПК в два последовательных срока, кратных друг другу (Базякина, 1933). Расчет производился по формуле:

$$k = \frac{1}{t} \lg \frac{L}{L_2 - L_1},$$

где L_1 — БПК за t дней; L_2 — БПК за $2t$ дней.

Вычислив величину константы скорости окисления, можно рассчитать полную БПК по формуле:

$$L = \frac{Lt}{(1 - 10)^{-kt}}.$$

где L — полное БПК; Lt — потребление за время t ; k — вычисленная константа потребления кислорода.

Одним из основных факторов санитарного состояния водоемов является температура, влияющая как на скорость окисления органического вещества, так и на интенсивность поступления кислорода из воздуха. Пределы температуры, в которых возможна микробная жизнь, довольно широки: для многих весьма распространенных бактерий оптимум развития лежит около 20°. Понижение температуры ниже оптимума обычно сказывается на функциях микроорганизмов менее резко, чем повышение. С известным приближением и в сравнительно узком интервале температур интенсивность развития следует правилу Ван-Гоффа об удвоении скорости химических реакций при повышении температуры на 10°.

Многочисленные определения влияния температуры на скорость биохимического окисления органического вещества бытовых сточных вод показали, что в данном случае приложима формула:

$$\frac{k_1}{k_2} = \Theta^{(T_1 - T_2)},$$

где k_1 и k_2 — постоянные скорости окисления при температурах t_1 и t_2 соответственно; Θ — температурный коэффициент.

Величина температурного коэффициента в пределах от 9 до 30°, по Стритеру и др. (Streeter a. oth., 1925), равна 1.047, по исследованиям Мура (цит. по: Phelps, 1944), в пределах от 5 до 20° наиболее подходит величина 1.065 и для интервала температур между 0.5 и 5° — коэффициент 1.145. Таким образом, константа Θ сама по себе есть функция температуры, но внутри определенных пределов практически постоянная. Как видно, особенно велико значение повышения температур в пределах, близких к нулю. Повышение температуры на 1° в этом интервале означает повышение потребления кислорода на 14.5% в соответствии с коэффициентом Мура. При более высоких температурах, согласно данным Стритера, повышение на 1° увеличивает скорость реакции на 4.7%.

Если принять скорость окисления органического вещества сточных вод при 20° за единицу, то относительные значения этой величины для других температур будут:

10°	12°	14°	16°	18°	20°	22°	24°	26°	28°
0.60	0.68	0.76	0.84	0.92	1.0	1.10	1.20	1.29	1.38

Количество органического вещества, доступного окислению биохимическим путем, изменяется в зависимости от температуры. По данным Терио (Theriault, 1927), в пределах около 20° повышение температуры на 1° увеличивает полную БПК приблизительно на 2%.

Номограмма, построенная Г. Л. Зак (1960) для определения полной БПК, позволяет без вычислений найти указанную величину по БПК₅. Для этого необходимо знать величину константы. Номограмма построена следующим образом (рис. 28). На оси абсцисс отложены в пределах от 1 до 1200 мг/л величины БПК₅. На оси ординат отложены величины полного БПК от 2.5 до 2 000 мг/л. Наклонными прямыми показаны константы скорости потребления кислорода в пределах от 0.01 до 0.4. От точки на оси абсцисс, соответствующей величине БПК₅, восстанавливают перпендикуляр до пересечения с наклонной линией, соответствующей величине константы, от точки пересечения проводят горизонтальную линию до оси ординат. Точка пересечения соответствует полной БПК.

Зная величину константы скорости окисления для данного отрезка реки, можно по величине БПК в вышележащем пункте рассчитать величину БПК в нижележащем пункте, если известен срок перемещения водной массы от верхнего пункта к нижнему. Расчет может быть сделан на основе формулы. Работа значительно облегчается при использовании составленной Г. Л. Зак (1960) номограммы, приведенной на рис. 29.

По приведенному пояснению номограмма построена следующим образом. На оси абсцисс отложено время перемещения водной массы от пункта А до Б в пределах от 0.02 до 22.5 суток, константы скорости потребления кислорода от 0.04 до 0.4 нанесены кривыми, имеющими наклон слева направо. Значения БПК в начальной точке А в пределах от 2 до 4000 мг/л нанесены прямыми, поднимающимися слева направо. Числовые значения БПК в нижнем пункте Б нанесены на верхней горизонтали. Здесь же дан пример расчета, в котором время перемещения массы воды принято в 14.1 суток, константа потребления кислорода принята равной 0.04 и БПК в верхнем пункте А — равной 5.0 мг/л. От точки на оси абсцисс, соответствующей расстоянию в 14.1 суток, восстанавливается перпендикуляр до пересечения с кривой, соответствующей константе окисления 0.04.

Из точки пересечения проводится горизонталь до пересечения с наклонной линией, отвечающей значению БПК в 5 мг в вышерасположенном пункте А. Из последней точки пересечения восстанавливается перпенди-

куляр до верхней горизонтали, где нанесены значения БПК в ниже-расположенном пункте Б. Как видно, в данном случае величина БПК составит 1.3 мг/л.

Пользование формулами и номограммами дает лишь приближенное представление о ходе процессов. В приведенном примере не принято во

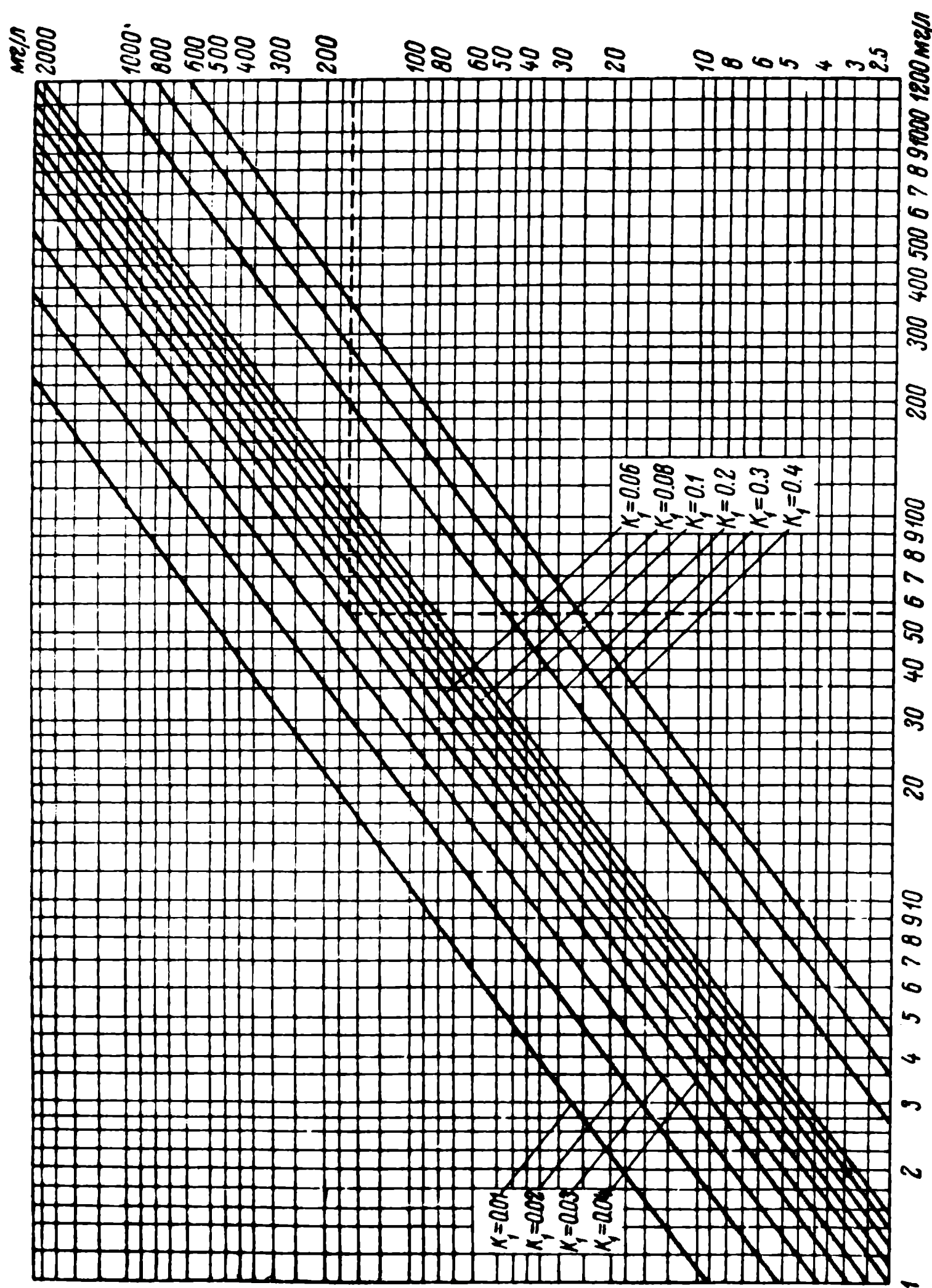


Рис. 28. Номограмма для расчета полного биохимического потребления кислорода по пятисуточному.

внимание снижению БПК вследствие разбавления и оседания части взвешенных веществ на пути следования от пункта А к пункту Б. Возможно увеличение БПК при замучивании донных отложений и переходе продуктов донного распада органического вещества в воду, образование некоторого количества органического вещества при процессе фотосинтеза. Часть указанных процессов может быть учтена и принята в расчет в виде тех или иных коэффициентов и поправок. Имеются попытки расчета кис-

лородного баланса реки на основе учета одновременно идущих процессов окисления органического вещества и непрерывного поступления кислорода из воздуха при дефиците последнего в воде.

Расчеты хода БПК в целом оправдываются в лабораторных опытах, и константа скорости потребления кислорода колеблется в сравнительно

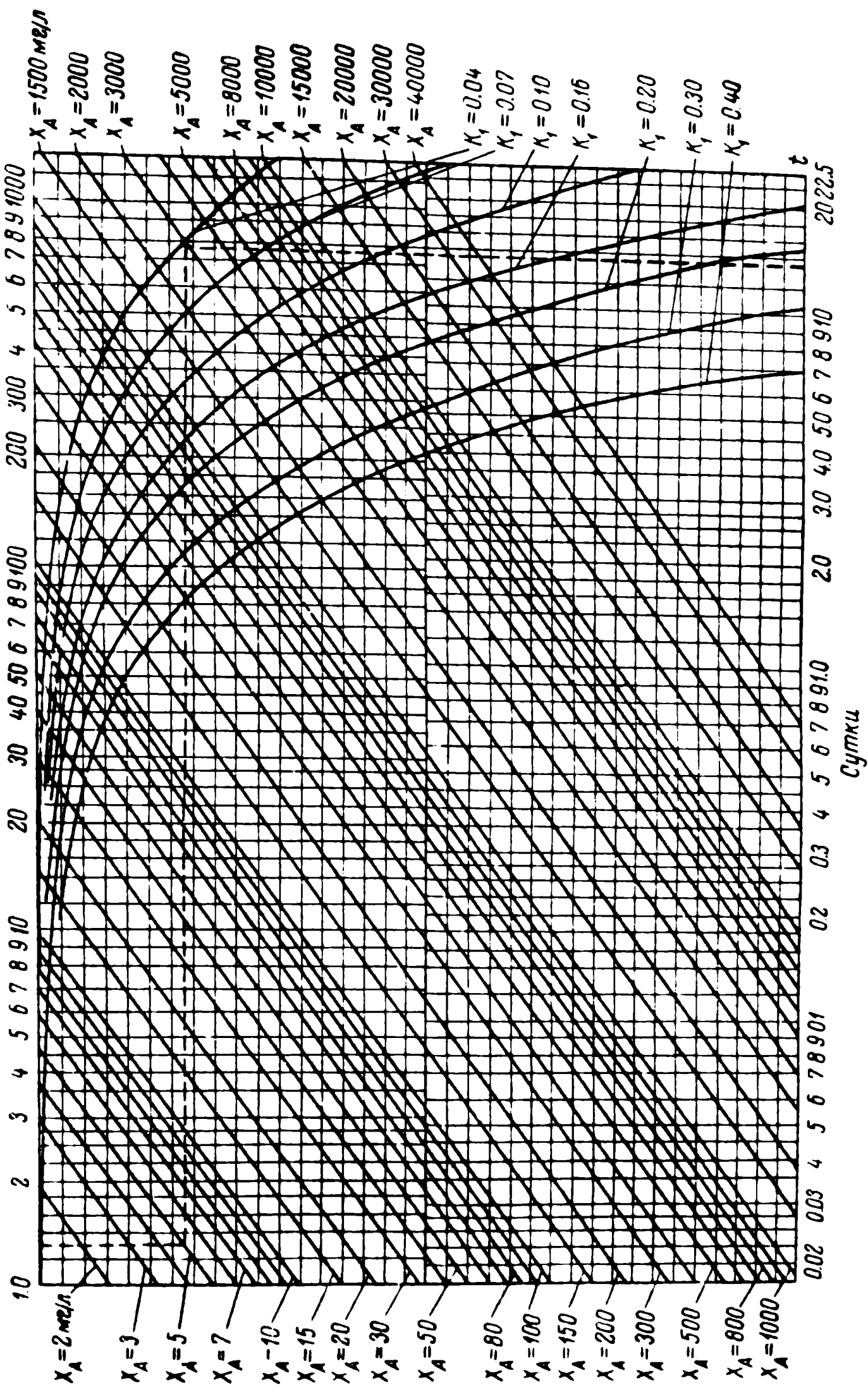


Рис. 29. Номограмма для расчета биохимического потребления кислорода в реке.

узких пределах. В натурных условиях снижение скорости потребления кислорода во времени подтверждено многочисленными наблюдениями. Но фактически в реках процесс биохимического окисления кислорода бактериями осложняется многими факторами, которые в некоторых слу-

чаях могут приобрести решающее значение. На р. Огайо значения константы скорости окисления (k) за 14 месяцев наблюдения как среднемесячные величины, выведенные из ежедневных определений, колебались от 0.06 до 0.69. Средняя величина скорости $k=0.12$ приближается к принятой постоянной 0.1, но для получения столь удовлетворительного схождения надо было отбросить 8 среднемесячных величин из общего числа 14. Таким образом, полупериод распада органического вещества, т. е. время, за которое окислилось 50% исходного органического вещества, колебался в пределах от 0.45 до 5 суток. По мнению некоторых авторов (Streeter a. oth., 1925), случаи необычайно высокой скорости окисления органического вещества вызваны взмучиванием донных отложений. Последние играли роль активного ила, ускоряя распад органического вещества. На основании этого соображения авторы нашли возможным отнести большую часть периода наблюдений к «неустановившимся условиям» и рассматривать результаты как необычно высокие и даже ошибочные. Но в природе, особенно при выраженной резкой смене метеорологических условий и гидрологического режима реки, периоды постоянного режима сравнительно кратки.

При определении БПК, обычно производимого методом разбавления, возможны ошибки. Предпосылкой для данного метода является тесная связь скорости потребления кислорода с концентрацией органического вещества. Как указывалось выше, постоянство это может быть нарушено нитрификационным процессом и влиянием токсических соединений.

Около трети потребности в кислороде бытовых сточных вод расходуется на окисление растворенных соединений, на долю оседающих частиц также приходится около трети; вещества, находящиеся в коллоидальной степени дисперсности, потребляют остальную треть. При отстаивании удаляется до 70—90% нерастворенных веществ, потребляющих кислород. После биологической очистки сточных вод от 15 до 40% оставшейся потребности в кислороде приходится на долю нерастворенных веществ.

В речные донные отложения, особенно при малой скорости течения, переходят надколлоидальные взвешенные вещества и, по мере коагуляции, коллоидальная часть взвешенных веществ.

В промышленных сточных водах содержание взвешенных веществ и степень их дисперсности весьма варьируют, в некоторых видах производственных вод за счет нерастворенных веществ относится до 60 и даже 80% общей потребности в кислороде.

В донных отложениях процессы превращения органического вещества происходят в анаэробных условиях с частичным образованием летучих продуктов распада, на окисление которых также расходуется кислород. По данным С. А. Несмеянова (1951), не более 11% от общей потребности в кислороде донных отложений теряется без извлечения из воды эквивалентного количества кислорода. При анаэробных процессах распада донных отложений образуется значительное количество летучих и растворимых веществ, окисление которых проходит в водной среде. В некоторых случаях количество продуктов донного распада составляло до 50% от общей потребности в кислороде осаждающихся веществ.

Закономерности распада органического вещества донных отложений еще мало изучены; общая скорость их распада в 20—50 раз ниже скорости окисления органического вещества сточных вод. Определение БПК является одним из основных показателей для характеристики качества сточных вод и состояния водоемов.

Обычно применяемый способ окисления перманганатом разрушает лишь часть органического вещества сточных вод, азотсодержащие органические вещества окисляются не более чем на 50% (Даядаио, 1938), а не-

которые соединения, как например креатинин, гиппуровая кислота, вовсе не окисляются. Величина окисляемости перманганатом в сточных водах значительно ниже, чем БПК, при выражении каждой из этих величин в кислороде. Для хозяйственно-бытовых сточных вод величина окисляемости перманганатом в несколько раз ниже, чем потребление кислорода бактериями; в речных водах, особенно богатых гуминовыми веществами, соотношение обратное. Это обстоятельство объясняется тем, что гуминовые соединения хорошо окисляются перманганатом и весьма замедленно поддаются биохимическому окислению. Применяя отношение БПК к величине окисляемости, можно получить характеристику доступности бактериям органического вещества. Для чистых рек это отношение составляет 10—30%, на загрязненных участках реки соотношение может достигать 300—400%. Так, на р. Вохне это соотношение, обозначаемое как биохимический показатель загрязнения, составило в наиболее грязном участке 426, вниз по течению постепенно, по мере хода процесса самоочищения понизилось до 198 и далее до 42, приблизившись на незагрязненном участке к 26% (Драчев, 1941).

Биохимический показатель загрязнения повышается при массовом развитии фитопланктона, что становится особенно заметным в летнее время в водоемах с замедленным течением, благоприятствующим развитию планктических организмов.

Соотношения величин ХПК и БПК значительно изменяются при загрязнении промышленными сточными водами (Imhoff, 1956).

РАСТВОРЕННЫЙ КИСЛОРОД

Содержание растворенного в воде кислорода теснейшим образом связано с нормальным развитием и существованием большинства водных организмов. Концентрация растворенного кислорода является одним из чувствительных показателей санитарного состояния водоема. Присутствие легко окисляющегося органического вещества и минеральных восстановленных соединений в первую очередь сказывается на понижении содержания растворенного кислорода. Создающиеся при отсутствии кислорода анаэробные условия связаны с образованием дурнопахнущих газов, возрастанием агрессивности воды в отношении металлов и бетона.

Содержание растворенного кислорода является весьма важным фактором существования рыб. Желательной принимается насыщенность кислородом по крайней мере на 75% от полной растворимости кислорода, хотя некоторые виды рыб могут существовать при 30% насыщения. При низком содержании кислорода усиливается токсическое действие вредных веществ. Пересыщение воды кислородом является неблагоприятным. По данным Лесслебена (Lassleben, 1942), при содержании кислорода более 150% насыщения отмечаются заболевания карпа.

Таким образом, поддержание в водоеме уровня растворенного кислорода, близкого к насыщению, представляет одну из задач охраны водоемов от загрязнения. Нормирование содержания растворенного кислорода в речной воде было предложено после первых же исследований загрязненных рек и до настоящего времени остается в пределах тех же количественных норм.

Ф а к т о р ы к и с л о р о д н о г о р е ж и м а

В природных и загрязненных водоемах непрерывно идут процессы потребления кислорода, одновременно обычно происходит пополнение кислорода. Запасы растворенного в воде кислорода ограничены вследствие того, что растворимость его невелика (табл. 59). При температуре, близ-

кой к нулю, в воде может раствориться 14.7 мг/л, при обычных летних температурах речной воды растворимость не превышает 8—9 мг/л.

ТАБЛИЦА 59

Растворимость кислорода в воде в зависимости от температуры

Температура, в °С	Растворенный кислород			Температура, в °С	Растворенный кислород			Температура, в °С	Растворенный кислород		
	мг/л	см³/л	т/сутки при расходе воды 1 м³/сек.		мг/л	см³/л	т/сутки при расходе воды 1 м³/сек.		мг/л	см³/л	т/сутки при расходе воды 1 м³/сек.
0	14.70	10.29	1.26	11	11.23	7.71	0.97	21	9.23	6.33	0.80
1	14.39	10.07	1.24	12	10.99	7.54	0.95	22	9.06	6.21	0.78
2	13.92	9.74	1.20	13	10.76	7.38	0.93	23	8.91	6.11	0.77
3	13.56	9.49	1.17	14	10.54	7.16	0.91	24	8.76	6.00	0.76
4	13.22	9.25	1.13	15	10.33	7.08	0.89	25	8.62	5.93	0.74
5	12.89	9.02	1.11	16	10.13	6.96	0.87	26	8.48	5.84	0.73
6	12.58	8.70	1.09	17	9.93	6.82	0.86	27	8.35	5.72	0.72
7	12.29	8.60	1.06	18	9.74	6.67	0.84	28	8.22	5.63	0.71
8	12.00	8.40	1.03	19	9.56	6.56	0.82	29	8.10	5.55	0.70
9	11.73	8.21	1.01	20	9.39	6.44	0.81	30	7.98	5.48	0.69
10	11.47	8.03	0.99								

Вследствие ограниченности запасов кислорода при преобладании процессов потребления равновесие легко может быть сдвинуто в сторону понижения и даже полного исчерпания растворенного кислорода.

Источники поступления кислорода в реки и озера

Дождевые и снеговые воды, питающие водоемы путем непосредственного выпадения на поверхность акватория, обычно насыщены или пере- насыщены растворенным кислородом. То же самое относится к склоновому поверхностному стоку. Даже при значительном загрязнении последнего, содержание растворенного кислорода остается высоким, так как при крат- ком сроке, за который поверхностный сток достигает водоема, запасы кис- лорода заметно не снижаются.

При питании подземными источниками в реки поступают воды с по- низженным содержанием кислорода или воды, вовсе не содержащие рас- творенного кислорода. В этом случае насыщение водоема кислородом происходит за счет поступления из воздуха.

Основным источником пополнения непрерывно убывающих запасов кислорода, растворенного в воде, является поступление из атмосферы. Закономерности поступления кислорода воздуха усиленно изучались в лабораторных условиях и на водоемах (Streeter, 1926; Moore, 1938; Rand, 1957).

Поступление кислорода в водоемы из практически неисчерпаемого воздушного океана — непрерывно идущий процесс насыщения кисло- родом — является одним из важнейших факторов состояния водоемов. В силу непрерывности процессов потребления кислорода в водоемах и сравнительной медленности поступления из воздуха, даже в чистых ре- ках наблюдается неполное насыщение воды кислородом. В загрязненных реках присутствие легко окисляющегося органического вещества и дыха- ние бесчисленного множества микроскопических организмов понижают

содержание кислорода. Хотя по мере возрастания дефицита растворенного кислорода увеличивается скорость поступления последнего из воздуха, недонасыщенность загрязненной воды кислородом возрастает. При сильном загрязнении потребление кислорода превышает темпы поступления из воздуха настолько, что запас кислорода исчерпывается. На этом этапе загрязнения река превращается в сточную канаву.

Содержание растворенного кислорода в незагрязненных водоемах подвержено значительным колебаниям в течение года, по сезонам и в продолжение дня. В водоемах с замедленным течением и малых реках, где сильно развита водная растительность, кислородный режим водоема летом в значительной степени определяется интенсивностью фотосинтетической деятельности растительности. В процессе фотосинтеза, в результате разложения углекислоты, из каждой молекулы углекислоты выделяется молекула свободного кислорода. В светлое время суток образующийся в процессе фотосинтеза кислород компенсирует усиленный расход на процессы дыхания. В ночное время в процессе дыхания растения потребляют значительное количество кислорода, вследствие чего кривая содержания кислорода снижается до минимума.

Суточные колебания растворенного кислорода зависят от интенсивности биологической деятельности совокупности организмов, населяющих водоем. Наибольшее значение при этом имеют растительные организмы. В горных реках Средней Азии, обычно насыщенных или даже перенасыщенных кислородом, суточные колебания содержания кислорода находятся в пределах 0.5—1.0 мг/л, как это отмечено в реках бассейна Варзоба, на р. Иссыке и др. (Жадин, 1950). Столь же незначительны колебания кислорода на порожистых реках севера. На равнинных реках в летнее время колебания растворенного кислорода выше: на р. Оке суточные колебания доходят до 2.6 мг/л, составляя до 30% насыщенности кислородом (Бруевич и др., 1933). Минимальное содержание кислорода в реках обнаруживается ранним утром от 3 до 6 часов, максимальное — после полудня от 15 до 17 часов. На р. Иллинойс в солнечный день содержание кислорода составляло 139% от среднесуточного, в пасмурный день — не более 111%. Среднесуточное содержание кислорода было 8.65 мг/л в солнечный день и 6.92 мг/л в пасмурный (Mohlman a. oth., 1931; Schroerfer, 1942). По наблюдениям на р. Миссиссипи, наиболее отвечают среднесуточному содержанию кислорода пробы, взятые между заходом солнца и полночью. Из практических соображений более удобным является время между 7 часами утра и полднем.

По данным С. Н. Строганова (1939), в среднем реки СССР на чистых участках содержат следующие количества кислорода (табл. 60).

Амплитуда колебаний, из которых выведены средние величины, весьма значительна. Но приведенные данные правильно отражают общую закономерность понижения содержания кислорода зимой, когда в воде содержится менее половины кислорода, способного в ней раствориться. Причина этого заключается в образовании ледяного покрова, препятствующего поступлению кислорода из воздуха. В этом наглядно проявляется значение процесса аэрации — непрерывного поступления кислорода из воздуха в реку.

ТАБЛИЦА 60
Среднее содержание кислорода в незагрязненной речной воде

	Растворенный кислород, в мг/л	Степень насыщения кислородом, в %	БПК, в мг/л
Лето . . .	7.9	90	2.2
Осень . . .	10.1	86.5	2.1
Зима . . .	6.9	47.0	1.9

В литре атмосферного воздуха, вес которого составляет при 15° и 60% влажности 1222 мг, содержится 23.3% кислорода. Следовательно, 40 мл атмосферного воздуха достаточно для насыщения кислородом 1 л воды.

В связи с важностью процесса аэрация изучалась многими исследователями в лабораторных условиях и на водоемах. Особо следует отметить работу, проведенную в США (Streeter, 1926; Theriault, 1927).

Закон поступления газов, не дающих химического соединения с жидкостью, в которую поступает сравнительно мало растворимого газа, формулируется следующим образом: скорость растворения газа изменяется прямо пропорционально степени недонасыщенности жидкости. В применении к поступлению кислорода в водоемы это означает, что из атмосферы в каждую единицу времени будет поступать постоянный процент от оставшегося дефицита кислорода. Чем выше степень ненасыщенности воды, тем больше в абсолютном выражении будет поступать кислорода.

При выражении в относительных величинах количество поступающего кислорода будет постоянно в отношении степени недонасыщенности. В зависимости от условий процент поступления различен, но в определенных условиях постоянство сохраняется.

При пополнении запасов кислорода из воздуха основную роль играет процесс диффузии. Насыщение поверхностного бесконечно тонкого слоя воды кислородом происходит полностью и мгновенно. Дальнейшее поступление кислорода в более глубоко расположенные ненасыщенные слои может происходить за счет диффузии. Постепенное проникновение молекул кислорода из более насыщенного слоя в менее насыщенный идет вплоть до полного выравнивания концентраций. Процесс происходит весьма замедленно, ускорению его содействует перемешивание воды. Последнее наиболее интенсивно происходит в реках, но имеет место в водоемах с замедленным стоком — озерах, водохранилищах. При перемешивании поверхностный слой воды, обогащенный кислородом, приходит в тесный контакт с массой воды, содержащей недостаточное количество кислорода, и выравнивание концентраций кислорода сильно ускоряется. В данном случае имеет место турбулентная диффузия, основным законом которой является пропорциональность скорости выравнивания концентрации кислорода дефициту растворенного кислорода. В силу непрерывности процесса математическим выражением этого процесса является дифференциальное уравнение:

$$\frac{dD}{dt} = -K_2 D,$$

где D — дефицит кислорода; t — время; K_2 — константа скорости аэрации.¹

Преобразование этой формулы приводит к уравнению:

$$Dt = Da \cdot 10^{-k_2 t},$$

где Da и Dt — дефицит растворенного кислорода вначале и по истечении промежутка времени t , последовательно. Константа k_2 обозначает пропорциональность скорости процесса в отношении объема воды независимо от единицы выражения: в миллиграммах на литр, объемных единицах или

¹ В дифференциальных и интегральных уравнениях константа K обозначается прописной буквой, при выражении в натуральных логарифмах и при переходе к обычным логарифмам константа reaэрации обозначается величиной k малое.

в процентах степени насыщения кислородом. Величина k зависит от ряда факторов: скорости движения воды, глубины водоема, шероховатости ложа, температуры. В качестве первого приближения зависимость величины k_2 выражается формулой:

$$k_2 = \frac{c V^n}{H^2},$$

где k_2 — константа аэрации; V — скорость течения; H — глубина; c и n — эмпирически находимые константы. Последние величины колеблются в больших пределах. Так, на 11 участках р. Огайо по наблюдениям в течение месяца величина c колебалась от 0.23 до 131, величина n — от 0.57 до 5.40. В пределах отдельных участков реки величина константы была довольно устойчивой; средняя величина k_2 на 5 участках реки была 0.24, приблизительно вдвое выше константы скорости потребления кислорода. На участках реки, где имеются неглубокие перекаты, при большой скорости течения скорость аэрации может быть во много раз больше. На коротком участке р. Деппенз в США за десятимесячный период наблюдения константа аэрации в среднем составила 2.0, что превышает таковую на р. Огайо более чем в 10 раз.

Зная константу аэрации и константу потребления кислорода, можно рассчитать теоретически степень очистки сточной жидкости, при которой

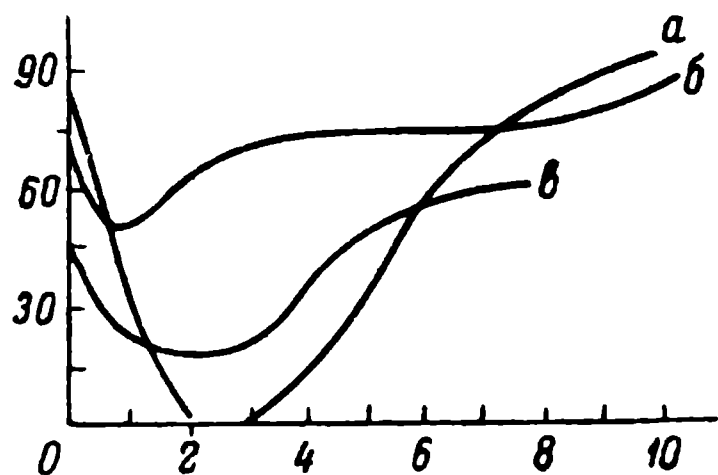


Рис. 31. Изменения растворенного кислорода в воде после сброса сточных вод в реках Свислочь (а), Уфа (б) и Сухона (в).

По оси ординат — насыщение воды кислородом, в %; по оси абсцисс — расстояние от места спуска сточных вод, в км

кислорода, содержание растворенного в воде кислорода начинает возрастать.

Наблюдения, проведенные на реках с различной степенью загрязнения, показали, что содержание растворенного кислорода вниз по течению в общем идет в соответствии с кривой кислородного прогиба, как видно на рис. 31 (Сибиряков, 1951).

Так как при повышении температуры скорость потребления кислорода возрастает быстрее, чем аэрация, то критическое состояние кислородного режима на незамерзающих реках создается обычно летом. Для рек замер-

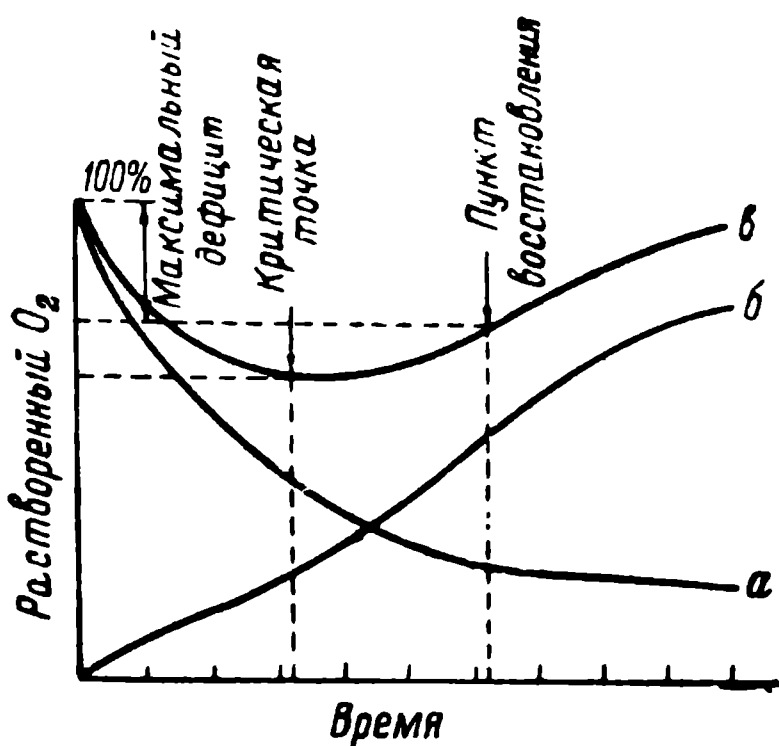


Рис. 30. Потребление кислорода (а), аэрация (б) и кривая прогиба (в).

в загрязненной реке возможно поддерживать содержание нужного количества растворенного кислорода. Наложение двух процессов — потребления кислорода и аэрации — создает характерную картину кислородного прогиба, как это видно на рис. 30, взятом из работы Фелпса (Phelps, 1944).

На некотором расстоянии от места впадения сточных вод в силу того, что скорость потребления кислорода превышает скорость поступления из воздуха, содержание растворенного кислорода падает до минимума, соответствующего критической точке. При значительном загрязнении содержание кислорода падает до нуля. В дальнейшем, по мере замедления потребления

зающих ледовый покров, фактически прекращающий доступ кислорода в реку, создает иные условия. Кривая снижения содержания кислорода следует кривой потребления кислорода.

Значительные осложнения вносят в расчеты процесс фотосинтеза — продукция растворенного кислорода в периоды усиленного развития водных растений. В реках, заросших макрофитами, за счет фотосинтеза в воду может поступать кислород в количествах, соответствующих поступлению его из воздуха (Сибиряков, 1951; Винберг, 1960). Своеобразие этого источника снабжения рек кислородом заключается в том, что в процессе фотосинтеза создается живое органическое вещество. При дыхании растений потребление кислорода в ночной период усиливает дефицит кислорода. При отмирании растительных организмов на окисление органического вещества расходуется большое количество кислорода.

Существенным фактором кислородного режима является ветровое перемешивание. Данные о влиянии скорости ветра на перемешивание приведены в табл. 61.

ТАБЛИЦА 61

Влияние скорости
ветра на глубину
перемешивания

Скорость ветра, в м/сек.	Глубина пере- мешивания, в м
2.12	3.04
4.23	9.44
6.35	12.8
8.44	14.6

Как видно, ветры сравнительно умеренной силы (4—5 м/сек.) могут перемешивать до дна большинство наших сравнительно мелководных озер и водохранилищ.

Большие, с трудом поддающиеся учету изменения вносят в расчеты кислородного режима влияния донных отложений (Несмеянов, 1951).

Расчеты допустимых пределов загрязнения рек при проектировании сброса сточных вод носят весьма приближенный характер. Сложность расчетов, на которую указывает Стритер (Streeter, 1949) как на главную

причину того, что разработанная его усилиями теория расчета «остается в значительной мере предметом школьных упражнений, а не руководством к действию», сильно упрощается применением номограмм (Fair, 1939; Руффель, 1951; Зак, 1960). Множественность факторов, обуславливающих содержание растворенного кислорода, большая амплитуда колебаний в расходах рек, сточных вод, колебания в скорости процессов, влияющих на содержание кислорода и еще недостаточно изученных, позволяют говорить скорее о схеме явлений, представленных на кривой кислородного прогиба, чем о твердых основаниях для расчета. Возможные отклонения от обычной схемы процессов окисления органического вещества в реке и кислородного режима видны на примерах изучения рек, приводимых ниже.

Представление о весовых количествах кислорода, поступающих в реку из воздуха, дает величина, которую в отличие от константы аэрации будем обозначать как коэффициент. Выражается эта величина обычно в граммах на 1 м² поверхности реки за сутки. В простейшем случае, когда в силу каких-либо причин БПК весьма невелико, коэффициент аэрации может быть рассчитан по разности содержания кислорода между сроками наблюдений в столбе воды от поверхности до дна с основанием в 1 м². В качестве исходных величин на стоячем водоеме берется послойное содержание кислорода в определенный момент и через сутки. На реках необходимо брать разницу в содержании кислорода в исходной точке наблюдений и на расстоянии суточного пробега воды. Для озер и водохранилищ с выраженной стратификацией удобным временем для определения коэффициента аэрации является момент осеннего перемешивания, когда ясно выражен дефицит кислорода и величина БПК незначительна. Расчеты для Учинского водохранилища дали величины коэффициента аэрации порядка

2—3 г в сутки; подобные величины получены для некоторых озер Подмосковья (Драчев, 1938).

На водоемах, загрязненных легко окисляющимся органическим веществом, при расчете коэффициента аэрации следует учитывать снижение величины БПК за срок наблюдений. При этом исходят из полного БПК, или величины БПК₅, умноженной на 1.46 при константе (*k*₁), равной 0.1. По данным исследования рек СССР, в летнее время коэффициент аэрации колебался в пределах нескольких граммов (Строганов, 1939); на сильно загрязненных реках величина коэффициента аэрации возрастает до нескольких десятков граммов (Попова, Нагибина, 1934; Драчев, 1940).

Основными факторами, определяющими величину коэффициента аэрации, являются степень насыщенности воды кислородом и скорость течения. Исходя из этого, Имгофф (Imhoff, 1956) дает следующие значения коэффициента аэрации (табл. 62).

ТАБЛИЦА 62

Величины коэффициента аэрации в граммах на 1 м² в сутки

Характер водоема	При степени насыщения, в %					
	100	80	60	40	20	0
Малые пруды	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5
Большие озера	0	1.0	1.9	2.9	3.8	4.8
Медленно текущие реки	0	1.3	2.7	4.0	5.4	6.7
Большие реки	0	1.9	3.8	5.8	7.6	9.6
Быстро текущие реки	0	3.1	6.2	9.3	12.4	15.5
Порожистые реки	0	9.6	19.2	28.6	38.4	48.0

Указанные величины даны для температуры 20°, при расчете на другие температуры принимается, что при повышении температуры воды на 1° величина коэффициента аэрации возрастает на 1.6%. При составлении таблицы фотосинтетический продуцируемый кислород во внимание не принят, что может иметь значение особенно на прудах и озерах. В зимнее время под ледяным покровом реки и озера, даже лишенные кислорода, вовсе не получают его из воздуха (Драчев, 1951).

Водохранилища с медленным обменом воды и озера имеют несколько особенностей, в силу которых кислородный режим значительно отличается от речного. Из-за замедленного перемешивания величина атмосферной аэрации на водоемах озерного типа значительно ниже, чем в реках (табл. 62).

Второй особенностью, также связанной с замедленным перемешиванием в водохранилищах и озерах, является неравномерное распределение кислорода по вертикали. В отличие от рек, где обычно содержание кислорода весьма близко или совершенно одинаково у поверхности и дна, в водоемах озерного типа содержание кислорода по вертикали может резко отличаться. Явление это связано с термической стратификацией, которая имеет место в летний и зимний периоды.

В силу того, что плотность воды с понижением температуры возрастает, достигая максимума при 4°, в летнее время в нижних слоях озер сосредотачиваются массы воды с температурой, приближающейся к 4°. При отсутствии ветровых перемешиваний нижний слой воды, носящий название гиполимниона, довольно резко отграничивается от вышележащего слоя воды, прогреваемого лучами солнца. На границе верхнего на-

гретого слоя воды и нижнего придонного, удерживающего низкую температуру, имеется слой, где на небольшом сравнительно расстоянии отмечается значительный перепад температуры. В зоне температурного скачка разность температур достигает нескольких градусов на расстоянии 2—3 м по вертикали. Температурная стратификация водоемов озерного типа в пределах средней полосы СССР начинает отмечаться в мае—июне и достигает максимума в конце июля—первой половине августа. По мере наступления осенних холодов и охлаждения поверхностных слоев происходит перемешивание всех слоев воды, наступает осенняя гомотермия. От поверхности до дна температура воды близка к 4° ; выравнивание температуры происходит постепенно или со значительной скоростью в зависимости от охлаждения воздуха и ветровых перемешиваний. В дальнейшем постепенно происходит охлаждение, которое захватывает поверхностные слои воды. Более плотная вода с температурой, близкой к 4° , к концу зимы сосредотачивается в придонных слоях. Зимняя стратификация водоема наиболее выражена к концу зимнего периода. После вскрытия льда, из-за притока большого количества паводочных вод в водоеме вновь устанавливается гомотермия; последующее прогревание ведет к летней стратификации водоема.

Кислородный режим водоемов озерного типа тесно связан с явлением стратификации. Придонные слои воды в период стратификации оказываются обедненными кислородом вплоть до полного истощения. Явление это отмечается как во время летнего, так и зимнего расслоения водоема. В период осенней и весенней гомотермии содержание кислорода выравнивается по всему разрезу от поверхности до дна.

В силу ряда причин описанная схема температурного и кислородного режима отмечается не на всех озерах и водохранилищах. Непременным условием термического расслоения водохранилищ является слабая проточность. Явление это хорошо изучено на водохранилищах канала им. Москвы, на некоторых озерах Подмосковья (Россолимо, Кузнецова, 1934).

Снижение содержания кислорода в придонных слоях происходит в значительной мере за счет окисления газов метана и водорода, выделяющихся в процессе распада органического вещества донных отложений. На водохранилищах канала им. Москвы в первые годы после их образования окислительные процессы вызвали потребление кислорода, доходившее в среднем до 5 г на 1 м^3 воды. Учитывая нежелательность содержания кислорода менее 4 мг/л, можно рассчитать возможности использования растворенного кислорода при сбросе сточных вод.

В «Методических указаниях. . .» (1948) величина атмосферной аэрации при 40% дефицита принимается равной для непроточных водоемов 0.5 г/м^2 в сутки, для проточных запруд — 1, для рек со скоростью течения менее 0.5 м/сек. — 2, для рек с более быстрым течением — 4 г/м^2 . Значения k_2 рекомендуется принимать для непроточных и слабопроточных водоемов — 0.05, для рек со скоростью течения менее 0.5 м/сек. — 0.2 и для более быстрых рек — 0.4. При расчете нагрузки сточных вод на реку приводятся три способа расчета: а) по наличному запасу кислорода в реке; б) с учетом количества кислорода, поступающего в водоем за счет аэрации; в) с учетом аэрации и хода процессов окисления органического вещества с потреблением кислорода. При этом правильно указывается, что зимний режим водоема должен быть рассчитан на почти полное прекращение аэрации. Нельзя согласиться с указанием, что расчет кислородного режима, исходя только из запасов кислорода в реке, даст всегда завышенные требования к очистке сточных вод. Для рек с устойчивым ледяным покровом рассчитывать на другие источники пополнения кислорода, кроме скудных запасов в речной воде, не приходится.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ САМООЧИЩЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ХАРАКТЕРА РЕК

Качество речной воды, загрязненной сточными водами, может в значительной мере или даже полностью быть восстановлено под влиянием естественных процессов. Восстановление природных качеств воды — отмирание сапрофитной микрофлоры, улучшение физических свойств воды, разложение органического вещества и в особенности закономерности изменений кислородного режима, многократно изучались в различных географических условиях. Общие закономерности в отношении отдельных свойств воды описаны выше. Достаточная изученность процессов самоочищения и, в частности, кислородного режима, позволяет пользоваться формулами при расчете режима водоема и определения «допустимой нагрузки». Вместе с тем каждая река имеет черты неповторимого своеобразия. Типизация их возможна, но типы водоемов разнообразны и многочисленны. Ход процессов имеет много отклонений и можно согласиться с утверждением, что «каждая река представляет отдельную проблему» (Klein, 1957b).

Процессы самоочищения в очень малых речках

Наиболее многочисленной группой рек являются малые водотоки с расходом воды менее $1 \text{ м}^3/\text{сек}$. Количество их исчисляется в пределах СССР сотнями тысяч, при слиянии их образуются в конечном итоге величественные реки. Количество сточных вод, которое не оказало бы заметного влияния на крупную реку, быстро превращает ручьи и речки в сточные канавы. По внешнему виду и по качеству воды изменения настолько значительны, что пользование водоемом для целей водоснабжения и бытовых нужд становится невозможным. Проведение контрольных анализов качества воды теряет практический смысл, и обычно наблюдение за такого рода водоемами не ведется. Между тем, как показали наблюдения за рубежом и в СССР, в водоемах такого типа интенсивно развиваются процессы самоочищения. Это было подтверждено наблюдениями на ряде рек Подмосковья — Яузе, Вохне, Лобне и некоторых безымянных ручьях, загрязняемых в основном хозяйственно-фекальными водами с примесью промышленных сточных вод. Исследования, проведенные на р. Лобне, подтвердили своеобразие хода процесса самоочищения и интенсивность протекающих процессов.

Река Лобня, левый приток верховьев р. Клязьмы Окского бассейна, подобно большинству малых водотоков, протекающих в условиях моренного ландшафта, характеризуется значительной извилистостью русла. Скорость течения весьма варьирует, быстротоки и перепады чередуются с заводями и омутами. Длина реки от начального пункта обследования до устья по прямой линии составляет 5.5 км, фактическая протяженность по проведенным замерам составляет 11.35 км. Перед фабрикой «Красная поляна» устроена плотина, ниже которой в реку поступают стоки хозяйственно-фекальной канализации. В дальнейшем на всем протяжении до устья река новых загрязнений не получает и потому является пригодным объектом для наблюдений за ходом процессов самоочищения. Расход р. Лобни по ряду замеров в летний и зимний периоды колебался в пределах от $0.012 - 0.15 \text{ м}^3/\text{сек}$. Количество сточных вод, сбрасываемых в реку, было довольно постоянным — в среднем $0.05 \text{ м}^3/\text{сек}$.

При изучении процессов самоочищения важную роль играет взятие коррелирующих проб, выемка которых при известной неравномерности состава стоков и переменной скорости течения представляет сложную задачу. Для изучения истинной скорости перемещения водной массы

был применен метод окрашивания. Вблизи места впадения стока вносился щелочной раствор флуоресцеина. Наблюдение за передвигавшейся окрашенной воды вдоль русла реки давало возможность определить истинную скорость перемещения водной массы. Краска, внесенная одновременным выплеском концентрированного раствора в середину речки, уже на расстоянии нескольких метров оказывалась однородно распределенной как по вертикали, так и по горизонтали. По мере продвижения вниз протяженность окрашенной зоны постепенно увеличивалась, достигая в предустьевом участке свыше 100 м.

Метод окрашивания дает наглядное представление о взаимосвязанности основного потока речки и многочисленных стариц, рукавов, небольших бухточек. Окрашенная вода заходила в эти части реки с некоторым запозданием и оставалась там после того как в основном русле не было и следов окрашивания. Скорость перемещения водной массы на отдельных участках реки колебалась в периоды наблюдений от 0.07 до 0.19 м сек. Измерение скорости перемещения водной массы сделало возможным определение сроков наблюдения и расчет скорости процессов во времени. Наблюдения, проведенные в летний и зимний сезоны, заключались в гидрометрических замерах, в проведении химических и бактериологических анализов воды. Обследования приурочивались к установившейся хорошей погоде, так как даже дожди и паводки нарушают гидрологический режим и осложняют проведение расчетов. Характерной особенностью реки является богатое развитие высшей водной растительности; особенно обильны зарастания на верхнем сильно загрязненном участке. Наблюдения за скоростью самоочищения проводились в течение 2 лет; всего выполнено 6 серий четырехдневных наблюдений в летний период и такое же количество наблюдений зимой. Выемка проб производилась в 5 точках от места впадения сточных вод до устья; скорость перемещения водной массы до пунктов наблюдения составляла от 2 до 48 часов. В программу входили наблюдения за растворенным кислородом, биохимическим потреблением кислорода, окисляемостью, аммонийным азотом, хлоридами, щелочностью. Бактериологические наблюдения ограничивались определением сапрофитной микрофлоры по числу колоний на мясо-пептонном агаре и титра кишечной палочки.

Наблюдения показали, что процесс окисления органического вещества в данных условиях протекает весьма интенсивно. В качестве примера в табл. 63 приведены данные изменения величины БПК в летнее время при температуре воды 22°.

ТАБЛИЦА 63

Изменение биохимического потребления кислорода в воде р. Лобни (данные О. П. Опариной)

Место взятия пробы	Расстояние, в км	Время, в часах	БПК,		БПК,	
			мг/л	%	мг/л	%
У фабрики	0	0.0	41.7	100	50.0	100
У моста	1.2	2.0	28.9	69.3	34.6	68.6
У обрыва	2.0	5.0	22.6	54.2	31.3	62.2
У дер. Катишкин	3.0	8.0	19.0	45.5	26.3	53.8
У дер. Носово	5.1	9.5	11.2	26.8	17.2	34.4

Через 5 часов в воде реки была обнаружена лишь половина БПК, органического вещества; через 9 ч. 30 м. эта величина составляла лишь четверть от исходного. Константа БПК, вычисленная на основе лаборатор-

ных определений в кратные сроки, составляла для первого участка величину, близкую к 0.18, для последнего — 0.05. Как видно, снижение содержания легко окисляющегося органического вещества в реке протекало значительно быстрее, чем в сосудах.

В момент проведения работы, несмотря на хорошие условия атмосферной аэрации и выделение кислорода растительностью, на верхнем участке реки содержалось лишь ничтожное количество кислорода, очевидно, за счет весьма интенсивного потребления кислорода органическим веществом.

Величина окисляемости на данном отрезке реки снижалась весьма незначительно, за 8 часов произошло снижение с 24.5 мг/л в исходном пункте до 17.3 мг/л, в то время как величина БПК снизилась почти вдвое. Данные других наблюдений подтвердили явление весьма ускоренного распада биохимически окисляющегося органического вещества в р. Лобне в летний период. По сравнению с обычно наблюдающимися скоростями окисления органического вещества процесс протекал в несколько раз быстрее.

Наблюдения в зимний период выяснили некоторые особенности режима р. Лобни. Прежде всего была выяснена своеобразная картина ледостава. Оказалось, что даже в условиях весьма суровых зим ледяной покров на реке не отличался мощностью и постоянством, а местами вовсе не образовался. Эти особенности отмечались не только вблизи места поступления сточных вод, повышающих температуру воды, но и на всем протяжении водоема, где влияние стоков на тепловой режим реки не сказывалось. Для ледяного покрова характерна многослойность. Под сравнительно тонким верхним слоем льда имеются обычно еще 2—3, а местами и более ледяных прослоек. Нижний слой льда обычно не прилегает непосредственно к водной поверхности, а отделен воздушной прослойкой в несколько сантиметров. Своеобразная картина ледяного покрова обусловлена сочетанием гидрологического режима и метеорологических условий. Верхний слой ледяного покрова образуется поздней осенью при относительно высоком расходе воды в реке. Понижение уровня в связи со спадом расходов после осеннего паводка вызывает образование воздушной прослойки между слоем льда и поверхностью воды. В дальнейшем первый же сильный мороз вызывает замерзание реки с образованием нового слоя льда. По мере убывания воды в реке, совпадающего с наступлением сильных холодов, образуются новые слои льда. Количество ледяных прослоек может достигать к концу зимы до 5—6. Большую часть зимнего периода речка течет в ледяном гроте, без непосредственного соприкосновения с ледяным покровом. При незначительной толщине ледяные прослойки не всегда остаются в целостности: при оттепелях образуются проталины, лед частично обрушивается под давлением снега или по другим причинам. При повышении расходов воды во время оттепели вода течет между ледяными прослойками, частично их растопляя. На быстринах и перепадах река вовсе не замерзает. На устьевом участке, подпортом р. Клязьмой, к концу зимы мощность ледяного покрова достигает до 85 см, что приблизительно соответствует нормальному ледовому покрову более крупных рек.

Своеобразие ледяного покрова на р. Лобне, отмеченное также на других малых реках с аналогичным гидрологическим режимом, имеет весьма существенное значение для кислородного режима реки и хода процессов самоочищения. Проведенные в течение двух зим наблюдения показали, что, несмотря на температуру воды, близкую к нулю, процессы самоочищения протекают интенсивно. Количество растворенного кислорода было невысоким на всем загрязненном участке реки.

В озере Круглом, из которого вытекает река, к концу зимы количество растворенного кислорода падало до 2—3 мг/л. На участке реки выше места

впадения сточных вод содержание кислорода повышалось до 6 мг/л за счет насыщения кислородом из воздуха. Ниже впадения стоков, содержание кислорода падало до десятых долей миллиграмма на литр. Вследствие присутствия большого количества легко окисляющегося органического вещества содержание кислорода, несмотря на усиленную аэрацию, обычно не превышало 1—2 мг/л. О ходе процесса окисления органического вещества в реке в зимних условиях при температуре воды 0.1—1.0° можно судить по изменению величины БПК (табл. 64).

ТАБЛИЦА 64
Изменение величины БПК₅ в зимних условиях, в мг/л

Дата	При перемещении водной массы, в часах							
	0	12	15	24	32	40	48	48'
23 II 1940	158	43.7	—	15.7	—	—	14.3	—
28 II 1940	—	—	74.2	—	—	13.0	—	6.2
30 I 1941	245	—	92.4	—	35.1	—	—	—

Вследствие малого дебита реки в зимних условиях в исходном пункте наблюдения величина БПК₅ была очень высокой, окисление органического вещества проходило весьма быстрыми темпами. В устьевом участке, куда вода приходила через 1.5—2 суток, величина БПК₅ составляла не более 10% от исходной величины. В лабораторных условиях подобное снижение достигается обычно только на 10-й день. Принимая, что снижение величины потребления происходило за счет биохимического окисления органического вещества, величина аэрации будет выражаться величинами порядка тех, которые установлены для летних условий на р. Лобне. В силу особенностей ледяного покрова и характера водоема, изобилующего быстройтеками и перепадами, такое явление вполне возможно.

По гидробиологическим данным А. П. Гутковской, участок реки от фабрики до дер. Катюшки в летнее время относился к полисапробной зоне, в зимнее время протяженность этой зоны возросла.

Как в летних, так и зимних условиях происходило резкое снижение содержания сапрофитной микрофлоры, как это видно из табл. 65.

ТАБЛИЦА 65
Содержание сапрофитной микрофлоры по числу колонии в тысячах на 1 мл (данные М. А. Суражеской)

Место взятия пробы	Лето 1940 г.			Зима 1940/41 г.			
	5 VI	15 VII	28 VIII	1 II	22 II	1 I	1 III
У фабрики	526	517	135	438	351	1910	1180
У дер. Катюшки	348	349	108	291	217	1690	691
У дер. Носово	48	87	37	—	—	195	—
У дер. Чашниково	6.9	61	—	240	7.8	55	48
У дер. Перепечино	2.5	—	6.6	—	—	—	44
Устье	1.2	—	7.6	3.0	5.8	—	—

Быстрое окисление органического вещества в р. Лобне связано с усиленным развитием как растительной, так и животной жизни на сильно загрязненном участке реки. В летних условиях особенно пагубным

является пышное развитие погруженной и прибрежной растительности. Часть организмов, по-видимому, питалась непосредственно органическим веществом. Значительную роль в процессе самоочищения играет сферотиллюс. Постоянное поступление в реку большого количества питательных веществ способствует накоплению специфической микрофлоры, своего рода активного ила, отлагающегося на дне, берегах и растительности. В опытах Ц. И. Роговской (1936) установлена способность донного ила олиго- и бета-мезосапробной зон снижать окисляемость воды.

При малом расходе относительно большая поверхность дна и берегов на единицу объема создает условия тесного контакта воды с потребителями органического вещества, сплошным ковром покрывающими дно. Особенно этому способствует водная растительность, обильное развитие которой в летнее время создает своего рода фильтр, через который проходит основная масса воды.

Несколько опытов показали, что если изолировать пробу, поместив бутылку с речной водой в те же температурные условия, то усиленного хода окисления органического вещества не наблюдается. Очевидно, решающую роль в ускорении процессов самоочищения играет воздействие комплекса организмов, находящихся в прикрепленном состоянии.

Значительное ускорение процесса самоочищения было отмечено на нескольких других реках с малым расходом (Драчев, 1940).

Ряд особенностей процесса самоочищения был выявлен на р. Вохне, правом притоке р. Клязьмы, с расходом в устьевом участке в меженный период 0.4—0.5 м³/сек. На обследованном участке протяженностью в 20 км имеются два небольших пруда. В верхнем незагрязненном участке в связи с болотно-озерным питанием вода реки характеризуется высокой окисляемостью и цветностью, повышенным содержанием железа.

ТАБЛИЦА 66

Изменение качества воды в р. Вохне

Место взятия проб	Рас- стоя- ние, в км	Азот, в мг/л				Хлор- иды, в мг/л	Окисляе- мость в О, в мг/л	БПК, в мг/л
		pH	NH ₃	NO ₂	NO ₃			
Ст. Фрязево	0	9.8	0.15	0.0	0.0	2.9	15.5	1.8
Дер. Грибаново	4.0	7.8	14.6	2.0	2.0	30.9	9.6	—
Павлов Посад (пруд)	14.0	9.1	2.1	2.1	7.5	30.9	11.0	5.1
Ниже фабрики	14.1	7.6	6.6	1.1	1.7	41.6	11.5	49.1
У городского моста	15.7	7.8	10.0	0.5	1.6	34.8	10.2	20.2
Устье	19.3	7.8	10.0	0.7	1.9	30.4	9.1	3.4

В верхний пруд у дер. Грибаново попадают промышленные и хозяйственно-бытовые стоки, значительно изменяющие состав воды. Ниже до пруда в г. Павлов Посад река не имеет притоков и не получает добавочных загрязнений. Изменение солевого состава и свойств воды происходит за счет процессов самоочищения (табл. 66). На указанном участке реки усиленно развивается нитрификационный процесс. Суммарное количество минерального азота в пробе воды из Павловпосадского пруда заметно ниже, чем сумма азота в пробе из пруда у дер. Грибаново, что объясняется интенсивным использованием азота растительностью, обильно развитой в реке и в особенности в пруде. Признаками интенсивности фотосинтетических процессов является очень высокое содержание растворенного кислорода (до 22.5 мг/л, т. е. 256.8% от полного насыщения), отсутствие свободной растворенной углекислоты и pH выше 9.1. Интенсивное развитие фотосинтеза обуславливает изменения в солевом составе воды и

в первую очередь ее умягчение. Жесткость и щелочность в пруде приблизительно вдвое ниже, чем в воде, поступающей в пруд. Общая жесткость снизилась на 2.1 мг-экв., снижение карбонатной жесткости — на 2.46 мг-экв.

Снижение щелочности в прудовой воде частично объясняется развитием нитрификационных процессов и замещением иона HCO_3 на NO_3 . Вычислив величину изменения щелочности за счет этой замены, получаем 0.39 мг-экв. $\frac{5.5}{14}$, фактически же щелочность упала с 5.23 до 2.77 мг-экв.

ТАБЛИЦА 67
Изменение БПК на нижнем участке р. Вохны, в мг/л

Место наблюдения	Константа	Дата		
		2 VII	13 VIII	21 VIII
Ниже фабрики	0.125	61.1	34.5	31.5
У городского моста	0.100	27.0	18.3	20.3
Устье	0.062	7.9	16.4	16.8

В основном умягчение воды должно быть объяснено выпадением карбоната кальция, при резком подщелочении воды. За счет нитрификации щелочность снизилась на 0.39 мг-экв. и за счет выпадения карбоната кальция — на 2.10 мг-экв., что составляет в сумме величину снижения общей жесткости, практически совпадающую с установленной прямым определением (2.46 мг-экв.).

ТАБЛИЦА 68
Вычисленная величина коэффициента аэрации на нижнем участке р. Вохны, в г/м² в сутки

Участок реки	Длина, в км	Дата		
		2 VII	19 VIII	21 VIII
От фабрики до устья	5.2	43.1	14.6	11.9
От фабрики до моста	1.6	90.0	42.5	29.4
От моста до устья	3.6	22.3	2.5	4.1

Ниже пруда в г. Павлов Посад река получает значительные загрязнения в виде стока хозяйственно-фекальных и текстильных промышленных вод, ниже до устья новых загрязнений не поступает. На этом участке извилистый ручей с песчаным дном глубиной 10—30 см имеет большей частью быстрое течение. Местами имеются омуты и подпертые участки, где глубина достигает более 2 м и течение сильно замедляется. Вплоть до устья на протяжении 5.2 км протекает первая фаза процесса самоочищения с распадом органического вещества и возрастанием аммиачного азота. Длина реки на этом участке составляет 5.2 км, ширина в среднем — около 10 м, суточный расход 42 000 м³. Определение БПК в несколько кратных между собой сроках позволило высчитать константу скорости БПК и величину полного биохимического потребления (табл. 67).

Приближенную величину аэрации можно рассчитать по формуле:

$$a = \frac{Qc - Q_1c_1}{F}$$

где a — величина аэрации в г O_2 на 1 м² поверхности реки; Q — расход реки в м³ в сутки в вышележащем пункте; Q_1 — то же в нижележащем пункте; c — БПК в вышележащем пункте; c_1 — БПК в нижележащем пункте; F — площадь зеркала реки в м².

Получаем величины коэффициента аэрации, приведенные в табл. 68.

Расчеты указывают на весьма интенсивную аэрацию реки, в особенности на наиболее загрязненном участке от фабрики до моста.

Аналогичное явление было отмечено при обследовании р. Яузы, левого притока р. Москвы, с расходом в верхнем течении около $0.5 \text{ м}^3/\text{сек.}$ Через ручей Работня река получала мощное и концентрированное загрязнение в виде стоков фабрики искусственного волокна в количестве 3000 м^3 в сутки с БПК, около 500 мг/л. На участке, где развиваются процессы самоочищения, река местами подпружена. Полисапробная зона довольно быстро сменяется мезосапробной и через 11 км от места впадения стоков наряду с мезосапробными появляются олигосапробные организмы. Вычисление величины аэрации на основе приведенной выше формулы дало результаты, содержащиеся в табл. 69.

Высокая величина аэрации отмечена на р. Арженке, правом притоке р. Нары, с расходом $0.1\text{—}0.2 \text{ м}^3/\text{сек.}$ Воды р. Арженки почти полностью забираются фабрикой грубых суков. Течение ниже фабрики местами свободное, местами река подпружена. Коэффициент аэрации на загрязненном участке около 50 г/м^2 .

Величины такого порядка приводятся для сильно загрязненного участка р. Уды (Строганов, 1939). Н. М. Попова и Т. С. Нагибина (1934) установили, что величина аэрации для р. Пехорки, ниже спусков в нее дренажных вод полей орошения, на отдельных участках колеблется от 9.6 до 74.6 г/м^2 , составляя в среднем для всего водоема 34.8 г/м^2 .

Процессы самоочищения в малых реках

Изучение процессов самоочищения на реках с расходом воды порядка десятков и сотен кубических метров в секунду в СССР проводилось на реках Вологде, Днепре у г. Смоленска, Сухоне, Оке у г. Орла, Иж, Чусовой. Наиболее детальные исследования проведены на р. Москве, первые анализы воды из которой изучались аптекарем Ф. Ф. Германом еще в 1835 г. Характеристика качества воды в реке выше и ниже г. Москвы до устройства общегородской канализации имеется в работе М. Б. Коцина (1889). В дальнейшем экспедиционные исследования реки проводились неоднократно С. В. Бруевичем (1927), Б. А. Скопинцевым (1936), В. Н. Кононовым (1936). В период 1946—1949 гг. проведены были обстоятельные исследования реки на участке от г. Звенигорода до устья, при этом выемка проб производилась еженедельно в течение всего года, что позволило выводить средние данные, более надежно характеризующие состояние реки. В 1956—1957 гг. исследование реки было вновь проведено на этом же участке и на р. Оке от устья р. Москвы до г. Рязани.

Река Москва является удобным объектом для исследования процессов самоочищения, так как канализация г. Москвы дает постоянный и концентрированный сброс загрязненных вод. Ниже на протяжении около 150 км , вплоть до устья, в реку не вносятся загрязнений, сколько-нибудь сопоставимых по масштабам с основным источником.

Река Москва является левым притоком Оки, общая длина ее 502 км . (От ст. Перерва, расположенной ниже г. Москвы, до впадения в Оку протяженность участка реки 156 км . На своем пути р. Москва принимает 90 притоков, из которых наиболее значительными являются Пахра, Пехорка.

ТАБЛИЦА 69
Величина аэрации на
загрязненном
участке в верхнем тече-
нии р. Яузы

Расстояние, в км	Ширина реки, в м	Полная БПК, в мг/л	Аэрация, в г/м ² в сутки
0	10	112.0	
1.75	10	57.6	122
1.5	4.0	35.6	147
3.25	5.0	21.3	42.9
6.5	8.0	4.5	12.9
13.0	7.0	—	9.3

Нерская и Северка (рис. 32). На гидрологический режим реки сильнейшее влияние оказывают забор воды для московских водопроводов, составивший в 1946 г. 9 м³/сек., и сброс в реку воды из канала им. Москвы.

Фактом, определяющим санитарное состояние р. Москвы в пределах города, является сброс бытовых неочищенных сточных вод в количестве около 3 м³/сек. (1958 г.) и 1.2 м³/сек. промышленных сточных вод. Кроме того, в пределах города сбрасываются прошедшие биологическую очистку сточные воды местных очистных сооружений. Много загрязнения вносят малые реки и ручьи, впадающие на протяжении 45-километрового участка в пределах города.

Нерегулярным, но существенным фактором загрязнения служит поверхностный сток с территории города, приближающийся по содержанию органического вещества, бактериальному загрязнению и количеству взвешенных веществ к бытовым сточным водам. По средним данным (57 анализов) пробы из водостоков г. Москвы в период выпадения дождей содержали 2.53 г/л взвешенных веществ, величина окисляемости в среднем составляла 130 мг/л O₂, БПК₅ — 230 мг/л, среднее содержание сапрофитных бактерий было 2 млн/мл. Состояние реки в пределах города ухудшалось под влиянием донных процессов, роль которых особенно значительна на предплотинном участке реки, в районе акватория Южного порта. В первое время после устройства плотины этот участок реки играл роль отстойника, где происходило выпадение части взвешенных веществ и снижение БПК. В связи с накоплением значительного количества донных отложений и развитием анаэробного распада в последующие годы качество воды ниже плотины было хуже поступающей в верхний бьеф реки.

Таким образом, в силу различных причин, удельное значение которых количественно определить затруднительно, к месту выхода реки из города качество воды по физическим свойствам, составу растворенных соединений и бактериологическим показателям является неудовлетворительным. Располагая данными о расходе воды по сезонам года, можно определить абсолютное количество отдельных ингредиентов солевого состава и органических веществ (табл. 70).

ТАБЛИЦА 70

Качество воды р. Москвы у Перервинской плотины выше впадения стоков городской канализации (1946 г.)

Сезон года	Азот аммонийный		Хлор-ион		Растворенный кислород		БПК	
	мг/л	тонн в сутки	мг/л	тонн в сутки	мг/л	тонн в сутки	мг/л	тонн в сутки
При расходе воды 33 м³ сек.								
Лето	2.21*	6.3	28.2	80.5	4.52	12.8	4.29	11.7
При расходе воды 18 м³ сек.								
Зима	4.91	7.6	41.5	64.5	3.0	4.7	7.22	11.2

Как видно, зимой и летом остается почти постоянным суточный расход аммонийного азота и величина БПК₅, хотя концентрация вещества и расходы воды были весьма различными по сезонам года. Характерным является снижение количества растворенного кислорода и его концентрации в зимнее время. Причиной этого в основном является ледяной покров, частично покрывающий реку в пределах города.

Принимая суточное выделение продуктов обмена в человеческом организме равным для азота 6 г, хлор-иона — 10 г, органических веществ по

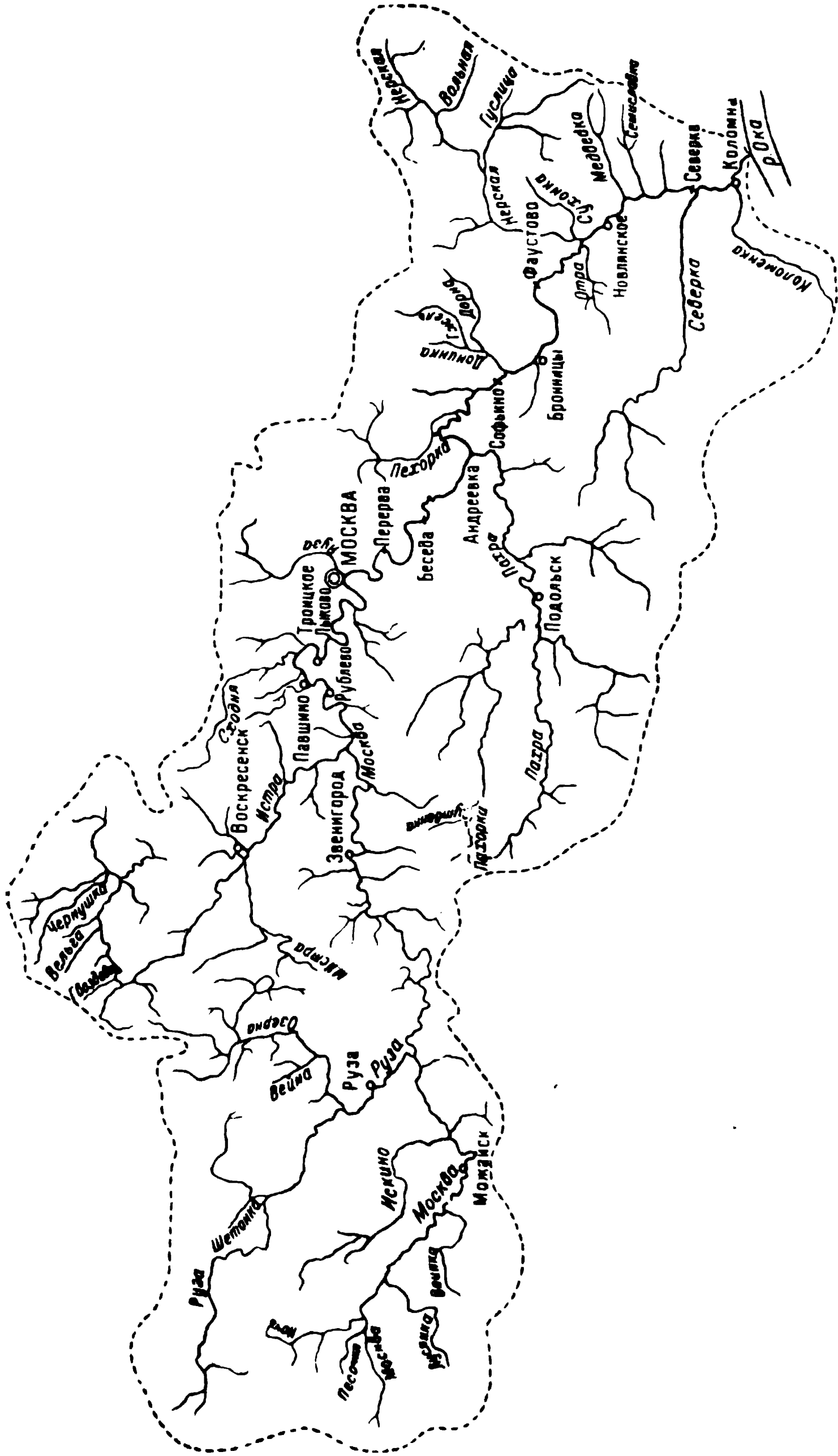


Рис. 32. Схема бассейна р. Москвы.

БПК₅ — 30 г, можно рассчитать, что загрязнение реки по аммонийному азоту соответствует населению в 1 млн человек, по хлор-иону в 6.8 млн и по БПК₅ в 0.28 млн. Наиболее правильным является, по-видимому, расчет по аммонийному азоту, так как хлориды в реке в основном обусловлены сбросом промышленных сточных вод, величина же БПК понижается за счет процессов окисления органического вещества на местных очистных сооружениях и в реке.

ТАБЛИЦА 71

Эффективность работы
очистных сооружений зимой
и летом

Годы	Сезон	% сниже- ния БПК от исход- ной сточ- ной воды
1946	Лето	41.5
	Зима	8.5
1947	Лето	46.1
	Зима	29.1
1948	Лето	78.5
	Зима	25.0

ных сооружений значительно снижалась (табл. 71).

Одним из основных факторов снижения эффективности очистных сооружений в зимний период является понижение температуры воды до 9—10° против 20—24° в летнее время. Кроме того, зимой на канализационные сооружения обычно поступает на 20—30% больше органического вещества, чем летом. В связи с пониженным расходом воды в реке и ухудшением работы очистных сооружений качество воды в реке зимой в пункте ниже сброса сточных вод резко ухудшается. В табл. 72 приведены средние данные о БПК₅ по летнему и зимнему сезонам.

В пункте полного перемешивания у с. Беседы БПК₅ в среднем за три года зимой в 2.1 раза больше, чем в летний период. Пониженный расход воды в реке в зимнюю межень при одновременном повышении нагрузки более концентрированных и слабее очищенных сточных вод является основной причиной этого явления.

На участке реки протяженностью 156 км от Перервинской плотины до устья р. Москвы, впадающей в р. Оку у г. Коломны, процессы самоочищения протекают в зависимости от гидрологических условий. Особенностью гидрологического режима реки является наличие ниже города 5 плотин, имеющих исключительно судоходное значение и поддерживающих напор в навигационный период — май—ноябрь. В устьевом участке р. Москва подперта Белоомутской плотинной на р. Оке. Плотины разборного типа, уровень воды регулируется щитами, закладываемыми между опорными фермами. Расположение плотин видно на схеме р. Москвы ниже города (рис. 33). Скорость течения на перекатах достигает 0.6 м/сек., в плесовых участках реки течение почти незаметно. Путем измерений были определены скорости перемещения водной массы для летнего и зимнего сезонов. При повышенном расходе воды летом вода перемещалась к г. Ко-

Сброс основной массы сточных вод города происходит ниже Перервинской плотины; здесь в 1946 г. поступало в реку в среднем 9 м³/сек. городских сточных вод, прошедших полную биологическую очистку. Работа очистных сооружений была весьма эффективна в отношении окисления органического вещества, особенно в летнее время, когда БПК₅ в сточных водах, после очистки, составляла величины порядка 15—20 мг. В зимнее время эффективность работы очист-

ТАБЛИЦА 72

Средние данные БПК₅ в мг/л
в воде р. Москвы по сезо-
нам в пункте полного
перемешивания

Годы	Лето	Зима
1946	10.7	25.1
1947	11.0	26.6
1948	13.8	24.9

ломне примерно с той же скоростью, что и зимой, несмотря на наличие плотин.

Систематические наблюдения за изменением физических свойств, составом растворенных соединений и бактериологическими показателями загрязнения выявили ряд особенностей течения процессов самоочищения.

На рис. 34 приведены кривые изменений содержания органического вещества в летние сезоны по наблюдениям за биохимическим потреблением кислорода. Как видно, на всем протяжении реки, которое вода проходит за 10 суток, не отмечено заметного понижения содержания органического вещества (по БПК₅). Незначительное понижение в первые двое суток сменяется повышением, которое было особенно заметным летом 1947 г. В лабораторных условиях биохимическое окисление органического вещества происходило быстро, найденная на основании лабораторных

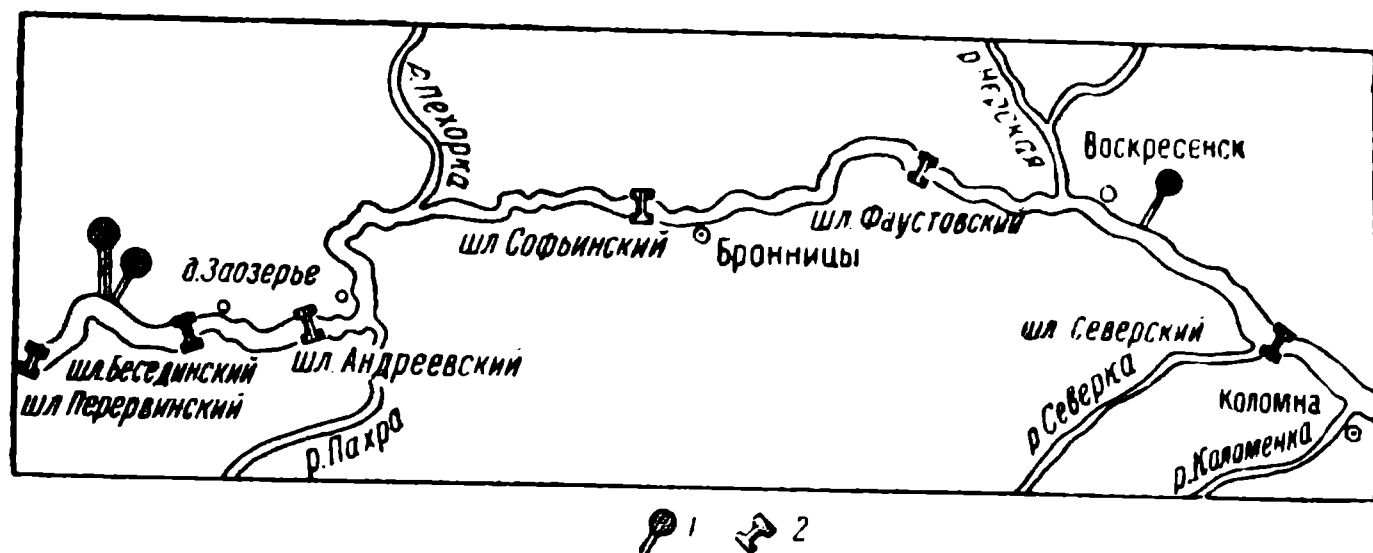


Рис. 33. Схема р. Москвы ниже города.

1 — сбросы сточных вод; 2 — плузы

опытов константа скорости окисления органического вещества составляла 0.1. Рассчитанная из этой величины кривая изменения содержания органического вещества, как видно на рис. 34, совершенно не соответствует фактически полученным данным.

Наиболее вероятной причиной замедленного снижения содержания органического вещества в реке является продукция органической массы в процессе фотосинтеза.

При замедленном течении реки особенно в предплотинных участках обильно развивается фитопланктон, чему способствует высокое содержание минерального азота, фосфора и калия в воде реки. Для учета деятельности фитопланктона проведены специальные исследования на верхнем плесе реки у с. Андреевского (Драчев, Сосунова, 1953). Применена была методика, используемая для оценки продукции органического вещества планктическими организмами в водоеме (Винберг, 1960). Серия склянок наполнялась речной водой и опускалась в водоем, часть склянок обертывалась плотной черной клеенкой, остальные погружались незатемненными. Через некоторые сроки производились определения кислорода во всех склянках. В затемненных склянках учитывалось потребление кислорода в процессе биохимического окисления органического вещества. В незатемненных склянках отмечалось возрастание содержания кислорода за счет фотосинтетических процессов. В поверхностных слоях это увеличение далеко перекрывало снижение кислорода за счет окисления органического вещества. В среднем продукция кислорода, а следовательно, и органического вещества составляла в слое воды на глубине до 1 м около 5 мг/л, на глубине от 1 до 2 м — 1 мг/л.

По мере продвижения вниз по течению возрастает прозрачность воды, что при высоком содержании основных элементов питания растений

способствует развитию фотосинтетических процессов. Значительная продукция биогенного кислорода обуславливает довольно высокое содержание его на всем протяжении реки. Наблюдениями не отмечено «кислородного прогиба», свойственного многим загрязненным рекам (рис. 31).

В период навигации при наличии плотин довольно значительное количество кислорода поступает при перепадах воды через плотины. Наблюдения показали, что особенно интенсивно идет при этом пополнение запасов кислорода при большом дефиците растворенного в воде кислорода. На рис. 35 представлена зависимость между процентом насыщения воды кислородом и количеством поглощенного кислорода при перепаде через Андреевскую плотину.

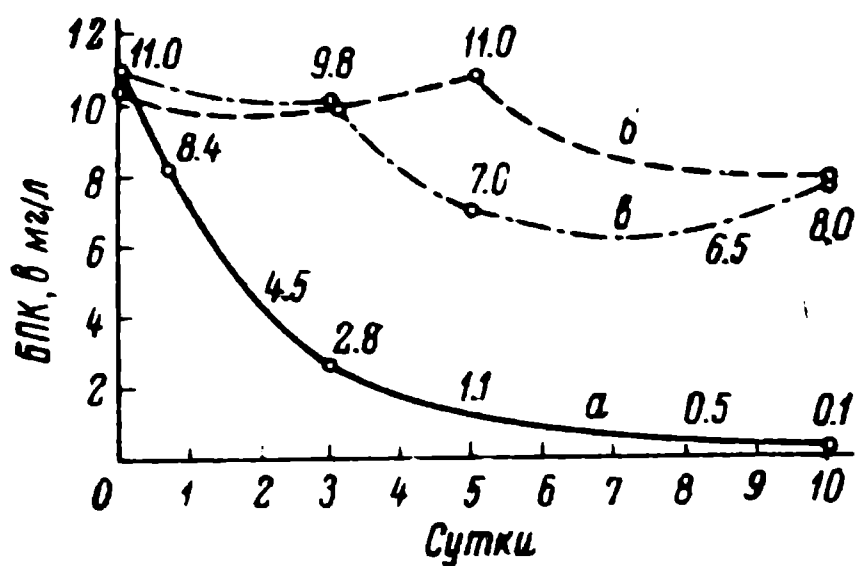


Рис. 34. Пятисуточное биохимическое потребление кислорода в воде р. Москвы летом.

а — расчитанное, б — в 1947 г.; в — 1948 г.

г. Бронницы, а затем резкий перегиб кривой с некоторой тенденцией к повышению в устьевом участке реки. Значительно более замедленно шло окисление органического вещества в первый год (1947 г.) наблюдений, который характеризовался наименьшими расходами воды, более суровыми климатическими условиями и наименее удовлетворительными результатами работы очистных сооружений (табл. 71). В этот год река замерзла уже во второй половине ноября, участок незамерзшей реки ниже впадения сточных вод был значительно меньше, чем в последующие годы наблюдений. Вследствие меньших расходов скорость перемещения водной массы была почти вдвое ниже по сравнению с последующими годами. В связи с этим запасы растворенного кислорода были исчерпаны уже на 2—3-й день, остальной участок реки находился в анаэробных условиях.

Полученные данные указывают на весьма быстрый ход окисления органического вещества в зимних условиях в первые 2—3 дня при температурах близких к нулевым. Ход кривых соответствует величинам константы окисления порядка 0.1—0.2 и даже выше, т. е. окисление шло не менее интенсивно, чем это происходит обычно при летних температурах. Полная остановка процессов самоочищения на второй половине участка реки (ниже г. Бронницы) связана с отсутствием или весьма невысоким содержанием кислорода. Зимой иссякают все источники снабжения кислорода, из-за ледяного покрова полностью приостанавливается атмосферная аэрация, отмирание растительности лишает реку биогенного кислорода.

Минимальное содержание кислорода в зимнее время в нижнем участке реки, куда вода приходит в зависимости от расходов на 5—10-е сутки от места впадения стоков, систематически наблюдается за ряд лет. Годичные

Ход биохимического окисления органического вещества в реке зимой представлен на рис. 36. Общий вид кривых за три года наблюдений в общем довольно близок: стремительное снижение величины БПК в первые двое суток до пункта у

Ход биохимического окисления органического вещества в реке зимой представлен на рис. 36. Общий вид кривых за три года наблюдений в общем довольно близок: стремительное снижение величины БПК в первые двое суток до пункта у

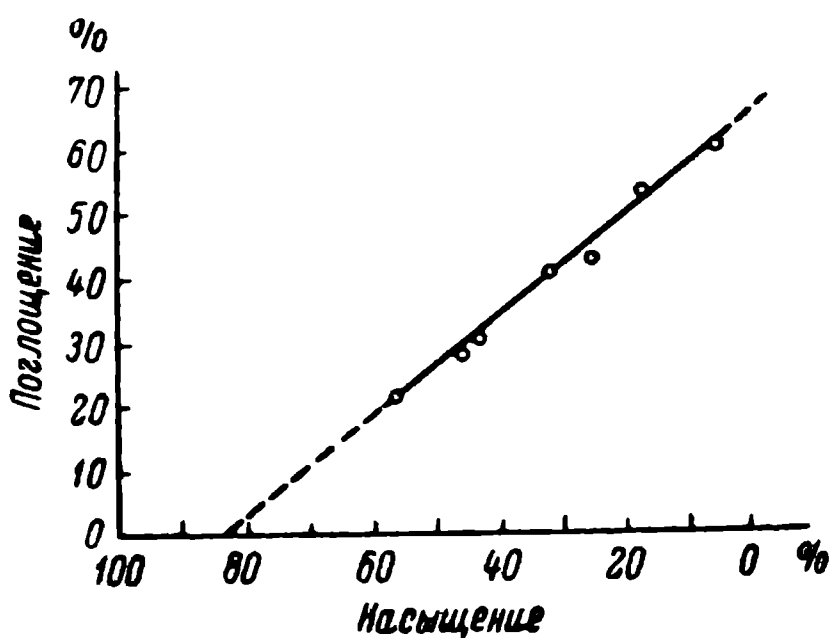


Рис. 35. Насыщение воды кислородом при перепаде через плотину.

колебания растворенного кислорода в воде р. Москвы у г. Коломны изображены на рис. 37. Как видно, ритм сезонных колебаний содержания кислорода наблюдается с большой правильностью в течение трех лет последовательных наблюдений. Аналогичная картина наблюдалась при повторном исследовании реки, 10 лет спустя, в 1956—1957 г.

В нижнем участке реки создаются зимой весьма неблагоприятные условия кислородного режима. В этом отношении картина полностью противоположна тому, что наблюдается при отсутствии ледяного покрова. На рис. 38 и 39 даны графические изображения кислородного режима р. Москвы и р. Иллинойса, получающих значительное загрязнение. Как видно, условия кислородного режима по сезонам года прямо противоположны.

При отсутствии или Рис. 36. Величина БПК₅ в воде р. Москвы зимой.
весьма низком содержа-
нии кислорода отмечено
не только прекращение снижения БПК, но и остановка других процессов
самоочищения. В первую очередь это относится к отмиранию сапрофитной
микрофлоры. Кривая содержания сапрофитной микрофлоры в пункте

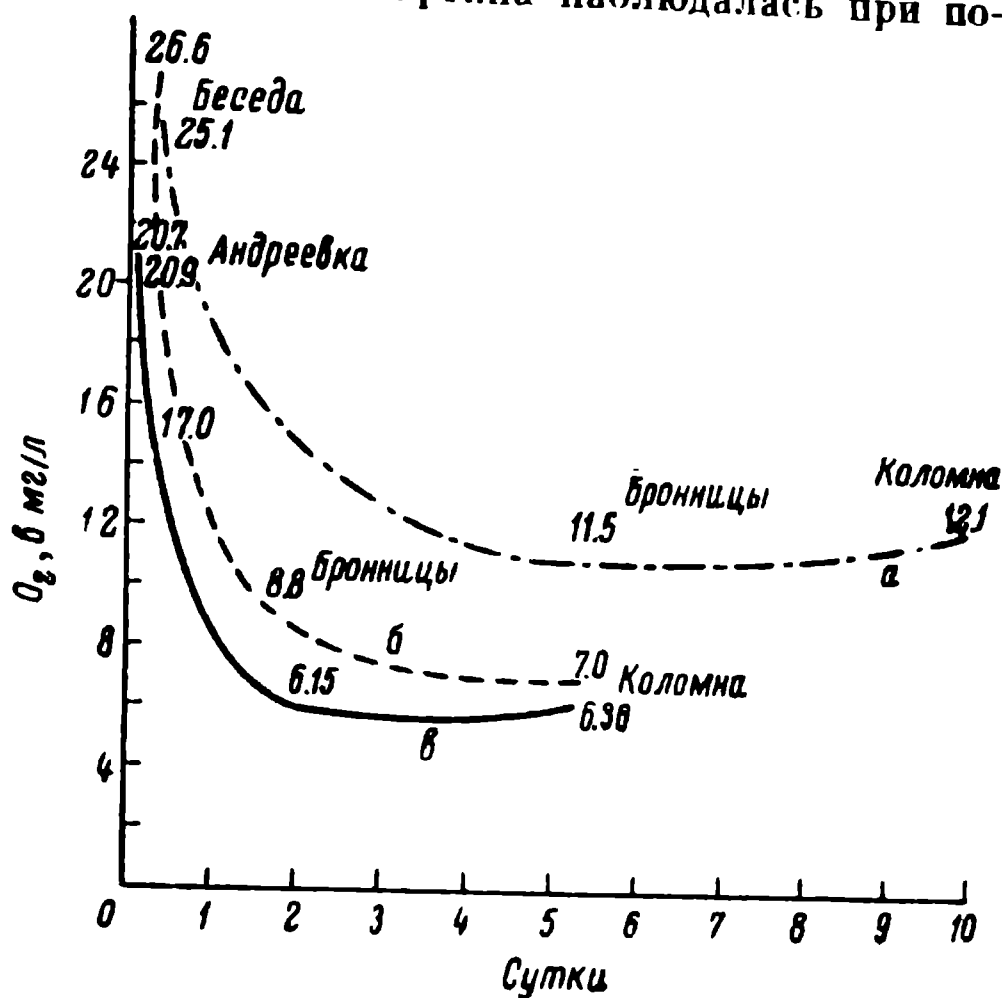


Рис. 36. Величина БПК₅ в воде р. Москвы зимой.
а — 1947 г.; б — 1948 г.; в — 1949 г.

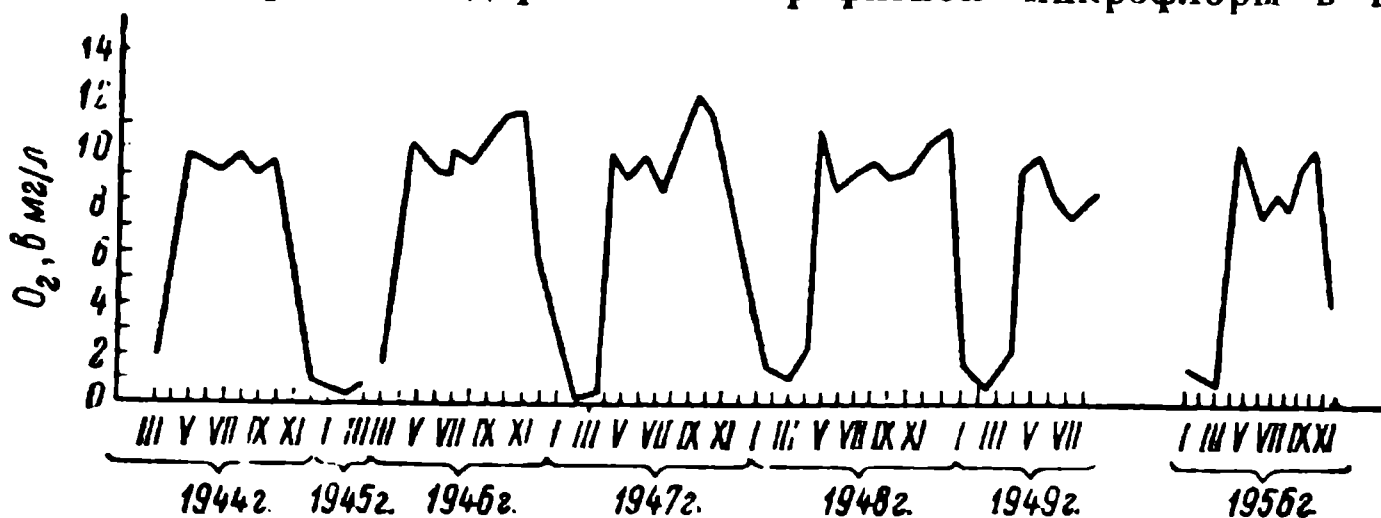


Рис. 37. Колебания содержания растворенного кислорода в воде р. Москвы у г. Коломны.

у г. Коломны представляет собой как бы зеркальное отражение кислородной кривой. Цифровые данные о количестве сапрофитных бактерий, приведенные ранее в табл. 46, указывают, что число бактерий у г. Коломны исчислялось по средним данным в зимние месяцы сотнями тысяч в 1 мл, тогда как летом находилось около 4.2—5.2 тыс. О своеобразной картине хода процессов бактериального самоочищения указано выше, в главе о микробиологических показателях качества воды.

На участке Бронница—Коломна в зимнее время, когда создаются анаэробные условия, не отмечается улучшения физических свойств воды, снижения окраски воды, уменьшения запахов, наоборот, систематически

в течение всех лет наблюдений установлено повышение силы запахов. Выпадение взвесей в нижнем течении реки сильно замедлялось, в некоторых случаях отмечено возрастание содержания взвешенных веществ.

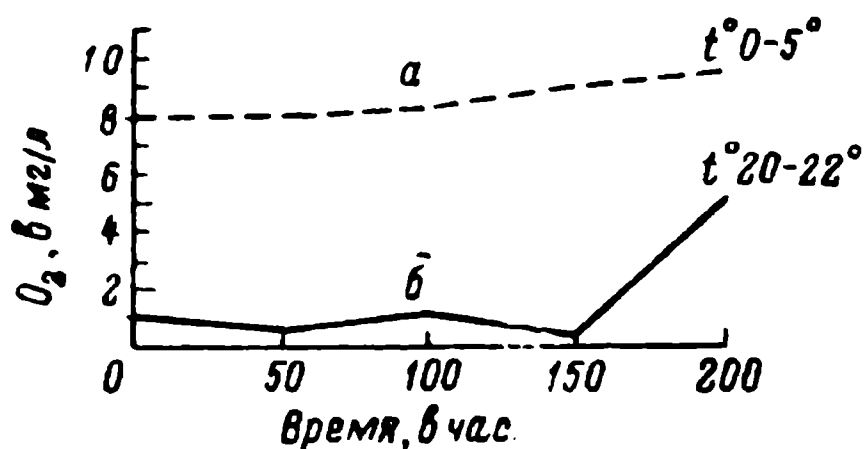


Рис. 38. Содержание растворенного кислорода в воде р. Иллинойса зимой (а) и летом (б).

Возможно, что ухудшение качества воды в подледных анаэробных условиях связано с донными процессами. Специальные опыты с учетом влияния донных отложений на кислородный режим и состав растворенных соединений показали, что интенсивность биохимических процессов в донных отложениях зимой в 2—3 раза ниже, чем летом. Но в анаэробных условиях при отсутствии доступа кислорода, проявление влияния донных

процессов может быть более заметным.

В целом по ряду причин развитие процессов самоочищения в условиях р. Москвы имеет свои особенности как в летнее, так и зимнее время. Совершенно отчетливо установлено, что наиболее критические условия в водоеме создаются в зимнее время. На этот период времени надо ориентировать мероприятия по оздоровлению реки.

Процессы самоочищения в реках с большим расходом воды

Река Москва является примером сравнительно небольшой реки, получающей массовое загрязнение в таком количестве, что при полном смешении разбавление речной водой происходит всего в 2—3 раза. На крупных реках с расходами в сотни и тысячи кубометров в секунду разбавление начинает играть первенствующее значение. Даже при сбросе сточных вод у берега концентрация загрязняющих веществ в реке у места выпуска оказывается в несколько раз пониженной по сравнению с содержащейся в стоке. При сбросе небольшого количества сточных вод или впадения в большую реку сильно загрязненных ручьев нередко не удается проследить изменения состава растворенных в воде соединений. Загрязненная струя как бы «проваливается», ни одним из обычных химических показателей обнаружить ее не удастся. Такое явление было, например, неоднократно установлено в 1914, 1932, 1954 гг. при впадении весьма загрязненной р. Тьмаки в р. Волгу в районе г. Калинина и многих других аналогичных случаях. То же самое отмечается и при впадении в большие реки непосредственно сточных вод.

О возможности использования химических показателей для оценки загрязнения при сбросе в реки бытовых сточных вод можно судить по данным табл. 73.

При разбавлении в 100 раз влияние сброса сточных вод города на реку по окисляемости, БПК₅, хлор-иону обнаружить не удастся. Таким образом, сброс в реку с расходом в 100 м³/сек. довольно значительного стока бытовых сточных вод в количестве 100 л/сек. (около 9000 м³/сутки) невозможно обнаружить при полном смешении по таким показателям, как хлориды, сульфаты, окисляемость, биохимическое потребление кислорода.

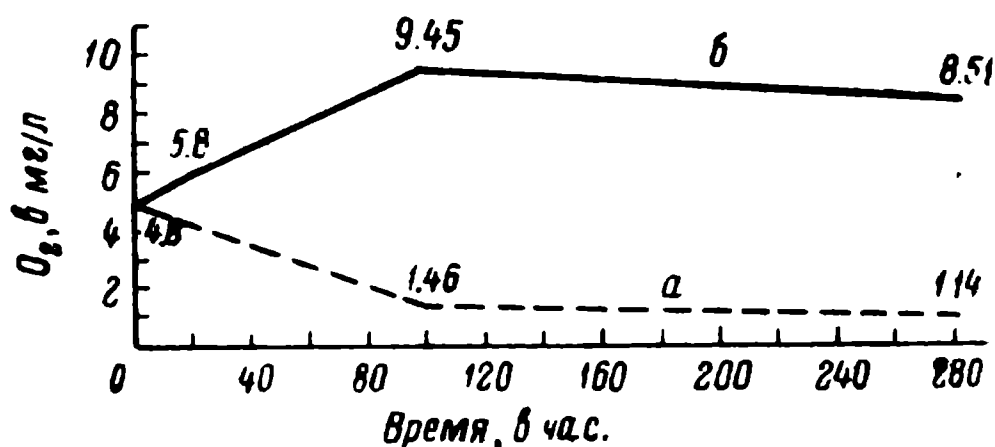


Рис. 39. Содержание растворенного кислорода в воде р. Москвы зимой (а) и летом (б).

Характеристика химических показателей загрязнения

Ингредиент	Концентрация			Чувствительность, определение, в мг/л
	в сточных водах, в мг/л (I)	в речных водах, в мг/л (II)	отношение I : II	
Азот аммонийный	а · 10	а · 10 ⁻²	1000 : 1	0.05
Хлор-ион	а · 10 ²	а	100 : 1	1
Окисляемость в O ₂	а · 10 ²	а	100 : 1	0.5
БПК	а · 10 ²	а	100 : 1	0.5

Некоторые возможности остаются только в отношении аммонийного азота, в особенности при постепенном смешении сточных вод с речной водой. Чувствительность методики определения аммонийного азота способствует обнаружению загрязнения в реке по данному показателю.

При значительном разведении более пригодны бактериологические методы. Содержание сапрофитных бактерий в бытовых сточных водах исчисляется миллионами в 1 мл, в чистой речной воде обычно содержится несколько десятков или сотен в 1 мл. Соотношение указанных величин позволяет обнаруживать загрязнение при разбавлении в десятки и даже сотни тысяч раз.

В еще большей степени это справедливо в отношении показателя фекального загрязнения—кишечной палочки. Значимость бактериологических показателей загрязнения в данном случае не снижается тем обстоятельством, что в загрязненной речной воде возможно размножение бактерий. Последнее может иметь место только в загрязненной воде и служит косвенным указателем на присутствие некоторого количества органических веществ, усвояемых сапрофитной микрофлорой.

При этом обычные методы определения органического вещества в воде, не отличающиеся высокой чувствительностью, могут не обнаружить повышения окисляемости и БПК.

Распространение загрязнения, вносимого бытовыми водами, многократно было прослежено по бактериологическим показателям на р. Волге ниже городов (Драчев, Кононов, 1937).

Река Волга в данное время зарегулирована на преобладающей части своего протяжения. В верхнем течении только участок реки выше г. Калинина имеет свободное течение, хотя последнее также отчасти регулируется пусками из верхневолжских водоемов. В низовьях река остается без подпора на участке от г. Волгограда до устья. Расход воды нижнего плеса реки в значительной мере регулируется режимом каскада волжских водохранилищ, общий объем которых составлял 180 км³ при среднем многолетнем стоке р. Волги в 250 км³.

Создание водохранилищ существенно изменило гидрологический режим реки, в особенности в предплотинных частях. Большинство крупных городов на р. Волге находится непосредственно ниже плотин и, следовательно, в верхних частях ниже расположенных водохранилищ. Подпор создается здесь при отметках нормального горизонта, по мере сработки условия начинают приближаться к речным. Это относится к участкам реки у городов Калинина, Углич, Череповец, Рыбинск, Ярославль, Куйбышев, Саратов. Расходы воды в реке возрастают от 170 м³/сек. у г. Калинина до 7000 м³/сек. у г. Волгограда. Количество городских сточных вод, спускаемых обычно без очистки и даже без механического отстоя, составляет несколько кубометров в секунду. Разбавление у г. Калинина при полном смешении со-

ставляет около 200 раз, в городах на Средней и Нижней Волге — порядка тысячи раз. Как видно из табл. 74, обнаружение загрязнения при таком разбавлении по химическим показателям невозможно. Но это, конечно, не означает, что река остается чистой. Показатели бактериального загрязнения, наиболее важные в гигиеническом отношении, вполне определенно говорят об ухудшении качества воды.

Городская канализация г. Калинина дает в сутки 60 000 м³ сточных жидкостей, представляющих смесь хозяйственно-фекальных и промышленных сбросов. Очистка фактически сводится к кратковременному отстою, и река получает сток с прозрачностью около 1 см, окисляемостью около 100 мг/л кислорода, содержанием аммонийного азота около 25 мг/л. Количество сапрофитной микрофлоры в жидкости, сбрасываемой в водоем, сравнительно невелико и выражается обычно десятками тысяч в 1 мл, доходя в отдельных пробах до миллиона.

Для характеристики микробиального обсеменения участка реки ниже сброса сточной жидкости в табл. 74 приведены данные одного из обследований, выполненного Л. Е. Корш.

ТАБЛИЦА 74

Число сапрофитных бактерий в пробах, взятых из р. Волги ниже г. Калинина, август 1954 г.

Место взятия проб	Расстояние от места спуска стоков, в км	Число колоний в 1 мл
Выше дер. Перемерки	Выше 3	500
У стока	0	17600
У дер. Горохово	Ниже 5	147000
Против устья р. Орши	13	81000
У дер. Юрьево	16	71000
У с. Лисицы	21	17600
У с. Городня	32	13000

Максимальное число бактерий было найдено на расстоянии 5 км у дер. Горохово; на расстоянии 32 км число сапрофитных бактерий все еще оставалось весьма высоким.

Данные отчетливо говорят о размножении бактерий в водоеме. Приблизженные подсчеты показывают, что в водоеме на обследованном участке бактерий находится в десятки раз больше, чем могло попасть за сутки со сточной жидкостью.

В данном случае размножение бактерий в водохранилище ниже сброса сточной жидкости, отчетливо прослеженное на обследованном участке, возможно, связано с влиянием сбрасываемых в канализацию промышленных стоков, содержащих медь. В общегородском стоке содержание меди в среднем составляло несколько миллиграммов на литр, доходя до 17 мг/л. Как установлено лабораторными опытами (Опарина, 1949), соли меди подавляют процессы распада органического вещества и обладают бактерицидным действием. В водоеме при разбавлении речной водой медь теряет бактерицидные свойства.

В зимнее время при сработке водохранилища распространение загрязнения ниже г. Калинина прослеживается по бактериологическим показателям на значительно большем расстоянии. В пробах воды, взятых у г. Конаково, на расстоянии 78 км от г. Калинина, в конце зимы обнаруживается повышенное количество сапрофитных бактерий и кишечной палочки. Загрязнение, вносимое стоками г. Калинина, обнаруживается в реке

химически только повышением аммонийного азота, как это должно быть в соответствии с разбавлением сточных вод в 100—200 раз.

В верховьях одного из крупных волжских водохранилищ — Рыбинского — находится г. Череповец, быстро растущий промышленный центр. Город расположен на подпертых участках рек Шексны и Ягорбы, образовавших после устройства плотины у г. Рыбинска заливы. Подпор р. Шексны образовал крупный залив шириной 900—1000 м с глубинами до 10—12 м при нормальном подпорном горизонте. Ягорбский залив в устьевом участке имеет ширину в 250—300 м.

Исследование санитарного состояния водохранилища у г. Череповца было проведено в 1951—1952 г. и повторные наблюдения в 1960 г. В период первого обследования сточные воды сбрасывались в водоем в объеме всего 1150 м³ в сутки, в том числе хозяйственно-фекальных было 980 м³, из них большая часть (580 м³) после отстаивания и хлорирования сбрасывалась в Ягорбский залив. Отношение объема сбрасываемых сточных вод к расходу р. Шексны до подпора составляло 1 : 100 000. При нормальном подпорном горизонте уровень воды поднялся на 5 м, течения воды в районе города практически незаметно. Перемещение водных масс определяется

направлением и силой ветра. В силу изложенных обстоятельств прибрежная полоса воды Череповецкого залива оказывается сильно загрязненной. По наблюдениям А. М. Сологуб (1957), распределение загрязнения по бактериальному признаку в прилегающих к городу частях водоемов имеет вид, представленный на рис. 17. Высокая концентрация загрязнения имеет место непосредственно в прибрежной полосе воды. Обращает на себя внимание высокое содержание сапрофитных бактерий и кишечной палочки у выпуска сточных вод больницы в количестве 68 м³ в сутки, т. е. менее 1 л/сек. На расстоянии 500 м от берега по бактериальным показателям вода вполне чиста, сапрофитных бактерий не более 100, а кишечной палочки не более одной в 1 мл. Конфигурация зон бактериального загрязнения в значительной мере зависит от направления и силы ветра.

Сосредоточение бактериального загрязнения в прибрежной зоне населенных пунктов, ниже сброса сточных вод, отмечено у Рыбинска, Ярославля, Костромы, Кинешмы и других городов. Исследования, проведенные в 1958—1960 гг. Л. Е. Корш, выявили, что в верхней части Горьковского водохранилища, которое в известной степени сохранило речной характер, загрязнение сосредоточивается у берегов и распространяется на значительном протяжении вниз по течению. Ниже г. Ярославля городской коллектор сбрасывает в реку у правого берега 150 000 м³ в сутки сточных вод с высоким бактериальным обсеменением порядка 1.7—5.0 млн сапрофитных бактерий в 1 мл при титре кишечной палочки 10⁻⁵—10⁻⁶. Бактериальное загрязнение прибрежной полосы реки, ниже сброса сточных вод, характеризуется данными, представленными в табл. 75.

Весьма резкое загрязнение по бактериальным признакам отмечено на расстоянии до 45 км от места выброса сточных вод. На расстоянии до 5 км

ТАБЛИЦА 75

Распространение загрязнения в р. Волге ниже сброса сточных вод г. Ярославля

Расстояние от выпуска, в км	Число сапрофитных бактерий		Титр кишечной палочки	
	правый берег	середина	правый берег	середина
Напротив стока	5000	6977	0.04	0.1
0.2	116000	4300	0.0001	0.01
0.5	33700	400	0.0006	0.16
2	70400	120	0.0002	0.03
6	47600	6300	0.0005	0.004
10	37800	400	0.0007	0.02
15	15300	1300	0.001	0.05
26	15300	3200	0.0015	0.004
38	3550	1650	0.004	0.009
45	5400	1450	0.004	0.009

загрязнения сосредоточены в основном у правого берега, в дальнейшем распространяются на середину реки.

Предел распространения загрязнения ниже сброса сточных вод других городов связан с количеством сточных вод. В г. Костроме, где количество сточных вод составляло около 9000 м³ в сутки, распространение бактериального загрязнения отмечено на расстоянии 8—12 км.

При наличии легко усвояемых органических веществ плотность бактериальных загрязнений связана с размножением бактерий в водоеме. Весьма наглядно это явление обнаружено на озере Селигер в небольшом заливе Грязевица, куда спускаются сточные воды кожевенного завода. В сильно загрязненной воде содержание бактерий составляло несколько миллионов в 1 мл, более чем в 5 раз превышая содержание бактерий непосредственно в сточных водах и в водоеме у места выпуска.

Биологические пруды и лагуны

Одним из простейших способов очистки сточной жидкости является отстаивание, в процессе которого происходит осаждение взвешенных веществ и улучшение качества воды. В сточной жидкости протекают биопроцессы, в результате которых может происходить как улучшение, так и ухудшение качества воды. Процессы, протекающие при отстаивании, многократно подвергались изучению, в основном с целью регулирования. О качественной стороне превращений дает представление описанный Фелпсом (Phelps, 1944) опыт, проведенный в Массачусетском технологическом институте. В течение нескольких лет проводились наблюдения за сточной жидкостью, стоявшей в бутылки при комнатном освещении. В первую очередь начались гнилостные процессы, жидкость приобрела черный цвет и дурной запах. Через несколько недель произошло оседание и осветление жидкости, затем появились растения, вскоре достигшие большого развития, вода стала прозрачной с тяжелым осадком на дне. Запасы пищи для растений, по-видимому, истощились, развитие растительной жизни приостановилось. Тогда вновь начался процесс анаэробного разложения и через три месяца внешний вид жидкости был столь же неприятным, как и в начале. Постепенно черная и дурнопахнущая жидкость начала осветляться, отстаиваться, появились зеленые растения. Этот цикл повторялся в течение трех лет семь раз, продолжительность каждого цикла удлинялась, степень ухудшения качества воды проявлялась каждый раз в менее выраженном виде. Наконец, были достигнуты почти статические условия: в воде всегда присутствовали растительные организмы и многочисленные представители животного мира — протоzoа, копеподы и черви, в изобилии развивались микроорганизмы.

При искусственной биологической очистке используются аэробные и анаэробные процессы, протекающие в отсутствие зеленых растений, деструктивные процессы распада органического вещества при помощи сапрофитной микрофлоры. Получение продуктов неполного распада органического вещества — водорода и метана — является одним из направлений рационального использования запасов энергии, содержащихся в органическом веществе взвесей. Рациональные приемы обезвреживания растворенного и тонкодисперсного органического вещества заключаются в окислении с использованием кислорода. Последний поступает в силу естественных процессов аэрации через поверхность водоемов или вдувается искусственно на аэрофильтрах и аэротенках.

В биологических прудах и лагунах к процессу окисления, обезвреживания, а возможно, и обеззараживания привлекается другой источник кислорода. Фотосинтетический процесс — основной источник кислорода, которому обязано появление свободного кислорода в атмосфере земли.

Прием обезвреживания и обеззараживания бытовых сточных вод в прудах, искусственно устроенных земляных емкостях (Захаров, Константинова, 1929) и лагунах, при которых используются пониженные места рельефа, в последние годы привлекает большое внимание во всех частях земного шара (Fitzgerald, Kolblish, 1958). В пределах СССР вопрос этот с гигиенической и биологической стороны изучается в Белоруссии. Содержательный обзор по вопросу о биологических прудах в практике очистки сточных вод опубликовали Г. Г. Винберг и П. В. Остапеня (1961).

В данное время накоплен достаточный материал исследования для оценки этого приема очистки бытовых сточных вод и имеются основы для расчетов окислительной мощности этого рода сооружений. Последние даны в работе Германна и Глойна (Hermann, Gloyna, 1958a, 1958), в которой подведены итоги лабораторных экспериментов и оценка 188 действующих прудов, обслуживающих суммарно 1 260 000 человек. В большинстве случаев количество населения, обслуживаемого при помощи прудов, было сравнительно невелико — от 500 до 56 000 человек. Кроме того, пруды служат вспомогательным очистным сооружением в г. Сан-Антонио с населением более 500 000 человек.

По заключению авторов, пруды могут проектироваться и использоваться таким образом, что будет достигаться полная очистка сточных вод. Дана формула расчета объема прудов:

$$y = 5.37 \cdot 10^{-8} NqL (1.072)^{(35-t)},$$

где y — объем пруда в акрофутах; N — количество обслуживаемого населения; q — расход сточных вод в галлонах в день на одного жителя; L — БПК₅ при 20°, в мг/л; t — температура воды, в °С.

Глубина прудов имеет существенное значение и должна находиться в пределах от 2 до 3.5 футов.

Возможности использования прудов в условиях средней полосы СССР освещены в работах С. Н. Строганова (1914), Г. Г. Винберг (1955, 1961), П. В. Остапени и др. (1961). По данным последних, нагрузка на пруд может составлять 600 м³ сточной жидкости на 1 га в сутки в летнее время; поздней осенью нагрузка снижается до 120 м³/сутки на 1 га. При этом снижение БПК составит 150 мг/л. Приведенные цифры представляют собой средние данные; при оптимальных условиях снижение БПК в прудах может быть в 2—3 раза выше указанных величин.

Факторами, ограничивающими работу биологических прудов как очистных сооружений, являются условия освещения и температура. В зимних условиях работа биологических прудов в г. Минске приближалась по эффективности к сооружениям механической очистки сточных вод, составляя по снижению БПК₅ в среднем 34% (Сивко, 1961). Эти данные относятся не к специально устроенным прудам, а к полям фильтрации, которые в силу перегрузки, как это нередко бывает, превратились в пруды. Переоборудование полей в пруды свелось к устройству водоспусков с отдельных карт.

До настоящего времени нет строго определенных технических параметров для устройства биологических прудов, практически под этим устройством понимаются весьма различные сооружения, начиная от наиболее примитивных, работа которых в основном сводится к отстою, до довольно сложных сооружений, включающих насосное хозяйство, специальные перемишки и 6—7-кратную циркуляцию в каждом из прудов. Подобная система более 20 лет успешно применяется в г. Лунде в Швеции. По описанию Веннстрема (Wenström, 1955), сооружение работает круглый год, БПК₅ очищенной сточной жидкости составляет в среднем 20 мг/л, титр коли очищенной жидкости колебался в пределах 0.02—2 мл.

Большое распространение имеют биологические пруды на юге США. По данным Германа и Глойна (Hermann, Gloyna, 1958a, 1958b), в штате Техас находится в эксплуатации более 200 прудов, обслуживающих свыше миллиона человек. Начинают распространяться биологические пруды на севере США, вплоть до штатов, пограничных с Канадой. По опубликованным данным (Towne a. oth., 1957), в Северной и Южной Дакоте и прилегающих к ним штатах бассейна р. Миссури действуют более 200 прудов; в основном пруды обслуживают города и поселки с небольшим числом населения порядка нескольких тысяч человек. Крупными сооружениями являются биологические пруды в Австралии, где 98% сточных вод г. Мельбурна (средний расход около 4 м³/сек.) очищается путем орошения, фильтрации на полях и в лагунах на городской ферме площадью свыше 10 000 га (Parker a. oth., 1959). Характерной особенностью лагун является использование анаэробного типа брожения.

При наблюдениях, охватывающих длительный период времени, обнаружено, что наиболее эффективно очистка идет в лагунах анаэробного типа, где снижение БПК на единицу площади было в несколько раз выше, чем в аэробных лагунах. Сточные воды поступают сперва в сравнительно небольшие по площади анаэробные лагуны, а затем проходят доочистку в аэробных лагунах, площадь которых в 3—5 раз больше. Проводится полная очистка сточных вод обычной концентрации и разбавленных в дождливый период. Используются лагуны также для доочистки сточных вод с хорошими результатами как в летний, так и зимний периоды.

Биологические пруды могут использоваться для разведения рыбы, как это применялось С. Н. Строгановым (1914) в Москве, где существовала система прудов с последовательной передачей жидкости из пруда в пруд. В четвертой и последующих секциях прудов проводилось опытное выращивание карпов. Источником питания была неразбавленная и неочищенная сточная жидкость г. Москвы.

Своеобразные формы рыбных прудов с использованием нечистот существуют в Китае и других странах Востока (Ляхнович, 1962).

По В. А. Мейну, в условиях Подмосквья возможно получение 300—400 кг рыбы с гектара площади пруда. В большом масштабе рыборазведение в прудах, заполненных разбавленной сточной жидкостью, проводилось в Мюнхене (Kaufmann, 1958), где пруды принимали стоки от населения до 500 000 человек. Для разбавления требовалось большое количество воды, так как пруды заполнялись неочищенной сточной жидкостью, разбавленной в 3—5 раз.

Наиболее критическим периодом в работе биологических прудов является зима. Это было отмечено в работах С. Н. Строганова (1914) и более поздних исследованиях Т. Н. Сивко (1961). Наряду с этим имеются данные о положительном эффекте работы прудов в условиях зимы, как это было отмечено в упомянутой выше работе Веннстрема (Wennström, 1955).

Круглогодично работают пруды в Калифорнии (Oswald a. oth., 1953) и Мельбурне, что может быть отнесено за счет более мягкого и солнечного климата. Исследования в Северной и Южной Дакоте, где пруды на длительный срок замерзают, показали, что в этот период создаются условия для снижения содержания взвешенных веществ на 68—93% и БПК — на 44—96%, несмотря на анаэробные условия. В данном случае снижение БПК происходит за счет анаэробных процессов, что имеет место в Австралии и связано с образованием дурнопахнущих газов.

Имеется предложение К. М. Спивакова (1957) об устройстве прудов-накопителей, рассчитанных на прием всего количества сточных вод в зимний период с тем, чтобы использовать накопленный запас воды для орошения полей во время вегетации. С точки зрения охраны водоема

от загрязнения это предложение вызывает положительное отношение, так как длительное отстаивание жидкости является благоприятным фактором.

Все имеющиеся данные говорят о высоком эффекте очистки в бактериальном отношении. По наблюдениям Р. И. Левиной и Т. Н. Сивко (1961), снижение содержания кишечной палочки в стоке биологических прудов в летние месяцы составляло более 99% от исходного количества.

Высокий бактериальный эффект очистки был установлен на Люблинских прудах, где титр кишечной палочки в очищенной сточной жидкости повышался до 0.01 и даже 0.1 мл (Базякина и др., 1919).

Одним из факторов ускоренного отмирания кишечной микрофлоры является значительное подщелочение среды до рН 9—10 в связи с усиленной ассимиляцией углекислоты в процессе фотосинтеза. Более быстрая гибель патогенных бактерий в присутствии фитопланктона, установленная в лабораторных опытах (Остапеня и др., 1961), может быть связана как с изменением реакции среды, так и выделением специфических токсических веществ растительными организмами (Корш, 1960).

К положительной стороне очистки на биологических прудах относится практически полная дегильментизация сточной жидкости, установленная наблюдениями на сооружениях в г. Минске (Кокина, Лохманенко, 1961).

Биологические пруды находят применение для обезвреживания промышленных сточных вод, в первую очередь богатых органическим веществом, в частности, от пищевой промышленности.

В США и Чехословакии успешно применялись пруды для обезвреживания сточных вод молокоперерабатывающих предприятий, сахарных заводов, предприятий мясопромышленности. В работах К. Питлика (Pytlík a. oth., 1954, 1956) указывается, что для эффективной работы прудов в этом случае необходимо добавлять 2—5 т извести (CaO) на гектар площади пруда. Очистка сточных вод при этом сочеталась с рыборазведением: с гектара получалось более полтонны рыбы. При высоком содержании органических веществ для предупреждения анаэробных процессов рекомендуется искусственное добавление кислорода в виде нитратов или путем подачи воздуха, как это делается при очистке сточных вод бумажной промышленности. По данным О' Коннора и Эккенфельдера (O' Connor, Eckenfelder, 1960), проводивших лабораторные и полевые опыты, возможна очистка весьма богатых органическим веществом стоков бумажной и консервной промышленности. Снижение биохимической потребности при этом составляет до 80%. Как указывают авторы, имеется достаточно материалов для расчета при проектировании очистки сточных промышленных вод с помощью биологических прудов.

Ведутся опыты по использованию весьма загрязненных сточных вод сухой перегонки дерева для орошения путем разбрызгивания (Hickerson, Mastanov, 1960).

Пруды находят применение для очистки или доочистки других видов промышленных сточных вод. Широко применяется доочистка сточных вод нефтяной промышленности (Омск, Краснодар, Саратов), хотя данных об эффективности сооружений еще мало. Практически используются пруды-отстойники для улучшения качества сточных вод химических предприятий, дающих большое количество стоков, загрязненных разнообразными соединениями продуктов, полупродуктов и исходным сырьем.

ОХРАНА РЕК ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ КАК СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ ПЛАНОВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Охрана рек от загрязнения в данное время осуществляется путем организационных, законодательных и технических мероприятий. Среди приемов технического порядка наиболее распространенным и действенным является биологическая очистка хозяйственно-фекальных и богатых органическим веществом промышленных сточных вод. Давно известные очистные пруды за два последних десятилетия вновь привлекают внимание как прием доочистки или даже полной очистки стоков. Наиболее испытан этот прием в бассейне р. Рура (ФРГ), где действует система водохранилищ для улучшения качества очищенных сточных вод (Imhoff, 1931). Фильтрация сточных вод через почву, с использованием орошаемой площади под сельскохозяйственные культуры (поля орошения), или в виде полей фильтрации в плотнонаселенных странах теряет свое значение. Земледельческие поля как новый вид использования оросительных и удобрительных свойств сточных вод до настоящего времени не получили широкого распространения. Высокая поглотительная способность почв и грунтов начинает использоваться при пополнении запасов подземных вод.

К мероприятиям юридического порядка относятся законодательные постановления общегосударственного значения, решения и правила муниципалитетов, речных советов и других местных административных органов. В категорию этого порядка входят стандарты качества стоков, сбрасываемых в водоемы, стандарты и нормативы качества речной воды, правила спуска сточных вод в открытые водоемы. Разработка нормативов, определяющих пределы допустимого загрязнения водоемов при различном использовании, представляет сложную научную проблему (Черкинский, 1948; Гусев, 1961).

Юридическая сторона вопроса имеет важное практическое значение, так как загрязнение водоемов во многих случаях затрагивает экономические интересы целых отраслей народного хозяйства. Вопрос о правовой стороне освещен в обширной литературе (Water laws. . . , 1954; Wilson, 1956; Колотнянская, 1962). Нередко загрязнение водоемов затрагивает международные отношения (Меннер, 1963).

К организационным мероприятиям по борьбе с загрязнением поверхностных и подземных вод относится устройство зон санитарной охраны источников питьевого водоснабжения. Зоны санитарной охраны юридически узаконены более ста лет назад. Наиболее распространены такие зоны в США.

Организация зон санитарной охраны в нашей стране насчитывает столетия. Впервые охранная зона утверждена в 1912 г. (Брагин, 1927; Мускат, 1937). Характерной чертой зон санитарной охраны являются

предупреждение загрязнений прибрежной территории, включая в некоторых случаях всю площадь водосбора.

В последнее время охрана водоемов начинает рассматриваться как государственное мероприятие по использованию водных ресурсов.

ОХРАНА РЕК И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕСУРСОВ

Удовлетворение потребности в воде населения, промышленности и сельского хозяйства все чаще встречает затруднения, в особенности в связи с загрязнением поверхностных источников водоснабжения (Baily, 1961). Последние все в большей степени используются для хозяйственно-бытового и промышленного водоснабжения и в дальнейшем, по-видимому, почти повсеместно займут значение преобладающих источников.

Ограниченность источников водоснабжения и необходимость поддержания их в пригодном для использования состоянии хорошо иллюстрируются примером Англии. В первой четверти прошлого столетия население страны составляло около 7 млн, промышленность была слабо развита. В данное время население выросло до 50 млн, потребление воды промышленностью возросло во много раз. С тех пор некоторое добавочное количество воды стали извлекать из подземных источников, регулирование стока некоторых рек повысило возможности использования поверхностных вод. Но в целом водные ресурсы страны остались на том же уровне, что и в начале прошлого столетия.

Прирост вод, доступных для использования, не покрывает и малой доли роста потребностей. Трудности усиливаются из-за загрязнения поверхностных вод, в силу чего использование их для питьевых и технических нужд становится невозможным.

Трудности в снабжении водой в связи с ограниченностью запасов побуждали к составлению балансов и перспективных планов использования водных ресурсов. Такого рода работы проведены в ФРГ, Голландии, США.

Много внимания уделяется вопросам планирования водного хозяйства в Чехословакии, Польше, ГДР.

При составлении водных балансов, с одной стороны, учитывается количество доступной и пригодной к употреблению воды, с другой — проводятся подсчеты количества воды, используемой в различных отраслях народного хозяйства и перспективы водопотребления. В связи с ограничением водопотребления учитывается степень загрязнений рек при сбросе сточных вод. Приводятся приближенные расчеты вложений, необходимых для строительства очистных сооружений в данное время и в перспективе.

В расходной части водных балансов основными потребителями в порядке возрастающего количества используемой воды являются хозяйственно-питьевое водоснабжение, промышленность, сельское хозяйство. В зависимости от степени индустриализации и развития орошения на первом месте может быть промышленность или сельское хозяйство. Широкое развитие прирригации возможно только за счет поверхностных вод, при ограниченном количестве последних основным потребителем воды является промышленность.

В схеме, составленной для Западной Германии (Clodius, 1952), принято, что из общего количества осадков (771 мм) большая часть расходуется на испарение. В речной сток поступает 301 мм, на пополнение грунтовых вод — 80 мм. На хозяйственно-питьевые нужды из речного стока забирается количество воды, соответствующее 1 мм осадков, из подземного стока — 8 мм, возвращается в виде сточных вод 7 мм, 2 мм составляют потери. Для нужд промышленности, включая железные дороги, производство электроэнергии и газа, забирается из рек 13 мм и подземных вод 10 мм. Возвращается в реки в виде сточных вод 19 мм, потери составляют 4 мм.

По данным Поппеля (Pöpel, 1959), 75% населения ФРГ и промышленность, связанная с городскими водопроводами, ежегодно потребляют 11 млрд м³ воды. Население городов 35.6 млн человек (присоединено к канализации 73.6%) дает в сутки 21 080 000 м³ сточных вод, из которых подвергается хорошей очистке 25.5%, недостаточной — 47%, спускается без очистки 24.5%.

Для предупреждения дальнейшего загрязнения рек необходимы вложения на строительство очистных сооружений в сумме 11 200 млн марок. Срочность вложений усиливается возрастанием использования поверхностных вод в народном хозяйстве.

Одним из первых был опубликован водный баланс Голландии. Хотя страна находится в зоне достаточного увлажнения (среднегодовое количество осадков 725 мм) и получает большое количество речного стока из-за рубежа (реки Рейн, Маас), затруднения с водоснабжением вызвали необходимость составления водного баланса для современного состояния и в перспективе (Kruil, 1957). При этом выяснилось, что в дальнейшем потребности будут покрываться в основном за счет поверхностных вод. В перспективе забор воды для удовлетворения хозяйственно-питьевых нужд из поверхностных источников возрастает в 8.9 раза, потребление воды из подземных источников увеличится в 1.3 раза. К концу расчетного периода из подземных источников для хозяйственно-питьевых нужд будет забираться около $\frac{1}{3}$ воды, в то время как в настоящее время подземные воды обслуживают $\frac{2}{3}$ населения.

Повысится значение поверхностных вод для удовлетворения потребностей промышленности. Сейчас промышленность забирает равное количество воды из поверхностных и подземных источников, в будущем подземные воды будут удовлетворять лишь $\frac{1}{3}$ потребности в воде.

Своеобразной чертой будущего водного баланса страны является большое увеличение потребности в воде для орошения. Расход воды для орошения в 3 раза превысит потребление промышленностью. Вся потребность в ирригационной воде будет удовлетворяться за счет поверхностного стока. Особенностью водного баланса является широкое использование поверхностных вод для пополнения запасов подземных вод. Четвертая часть всех поверхностных вод, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения, будет предварительно профильтровываться через почву.

Много внимания уделяется вопросам водного баланса и перспективам использования водных ресурсов в США (Jordan, 1955, Water, 1955; Graham, Burrill, 1956). Работы проводятся по стране в целом, по бассейнам отдельных рек, штатам и округам. Для всей страны перспективы потребления воды подсчитаны на 25-летний период — с 1950 по 1975 г. (табл. 2).

За расчетный период предполагается рост потребления воды: на городское и сельское водоснабжение — в 1.48 раза, на промышленность — в 2.65 раза, на орошение — в 1.26 раза. В отличие от водного баланса Голландии рост потребления воды для орошения значительно отстает от промышленного потребления.

В США, как и в других развитых в промышленном отношении странах, хозяйственно-питьевое водоснабжение занимает относительно небольшое место. В 1950 г. хозяйственно-питьевое водоснабжение составило 9.2% от общего количества воды, используемой в стране. По расчетам в 1970 г. в связи с развитием промышленности доля хозяйственно-питьевого потребления уменьшится до 6.1%. Рост потребления воды на хозяйственно-питьевые нужды намечено удовлетворить за счет поверхностных вод. В этом отношении поддерживается тенденция, определенно выявившаяся с начала текущего столетия. По опубликованным данным (Hollis, 1961),

количество городского населения с начала текущего столетия и источники его водоснабжения в США изменились следующим образом (табл. 76).

ТАБЛИЦА 76

Рост водоснабжения из поверхностных источников в США

	1900 г.	1920 г.	1940 г.	1960 г.	1980 г.
Всего городского населения, в млн	30	54	80	126	200
Снабжалось из поверхностных источников, в млн	2	20	40	100	165

Как видно, в 1900 г. из поверхностных источников снабжалось водой 6.6% населения городов. Неуклонный рост использования рек и озер для городского снабжения привел к тому, что в 1960 г. подземные источники обслуживали всего 20% населения.

Хотя борьбе с загрязнением уделяется большое внимание, строительство очистных сооружений отстает от темпов роста загрязнений. По проведенным подсчетам в США нагрузка загрязнений на реки за 20-летний период возросла к 1960 г. на 30%. При тех же темпах роста загрязнений и строительства сооружений для очистки к 1980 г. нагрузка загрязнений на реки возрастет вдвое (Hollis, 1961).

Непрерывный рост потребления воды и параллельно идущее загрязнение рек создают условия для весьма пессимистических настроений. По мнению Шуетта (Schuette, 1959), так как население и промышленность продолжают заполнять пустые места между главными источниками загрязнения, впереди США ожидают только потоки бытовых и промышленных сточных жидкостей вместо чистых рек.

Необходимость решения практических задач водоснабжения послужила стимулом к составлению планов использования водных ресурсов по отдельным штатам США. Опубликованы подобного рода подсчеты по штатам Техас, Висконсин, Оклахома и району Вашингтона и др.

Общая тенденция роста водопотребления на различные нужды в Оклахоме за период с 1930 по 1955 г. видна из табл. 77.

Исходя из приведенных данных и ряда соображений о возможном развитии сельского хозяйства и отраслей промышленности, построены кривые роста населения и потребления воды на хозяйственно-питьевые нужды, а также промышленностью и сельским хозяйством (рис. 40). Расчеты проведены на 1975, 2000 и 2025 гг. (Reid and oth., 1959). При этом авторы исходили из допущений, что рост населения в штате будет аналогичен принятому для США в целом и миграция населения не будет иметь существенного значения. Было принято, что увеличение городского населения, степень урбанизации и плотность населения будут наметаться так же, как и в районах, в достаточной степени снабженных водой.

При вычислении общего потребления воды в отдельных населенных пунктах учтены возможный рост промышленности и увеличение расходов

ТАБЛИЦА 77

Потребление воды в Оклахоме за 1930—1955 гг.

Годы	Потребление, в миллионах галлонов в день		
	промышленное	городское	на орошение
1930	25	170	1
1940	22	133	1
1950	39	192	3
1955	52	233	150

воды на бытовые нужды, включая кондиционирование воздуха, автоматические устройства для мытья машин и пр.

При исчислении потребления промышленностью было принято возможным снижением расходов воды на производство киловатт-часа электроэнергии с 150 до 2 галлонов, тонны стали — с 50 000 до 1400 галлонов, снижение расхода воды в угольной промышленности — в 56 раз.

На конец расчетного периода основным потребителем воды будет промышленность, относительное значение потребления воды сельским хозяйством сильно снизится, несколько уменьшится к 2025 г. относительное значение потребления на муниципальные нужды.

Перспективы использования водных ресурсов до 2010 г. с учетом роста промышленного и хозяйственно-питьевого водоснабжения состав-

лены для восточной части штата Техас. Эта часть штата развита в промышленном отношении, имеет большую плотность населения. Количество осадков составляет 125 мм в год. Непрерывный рост потребления воды на 60-летний период представлен на рис. 41.

Основными потребителями воды являются химическая, нефтяная и бумажная промышленности, в сумме дающие почти 70% общего количества промышленных стоков. В перспективе особенно сильное возрастание потребления воды и соответственно образование сточных вод предвидится для химической промышленности.

Относительное значение стоков в нефтяной промышленности уменьшится, в производстве бумаги останется без изменений на протяжении всего периода (рис. 42).

В связи с весьма ограниченными водными ресурсами авторы считают неизбежным максимальное повторное использование воды. На ближайшие 20—30 лет наиболее надежным источником воды будут бытовые сточные воды. Количество промышленных сточных вод в целом будет возрастать, но на единицу продукции уменьшится. Таким образом, промышленные сточные воды будут становиться все более трудно используемыми в противоположность бытовым стокам, в отношении которых ожидается понижение концентраций.

Авторы приходят к выводу, что использование сточных вод, в частности хозяйственно-фекальных, для питьевых нужд в будущем неизбежно. В силу отсутствия других источников, использование сточных вод для

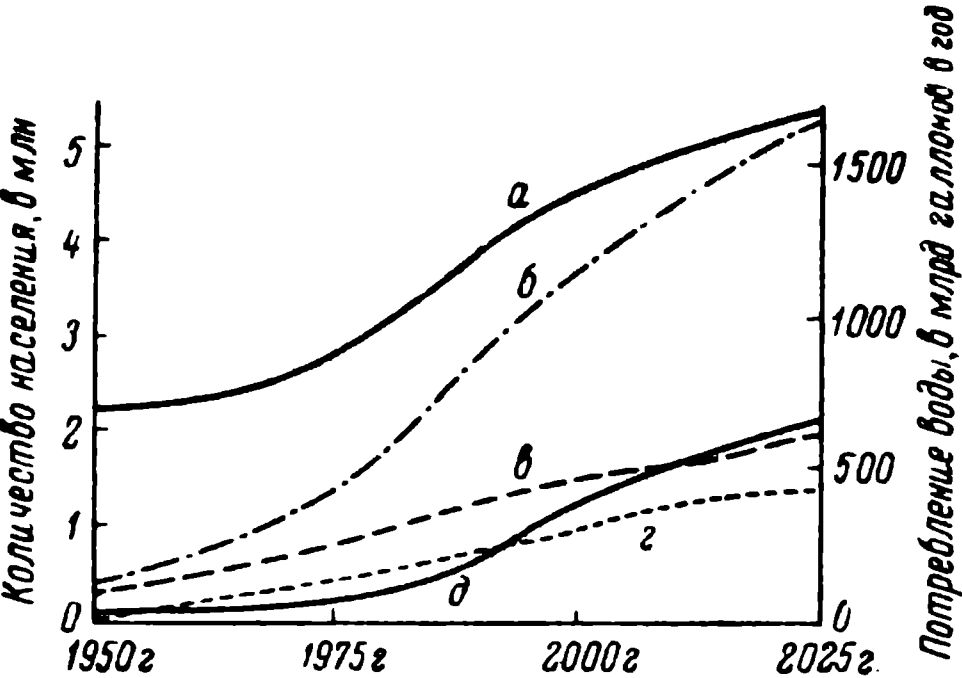


Рис. 40. Перспективы использования воды в штате Оклахома на 75 лет.
а — число жителей; количество используемой воды:
б — суммарно, в — городом, г — сельским хозяйством,
д — промышленностью.

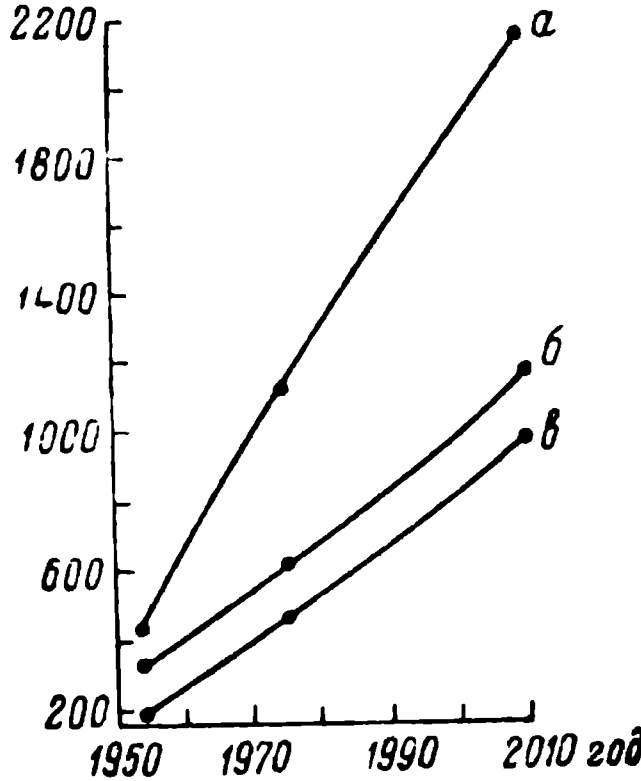


Рис. 41. Перспективы роста потребности в воде в Техасе (США).
а — потребность, б — возврат, в — потери. По оси ординат — потребность в воде, в млрд галлонов в год.

питьевого водоснабжения будет иметь место независимо от существующего на этот счет общественного мнения (Gloyna a. oth., 1959).

Ограниченность водных ресурсов в США такова, что использование воды для той или иной отрасли хозяйства связано с ущемлением другого вида потребления. Так, например, забор воды для орошения уменьшает навигационные глубины, снижает энергетический потенциал, ограничивает количество воды для разбавления сточных вод, нарушает жизнь рыб и других гидробионтов, препятствует возможности использования водоема для отдыха и спорта (Water resources policy, 1955).

Ограниченность запасов воды лимитирует развитие ирригации в засушливых районах. Основываясь на общей тенденции роста орошаемых земель, Боханен (Bohanon, 1958) намечает следующие темпы роста орошаемых земель в 28 штатах США (с достаточным увлажнением): 1960 г. — 1.1, 1980 г. — 5.8, 2000 г. — 11.0 млн акров.

Как видно, относительный прирост орошаемых земель сильно замедлится на второе двадцатилетие.

Имеются попытки определить экономическое значение и ценность использования воды в различных отраслях народного хозяйства. В работе Реншао (Renshaw, 1958) приведена приближенная оценка акрофута (1230 м³) воды в долларах при использовании в различных отраслях хозяйства.

ТАБЛИЦА 78

Стоимость акрофута воды в долларах при различном использовании

Вид использования	Колебания стоимости	
Хозяйственно-питьевое	100.2	— 235.7
Промышленное	40.7	— 163.4
Ирригационное	1.7	— 27.0
Энергетическое	0.7	— 5.9
Обезвреживание стоков	0.6	— 2.7
Внутреннее судоходство	0.05	— 1.2
Промышленное рыболовство	0.025	— 1.1

особенности поверхностных вод, является частью использования природных богатств страны. Первое крупное гидротехническое строительство — Днепровская гидроэлектростанция — наряду с получением энергии разрешало задачу сплошного водного пути по р. Днепру, разделенной ранее порогами. Многочисленные проекты реконструкции рек, разработка которых началась в связи с переходом к плановому хозяйству, предусматривали не только получение энергии, но и использование воды для орошения, судоходства, рыбного хозяйства, промышленного и городского водоснабжения. Строительство канала им. Москвы (1932—1937), обеспечившее хозяйственно-питьевое водоснабжение г. Москвы, одновременно разрешило вопрос создания глубоководного речного пути, установило прямую связь промышленного центра с Волжским бассейном. Создание каскада электростанций на Волге наряду с получением электроэнергии

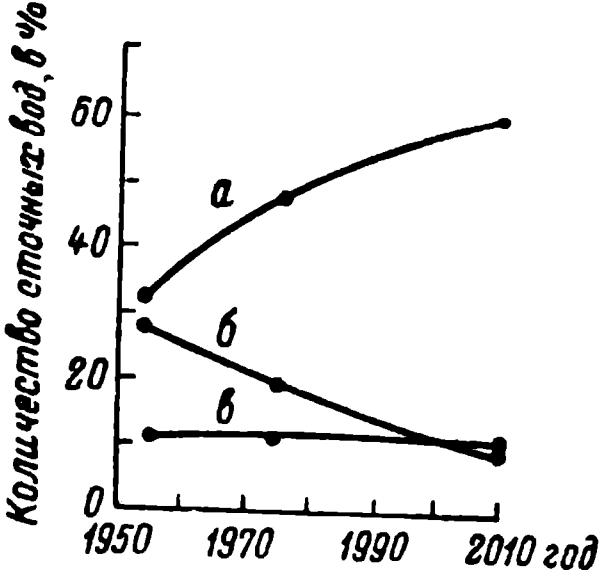


Рис. 42. Перспектива изменений сброса сточных вод основными видами промышленности в Техасе.

а — химической; б — нефтяной, в — бумажной.

ПЛАНОВОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В СССР

В Советском Союзе плановое комплексное использование водных ресурсов, в

учитывало потребности орошения плодородных земель в среднем и особенно нижнем течении реки. Запасы воды, накопленные в Цимлянском водохранилище на Дону и каскаде гидростанций на Днепре, используются для орошения обширных пространств в низовьях рек. Хотя на первое место выдвигалось решение энергетических задач, но в проектах всегда предполагались возможности решения комплекса задач, включая орошение, судоходство, рыбное хозяйство, промышленное и городское водоснабжение.

Наряду с разрешением задач реконструкции крупных рек разрабатывались вопросы использования местного стока. Методика комплексного водохозяйственного использования малых рек в засушливых районах европейской части СССР освещена в работе М. А. Кузнецова (1949) на примере р. Большой Иргиз.

Вместе с тем до недавнего времени вопросам планового использования поверхностного стока не уделялось должного внимания. Между тем вопросы правильного использования и охраны водоемов от загрязнения могут быть решены только как часть государственного плана использования водных ресурсов страны, так как с ними связаны такие крупные проблемы, как размещение населения и промышленности.

Наличие многоводных рек и крупных озер в пределах нашей страны, обширность территории, взаимная удаленность расположения больших городов и промышленных узлов создавали впечатление неисчерпаемости водных запасов. Лишь в районах с развитой промышленностью и большей плотностью населения, как например в Донбассе, давно ощущался недостаток воды и велись обширные работы по урегулированию водоснабжения. По мере роста промышленности и сосредоточения больших масс населения в городах возрастало количество районов, где решение вопросов водоснабжения встречало затруднения. В данное время к числу районов, дефицитных по водным ресурсам, относятся Криворожье, Челябинская, Свердловская, бывшая Центрально-Черноземная, Московская области. Кроме того, в зоне недостаточного увлажнения и пустынной зоне развитие сельского хозяйства и промышленности почти всегда лимитируется недостатком воды.

Особенно важной становится проблема соответствия водных ресурсов потребностям населения, промышленности и сельского хозяйства при решении вопросов размещения промышленности и использования производительных сил страны в перспективе развития. Актуальной стала задача составления водного баланса не только отдельных областей и экономических районов, но и более обширных территорий.

Суммарные водные ресурсы рек СССР очень велики, составляют в среднем по водности год 4340 млрд м³, что значительно превышает запасы наиболее богатых водой зарубежных стран Бразилии (3200 млрд м³) и США (2600 млрд м³).

Неблагоприятным фактором является крайне неравномерное распределение водных ресурсов по территории Советского Союза. На Украине, где проживает около 20% населения, суммарные водные запасы, формирующиеся на территории республики, составляют всего 1.4% от общего количества. Весьма бедны в отношении водных ресурсов Туркмения, Казахстан, Узбекистан.

В пределах Российской Федерации, суммарные водные ресурсы которой составляют 91% от общесоюзных, имеются обширные территории с весьма недостаточными запасами воды. На обжитую часть страны приходится менее четверти общего объема годового стока (Звонок, 1961).

Обеспечение водой населения, промышленности и сельского хозяйства во многих случаях возможно лишь при переброске воды на значительные расстояния внутри бассейнов рек и между бассейнами.

Переброска воды на дальние расстояния осуществляется в больших масштабах. Многие миллиарды кубометров воды переброшены из р. Волги в бассейн р. Москвы для водоснабжения города и обводнения реки. В прения сотен километров. Для снабжения населения Целинного края строятся и сулавский водопроводы протяженностью свыше тысячи километров каждый.

Переброска воды на большие расстояния практикуется и за рубежом. Водоснабжение Южной Калифорнии осуществляется из р. Колорадо на расстоянии 250 миль. Количество населения, обслуживаемого данной системой, возросло до 7 млн (Diemer, 1959), в дальнейшем предполагается увеличить подачу воды в полтора раза.

Таким образом, при решении вопросов использования водных ресурсов для целей водоснабжения необходимо учитывать интересы населения на весьма обширных пространствах.

В нашей стране снабжение водой некоторых среднеазиатских республик и Казахстана может быть полностью разрешено путем переброски из других речных бассейнов.

При рассмотрении возможности обеспечения потребностей населения и народного хозяйства за счет речного стока необходимо учитывать колебания стока по годам и по сезонам года.

Все виды водопользования требуют обеспечения бесперебойного снабжения, в некоторых случаях степень обеспеченности может быть снижена. Согласно существующим указаниям (Районная планировка. . . , 1962), для хозяйственно-питьевого водоснабжения требуется 95—97% обеспеченности, для судоходных попусков — 80—90, гидроэнергетических устройств — 80—95, для орошения — 60—80%. При использовании источника для нескольких потребителей принимается норматив с наиболее высоким требованием к обеспеченности.

В табл. 79 приведены данные об объеме годового стока в средние и маловодные годы крупных рек СССР.

В общем по мере уменьшения объема годового стока снижается степень обеспеченности. Наибольший диапазон колебаний имеет место в южных засушливых районах.

Основной частью плана использования водных ресурсов является составление водного баланса в территориальных пределах. Первая попытка составления водного баланса, т. е. сопоставления всех наличных поверхностных и подземных водных ресурсов с потребностями населения в всех отраслей народного хозяйства СССР, была осуществлена В. Т. Турчавовичем (1961). До опубликования данной работы составлялись балансы водного хозяйства для отдельных районов, где наиболее ощущался недостаток воды для населения и промышленности (Донбасс, Криворожье, Москва). Между тем решение крупных вопросов местного значения затра-

ТАБЛИЦА 79
Объем годового стока рек СССР в средние и маловодные годы, в млрд м³

Реки	Объем годового стока		
	средний год	маловодные годы	
		обеспеченность	
		75%	95%
Енисей	623	574	515
Лена	506	466	411
Обь	391	343	294
Волга	259	224	184
Печора	130	120	107
Иртыш	94	76	57
Нева	82	72	58
Аму-Дарья	63	57	51
Днепр	52	37	33
Ока	38	32	25
Дон	29	20	13
Сыр-Дарья	22	18	13

гивает обычно интересы соседних областей и в некоторых случаях довольно отдаленных. При составлении баланса большое значение имеет решение ряда методических вопросов, которые более или менее разработаны в отношении малых бассейнов (Принципы и методы. . . , 1949; Звонков, 1960; Кузнецов, 1949, 1961). Трудности работы по составлению водного баланса для столь обширной территории, как СССР, заключаются не только в недостаточной разработанности методической стороны, недостаточности многих материалов, но и в том, что вопросы необходимо решать в перспективе развития народного хозяйства, роста потребностей населения и возможных изменений в водном режиме страны и отдельных областей. В. Т. Турчановичем (1961) водный баланс составлен для обжитой части страны, на которой сосредоточена основная масса населения, преобладающая часть промышленности и орошаемых земель. Общая площадь этой юго-западной части СССР составляет 9 млн км², суммарный среднегодовой сток рек на данной территории равен 880 км³. Принимая во внимание неравномерность распределения стока внутри года и по отдельным годам, а также невозможность полного зарегулирования, принято, что может быть использовано около трети среднегодового стока (290 км³ в год). В приходной части подземные воды не приняты во внимание, так как в масштабе страны подземный сток рассматривается как составная часть поверхностного стока. В расходной части баланса различаются валовое потребление (полное количество используемой воды) и безвозвратные потери (количество воды, которое не возвращается в реки). Баланс составлен в расходной части на 1958 г. с учетом роста потребностей на 1965 г. При этом учтены потребности водоснабжения населения, промышленности и сельского хозяйства. В качестве дополнительных расходов приняты во внимание расходы воды на работу гидроэлектростанций, водный транспорт (шлюзование, поддержание судоходных глубин) и санитарные попуски, необходимые для поддержания минимального стока зарегулированных рек ниже плотин.

Принимая общее водопотребление промышленностью пропорциональным валовой продукции и аналогичным потреблению воды в США, для 1958 г. эта величина принята равной 52.9 км³, для 1965 г. общее потребление воды промышленностью должно составить 92.2 км³ в год. Для обжитой части СССР приняты величины на 10% меньше. Сброс промышленностью отработанных сточных вод условно принят равным 35% от валового потребления, значительно ниже, чем в США, где сбрасывается 48.8%. В результате получены следующие величины общего сброса отработанных сточных вод промышленностью: в 1958 г. — 18.5, в 1965 г. — 33.3 км³. Возможно, что указанные величины являются заниженными, так как, по данным П. С. Белова (1929), до начала реконструкции промышленности в 1926 г. количество производственных сточных вод исчислялось в 2.5 млн м³ в день, что составляет 912.5 млн м³ в год. При допущении,

ТАБЛИЦА №0
Количество сточных вод СССР, км³/год

	1958 г.	1965 г.
Производственные сточные воды	6.6	11.9
Бытовые сточные воды	2.2	4.6
Всего по СССР	8.8	16.5

что количество промышленных сбросов пропорционально росту продукции, для 1952 г. общая сумма производственных сбросов рассчитана в 27 км³ в год (Драчев, 1956).

Крупнейшим потребителем воды является сельское хозяйство, расходующее воду в основном на орошение земель под сельскохозяйственными культурами и обводнение пастбищ. Исходя из поливных норм и площади орошаемых земель, общая потребность в воде составляет в 1958 г. 78.5, в 1965 г. — 99.5 км³, безвозвратные потери на испарение, транспирацию растений и частичную фильтрацию принимаются равными 70% от общей потребности.

Сравнительно невелики расходы на водоснабжение населения городов и других населенных пунктов. Подача воды городам и рабочим поселкам в 1958 г. составила 8.7 км³, в 1965 г. возрастет до 13.5 км³, подача воды сельскому населению соответственно 1.0 и 1.8 км³.

Огромное количество воды расходуется на охлаждение при эксплуатации тепловых электростанций, так как на 1 млн квт установленной мощности расходуется 50 м³/сек. Общий расход воды на охлаждение в 1958 г. равен 68.6 км³ и в 1965 г. составит 111.5 км³. Из этого количества воды 30% будет сбрасываться прямоточным водоснабжением непосредственно в горячем виде в реки, остальные 70% оборотным водоснабжением через пруды и градирни.

С точки зрения охраны рек от загрязнения наибольшее значение имеют сточные воды промышленности и бытовые сточные воды. Количество их приведено в табл. 80.

Для обжитой части Союза ССР общее количество стоков в 1958 г. составляло 7.9 км³, а в 1965 г. составит 14.6 км³.

Некоторое влияние на водоемы оказывает сброс возвратных вод орошения и условно чистых вод охлаждения. Количество возвратных вод орошения почти вдвое превышает суммарное количество бытовых и промышленных сточных вод. Качественный состав возвратных вод орошения мало изучен, но можно предполагать их значительное влияние на водоем, в особенности в отношении минерального состава. Объем горячих вод от охлаждения, сбрасываемых в водоемы, равен 20.6 км³ в 1958 г. и возрастет до 34.5 км³ к 1965 г., более чем вдвое превышая суммарное количество бытовых и промышленных стоков. В связи с огромным количеством и массивным выпуском в водоемы горячей воды необходимо разностороннее изучение влияния изменения температурного режима рек и разработка обоснованных нормативов сброса.

При составлении расходной части баланса для обжитой части Союза ССР принимались во внимание не валовое количество воды, потребляемой различными отраслями народного хозяйства, а безвозвратные потери. При суммировании потерь, среди которых главное место занимают расходы на орошение, и, принимая во внимание дополнительные расходы на работу гидростанций, водный транспорт и санитарные выпуски, установлено, что уже в данное время в обжитой части страны имеется дефицит в воде. В 1958 г. дефицит составил 18.4 км³, а к 1965 г. возрастет до 40.9 км³.

При составлении водного баланса принят ряд спорных и недостаточно доказанных положений, на сугубо ориентировочный характер расчетов указывает сам автор (Турчанович, 1961). Тем не менее нельзя не согласиться с одним из основных выводов, что в дальнейшем развитие населенных пунктов, размещение промышленности, расширение орошаемых земель, так же как и мероприятия по охране водных ресурсов, должны осуществляться исключительно после согласования с водохозяйственными балансами отдельных районов, бассейнов, узлов и в целом по стране.

Наибольший интерес и практическое значение имеет составление водных балансов для территорий, имеющих дефицит воды при наличии большой плотности населения и развитой промышленности. В работе С. М. Перехрест (1962) приведен ряд данных по водохозяйственному балансу для Украинской ССР. В целом Украина относительно бедна водой. На душу населения здесь приходится водных ресурсов в 10 раз меньше, чем в среднем по СССР. Вместе с тем потребление на питьевые, хозяйственно-бытовые и промышленные нужды при прямоточном водоснабжении, которое здесь преобладает, составляло на душу населения в 1959 г. 1 м³/сутки. К 1970 г. расход на душу населения возрастет до 3.8 м³, к 1980 г. — до 7.7 м³. Если к этому времени сохранится прямоточная система водоснабжения, общая потребность в воде в 1970 г. будет в 1.5 раза выше доступных запасов, а к 1980 г. — в 3.4 раза.

Поверхностный сток, формирующийся в пределах УССР, в средний по водности год составляет 52.1 км³, из них по р. Днепру — 37.4 км³. Предполагается высокая степень зарегулирования поверхностного стока (до 60—70%). Намечается значительное использование в народном хозяйстве шахтных и бытовых сточных вод. Так, в Донбассе имеется 580 действующих шахт, из которых откачивается 10 м³/сек. шахтных вод или 315 млн м³ в год; для полива огородных растений может быть использовано после отстоя взвеси 65%. В связи с повышенным солевым составом использование остальной части возможно только после разбавления речной или канализационной водой. В перспективе на 1970—1980 гг. приходная часть баланса складывается из поверхностного стока (40.6 км³ при условии зарегулирования) и подземных вод (5 км³). В приходную часть баланса введены 0.3 км³ в год шахтных вод и 1.3 км³ хозяйственно-фекальных.

В расходную часть баланса включен весь объем воды, потребной для водоснабжения городов, имеющих канализацию, так как предполагается, что сброс городских сточных вод в реки не должен иметь место; городские стоки должны быть использованы для орошения сельскохозяйственных угодий. Рост потребления воды на хозяйственно-питьевые нужды и сельское хозяйство виден из табл. 81.

ТАБЛИЦА 81

Общее потребление воды в УССР, в млн м³/год

	1959 г.	1970 г.	1980 г.
Населением	920	2300	2737
В животноводстве	942	1480	1480
На орошение (без вод Дуная)	1040	6000	16000
Обводнение юга	50	300	500

Как видно, намечается максимальный прирост в относительных и абсолютных величинах расходов воды на орошение.

При исчислении расходов воды промышленностью в перспективе даны два варианта в расчете на прямоточное и оборотное водоснабжение (табл. 82).

Для сокращения расходов воды наибольшее значение имеет перевод на оборотное водоснабжение тепловых электростанций, металлургической и топливной промышленности. В целях сокращения загрязнения огромное значение имеет перевод на оборотное водоснабжение и прекращение сбросов химической и бумажной промышленности.

ТАБЛИЦА 82
Перспективы потребления воды промышленностью на
Украине, в млн м³/год

Отрасли промышленности	1959 г.	1970 г.			1980 г.
	прямое	водоснабжение			
		прямое	оборотное	прямое	оборотное
Металлургия	4050	13500	1900	20260	2870
Нефть, газ, уголь	1705	2470	250	3709	370
Машиностроение и металлообра- ботка	173	440	150	710	387
Химическая, бумажная и легкая промышленность	596	1360	680	3185	1358
Пищевая	484	900	720	1138	938
Стройматериалы	263	877	300	2631	781
Тепловые электростанции	4235	35400	708	99200	1984

Сопоставление приходной и расходной частей водного баланса приводит к выводу, что в перспективе на 1970—1980 гг. потребность в воде в пределах Украинской ССР может быть удовлетворена только при весьма рациональном комплексном использовании поверхностных, подземных и сточных вод, включая городские промышленные и шахтные воды. Непременным условием положительного баланса является перераспределение поверхностного стока по периодам года и территории.

На расчетный период положительное решение вопросов водоснабжения населения и народного хозяйства возможно только при соблюдении следующих условий. Все промышленные предприятия и тепловые электростанции должны быть переведены на оборотное водоснабжение с максимальным использованием сточных вод на месте. Местный сток по всей территории должен быть зарегулирован не менее чем на 60%. Размещение новых промышленных объектов и расширение действующих должно осуществляться в строгом соответствии со схемой использования водных ресурсов.

При соблюдении указанных условий к концу расчетного периода на Украине предполагается некоторый положительный резерв в водном балансе. Однако остается неясным и нерешенным вопрос о влиянии приемов улучшенной агротехники на возможное уменьшение поверхностного и подземного стока.

Проведенные в СССР и за рубежом подсчеты водных ресурсов и сопоставление их с потребностями народного хозяйства неизменно указывают на напряженность водного баланса, в особенности в перспективе. Ограниченность запасов воды вызывает необходимость в рациональном и бережном расходовании. Охрана поверхностных вод от загрязнения отчетливо встает при этом как общегосударственная, а не ведомственная задача.

В промышленно развитых странах на хозяйственно-питьевые нужды расходуется сравнительно небольшая часть от общего водопотребления, как правило, величина эта не превышает 10%. В перспективных планах, несмотря на рост потребления на душу населения, доля хозяйственно-питьевого водоснабжения обычно еще снижается.

В водных балансах, составленных за рубежом, недостаточно учитывается первоочередность обеспечения населения питьевой водой и особые требования к качеству питьевой воды. Необходимость повторного использования воды в промышленности распространяется и на хозяйственно-питьевое водоснабжение, считается неизбежным оборотное водо-

снабжение в системе водопровод—город—канализация с замкнутым циклом. В этом отношении нельзя не считаться с эстетической стороной дела. Естественное отвращение человека к выделениям собственного организма имеет глубокое биологическое обоснование, так как в выделениях концентрируются токсические и вредные для организма продукты. Наличие стойких токсических веществ в продуктах обмена и выделениях низших и высших организмов вплоть до человека подчеркивается в исследованиях последнего времени. Хотя вопрос обеззараживания питьевой воды от бактериальных загрязнений считается решенным, этого совсем нельзя сказать о вирусах.

Учитывая повсеместный сброс промышленных стоков в городскую канализацию, следует считаться с возможностью накопления при повторном использовании стойких химических веществ, обладающих вредными свойствами. Устойчивые к биохимическому окислению соединения содержатся в данное время и в бытовых сточных водах в связи с широким использованием в быту продуктов синтетической химии.

В свете проведенных подсчетов реально встает вопрос о резком сокращении или даже прекращении сбросов сточных вод в водоемы, служащие источником хозяйственно-питьевого водоснабжения. На первый взгляд задача эта кажется фантастической, стоящей в резком противоречии с широко распространенным представлением о том, что реки являются естественным приемником городских и промышленных сточных вод. Между тем при составлении водного баланса на Украине принято допущение о полном использовании сточных вод для орошения и прекращении сброса их в реки.

Сравнительно небольшой объем воды, потребной для удовлетворения нужд хозяйственно-питьевого снабжения, и весьма высокие специфические требования позволяют ставить вопрос о необходимости выделения определенной части водных ресурсов для данной цели. Особую важность приобретает охрана крупных рек, которые служат наиболее надежным источником водоснабжения для быстро растущих прибрежных городов.

Огромное развитие орошения, на которое в нашей стране расходовалось 74.5 км³ в 1958 г. и потребуется 93.5 км³ в 1965 г., в то время как количество бытовых сточных вод составит соответственно 2.2 и 4.6 км³, указывает на потенциальные возможности их совместного использования. При составлении планов развития орошения необходимо учитывать сброс городских и некоторых видов промышленных сточных вод как постоянный источник с обеспеченным дебитом.

В плановом порядке должен решаться вопрос об использовании сбросных вод тепловых электростанций. По проведенным подсчетам, объем стоков с высокой температурой превысит сбросы всех видов промышленности. Использование горячих вод в тепличном и парниковом хозяйстве явится рациональным приемом устранения отрицательных последствий, вызываемых сбросом горячих вод в реки. Этот вид сточных вод заслуживает особого внимания в связи с развитием атомной энергетики. Фактором, ограничивающим развитие этого вида промышленности, по мнению Д. Бернала, явится избыточное тепло.

ВОПРОСЫ РАЗМЕЩЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ОХРАНА ПЛОЩАДИ ВОДОСБОРА

При решении вопросов размещения промышленности в соответствии с водными ресурсами необходимо предусматривать не только максимальное сокращение сбросов сточных вод, но и охрану от загрязнения площади водосбора, так как смывы с дождевыми и снеговыми водами различного рода загрязнений с поверхности начинают играть заметную роль в ухуд-

— качества речной воды. В этом смысле охрана водоемов от загрязнения сопрягается с планированием использования территории, с вопросами районной планировки в широком смысле слова. Фактически охрана территории от загрязнения и улучшение качества поверхностного стока регламентированы постановлением о зонах санитарной охраны источников централизованного водоснабжения. Реализация этого постановления с надлежащей широтой представлена в «Положениях о зонах санитарной охраны верхнего бассейна р. Москвы» (Мускат, 1937) и на всем протяжении канала им. Москвы (Могилевский, 1952). Одним из радикальных и эффективных способов сохранения качества воды является выделение территорий, при использовании которых в первую очередь учитываются интересы охраны источников питьевого назначения. Здесь не допускается развитие промышленности, дающей большое количество выбросов, и регулируется плотность населения.

Охрана площадей водосбора источников питьевого назначения может сочетаться с охраной природы, организацией заказников, заповедников в верховьях рек, сохранением лесных насаждений. Важность охраны верховьев рек для сохранения нормального водного режима осознавалась давно. Большая экспедиция по изучению верховьев русских рек, организованная около 70 лет тому назад под руководством А. А. Тилло (1894), уделяла большое внимание сохранению лесов и рациональному ведению сельского хозяйства на площадях водосбора верховьев главных рек европейской части России. Положение о лесах водоохранного назначения, запрещение вырубki леса в прибрежной зоне и положение об обязательном лесонасаждении по берегам водохранилищ и каналов являются важными звеньями в общей системе мероприятий по охране водоемов.

В известной мере охрана водоемов от загрязнения может сочетаться с организацией территорий, используемых для лечебно-профилактических, физкультурных целей и зон отдыха. В этом случае должны быть предусмотрены и реализованы мероприятия по очистке, обеззараживанию и обезвреживанию бытовых сточных вод с широким применением почвенных методов и прудов.

С точки зрения охраны водоемов от загрязнения весьма нежелательно размещение крупных предприятий, дающих большое количество выбросов, непосредственно на берегах крупных рек, охрана которых является наиболее важной задачей. Представляется практически почти невозможным охранить реку от поверхностного стока с площади предприятий, размеры которой достигают сотен гектаров. Весьма затруднено в таких случаях создание емкостей для аварийных сбросов и их последующая очистка. Устройство буферных водоемов для очищенных сточных вод становится невозможным, между тем, как правильно указывает Н. Н. Квитницкая (1961), организация подобного рода водоемов на малых боковых притоках и оврагах является одним из весьма важных приемов охраны рек от загрязнения. Роль малых рек в предохранении основных водных артерий от загрязнения обуславливается весьма интенсивно протекающими процессами самоочищения в ручьях и реках с малым расходом (Драчев, 1940). Значение сравнительно небольших водоемов как средства доочистки промышленных и бытовых стоков было установлено сравнительно давно. В последние десятилетия для этой цели широко применяются в США лагуны, пруды и озера малой емкости.

Размещение промышленности на боковых притоках в нижнем течении крупных рек представляется с точки зрения охраны от загрязнения основных водных артерий наиболее целесообразным. Сброс сточных вод в устьевые участки рек, как показал опыт Англии, влечет за собой весьма тяжелые последствия. Расчет на приливно-отливные течения как средство удаления и ликвидации стоков не оправдался. Помимо убытков рыбному

ствия загрязненной воды на бетонные сооружения и металлические суда. Значительные возможности разбавления при расположении промышленных предприятий на морском побережье широко используются в Западной Европе и США. Отрицательные последствия загрязнения моря не могут идти в сравнение с осложнениями, вызываемыми сбросом сточных вод в реки, но поглощающая емкость морских вод в прибрежной зоне далеко не безгранична. Особое значение приобретают гидрологические условия движения и циркуляции прибрежных вод.

При решении вопросов охраны водоемов от загрязнения огромное значение имеет долгосрочное перспективное планирование. Как указывалось выше, имеются примеры ориентировочных расчетов использования водных ресурсов до 2000 и 2100 гг. в отдельных штатах США.

С точки зрения сохранения качества воды в реках трудно переоценить значение составления перспективного плана использования и охраны водных ресурсов на предстоящие 20 лет и последующие сроки.

В природных условиях качество поверхностных вод находится в тесной зависимости от свойств площади водосбора, на которой формируется поверхностный сток. Наиболее наглядно это проявляется на водоемах замедленного стока — озерах, что дало основание к созданию региональной лимнологии. В отношении рек, особенно крупных, пересекающих ряд климатических, почвенных и растительных зон, связь качества речной воды с характером площади водосбора является не столь очевидна, поскольку увеличение числа факторов вносит значительные осложнения. Создание на площади водосбора культурного пейзажа, изменяющего поверхностный сток качественно и количественно, неизбежно меняет свойства природного водоема, даже если не имеет место прямой сброс сточных вод в реку. Сохранение свойств природного водоема возможно только при сохранении в естественном виде условий на площади водосбора. Такая задача достижима только на весьма ограниченных территориях — в заповедниках, заказниках.

Связь между качеством поверхностных вод и состоянием площади водосбора должна учитываться при организации территории в государственном масштабе. Среди многих факторов, определяющих размещение промышленности, населения, характер сельскохозяйственного использования территории, необходимо учитывать водные ресурсы, запасы воды, их воспроизводимость, возможность регулирования, качество природных вод и изменения при развитии народного хозяйства.

Вода как фактор развития народного хозяйства и населенных мест неизбежно учитывалась даже при бесплановом развитии, особенно при резком недостатке запасов воды. Но лишь в последнее время вопросы обеспечения водой начинают занимать надлежащее место при плановом размещении промышленности.

Вопросы влияния различных отраслей народного хозяйства на количество и качество поверхностного стока до настоящего времени мало разработаны. Остаются спорными вопросы воздействия новых форм сельского хозяйства на режим поверхностного стока, а также перераспределение стока по сезонам. По одним предположениям, в перспективе двадцатилетия предстоит значительное уменьшение количества воды, поступающей в реки (до 25%), по другим — нельзя ожидать сколько-нибудь заметного снижения стока. Еще менее изучен вопрос о качественных изменениях стока под влиянием таких сельскохозяйственных мероприятий, как орошение, осушение, применение удобрений, различных средств борьбы с вредителями и сорной растительностью.

Более изучен вопрос о влиянии распашки земель на распределение и характер стока, ведение сельского хозяйства без соблюдения правил

борьбы с эрозией на размыв поверхности почв и повышение мутности воды. Красочное описание этого процесса даю В. П. Семеновым (1902).

Закономерности эрозийного процесса в зависимости от способа культуры земледелия и меры борьбы с этим явлением изучались многочисленными исследователями в СССР и США. В целях изучения влияния эрозийных процессов на качество воды в реках, заиливания водохранилищ проведены исследования по отношению к отдельным рекам и странам в целом. Качество воды малых рек в районе распространения черноземов тесно связано с развитием эрозийных процессов, как это показано для р. Крайняя Мечь (Драчев, Карельская, 1936). В масштабе страны обобщения результатов эрозийных процессов находят отражение в картах мутности рек. Закономерности поступления в реки с площади водосбора веществ, находящихся в растворенном или взвешенном состоянии, представляют практический интерес в связи с применением в сельском хозяйстве минеральных удобрений и токсических средств борьбы с вредителями.

Смыв с площади водосбора части применяемых веществ становится одним из факторов формирования качества воды. При загрязнении водоемов радиоактивными выпадениями из атмосферы необходимо учитывать не только поверхность водоема, но и площадь водосбора. Исследования соотношения между количеством радиоактивных выпадений на площадь водосбора и смывом в реки и озера могут приближенно ориентировать о закономерностях поступления с площади водосбора веществ различного состава. При этом наглядно иллюстрируется неразрывная связь между площадью водосбора и качеством воды в реках.

Данные о характере стока с территорий крупных городов указывают на изменения, вносимые устройством усовершенствованных покрытий, площадь под которыми непрерывно возрастает в странах с развитием промышленности, сети аэродромов, шоссейных дорог.

Перспективы развития орошения указывают на один из путей использования сточных вод — использование в сельском хозяйстве. Только связав решение проблемы обезвреживания сточных вод с планом развития ирригационных работ, затрагивающих основную массу используемой в народном хозяйстве воды, можно надеяться на удовлетворительное разрешение вопроса охраны поверхностных вод. При этом встают новые вопросы: опасность загрязнения подземных вод, ухудшение качества сельскохозяйственной продукции под влиянием ингредиентов промышленных сточных вод. Опасность загрязнения подземных вод при почвенных методах очистки имеет значение, несмотря на огромную поглонительную способность почв и пород. Ухудшение качества подземных вод представляет собой особую опасность в том отношении, что его значительно труднее контролировать. Прекращение спуска сточных вод, дающее радикальное оздоровление поверхностным водам, малодейственно в отношении подземных вод, движущихся весьма замедленно. Запасы загрязнений, внесенных в почву и подпочвенные слои, могут ухудшить качество воды на протяжении многих лет, и загрязнение становится практически необратимым. В этом одна из главных опасностей сброса сточных вод в поглощающие колодцы, закачки в подземные горизонты. Вместе с тем поглонительная способность почвы и геологических формаций столь велика, а движение подземных вод столь замедленно, что в некоторых случаях использование почвенного покрова, материнских пород и геологических формаций явится надежным способом обезвреживания, обеззараживания и полного устранения весьма опасных и не поддающихся очистке сточных вод.

При сельскохозяйственном использовании бытовых и промышленных сточных вод возникают возможности заражения продуктов патогенными микроорганизмами, яйцами гельминтов, болезнетворными вирусами.

Наиболее радикальной мерой борьбы является выращивание растений, употребляемых только после термической обработки.

Вопрос об ухудшении качества продукции при использовании сточных вод промышленности более сложен. Имеются примеры порчи вкусовых свойств овощей при использовании сточных вод лубяной промышленности, появления неприятного вкуса и запаха у растений при использовании сточных вод производства каучука.

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДЫ КАК ИСТОЧНИК ПОПОЛНЕНИЯ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Как указывалось выше, баланс водных ресурсов Голландии в будущем в значительной мере будет строиться на использовании для хозяйственно-питьевого водоснабжения поверхностных вод, предварительно профильтрованных через почву. Этот прием находит в Голландии применение в данное время. В дальнейшем использование фильтрационной воды возрастет в 40 раз.

В настоящее время закончено строительство насосной станции со скорыми фильтрами вблизи р. Рейна, воды которой по 45-километровому водоводу направляются на дюны вблизи г. Гааги. Перед использованием для водоснабжения города (600 000 населения) вода будет фильтроваться через дюны. Накопленные запасы будут использоваться в периоды ухудшения качества воды р. Рейн.

Подобный проект осуществляется в данное время для водоснабжения г. Амстердама (800 000 населения) и Северной Голландии (650 000 населения).

Применение использования поверхностных вод для пополнения запасов подземных вод с последующей откачкой на водопроводные сооружения находит применение как в Европе, так и в США.

Примером такого использования поверхностных вод может служить один из водопроводов г. Гамбурга. Река Эльба, служащая основным источником водоснабжения г. Гамбурга, сильно загрязнена, особенно в зимнее время. Несмотря на большой расход реки (около 1000 м³/сек.), вода содержит повышенное количество аммиака: 0.5—1.0 мг/л летом, до 7 — зимой, содержание хлоридов колеблется от 100 до 500 мг/л. Число сапрофитных бактерий исчисляется величинами порядка 10³—10⁶ в 1 мл, достигая в отдельных случаях миллиона, титр коли — 0.01—0.001. Еще более загрязнена вода небольшого притока р. Эльбы, также используемая для водоснабжения. Для искусственного получения грунтовых вод ежедневно 65 000 м³ речной воды подается на участок земли площадью 22 км², расположенный на низкой, плоской равнине. Участок прорезан сетью неглубоких канав, в которые поступает загрязненная речная вода. Скорость движения воды в разводящих канавах составляет приблизительно около 1 м/час. Для получения воды устроено 250 скважин глубиной около 20 м. Из скважин ежедневно откачивается 100 000 м³. Считают, что половина получается в результате фильтрации речной воды. Остальные 50 000 м³ рассматриваются как грунтовые природные воды, качество которых весьма близко к получаемым искусственным. Несмотря на очень высокое бактериальное загрязнение исходной воды, откачиваемая вода практически вовсе не содержит сапрофитных бактерий. Недостатком вод, полученных таким образом, является высокое содержание железа в пределах 2—10, марганца — 1—2, сероводорода — от 2 до 10 мг/л и агрессивной углекислоты. Для улучшения качества воды производится аэрация путем перепада струй, после чего вода подвергается двухступенной фильтрации для удаления железа и марганца. В связи с агрессивностью воды на последнем этапе производится добавка гидрата окиси кальция. Вода после очистки не содер-

жит железа и марганца, имеет хорошие физические свойства и без хлорирования подается в город. С некоторыми вариациями этот прием использования загрязненных вод р. Рура находит применение на крупнейшем водопроводе Рурско-Вестфальской промышленной области. Обычно загрязненные речные воды распределяются посредством канав или неглубоких каналов. В некоторых случаях затапливаются небольшие участки земли. Дном фильтрационных бассейнов обычно является песчаный слой толщиной в 1 м, подстилаемый природным песком или гравием, в других случаях для фильтрации используются естественные песчаные отложения. Во время движения воды в течение одного-двух месяцев на расстоянии 100—200 м происходит полное изменение ее качества.

Другим приемом получения искусственных грунтовых вод из загрязненных рек или отработанной в промышленности воды является закачка в колодцы или шахты. Способ этот находит более ограниченное применение, так как обычно быстро происходит забивание скважин взвешенными веществами, находящимися в воде. Такого рода прием находит практическое применение в г. Нью-Йорке, где вследствие понижения уровня грунтовых вод из-за усиленной откачки началось движение соленой морской воды. Для предупреждения засоления грунтовых вод устроены сотни скважин, в которые сбрасываются воды охлаждения и другие условно чистые воды. Тем самым достигнуто повышение уровня грунтовых вод и предупреждено их засоление. На прибрежном участке в Калифорнии для предупреждения засоления морской водой производится закачка сравнительно чистой воды, предварительно хлорированной очень высокими дозами активного хлора.

Преимуществами способа использования искусственных подземных вод считаются возможность неограниченного пополнения, высокое качество воды, отсутствие потерь на испарение и затруднений, вызываемых развитием водорослей. Во многих случаях требуются небольшие капиталовложения.

При использовании поверхностных загрязненных вод для пополнения запасов подземных источников водоснабжения важнейшую роль играет поглощательная способность почв и грунтов и скорость передвижения воды в них. Основы гидрогеологических расчетов при фильтрации промышленных стоков из хранилищ даны В. М. Шестаковым (1961).

- Абрамов В. В., Н. А. Карелин. 1948. Водоснабжение и канализация нефтеперерабатывающих заводов. Гостехиздат, М.
- Агупов А. В. 1959. О понятиях «норма» стока и методике оценки ее величины. Тр. Третьего Всес. гидрол. съезда, т. II.
- Акопян Н. Б., Б. А. Африкян. 1947. Обезвреживание химически загрязненных стоков завода синтетического каучука «Совпрен». Гигиена и санитария, № 6.
- Алекин О. А. 1951. Ионный сток и средний состав речной воды для территории СССР. Тр. Гос. гидрол. инст., вып. 33 (87).
- Альтерман Н. А. 1959. Состав некоторых шахтных вод и их влияние на р. Кальмиус в районе г. Сталино. Сб. «Гигиеническое изучение и оздоровление внешней среды», Госмедиздат УССР, Киев.
- Альф С. Л. 1953. Санитарно-гельминтологическая оценка прудов и водохранилищ. Сб. «Работы по гельминтологии. К 75-летию акад. К. М. Скрябина», Медгиз, М.
- Анализ городских сточных вод. 1945. Под ред. С. Н. Строганова. Изд. Наркомхоза РСФСР, М.
- Ананьев В. В. 1955. Резервуары патогенных лептоспир в природе и их роль в эпидемиологии лептоспирозов. Журн. микробиол., эпидемиол. и иммунобиол., № 4.
- Арнольд И. Н. 1903. Загрязнение вод нефтяными продуктами и их влияние на рыбные богатства. М.
- Артари А. П. 1913. К физиологии и биологии хламидомонад. Изв. Моск. техн. училища, т. VIII, М.
- Астапов С. В. 1928. Очерки по изучению физических свойств почв. Сельхозгиз, М.
- Атлас М. П., Н. М. Литвишков. 1953. Водоснабжение и отвод сточных вод нефтяных промыслов. Азнефтеиздат, Баку.
- Базякина Н. А. 1925. Аэрация с активным илом как мера очистки сточных вод. М.
- Базякина Н. А. 1933. Значение константы скорости потребления кислорода при определении биологической потребности в кислороде сточной жидкости. Санитарная техника, № 2.
- Базякина Н. А. 1940. Биохимическое окисление фенола. Водонасбж. и сан. техн., № 6.
- Базякина Н. А. 1954. Очистка концентрированных промышленных сточных вод. Госстройиздат, М.
- Базякина Н. А., Н. А. Востонов, С. Н. Строганов. 1919. Опыты с самоочищением сточной жидкости в непроточных прудах (1913—1914). Отчет комиссии по очистке сточных вод, состоящей при канализационном отделе Московской Городской Управы. Приложение 2. М.
- Базякина Н. А., Л. И. Столярова. 1956. Полная очистка в аэротенках концентрированных фенольных вод от пиролиза каменного угля. Изд. Водгео, М.
- Баранов И. В. 1958. Влияние стоков Сегежского ЦБК на гидрохимический режим северной части Выгозера. Рыбн. хоз. Карелии, вып. 7, Петрозаводск.
- Башенин В. А. 1928. Новая эпидемическая болезнь Московской губернии «водная лихорадка». Гигиена и эпидемиология, № 3.
- Башенин В. А. 1960. Эпидемический гепатит. Тр. Ленингр. сан.-гигиен. инст., Л.
- Белов Н. С. 1929. Промышленные сточные воды и их очистка. Тр. Второго Всес. водопроводн. и сан.-техн. съезда, М.
- Боляев И. И., К. А. Лобашев. 1959. Санитарное состояние реки Оки в районе Дзержинск—Горький. Уч. зап. Горьковск. гос. мед. инст. им. С. М. Кирова, вып. VII, Горький.

- Бенсман А. И.** 1936. О влиянии вод местных водопроводов промышленного предприятия на эпидемические вспышки брюшного тифа. Гигиена и санитария, № 1.
- Беран А. И.** 1936. Работа фильтров при цветении воды и борьба с ним путем применения медного купороса. Водоснабж. и сан. техн., № 7—8.
- Бирковский Ю. Е.** 1958. Итоги борьбы с инфекционными заболеваниями на Украине за 40 лет. Журн. микробиол., эпидемиол. и иммунобиол., № 10.
- Бирковский Ю. Е., А. М. Заряцкий.** 1961. Материалы к эпидемиологии брюшного тифа на Украине. Тр. Укр. научн. конф. по пробл. „Кишечные инфекции“, Госмедиздат УССР, Киев.
- Благовещенская Н. М., К. Ф. Гончарова.** 1959. О водном пути распространения лептоспироза. Гигиена и санитария, № 11.
- Блох С. С., А. И. Купер, С. Д. Замыслова, Е. В. Дланова, А. А. Ворошилова, А. И. Гутковская, С. И. Овсенев.** 1950. Влияние на санитарное состояние водоемов и на условия жизни населения сточных вод производства синтетического каучука. Информационно-методические материалы, №№ 1—6.
- Брагин Е.** 1927. Зоны санитарной охраны источников центрального водоснабжения. Гигиена и эпидемиология, № 2.
- Бруевич С. В.** 1927. Исследование воды р. Москвы в 1925 и 1926 гг. Тр. Московск. сан. инст., вып. 2.
- Бруевич С. В., Н. И. Аничкова.** 1941. Химия речного стока в Каспийское море. Тр. Каспийск. комисс. АН СССР, вып. 14.
- Бруевич С. В., Ф. Я. Варфоломеева, Б. А. Скопицев.** 1933. Суточные колебания гидрохимических факторов в речных водах. Зап. Гос. гидрол. инст., т. X.
- Бурксер Е. С., Н. Е. Федорова, Б. Б. Зайдлис.** 1952. Атмосферные осадки и их роль в миграции химических элементов через атмосферу. Тр. Киевск. геогр. обсерв.
- Быков Н. А.** 1940. К вопросу о заморе рыб в Волге у г. Горького. Гигиена и санитария, № 9.
- Былинкина А. А., С. М. Драчев, А. И. Ицкова.** 1962. О приемах графического изображения аналитических данных о состоянии водоема. Матер. XVI гидрохим. совещ., Гидрохим. инст. АН СССР, Новочеркасск.
- Васильева А. В.** 1959. Особенности эпидемиологии тифо-паратифозных заболеваний в Туркменистане. Здравоохран. Туркменистана, № 2.
- Васильева А. В.** 1961. К эпидемиологии брюшного тифа и паратифов в г. Ашхабаде. Здравоохран. Туркменистана, № 4.
- Василькова З. Г.** 1949. Основные задачи санитарной гельминтологии. Мед. паразитол. и паразитар. болезни, т. XVIII, № 2.
- Василькова З. Г.** 1950. Основы санитарной гельминтологии (эффективность дегельминтизации при обезвреживании нечистот и сточных вод). Медгиз, М.
- Вайнштейн Г. М.** 1937. Определение мутности с фотоэлементом. Санитарная техника, № 10.
- Величкин М. Н.** 1930. Баланс влаги на Люберецких полях фильтрации и роль дренажа. Изд. ГМСХМ, М.
- Вернадский В. И.** 1933, 1934, 1936. История минералов земной коры. т. 2. История природных вод, ч. I, вып. I—III. Госхимтехиздат, Л.
- Веселов Е. А.** 1950. Биологические тесты для оценки ядовитых свойств промышленных сточных вод. Карело-Финский гос. ун-в., IV сессия, Петрозаводск.
- Викторов В. К., Н. С. Кливанский, Е. И. Нюффе.** 1948. Волная эпидемия брюшного тифа и самоочищение рек. Журн. микробиол., эпидемиол. и иммунобиол., № 4.
- Випберг Г. Г.** 1954. Токсический фитопланктон. Усп. совр. биол., т. XXXVIII, вып. 2.
- Випберг Г. Г.** 1955. Значение фотосинтеза для обогащения воды кислородом при самоочищении загрязненных вод. Тр. Всес. гидробиол. общ., т. 6.
- Випберг Г. Г.** 1960. Первичная продукция водоемов. Изд. АН БССР, Минск.
- Випберг Г. Г., Н. В. Остапеня.** 1961. Биологические пруды в практике очистки сточных вод. Сб. «Очистка сточных вод в биологических прудах», Изд. АН БССР, Минск.
- Восейков А. И.** 1948. Избранные сочинения, т. I. Под редакцией А. А. Григорьева. Изд. АН СССР, М.—Л.
- Волк Г. И.** 1961. Способы ликвидации сброса сточных промышленных вод от нефтепереработки в водные бассейны. Научно-техническое совещание по борьбе с загрязнением вод, 27—29 сентября, вып. I, М.
- Воробьев Е. В.** 1958. Состояние и ход строительства очистных сооружений на заводе И. Ж. Т. Сб. «Борьба с загрязнением водоемов», Гостоптехиздат, М.
- Воронков Н. П., О. К. Соколова.** 1949. Некоторые черты формирования озер Карельского перешейка. Тр. Гос. гидрол. инст., вып. 25 (79).

- Ворошилова А. А., Е. В. Дьянова. 1950. О бактериальном окислении нефти и ее миграции в природных водоемах. Микробиология, т. XIX, № 3.
- Ворошилова А. А., Е. В. Дьянова. 1952. Окисляющие нефть бактерии — показатели интенсивности биологического окисления нефти в природных условиях. Микробиология, т. XXI, № 3.
- Гальперин М. Е., С. А. Куприянова. 1940. Зимняя дизентерия. Журн. микробиол., эпидемиол. и иммунобиол., № 7.
- Гасилина М. М. 1961. Биологически активные вещества, выделяемые растениями, как фактор бактериального самоочищения водоемов. Сб. «Первичная продукция морей и внутренних вод», Изд. Мин. высш. средн. спец. и профессион. образ. БССР, Минск.
- Гаршенин В. Ф. 1963. Определение допустимых концентраций алкилбензол-сульфоната и алкилсульфоната. Маслостроительная промышленность, № 10.
- Гефтор В. А. 1949. Развитие и выживаемость яиц *Ascaris lumbricoides* в водоемах. Мед. паразитол. и паразитарн. болезни, т. XVIII, вып. 3.
- Гоева О. Э. 1962. Экспериментальное обоснование предельно допустимых концентраций поверхностно активных веществ ОП-7 и ОП-10 в воде водоемов. Сб. «Санитарная охрана водоемов от загрязнения промышленными сточными водами», вып. 5, Медгиз, М.
- Голубева М. Т. 1960. Влияние сточных вод, содержащих нефть и нефтепродукты, на санитарное состояние водоемов и обоснование гигиенического нормирования их в воде водоемов. Сб. «Производственные сточные воды», вып. V, Медгиз, М.
- Голубева М. Т., С. Л. Замыслова, С. И. Рахманова, Е. В. Дьянова. 1949. Материалы к вопросу о предельно допустимой концентрации нефти и нефтепродуктов в водоемах при спуске промышленных сточных вод. Сб. «Санитарная охрана водоемов от загрязнения промышленными сточными водами», вып. 1, Медгиз, М.
- Горюпова С. В. 1949. Прижизненное выделение летучих веществ в окружающую среду синезеленой водорослью *oscillatoria*. ДАН СССР, т. XIV, № 2.
- Горячев П. П. 1947. Гельминтоооскопическое исследование рек Иртыша и Оми. Мед. паразитол. и паразитарн. болезни, т. XIV, вып. 1.
- Гостев А. Д. 1946. Сток в водохозяйственных расчетах. Тр. Первого совещ. по регулированию стока, Изд. АН СССР, М.
- Григорьянц А. Н. 1957. Некоторые вопросы эксплуатации атомной электростанции. Атомная энергия, № 2.
- Громашевский Л. В. 1961. Задачи научного исследования в деле максимального снижения заболеваемости основными кишечными инфекциями. Тр. Укр. научн. конф. по пробл. «Кишечные инфекции», Госмедиздат УССР, Киев.
- Громашевский Л. В., С. В. Гуслиц. 1947. О природе зимне-весенних «вспышек» дизентерии. Журн. микробиол., эпидемиол. и иммунобиол., т. XVI, вып. 10.
- Грушко Я. М. 1955. Токсические вещества сточных вод цехов электролитического покрытия металлов. Врачебное дело, № 2.
- Гурфейн Л. Н., З. К. Павлова. 1960. Предельно допустимая концентрация бензола в воде водоемов. Сб. «Санитарная охрана водоемов от загрязнения промышленными сточными водами», вып. 4, Медгиз, М.
- Гусев А. Г. 1957. Загрязнение рыбохозяйственных водоемов СССР сточными водами и ущерб, наносимый ими рыбной промышленности. Совещ. по использ. и обезвреж. сточных вод на земледельческих полях орошения. М.
- Гусев А. Г. 1961. Влияние загрязнения водоемов на рыбные запасы. Научно-техн. совещ. по борьбе с загрязнением вод, вып. 1, М.
- Гусев А. Г., Н. А. Мосевич. 1952. Современное состояние вопроса о нормировании сброса сточных вод в рыбохозяйственные водоемы. Изв. ВНИОРХ, т. XXXI.
- Гусев А. Г., З. П. Подоба. 1956. Влияние нефтепродуктов на товарные качества рыбы. Н.-техн. бюлл. ВНИОРХ, № 3—4.
- Демидов Л. Г. 1954. Справочник по жилищно-коммунальному хозяйству, т. 3. Изд. Мин. коммунального хозяйства РСФСР, М.
- Демьяна А. Т., Т. Р. Шмутьяц. 1959. Опыт совместной очистки шерстоомойных и городских сточных вод (по материалам Кожуховской станции аэрации). Сб. «Очистка промышленных сточных вод», Госстройиздат, М.
- Демьяненко В. Н. 1932. Отравление рыб сточными водами химических заводов и рыбные пробы. Водоснабж. и сан. техн., № 3.
- Дзядзио А. М. 1938. Истинная окисляемость сточных вод и метод ее определения. Водоснабж. и сан. техн., № 8—9.
- Дьянова Е. В., А. А. Ворошилова. 1932. Поглощение бактерий почвами. Научно-агроном. журн., № 5.

- Д и а н о в а Е. В., А. А. В о р о ш и л о в а. 1952. Закономерность развития сапрофитных бактерий в процессе самоочищения загрязненных рек. Микробиология, т. XXI, № 3.
- Д о л г о в Г. И. 1928. О неоднородности воды в реке. Русск. гидробиол. журн., т. VI, № 3—4.
- Д о л г о в Г. И. 1954. Определение удельной электропроводности в практике водных исследований. Изд. Водгео, М.
- Д о л г о в Г. И., Я. Я. Н и к и т и н с к и й. 1927. Гидробиологические методы исследования. Кн. «Стандартные методы исследования питьевых и сточных вод», М.
- Д о л г о в Н. Е. 1916. Основные положения в теории стока ливневых вод. Гидрол. вестн., Пгр.
- Д р а ч е в С. М. 1927. Изменение органического вещества почвы при длительном паровании. Научно-агроном. журн., № 1.
- Д р а ч е в С. М. 1932. Растворимость твердой фазы почвы в воде. Почвоведение, № 2.
- Д р а ч е в С. М. 1933. Поглощение почвами аниона мышьяковистой кислоты. Журн. прикл. химии, т. 6, № 3.
- Д р а ч е в С. М. 1938. Величина атмосферной аэрации в Учинском водохранилище канала Москва—Волга. Водоснабж. и сан. техн., № 6.
- Д р а ч е в С. М. 1940. Биохимические процессы самоочищения в сильно загрязненных реках с малым расходом. Водоснабж. и сан. техн., № 7.
- Д р а ч е в С. М. 1941. О биохимическом показателе загрязнения водоемов. Лабор. практика, № 4.
- Д р а ч е в С. М. 1948. Учет загрязнения канала им. Москвы нефтью от судов с механическими двигателями. Сб. «Загрязнение и самоочищение водоемов», вып. 1, Изд. АМН СССР, М.
- Д р а ч е в С. М. 1951. Клязьминское водохранилище как источник питьевого водоснабжения. Сб. «Санитарная характеристика водоемов», Изд. АМН СССР, М.
- Д р а ч е в С. М. 1956. Водохранилища и каналы как источники хозяйственно-питьевого водоснабжения. Медгиз, М.
- Д р а ч е в С. М., А. И. Б о к и н а, А. И. И з ъ ю р о в а, А. И. И ц к о в а, И. С. К а н д р о р, А. С. К о л т у н о в а, И. А. М а л е в с к а я, Е. И. С а л т ы с к и й. 1959. Гигиенические требования к степени минерализации солевого состава питьевых вод. Сб. н.-техн. совещ. по проблеме обессол. и опресн. солевых и соленоватых вод, М.
- Д р а ч е в С. М., А. А. Б ы л и н к и н а. 1960а. Загрязнение рек радиоактивными выпадениями из атмосферы. Тр. Конф. по радиац. гигиене, 6—9 апреля 1959 г., Л.
- Д р а ч е в С. М., А. А. Б ы л и н к и н а. 1960б. Загрязнение радиоактивными веществами поверхности водоемов. Мед. радиология, № 6.
- Д р а ч е в С. М., А. А. Б ы л и н к и н а. 1964. Значение некоторых гидробиологических показателей в условиях загрязнения водоема продуктами деления на уровне допустимых концентраций. Сб. «Радиоактивные изотопы в гидробиологии и методы санитарной гидробиологии», Изд. «Наука», М.—Л.
- Д р а ч е в С. М., А. И. И ц к о в а, А. М. С о л о г у б. 1961. Некоторые гигиенические вопросы водоснабжения в условиях Крайнего Севера. Гигиена и санитария, № 7.
- Д р а ч е в С. М., Т. К. К а р е л ь с к а я. 1936. Гидрохимическая характеристика р. Красная Мечь и ее притоков. Сб. работ н.-иссл. инст. им. Эрисмана, М.
- Д р а ч е в С. М., Т. К. К а р е л ь с к а я, Е. С. Б р у к. 1939. Влияние затопленных почв на гидрохимический режим водохранилищ. Бюлл. общ. испыт. природы, отдел биол., т. XLVIII, вып. 4.
- Д р а ч е в С. М., В. И. К о н о н о в. 1937. Состояние реки Волги от г. Калинин до села Савелово по данным химикобактериологического обследования. Сб. «Пути развития очистки сточных вод», Изд. Акад. комм. хоз., М.
- Д р а ч е в С. М., Л. Е. К о р ш, О. В. М и т я г и н а. 1957. О микрофлоре поверхности водоемов. Журн. гигиены, эпидемиол., микробиол. и иммунол., т. I, вып. 4, Прага.
- Д р а ч е в С. М., О. В. М и т я г и н а. 1936. Поглощение почвой пигментов промышленных сточных вод: а) мышьяка, б) фенола. Сан. техника, № 1.
- Д р а ч е в С. М., О. В. М и т я г и н а. 1939. Биохимическое окисление органического вещества почвенных суспензий. Почвоведение, № 11.
- Д р а ч е в С. М., О. В. М и т я г и н а. 1957. Действие ультрафиолетового облучения на органические вещества воды. Вестн. АМН СССР, № 3.
- Д р а ч е в С. М., О. В. М и т я г и н а. 1959. Изменение свойств и самоочистительной способности почв при длительной эксплуатации полей орошения. Журн. гигиены, эпидемиол., микробиол. и иммунол., т. III, Прага.
- Д р а ч е в С. М., И. А. М о г и л е в с к и й, М. А. Р у ф ф е л ь. 1959. Качество воды, подготовка ложа и условия выпуска сточных жидкостей водохранилища.

Матер. Первого и.-техн. совещ. по проект. строительства и эксплуатации водохранилищ, вып. 2, Львов.

- Драчев С. М., А. С. Разумов, С. В. Бруевич, Б. А. Скопинцев, М. Т. Голубева. 1953. Методы химического и бактериологического анализа воды. Медгиз, М.
- Драчев С. М., А. С. Разумов, Б. А. Скопинцев, Н. М. Кабанов. 1960. Приемы санитарного изучения водоемов. Медгиз, М.
- Дробышева М. И. 1957. Магнитогорское водохранилище — приемник сточных вод. Гигиена и санитария, № 5.
- Друблянец Э. Э. 1957. Очистка сточных вод гидролизных и сульфатцеллюлозных заводов. Хим. наука и промышл., № 4.
- Дышко Т. В., Б. А. Скопинцев. 1959. Содержание органического азота в водах рек и озер Подмосковья и крупных рек Советского Союза. Гидрохим. материалы, т. XXVIII.
- Елизарова О. Н., С. Д. Замыслова. 1959а. Предельно допустимая концентрация гексогена в водоемах. Сб. «Санитарная охрана водоемов от загрязнения промышленными сточными водами», вып. 3, Медгиз, М.
- Елизарова О. Н., С. Д. Замыслова. 1959б. Предельно допустимая концентрация тетраэтилсвинца в водоемах. Сб. «Санитарная охрана водоемов от загрязнения промышленными сточными водами», вып. 3, Медгиз, М.
- Емельянов В. С. 1960. На атомных объектах советских и американских. Новое время, № 4.
- Жадин В. И. 1946. Эрозия почв как гидробиологический фактор. Природа, № 9.
- Жадин В. И. 1950. Жизнь пресных вод. Т. III. Жизнь в реках. Изд. АН СССР, М.
- Жаков Ю. А. 1960. Предельно допустимые концентрации урсоло и хинона в воде водоемов. Сб. «Санитарная охрана водоемов от загрязнения промышленными сточными водами», вып. 4, Медгиз, М.
- Жданов В. М. 1947. Количественные закономерности размножения бактерий в логарифмической фазе. Тр. Укр. инст. эпидемиол. и микробиол. им. И. И. Мечникова, т. XIII, вып. 2.
- Жданов В. М. 1954. Новые задачи в борьбе с дизентерией. Журн. микробиол., эпидемиол. и иммунобиол., № 4.
- Жданов С. П. 1947. Зимний гидрохимический режим Волги и причины волжского замора 1939 и 1940 гг. Тр. Зоол. инст. АН СССР, т. 8, № 9.
- Жуков А. И. 1939. Очистка фенольных вод на полях орошения. Водоснабж. и сан. техн., № 4—5.
- Жуков А. И. 1948. Коксохимические заводы. Сб. «Производственные сточные воды», вып. 1, Медгиз, М.
- Жуков А. И., И. Л. Монгайт. 1948. Целлюлозно-бумажные предприятия. Сб. «Производственные сточные воды», вып. 1, Медгиз, М.
- Забезинская Н. А., Е. С. Брук, В. Ф. Озерова, А. И. Гутковская. 1960. Предельно допустимая концентрация нитрила акриловой кислоты в воде водоемов. Сб. «Санитарная охрана водоемов от загрязнения промышленными сточными водами», вып. 4, Медгиз, М.
- Зайков Б. Д. 1946. Средний сток и его распределение в году на территории СССР. Гидрометеонадат, М.
- Зак В. Г. 1948. Азототуковые заводы. Сб. «Производственные сточные воды», вып. 1, Медгиз, М.
- Зак Г. Л. 1960. Самоочищение водоемов. Изд. Мин. ком. хоз. РСФСР, М.
- Законы Российской Советской Федеративной Социалистической республики об охране природы в РСФСР от 27 X 1960. М.
- Заряцкий А. М. 1961. Влияние мелких вспышек на уровень заболеваемости брюшным тифом. Тр. Укр. научн. конф. по пробл. «кишечные инфекции», Киев.
- Захаров Н. Г., Е. Ф. Константинов. 1929. Очистительные пруды на Либляньских полях фильтрации в 1919—1920 гг. Тр. совещ. по очистке сточных вод, вып. 11, М.
- Звоиков В. В. 1960. О комплексном использовании и охране водных ресурсов. Сб. «Исследование и комплексное использование водных ресурсов», Изд. АН СССР, М.
- Звоиков В. В. 1961. Основные задачи использования и охраны водных ресурсов в СССР. Научно-техн. совещ. по борьбе с загрязнением вод, вып. 1, М.
- Земин А. А. 1961. Зимний гидрохимический режим р. Волги. Гидрохим. материалы, т. XXXIII.
- Зябарова С. А. 1960. Предельно допустимая концентрация пиридина в воде водоемов. Сб. «Санитарная охрана водоемов от загрязнения промышленными сточными водами», вып. 4, Медгиз, М.
- Иванов В. А. 1958а. Гигиенические обоснования условий санитарной охраны водосточников при спуске сточных вод производства натрийбутадиенового и

- дивинилстирольного синтетического каучука (СК). Сб. тр. Воронежск. мед. инст., т. XXXV, Воронеж.
- Иванов В. А. 19586. Характеристика токсических свойств стоков производства синтетического каучука. Сб. тр. Воронежск. мед. инст., т. XXXV, Воронеж.
- Ироушек И. 1960. Сорок лет н.-и. института водного хозяйства. Прага.
- Исаченко Б. Л. 1946. Запахи и привкусы воды. Природа, № 10.
- Кадеи М. М. 1953. Водный фактор в эпидемиологии дизентерии. Журн. эпидемиол., микробиол. и иммунобиол., № 7.
- Кадыров А. А. 1954. Ликвидация дракункулоза, рипты в Узбекистане. Ташкент.
- Калабина М. М., А. В. Капыгина, А. М. Ариштейн, М. П. Лебедева. 1958. Выяснение возможности биохимического окисления органических загрязнений, содержащихся в производственных сточных водах предприятий химической промышленности. Изд. Водгео, М.
- Калабина М. М., Ц. И. Роговская, С. И. Конобеев. 1952. Заводы синтетического каучука. Сб. «Производственные сточные воды», вып. 3, Медгиз, М.
- Калина Г. П. 1949. Изменчивость патогенных микроорганизмов. Госмедиздат УССР, Киев.
- Кальманович Б. Г. 1948. Влияние водного фактора на заболеваемость брюшным тифом в РСФСР в годы Великой Отечественной войны. Журн. микробиол., эпидемиол. и иммунобиол., № 4.
- Канализация. 1960. Под ред. А. И. Жукова. М.
- Капыгина А. В. 1957. Влияние сброса промышленных сточных вод, содержащих легкорастворимые минеральные соли, на водные организмы. Изд. Водгео, М.
- Капыгина А. В., А. Ф. Зайцева. 1961. Предварительная биохимическая очистка радиоактивных сточных вод вивария и прачечных. Изд. Водгео, М.
- Капишиков А. Л., Я. И. Козьяков. 1961. Промышленный сброс пластовых вод в поглощающие скважины на нефтепромыслах Куйбышевской области. Научно-техн. совещ. по борьбе с загрязнением вод, вып. 1, М.
- Карасева Е. В., Е. В. Нарская, В. В. Аняньин. 1955. Опыт оздоровления природного очага безжелтушного лептоспироза. Журн. микробиол., эпидемиол. и иммунобиол., № 4.
- Караушев А. В. 1946. Турбулентная диффузия и метод смешения. Гидрометеозидат, Л.
- Карелин Я. А., В. Г. Перевалов. 1961. Очистка сточных вод от нефтепродуктов (зарубежный опыт). Госстройиздат, М.
- Карпов С. П. 1955. Водный тип очага туляремии. Журн. микробиол., эпидемиол. и иммунобиол., № 4.
- Карякин И. С., Т. С. Говорова, К. С. Ажарова. 1960. Санитарно-гигиеническая характеристика режима р. Иртыша в связи со строительством глубоководного канала Иртыш—Караганда. Всес. научн. конф. по сан. охране водоемов, Медгиз, М.
- Квитницкая Н. Н. 1960. Санитарный режим водоемов Украины в зонах санитарной охраны речных водопроводов. Всес. научн. конф. по сан. охране водоемов, Медгиз, М.
- Квитницкая Н. Н. 1961. Гигиеническое обоснование к развитию промышленности в бассейнах отдельных областей Украины. Научно-техн. совещ. по борьбе с загрязнением вод, вып. 1, М.
- Киктенко В. С. 1948. Актуальные вопросы эпидемиологии водной лихорадки. Журн. микробиол., эпидемиол. и иммунобиол., № 5.
- Киченко М. Г. 1939. Атипичные штаммы кишечной палочки как показатели загрязнения воды. Гигиена и санитария, № 7.
- Клюков В. В. 1948. Нефтеперерабатывающие заводы. Сб. «Производственные сточные воды», вып. 1, Медгиз, М.
- Клюков В. В. 1948. Содовые заводы. Сб. «Производственные сточные воды», вып. 1, Медгиз, М.
- Клюков В. В. 1952. Углеобогатительные фабрики. Сб. «Производственные сточные воды», вып. 3, Медгиз, М.
- Коккина А. Г., В. А. Лохманенко. 1961. Дегельминтизация сточных вод и их осадков в биологических прудах. Сб. «Очистка сточных вод в биологических прудах», Изд. АН БССР, Минск.
- Колотинская Е. Н. 1962. Правовая охрана природы. Изд. МГУ, М.
- Копилов В. Н. 1936. Санитарная характеристика реки Москвы на протяжении от г. Звенигорода до г. Коломны. Водоснабж. и сан. техн., № 5.
- Конференция по очистке сточных вод целлюлозно-бумажной промышленности. 1958. Бумажная промышленность, № 6.
- Корнилов Г. В. 1958. Влияние специфического бактериофага на процесс отмирания и биологические свойства дизентерийных микробов в воде. Тр. Омского н.-иссл. инст. эпидемиол., микробиол. и гигиены, сб. 5.

- К о р и л о в а Г. В., В. М. Н о в и к.** 1958. Эпидемиология и клиника зимней дизентерии 1949—1950 гг. в Ленинском районе г. Омска. Тр. Омского н.-иссл. инст. эпидемиол., микробиол. и гигиены, сб. 5.
- К о р с а к о в а М. П.** 1938. Донные отложения как источник вторичного загрязнения рек. Микробиология, т. VII, № 6.
- К о р ш Л. Е.** 1948. Влияние плавучего дома отдыха и прибрежного населенного пункта на санитарно-бактериологическую характеристику воды. Гигиена и санитария, № 10.
- К о р ш Л. Е.** 1950. Биологические активные вещества в естественных водоемах. Журн. гигиены, эпидемиол., микробиол. и иммунол., т. IV, вып. 2, Прага.
- К о ц и н М. Б.** 1899. Опыт систематических наблюдений над колебаниями химического и бактериологического состава Москва-реки. М.
- К р ы л о в а В. П.** 1955. О выживаемости дизентерийных бактерий в кипяченой воде. Журн. микробиол., эпидемиол. и иммунобиол., № 2.
- К р ы л о в а Л. П.** 1957. Определение углерода органических веществ природных вод методом сухого сжигания. Гидрохим. материалы, т. XXXVI.
- К р ы л о в а Л. П., Б. А. С к о п и н ц е в.** 1959. Содержание органического углерода в водах рек и озер Подмосковья и крупных рек Советского Союза. Гидрохим. материалы, т. XXVIII.
- К у д л а й Д. Г.** 1954. Изменчивость микробов кишечной группы. Медгиз, М.
- К у з н е ц о в И. А.** 1949. Методика комплексного водохозяйственного освоения малых рек в засушливых областях европейской части СССР. Главводхоз, М.
- К у з н е ц о в И. А.** 1961. О методике построения плана комплексного использования водных ресурсов. Сб. «Управление поверхностными и подземными водными ресурсами и их использование», Изд. АН СССР, М.
- К у з н е ц о в С. И.** 1952. Роль микроорганизмов в круговороте веществ в озерах. Изд. АН СССР, М.
- К у л а к о в Е. А.** 1959. Сточные воды фабрик первичной обработки шерсти, их очистка и извлечение шерстяного жира (ланоллина). Сб. «Очистка промышленных сточных вод». Госстройиздат, М.
- К у п ц и с И. Д.** 1900. Нефтяной яд, его химическая природа и влияние на рыб, холонокровных и теплокровных животных. Врач, № 24.
- К у ш е л е в В. П.** 1958. Задачи в области охраны водоемов от загрязнения сточными водами нефтяной промышленности. Сб. «Борьба с загрязнением водоемов», М.
- Л е б е д е в а Е. М., Н. Г. Ф е с е н к о.** 1963. Карта загрязненности рек Донбасса. Гидрохим. материалы, т. XXXV.
- Л е в а д н а я Л. Ф.** 1960. Санитарное состояние реки Северный Донец в связи со спуском стоков химических предприятий и оценка мероприятий по уменьшению сброса стоков. Всес. научн. конф. по сан. охране водоемов. Медгиз, М.
- Л е в и н а Р. И., Т. Н. С и в к о.** 1961. Скорость отмирания кишечной палочки в культурах протококковых водорослей на сточной воде. Сб. «Очистка сточных вод в биологических прудах», Изд. АН БССР, Минск.
- Л е в и т о в А. М., А. И. Т о л к а ч е в.** 1962. Некоторые эпидемические особенности брюшного тифа в Куйбышеве. Гигиена и санитария, № 1.
- Л е в и ц к и й А. М.** 1957. Использование сточных вод в сельском хозяйстве. Совещ. по использ. и обезвреж. сточных вод на земледельческих полях орошения. М.
- Л е в ч е н к о А. П.** 1955. Заболевания туляремией, связанные с переработкой зараженной сахарной свеклы. Журн. эпидемиол., микробиол. и иммунобиол., № 4.
- Л и в ш и ц И. М.** 1946. Построение кривой обеспеченности суточного расхода воды. Тр. Первого совещ. по регулированию стока, Изд. АН СССР, М.
- Л о б а ч е в а Л. Л.** 1960. Вредные влияния сточных вод на рыбное население водоемов. Изд. Общ. охр. природы, М.—Л.
- Л о п а т и н Г. В.** 1941. О распределении среднего многолетнего стока взвешенных наносов рек на территории европейской части СССР. Тр. НИУ Главного управл. гидрометеорол. службы, сер. IV, вып. 1.
- Л о п а т и н Г. В.** 1950. О размере транзитной части водной эрозии. ДАН СССР, т. XXIII, № 1.
- Л ь в о в и ч А. И.** 1957. Основные положения устройства и проектирования земледельческих полей орошения. Совещ. по использ. и обезвреж. сточных вод на земледельческих полях орошения. М.
- Л я х о в и ч В. П.** Органическое удобрение прудов. Сб. «Вопросы рыбного хозяйства Белоруссии», Минск.
- М а з и н г Л. А.** 1954. Сокращение сброса сточных вод, загрязняющих водоемы предприятиями целлюлозно-бумажной промышленности путем рационализации производственных процессов. Сб. «Производственные сточные воды», вып. 4, Медгиз, М.
- М а к к а в е е в В. М.** 1931. Теория процессов перемешивания при турбулентном движении. М.
- М а к р и н о в В. А.** 1958. Влияние различных концентраций покала на органолептические свойства воды. Сб. тр. Воронежск. мед. инст., т. XXXV, Воронеж.

- М а л е ж и к П. В.** 1960. Санитарная охрана мергельно-меловых вод в бассейне Северного Дона. Всес. научн. конф. по сан. охране водоемов. Медгиз, М.
- М а л о в Г. А., В. Ф. О р е ш к о, М. А. П и п я г и н.** 1958. Исследование радиоактивности воды и донных осадков городских прудов. Гигиена и санитария, № 10.
- М а р е й А. Н.** 1956а. Некоторые вопросы санитарной охраны водоемов от загрязнения радиоактивными веществами. Гигиена и санитария, № 3.
- М а р е й А. Н.** 1956б. Охрана водоемов от загрязнений радиоактивными веществами. Гигиена и санитария, № 9.
- М а р е й А. Н.** 1958. Санитарная охрана открытых водоемов от загрязнения радиоактивными веществами. Медгиз, М.
- М е д в и н с к а я К. Г.** 1953. Изменение длительности сохранения дизентерийных палочек в воде в связи с изменением их биологических свойств. Журн. микробиол., эпидемиол. и иммунобиол., № 7.
- М е й н В. А.** 1932. Очистка сточной жидкости в прудах и выращивание в них рыбы. М.
- М е н ц е р Е.** 1963. Вопросы загрязнения водоемов в международном праве. Пер. с англ. Сб. «Проблемы борьбы с загрязнением вод». Всемирная организация здравоохранения. Женева.
- М е р г а с о в а Г. Ф.** 1957. К вопросу гидробиологических показателей загрязнения и самоочищения рек Волги и Оки в районе г. Горького. Уч. зап. Горьковск. гос. Мед. инст., вып. III, Горький.
- М е т о д и ч е с к и е** указания к определению условий спуска производственных сточных вод. 1948. Сб. «Производственные сточные воды», вып. 1, Медгиз, М.
- М е т о д и ч е с к и е** указания по санитарной охране водоемов от загрязнения сточными водами предприятий угольной промышленности. 1960. Медгиз, М.
- М е т о д и ч е с к и е** указания по санитарной охране водоемов от загрязнения сточными водами целлюлозно-бумажной промышленности. 1960. Медгиз, М.
- М и н к е в и ч И. Е.** 1949. Бактерии группы кишечной палочки как санитарно-показательные микроорганизмы. Медгиз, М.
- М и ш у с т и н Е. Н., М. И. П е р ц о в с к а я.** 1954. Микроорганизмы и самоочищение почв. Изд. АН СССР, М.
- М о г и л е в с к и й Я. А.** 1952. 15 лет санитарной охраны канала имени Москвы. Гигиена и санитария, № 12.
- М о ж а е в Е. А., П. И. В е р т е б н а я.** 1962. Экспериментальное обоснование предельно допустимой концентрации натриевой соли дихлорфенооксипикриновой кислоты (2,4-Д) в воде водоемов. Сб. «Санитарная охрана водоемов от загрязнения промышленными сточными водами», вып. 6, Медгиз, М.
- М о н г а й т И. Л.** 1950. Очистка сточных вод хлорных комбинатов. Сб. «Производственные сточные воды», вып. 2, Медгиз, М.
- М о п г а й т И. Л., И. Д. Р о д з и л л е р.** 1958. Методы очистки сточных вод. Гостехиздат, М.
- М о с е в и ч Н. А.** 1941. О причинах возникновения резкого зимнего дефицита кислорода в р. Волге в 1941 г. Тр. общ. естествозн. Казанск. ун-та, т. II, № 3—4.
- М о с е в и ч Н. А.** 1947. Зимние заморные явления в реках Обь—Иртышского бассейна. Изв. ВНИОРХ, т. XXV, вып. 1.
- М о с е в и ч Н. А.** 1951. Влияние на водоем загрязнений, содержащих нефть и нефтепродукты. Сб. «Санитарная характеристика водоемов», Изд. АМН СССР, М.
- М о с е в и ч Н. А., А. Г. Г у с е в, М. Г. Д р а г у л и н, В. С. К у ш н а р е в а, М. В. М о с е в и ч, Н. Д. Н и к и ф о р о в.** 1952. Фенольные сточные воды, их влияние на рыб и водоемы и нормирование их сброса. Изв. ВНИОРХ, т. XXXI.
- М о с е в и ч Н. А., Н. В. Г у с е в а, М. Г. Д р а г у л и н, В. С. К у ш н а р е в а.** 1952. Сточные воды нефтеперерабатывающих заводов, их влияние на водные организмы и нормирование их сброса. Изв. ВНИОРХ, т. XXXI.
- М у с к а т В. И.** 1932. Водоснабжение и водные инфекции. Гигиена и соц. здравоохран., № 6.
- М у с к а т В. И.** 1937. Санитарная охрана источников водоснабжения. М.
- М я с о е д о в В. С.** 1960. Эпидемиология описторхоза. Томск.
- Н а з а р е н к о И. В.** 1960. Предельно допустимая концентрация формальдегида в водоемах. Сб. «Санитарная охрана водоемов от загрязнения промышленными сточными водами», вып. 4, Медгиз, М.
- Н а р о д н о е х о з я й с т в о СССР в 1961 г.** 1962. Статиздат, М.
- Н е с м е я н о в С. А.** 1947. Феносольвальный метод извлечения фенола из сточных вод. Гигиена и санитария, № 7.
- Н е с м е я н о в С. А.** 1948. Прямой метод определения потребности в кислороде сточных вод и осадков. Гигиена и санитария, № 3.
- Н е с м е я н о в С. А.** 1951. Донные отложения и кислородный режим водоемов. Изд. АМН СССР, М.

- Н е с м е л н о в С. А., С. Н. Ч е р к и н с к и й. 1948. Санитарные требования к спуску сточных вод в водоемы. Сб. «Производственные сточные воды», вып. 1, Медгиз, М.
- Н и к и т и н А. К. 1957. Основные направления технического развития отечественной промышленности синтетического каучука. Каучук и резина, № 2.
- Н и к и т и н с к и й Я. Я. 1926. Микробиология воды. В кн.: Н. Н. Х у д я к о в. Сельскохозяйственная микробиология. Сельхозгиз, М.
- Н и к и т и н с к и й Я. Я. 1938. Некоторые итоги в области санитарно-технической гидробиологии. Микробиология, т. VII, № 1.
- Н и к о л ь с к а я Е. А. 1950. Конструкция пейтрализатора, работающего по методу фильтрации снизу вверх. Сб. «Производственные сточные воды», вып. 2, Медгиз, М.
- О в с я н и к о в а К. А. 1934. Метап-тенк в новой конструкции. Тр. Акад. комм. хоз., М.
- О л с у ф ь е в Н. Г., К у ч е р у к В. В., М а к а р о в Н. И., Б о р о д и н В. П., В. Г. П е т р о в, Е. П. С е л я н и н. 1955. О структуре природного очага туляремии пойменного типа. Журн. микробиол., эпидемиол. и иммунобиол., № 4.
- О п а р и н а О. П. 1949. Влияние меди на биохимическое потребление кислорода. Сб. «Санитарная охрана водоема от загрязнения промышленными сточными водами», вып. 1, Медгиз, М.
- О с т а п е н я П. В. 1959. Прогноз гидрохимического и санитарного режима водохранилищ, проектируемых в БССР, на территории Полесской низменности. Гидрохим. материалы, т. XXVIII.
- О с т а п е н я П. В., Р. И. Л е в и н а, А. Г. К о к и н а. 1957. Динамика отмирания кишечной патогенной микрофлоры. Совещ. по использ. и обезвреж. сточных вод на сельскохозяйственных полях орошения. М.
- О с т а п е н я П. В., Р. И. Л е в и н а, А. Г. К о к и н а. 1961. Динамика отмирания кишечной патогенной микрофлоры в биологических прудах и роль фитопланктона в этом процессе. Сб. «Очистка сточных вод в биологических прудах», Изд. АН БССР, Минск.
- О ч и с т к а промышленных сточных вод. 1962. Тр. совместной конф. Инст. Водгео и Инст. водного хоз. Чехословакии, М.
- П а в л и н о в а Р. М. 1939. Влияние сточных вод нефтеперегонных заводов на рыб. Рыбн. хоз., № 10.
- П а в л и н о в а Р. М. 1941. Влияние отходов целлюлозно-бумажной промышленности на водоем. Л.
- П а в л и н о в а Р. М. 1945. Сульфитные щелока и роль их утилизации в оздоровлении водоемов. Бумиздат, М.
- П а в л и н о в а Р. М. 1952. Влияние сточных вод целлюлозно-бумажной промышленности на рыбопромысловые водоемы и разработка норм их сброса. Изв. ВНИОРХ, т. XXXI.
- П е р е в а л о в В. Г. 1952. Очистка промышленных сточных вод, содержащих эмульгированные нефтепродукты. Нефт. хоз., № 1.
- П е р е х р е с т С. М. 1962. Орошение земель юга Украины. Изд. АН УССР, Киев.
- П е р ф и л ь е в Б. В., Д. Р. Г а б е. 1961. Капиллярные методы изучения микроорганизмов. Изд. АН СССР, М.—Л.
- П о д ь я п о л ь с к а я В. П., В. Ф. К а п у с т и н. 1958. Глистные болезни человека. Медгиз, М.
- П о к р о в с к и й В. А. 1958. Гигиеническая характеристика производственных сточных вод производства синтетического каучука и вопросы их очистки. Сб. тр. Воронежск. мед. инст., т. XXXV, Воронеж.
- П о л я к о в И. С. 1877. Письма и отчеты о путешествии в долину р. Оби. Зап. Академии наук, т. 30, № 2, Приложение, СПб.
- П о п о в Е. Г. 1963. Вопросы теории и практики прогноза речного стока. Гидрометеопедат. Л.
- [П о п о в а Н. М., О. Т. Б о л о т и н а]. Р о р о в а Н. М. and О. Т. B o l o t i n a. 1963. The present state of purification of town sewage and trend in research work in the city of Moscow. Air and water pollution, v. 7, № 2/3.
- П о п о в а Н. М., Т. С. Н а г и б и н а. 1934. Самоочищение реки Пехорки в нижнем течении. Сб. «Очистка сточных вод», ОНТИ, М.
- П р а в и л а охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами. 1961. Минздрав СССР, М.
- П р и н ц и п ы и методы комплексного использования водных ресурсов малых бассейнов, ч. I. 1949. Изд. АН СССР, М.—Л.
- П у т я л и н а Н. Т. 1952. Обесфеоливание сточных вод коксохимических заводов путем применения чистых культур фенол-разрушающих микробов. Гигиена и санитария, № 2.
- П ш е н и ч н и к о в А. В. 1936. Роль водного фактора в развитии брюшного тифа

и паратифа в уральских условиях. Журн. микробиол., эпидемиол. и иммунобиол., т. XVI, вып. 3.

Разумов А. С. 1948. Взаимоотношения между сапрофитными бактериями и планктоном в водоеме. Сб. «Вопросы санитарной бактериологии», Изд. АМН СССР, М.

Разумов А. С. 1960. Бактериологические методы. В кн.: Приемы санитарного изучения водоемов. Под ред. С. М. Драчева. Медгиз, М.

Разумов А. С. 1961. Микробиальные показатели сапробности водоемов, загрязненных промышленными сточными водами. Микробиология, т. XXX, №№ 3, 5, 6.

Разумов А. С. 1962. Водная микробиология. Тр. Всес. гидробиол. общ., т. XII. Районная планировка экономических, административных районов, промышленных районов и узлов. 1962. Госстройиздат, М.

Риммар Г. М. 1952. Применение электропроводности для определения расходов воды методом смешения. Тр. Гос. гидрол. инст., вып. 36 (90).

Роговская Ц. И. 1936. К вопросу о роли донного ила в процессе самоочищения водоемов. Микробиология, т. V, № 4.

Роговская Ц. И. 1951. Влияние тринитротолуола на микроорганизмы и биохимические процессы самоочищения воды. Микробиология, т. XX, № 3.

Родзиллер И. Д. 1954. К вопросу о расчете смешения сточных вод в реках. Изд. Водгео, М.

Родзиллер И. Д. 1959. Определение кратности разбавления сточных вод речными. Гигиена и санитария, № 11.

Россолимо Л. Л. 1953. Очерки по географии внутренних вод СССР. Учпедгиз, М.

Россолимо Л. Л., З. И. Кузнецова. 1934. Донное газоотделение как фактор кислородного режима озер. Тр. Лимнол. ст. в Косине, вып. 17, М.

Руффель М. А. 1951. Расчеты кислородного режима загрязненных водоемов. Сб. «Санитарная характеристика водоемов», Изд. АМН, М.

Руффель М. А. 1957. Расчеты разбавления сточных вод в водохранилищах. Водоснабж. и сан. техн., № 7.

Руффель М. А. 1960. Методы расчета разбавления сточных вод при санитарной охране рек. Гигиена и санитария, № 4.

Рябов Ф. П. 1958. Микробиологическая характеристика верхней части Каховского водохранилища в связи с загрязнением его сточными водами. Тез. докл. Всес. совещ. по вопросам рыбохозяйств. освоения водохранилищ. Л.

Салтыков Е. В. 1959, 1960. Проектирование зон санитарной охраны источников водоснабжения, чч. 1, 2. Изд. Мин. комм. хоз. РСФСР, М.

Санитарные правила работы с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений. 1960. Госатомиздат, М.

Санитарные правила устройства и эксплуатации сооружений по очистке городских сточных вод. 1959. М.

Селибер Г. Л. 1926. Образование и разложение жиров микроорганизмами. Изд. «Главнаука», Л.

Семенов В. П. 1902. Россия. Т. II. Среднерусская черноземная область. СПб.

Сибиряков М. А. 1951. К изучению кислородного режима водоемов. Тр. АМН СССР, т. X, М.

Сивко Т. Н. 1961. Опыт очистки в биологических прудах сточных вод Мвяска. Сб. «Очистка сточных вод в биологических прудах». Изд. АН БССР, Минск.

Скопичев Б. А. 1933. К изучению естественного самоочищения рек. Сан. техн., № 6.

Скопичев Б. А. 1936. О вычислении коэффициента реэрации естественных водоемов. Водоснабж. и сан. техн., № 9.

Скопичев Б. А. 1938. О скоростях регенерации биогенных элементов при разложении планктонных организмов. Микробиология, т. VII, № 6.

Скопичев Б. А. 1947. О скорости разложения органического вещества отмершего планктона. ДАН СССР, т. 58, № 8.

Скопичев Б. А., И. Н. Сосупова. 1940. Влияние нефти на химические и физические свойства природных вод. Водоснабж. и сан. техн., № 9.

Скопичев Б. А., Б. Г. Чапиков. 1940. О заморах на Волге в зиму 1939 г. Рыбн. хоз., № 6.

Соболев С. С. 1948. Эрозия почвы в СССР. Изд. АН СССР, М.

Соколовский Д. Л. 1952. Речной сток. Гидрометеоздат, Л.

Сологуб А. М. 1957. Гигиеническая оценка Рыбинского водохранилища в районе Череповца. Гигиена и санитария, № 11.

Спиваков К. М. 1957. Опыт проектирования полей орошения на Украине. Совещ. по польза. обезвреж. сточных вод на земледельческих полях орошения. М.

Стефенсон М. 1951. Метаболизм бактерий. Пер. с англ. М.

- Страдомский Д. Б. 1961. Сток радиоактивных веществ р. Дон в Азовское море. Гидрохим. материалы, т. XXXIV.
- Стригер Г. В. 1937. Скорость атмосферной реэрации рек, загрязненных сточными водами. Пер. с англ. Сб. «Вопросы загрязнения и самоочищения водоемов». Изд. Инст. комм. гигиены АМН СССР, М.
- Строганов Н. С. 1940. Токсикология водных животных в связи с действием промышленных сточных вод на водосм. Зоол. журн., т. XIX, № 4.
- Строганов Н. С. 1949. Современная постановка вопроса об изучении загрязнения и самоочищения водоемов. Медгиз, М.
- Строганов Н. С., А. Г. Пожитков. 1941. Действие сточных промышленных вод на водные организмы. Уч. зап. МГУ, т. 60, кн. 4.
- Строганов С. Н. 1914. Об опытах с прудами для очистки сточных вод на московских полях орошения. Изв. постоянного бюро Всероссийского водопров. и сан.-техн. съезда, год I, № 4.
- Строганов С. Н. 1919. Кишечная палочка в сточных водах, прошедших очистительные сооружения Люблинских полей орошения. Отчет комиссии по очистке сточных вод. Приложение 13. М.
- Строганов С. Н. 1939. Загрязнение и самоочищение водоемов. Изд. Инст. комм. гигиены, М.
- Строганов С. Н. 1945. Анализ городских сточных вод. Изд. Народн. комиссариата комм. хоз. РСФСР, М.
- Строганов С. Н., К. К. Корольков. 1934. Биологическая очистка сточных вод, Госстройиздат, М.
- Талаева Ю. Г. 1957. Выживаемость дизентерийных микробов в воде по данным исследования. Медгиз, М.
- Таусон А. О. 1947. Ядовитое действие отдельных компонентов сточных вод на рыб. Уч. зап. Пермск. гос. ун-в., т. VI, № 2.
- Таусон В. О. 1932. Разрушение микроорганизмами химически устойчивых соединений. Микробиология, № 1.
- Таусон В. О. 1947. Наследство микробов. Изд. АН СССР, М.
- Терно Э. Д. 1937. Скорость потребления кислорода в загрязненных водах. Пер. с англ. Сб. «Вопросы загрязнения и самоочищения водоемов», Изд. Инст. комм. гигиены, М.
- Тилло А. А. 1894. Экспедиция по исследованию источников рек Европейской России. М.
- Тимakov В. Д., Д. М. Гольдфарб. 1958. Основы экспериментальной медицинской бактериологии. Медгиз, М.
- Тимakov В. Д., М. И. Хазанов. 1959. Проблема ликвидации инфекционных болезней. Вестн. АМН СССР, № 5.
- Топчиев А. В., И. Т. Аладьев, П. С. Савицкий. 1958. Применение радиоактивных изотопов в СССР. Атомная энергия, т. 4, вып. 3.
- Тув И. А. 1961. Защита речных и озерных водоемов от загрязнения нефтепродуктами, содержащимися в подсланевых водах машинно-котельных отделений судов внутреннего плавания. Научно-техн. совещ. по борьбе с загрязнением вод, вып. 1, М.
- Турский Ю. И. 1958. Очистка фекальных сточных вод. Сб. «Борьба с загрязнением водоемов, Гостоптехиздат, М.
- Турчанович В. Т. 1961. Основы водохозяйственного баланса. Сб. «Управление поверхностными и подземными водными ресурсами и их использование». Изд. АН СССР, М.
- Усачева А. М. 1951. Выживаемость яиц геогельминтов в водоемах и донных отложениях. Гигиена и санитария, № 12.
- Успенский Е. Е. 1925. Железо как фактор распределения водорослей. Тр. Бот. инст. МГУ, № 1, М.
- Успенский Е. Е. 1932. К вопросу о задачах и путях микробиологии в связи с развитием городского водоснабжения. Микробиология, № 2.
- Фальчевская А. А. 1958. Особенности эпидемиологии дизентерии в некоторых кварталах г. Омска, примыкающих к реке Иртышу. Тр. Омского инст. эпидемиол., микробиол. и гигиены, сб. 5.
- Федий В. А. 1958. Некоторые данные об альгофлоре Каховского водохранилища и влияния на нее промышленного загрязнения. Тез. докл. Всес. совещ. по вопросам рыбохозяйств. освоения водохранилищ. Л.
- Фердинанд Я. М. 1957. Гигиенические вопросы строительства Цимлянского водохранилища. Изв. Ростовск. н. Д. инст. эпидемиол., микробиол. и гигиены, вып. 22.
- Фесенко Н. Г. 1960. Загрязнение речных вод Донбасса кислыми водами угольных шахт и пути его устранения. Всес. научн. конф. по сан. охране водоемов. Медгиз, М.
- Францев А. В. 1953. К вопросу об эксплуатации водохранилищ Московского водопровода. Городск. хоз. Москвы, № 2.

- Фролов В. А. 1950. Определение степени смешения сточных вод с водой водостоя реки. Сб. «Производственные сточные воды», вып. 2, Медгиз, М.
- Хайт С. Л., В. В. Фрадкина. 1933. Изменчивость кишечной палочки при длительном культивировании в воде. Журн. микробиол., эпидемиол. и иммунобиол., т. XI, вып. 4.
- Хаскин С. А. 1950. Очистка сточных вод, содержащих кислоты. Сб. «Производственные сточные воды», вып. 2, Медгиз, М.
- Хлопин Г. В. 1902. Загрязнение проточных рек хозяйственными и фабричными отбросами. Юрьев.
- Хлопин Г. В., А. Ф. Никитин. 1898. Влияние нефтяных продуктов на рыбное население рек и качество их воды. Врач, т. 19, № 51.
- Хоруженко П. Ф. 1955. К эпидемиологии водной лихорадки. Журн. микробиол., эпидемиол. и иммунобиол., № 2.
- Хроника Всемирной организации здравоохранения, т. XIII, вып. 5, 1959.
- Худяков Н. Н. 1926. Сельскохозяйственная микробиология. Сельхозгиз, М.
- Черкес Д. С. 1939. Сточные воды углеобогащательных фабрик. Водоснабж. и сан. техн., № 4—5.
- Черкинский С. Н. 1938. Сточные воды фосфоритового рудника и условия спуска их в водоем. Водоснабж. и сан. техн., № 7.
- Черкинский С. Н. 1948. Критерий вредности в проблеме санитарной охраны водоемов. Гигиена и санитария, № 3.
- Черкинский С. Н. 1951. Санитарные условия спуска сточных вод в водоемы. Изд. Мин. комм. хоз. РСФСР, М.
- Черкинский С. Н. 1954. Основное направление научных исследований по гигиеническому обоснованию предельно допустимых концентраций вредных веществ промышленных сточных вод в водоемах. Сб. «Санитарная охрана водоемов от загрязнения промышленными сточными водами», вып. 2, Медгиз, М.
- Черкинский С. Н. 1960. Гигиеническое нормирование при одновременном загрязнении водоемов несколькими вредными веществами. Сб. «Санитарная охрана водоемов от загрязнения промышленными сточными водами», вып. 4, Медгиз, М.
- Шаблин А. Е. 1960. Пути сокращения сброса сточных вод в бумажной промышленности. Гигиена и санитария, № 3.
- Шамов Г. И. 1956. Сток наносов рек СССР. Гидрометеиздат, Л.
- Шведов В. П., В. А. Блпнов, Л. И. Геденов, Н. А. Павлова. 1959. Прогноз уровня выпадения стронция-90 из атмосферы. Рефераты работ, посвященных радиоактивному стронцию. Медгиз, М.
- Шестаков В. М. 1961. Основы гидрогеологических расчетов при фильтрации из хранилищ промышленных стоков. Изд. Водгео, М.
- Шерстнев А. И. 1958. Санитарное состояние и оздоровление реки Преголя в районе Калининграда. Автореферат. Инст. комм. гигиены АМН СССР, М.
- Шишкин З. Н., Я. А. Карелин, С. К. Колобанов, С. В. Яковлев. 1960. Канализация. Под ред. А. И. Жукова. Изд. 2, Госстройиздат, М.
- Шулейкин В. В. 1953. Физика моря. Изд. АН СССР, М.
- Экзерцев В. А., С. И. Кузнецов. 1954. Исследование микрофлоры нефтепосных месторождений Второго Баку. Микробиология, т. XXIII, № 1.
- Юргенсон И. А. 1957. О загрязнении водоемов Эстонской ССР сточными водами сланцевой промышленности. Тез. докл. совещ. по санитарной охране водохранилищ. М.
- Ястребов А. Ф. 1959. Эпидемиология и профилактика полиомиелита. Медгиз, М.
- Abbott W. E. 1948. The bacteriostatic effect of methylene blue on the BOD test. Water and Sewage Works, v. 95, № 11.
- Abou Gareeb A. H. 1960. The detection of Cholera in Calcutta Waters the Hooghly and canals. Journ. Hyg., v. 58, № 1.
- Adeney W. E. 1928. Principles and practice of the dilution method of sewage disposal. Cambridge University Press, London.
- Aquatic life water quality criteria. 1960. Journ. Water Pollut. Contr. Federation, v. 32, № 1.
- Artist L. S. 1940. Notes on the operation of the Wakefield sewage purific works. Journ. and Proc. Inst. Sewage Purific., v. 37.
- Baily H. G. 1961. Progress in Wold Health. Journ. Roy. Congr.
- Balmat J. L. 1957. Biochemical oxidation of various particulate fractions of sewage. Sewage and Industr. Wastes, v. 27, № 7.
- Bankroft P. M., M. E. Engelhard and C. A. Evans. 1957. Poliomyelitis in Huskerville (Lincoln) Nebraska. Journ. Amer. Med. Assoc., v. 164, № 12.
- Bassindale R. B. Southgate, F. Pentelow 1933. The effect of cyanides on the gill colour of fish. Journ. Marine Biol. Assoc. U. K., v. 43.
- Bolter W. G. and H. Bernard. 1963. Status of radioactive liquid waste management in the United States. Journ. Water. Pollut. Control. Federation, v. 35, № 2.

- Berger B. B. 1960. Public health aspects of water reuse for potable supply. Journ. Amer. Water Works Assoc., v. 52, № 6.
- Berry A. E. 1959. The Ontario water resources program. Sewage and Industr. Wastes, v. 31, № 3.
- Blifford I. U., L. B. Lokhart, R. A. Bans. 1956. Relationship between air concentration of radioactive fission products and fallout. Nature, v. 177, № 4517.
- Bloodgood D. E. 1958. Treatment of industrial wastes in the United States. Annual Conference, Southport.
- Bohanon L. B. 1958. Irrigation use of water. Journ. Amer. Water Works Assoc., v. 50, № 3.
- Bucksteeg W. 1955. Das chemische und biologische Laboratorium der Vereinigte Ruhrverbände und seine Aufgaben. Gas- und Wasserfach, 96 Jharg., H. 16.
- Bucowska Z., B. Nowicka. 1960. Обнаружение источников заражения реки и пляжа бактериями *Salmonella* при помощи исследования сточных вод. Bull. Inst. of Marine Med. in Gdansk, v. XI, № 3/4.
- Buswell A. M. 1930. Illinois state water survey. Bull., 29.
- Butcher R. W. 1946. The biological detection of pollution. Journ. and Proc. Inst. Sew. Purific, № 2.
- Čabeiszek I., S. Kolaczowski, B. Koziorowski, J. Luczak. 1960. Projekt yednoliconych wytycznych do klasyfikacji Zanieczyszczen wód powierzchniowych. Gaz. Woda, Technica Sanitarna, v. 34, № 1.
- Carpenter R. E. 1925. On the biological factors involved in the destruction of river fishes by pollution due to lead mining. Ann. Appl. Biol., 12.
- Clarke N. A. and S. L. Chang. 1959. Enteric viruses in water. Journ. Amer. Water Works Assoc. v. 51, № 1.
- Chang S. Z. 1961. Viruses, amedias and nematodes and public water supplies. Journ. Amer. Water Works Assoc., v. 53, № 3.
- Clodius S. 1952. Zum Shema des Wasserkreislaufes. Bohrtechnic Brunnenbau, H. 9.
- Committee on Water Supply. 1938. Water-borne outbreaks in the United States and Canada 1930—1936 and their significance. Amer. Publ. Health Assoc. Year Book, v. 28.
- Committee Report. 1957. Basic principles of a national water resources policy. Washington.
- Coulson H. J. and U. A. Fobres. 1952. The law of waters and land drainage. 6th ed. London.
- Davis S. S. 1958. Dispersion of radioactive materials by streams. Journ. Amer. Water Works Assoc., v. 50, № 11.
- Dennis J. M. 1959. 1955—56 infectious hepatitis epidemic in Delhi, India. Journ. Amer. Water Works Assoc., v. 51, № 10.
- Diemer R. B. 1959. Colorado river aqueduct as a source of present and future supplies in southern California. Journ. Amer. Water Works Assoc., v. 51, № 4.
- Doudoroff P., M. Katz. 1950. Critical review of literature on the toxicity of industrial wastes and their components to fish. Sewage and Industr. Wastes, v. 22, № 11.
- Doudoroff P., C. Warren. 1957. Biological indices of water pollution. Biology Problem in Water pollution. Chicago.
- Dyck A. W. 1957. How Charmin paper makes. Torula Geast Paper Ind., v. 39, № 1.
- Edward W., M. A. Moore. 1956. Water and its relation to deseases. Preventive medicine and public Health. New York.
- Ellis M. M. 1936. Erosion silt as a factor in aquatic environments. Ecology, v. 17.
- Ellis M. M. 1937. Detection and measurement of stream pollution. Bureau of fisheries, № 22, Washington.
- Emily H., P. S. Tomasic. 1954. The health aspects of polluted water with special reference to the epidemiology of water borne infections. Water pollution in Europe. World Health organisation. Geneva.
- European standarts for drinking-water. 1961. World Health Organisation. Geneva.
- Evans S. C. 1958. Local authorities and river standards. Annual Conference, Southport.
- Fair G. 1936. The log-difference method of estimating the constants of the 1st Stage BOD curve. Sewage Works Journ., v. 8, № 4.
- Fair G. M. 1939. The dissalved oxygen sag-an analysis. Sewage Works Journ., v. 11, № 4.
- Figgert W. D. 1959. Initial effort to immunize american soldier valunteers with typhoid fever. Military Medicine, v. 124, № 5.
- Fiske C. E., Z. P. Mernit. 1955. Refinery waste water cleaned by flotation. Petrol Eng., v. 27, № 6.
- Fitzgerald G. P. and F. Scoog. 1954. Control of blue-green blooms with 2,3-dichloronaphthoxinone. Sewage and Industr. Wastes, v. 26, № 1.

- Fitzgerald G. P., G. A. Kohlisch. 1958. An evaluation of stabilization pond literature. *Sewage and Industr. Wastes*, v. 30, № 10.
- Fobres S. A. and R. E. Richardson. 1913. Studies on the biology of the Upper Illinois river. *Bull. Illinois State Labor. on Nat. Hist.*, v. VIX, art. 10.
- Foster R. F., J. J. Davis. 1956. The accumulation of radioactive substances in aquatic form. *Proc. Intern. Conference of the peaceful uses of atomic energy*, v. 13.
- Frost W., H. Streeter. 1924. A study of the pollution and natural purification of the Ohio river. *Publ. Health Bull.*, № 143.
- Gaffney P. E. and H. Heukelekian. 1958. Oxygen demand measurment errors in pure organic compounds-nitrification studies. *Sewage and Industr. Wastes*, v. 30, № 4.
- Ganvin W. H. 1957. Application of the atomized suspension technique. *Techn. Assoc. of the Pulp and Parp. Ind.*, v. 40, № 11.
- Gardner J. A. 1926. Report on the respiratory exchange in freshwater fish, with suggestions as to further investigations. *Fish Invest.*, Ser. 1, 3, № 1.
- Gfeller P. 1954. Microbiological utilisation of spent sulphite liquor. Zürich.
- Gibbons M. 1940. Water pollution by petroleum oil. *Journ. Amer. Water Works Assoc.*, v. 32, № 3.
- Gloyna E. F., W. R. Drynan and E. R. Hermann. 1959. Water Reuse in Texas. *Journ. Amer. Water Works Assoc.*, v. 51, № 6.
- Golueke C., W. Oswald, Mc Gauney. 1959. The biological control of closed environments. *Sewage and Industr. Wastes*, v. 31, № 10.
- Graham J. B. and M. F. Burrill. 1956. *Water for Industry*. Washington.
- Greenberg A. E., R. W. Wickenden and T. W. Lee. 1957. Tracing thyphoid carriers by means of sewage. *Sewage and Industr. Wastes*, v. 29, № 11.
- Harwood J. H. 1953. The uses and limitations of aluminium sulfate in the chemical coagulation of trade wastes. *Journ. Inst. Sewage Purific.*, 1.
- Haworth S. and S. Evans. 1921. *Ochre streams of the Valleys of the Don and Loxley*. *Journ. Soc. Chem. Ind.*, v. 40, London.
- Health statistics report of the Federal Republic of Germany. 1955. Bonn.
- Herbert D. W. and J. C. Merkens. 1961. The effect of suspended mineral solids on survival of trout. *Air and Water Pollution*, v. 5, № 1.
- Herbert D., G. Elkins, H. Mann, J. Hemen. 1957. Toxicity of synthetic detergents to rainbow trout. *Water Waste Treatment Journ.*, № 6.
- Hermann E. K., E. F. Gloyna. 1958a. Waste stabilization ponds. Experimental investigations. *Sewage and Industr. Wastes*, v. 30, № 4.
- Hermann E. K., E. F. Gloyna. 1958b. Waste stabilization ponds. Field practices. *Sewage and Industr. Wastes*, v. 30, № 8.
- Hettche H. O. 1958. Removal of urochromes from water. *Water pollution abstr.*, v. 32, № 6.
- Heukelekian H. and J. L. Balmat. 1959. Chemical composition of the particulate fractions of domestic sewage. *Sewage and Industr. Wastes*, v. 31, № 4.
- Heukelekian H. and M. C. Rand. 1955. Biochemical oxyden demand of pure organic compounds. *Sewage and Industr. Wastes*, v. 27, № 9.
- Hickerson R. C., E. K. Macmanon. 1960. Spray irrigation of wood distillation wastes. *Journ. Water Pollut. Contr. Federation*, v. 32, № 1.
- Hoak R. D. 1959. Physical and chemical behavior of suspended solids. *Sowage and Industr. Wastes*, v. 31, № 12.
- Hodge W. W. 1937. Pollution of streams by coal mine drainage. *Industr. and Eng. Chem.*, v. 29.
- Hodgkinson C. F. 1959. Oil refinery waste treatment in Kansas. *Sewage and Industr. Wastes*, v. 31, № 11.
- Hogg C., A. E. Pettod and W. S. Collett. 1947. Prevention of water pollution by oil from engineering works. *Journ. Inst. Sewage Purific.*, 2.
- Hogg E. 1950. A preliminary study of ova cysts in Cydna digested sludge. *Journ. Inst. Sewage Purific.*, 1.
- Hood J. W. 1949. Measurment and control of sewage treatment process efficiency by oxidation — reduction potential. *Sewage Works Journ.*, v. 20, № 7.
- Hollis M. D. 1961. The pollution image. *Journ. Water Pollut. Contr. Federation*, v. 33, № 3.
- Hollis M. D., G. E. McCallum. 1959. Dilution is no longer solution for pollution. *Wastes Eng.*, v. 30, № 10.
- Holmes C. W. 1943. The de-dusting of coal. *Colliery Eng.*, v. 20.
- Horawawa I. 1956. A preliminary report on the biological index of water pollution. *Zool. Mag. Tokyo*, 541.
- Houston A. C. 1915. Mine annual report of the examination of London water. London.
- Hursh J. B. 1954. Radium content of public water supplies. *Journ. Amer. Water Works Assoc.*, v. 46, № 1.

- Hynes H. B. 1960. The biology of polluted waters. Liverpool.
- Iensen H. L., H. I. Petersen. 1952. Decomposition of the herbicide, 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D), in soil. *Acta Agric. Scand.*, v. 2.
- Imhoff K. 1931. Impounding reservoirs as a substitute for biological sewage treatment works in the Ruhr district. *Sewage Works Journ.*, v. 3, № 1.
- Imhoff K. 1956. *Taschenbuch der Stadtentwässerung*. München.
- International Standards for drinking-water. 1958. World Health Organisation. Geneva.
- Iwanow I. 1956. The problem of spent semichemical pulp liquor. *Zellstoff und Papier*, v. 5, № 9.
- Jones C. B. 1943. Industrial pre-treatment for «suds» waste effluent. *Journ. Inst. Sewage Purific.*, 1.
- Jordan H. E. 1955. The increasing use of water by industry. *Water. The year book of agriculture*. Washington.
- Kabler P. 1959. Removal of pathogenic microorganisms by sewage treatment processes. *Journ. Water Pollut. Contr. Federation*, v. 31, № 12.
- Kabler P. W., H. F. Clark, N. A. Clarke. 1961. Pathogenic microorganisms and water borne disease. Public health hazards of microbial pollution of water. Proc. of the Rudolfs research conference, Rutgers state university.
- Kally S. and W. Sanderson. 1959. The effect of sewage treatment on viruses. *Sewage and Industr. Wastes*, v. 31, № 6.
- Kaufmann S. 1958. Chemische und biologische Untersuchungen an den Abwasserfischteichen von München. *Zeitschr. angew. Zool.*, v. 45.
- Kehr R. and F. Butterfield. 1943. Notes on the relation between coli forms and enteric pathogens. *Publ. Health Reports*, v. 58, № 15.
- Kenny N. W. 1958. Radioactive discharge to sewers and rivers. *Water pollution abstr.*, v. 31, № 5.
- Key A. 1938. Gas works effluent and ammonia. Institution of gas engineers. London.
- Key A. 1956. Pollution of surface water in Europe. World Health Organisation Bull., № 14.
- Key A., A. Kenny. 1952. Impact of radioactivity on public health, engineering service. *Proc. Inst. civ. Eng.*, v. 1, № 2.
- Klein L. 1957a. Thoughts of river pollution. The river board association Year Book. London.
- Klein L. 1957b. Aspects of river pollution. London.
- King G. T. 1958. Chemical manufacturers and standards for trade Effluents. Annual Conference, Southport.
- King V. L., R. F. Bann, R. C. Conn, R. E. Lester, J. E. Stanley and D. Tarvin. 1949. Relation of stream characteristics to disposal of chemical manufacturing effluents. *Sewage Works Journ.*, v. 21, № 3.
- Kolkwitz R. und M. Marsson. 1908. Oekologie der pflanzlichen Saprobien. *Berich. d. Deutsch. Bot. Gesellsch.*, Bd. XXVI, H. 7.
- Kolkwitz R. und M. Marsson. 1909. Oekologie der tierischen Saprobien. *Int. Revue d. ges. Hydrob. u. Hydrograph.*, Bd. 2.
- Krammer H. P., D. W. Moeller, D. A. Pecsok. 1958. Radioactivity in Surface Water. *Journ. Amer. Water Works Assoc.*, v. 50, № 1.
- Kretschmar G. 1955. Possibilities of spent sulphite liquor Utilisation. *Zellstoff und Papier*, v. 4, № 11.
- Krull W. F. 1957. Sanitary engineering and water economy in Europe. World Health Organisation Bull., № 16.
- Krumholz A. L. 1956. Observations of the fish population of lake contaminated by radioactive wastes. *Bull. Amer. Museum Natur. Hist.*, v. 110, № 4.
- Krull A. 1957. Ethyl alcohol from sulphite waste liquor. *Can. Journ. Chem. Eng.*, v. 35, № 2.
- Lackey S. B. 1938. The flora and fauna of surface waters polluted by acid mine drainage. U. S. Public Health Service. *Publ. Health Rep.*, v. 53, № 1976.
- Lardieri N. I. 1954. The aerobic and benthal oxygen demand of paper mill waste deposits. Technical Association of the pulp and paper industry (Tappi), v. 37, № 12.
- Lassleben P. 1942. Is supersaturation with oxygen dangerous? *Fishbauer*, v. 2.
- Laurie R., J. R. E. Jones. 1938. The faunistic recovery of the lead polluted river. *Journ. Animal Ecol.*, № 7.
- Lewis A. W., A. I. Rapolovskiy. 1959. Tidewater Delaware refinery waste control and treatment. *Sewage and Industr. Wastes*, v. 31, № 4.
- Liebmann H. 1951. *Handbuch der Frischwasser und Abwasserbiologie*, Bd. I. München.
- Liebmann H. 1959. Methodik und Auswertung der biologischen Wassergüte-Kartierung. *Die Bewertung der Wasserqualität*. R. Oldenbourg, München.
- Little G. M. 1954. Poliomyelitis and water supply. *Canad. Journ. Publ. Health*, № 45.
- Love S. K. 1951. Natural radioactivity of water. *Ind. Eng. Chem.*, v. 43.

- Lovett M. 1958. Standards: some Pros. and Cons. Annual Conference, Southport.
- Maguire J. 1956. Biological fouling in recirculating cooling water system. Ind. Eng. Chem., v. 48, № 12.
- Mancy K., D. Okun. 1963. Effect of surface active agents on the rate of oxygen transfer. Air a. Water Pollution, v. 5, № 2—4.
- Maxcy K., H. Howe. 1943. Significance of the finding of the virus of infantile paralysis in sewage. Sewage Works Journ., v. 15, № 10.
- Mayhew J. 1955. Toxicity of seven different insecticides to rainbow trout. Proc. Iowa Acad. Sci., v. 62.
- Makinney K. E., H. E. Lanoley, H. D. Tomlinson. 1958. Survival of salmonella typhose during anaerobic digestion. Experimental methods and highrate digester studies. Sewage and Industr. Wastes, v. 30, № 12.
- McCallum G. E. 1963. Advanced waste treatment and water reuse. Journ. Water pollut. contr. Federation, v. 35, № 1.
- McKinney R. E. 1957. Syndets and waste disposal. Sewage and Industr. Wastes, v. 29, № 6.
- Metzler a. oth. 1958. Emergency use of reclaimed water for potable supply at Chanute, Kan. Journ. Amer. Water Works Assoc., v. 50, № 8.
- Middleton F., A. Rosen. 1956. Organic contaminants affecting the quality of water. Publ. Health Rep., v. 71.
- Mohlman F. W., T. L. Herrick and H. G. Swope. 1931. Technique of stream pollution investigations. Ind. Eng. Chem., v. 23, № 2.
- Monie W. D. 1946. Pre-determining effective dose of copper sulphate in algae control. Water and Sewage Works, v. 93, № 5.
- Monod J. 1942. La croissance des cultures bacteriennes. Hermann et Cie, Paris.
- Moore E., H. A. Thomas and W. B. Snow. 1950. Simplified method for analysis of BOD data. Sewage and Industr. Wastes, v. 22, № 10.
- Moore W. A. 1938. The solubility of atmospheric oxygen in sewage. Sewage Works Journ., v. 10, № 2.
- Morgan L. S. 1942. Investigations on treatment and disposal of acid industrial wastes. Sewage Works Journ., v. 14, № 4.
- Morris A. W. 1960. Subsurface disposal of salt water from oil wells. Journ. Water Pollut. Contr. Federation, v. 32, № 1.
- Morris B. L. 1958. Radioactive rains on surface water supplies. Water and Sewage Works, v. 30, № 3.
- Mosley J. W. 1959. Water-borne infections hepatitis. New Engl. Journ. Med., 261.
- Müller H. P. 1957. Contribution to the understanding of butanolacetone fermentation in spent sulphite liquor. Zürich.
- Nader J. S., A. S. Goldin and L. K. Setter. 1954. Radioactive fallout in Cincinnati area. Journ. Amer. Water Works Assoc., v. 46, № 11.
- Noefe J. R. and J. Ir. Stokes. 1945. Epidemie of infections hepatitis apparently due to water-borne agent. Journ. Amer. Med. Assoc., v. 128, № 15.
- Nickerson W. J. 1956. Transformations of carbon compounds by microorganismus. Ind. Eng. Chem., v. 48, № 9.
- Nutman P. S., H. G. Thornton, J. H. Quastel. 1945. Inhibition of Plant Growth by 2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid and other Plant-Growth Substances. Nature, v. 155, № 3939.
- O'Connor D. 1963. Effects of surface agent on re-aeration. Air a. Water Pollution, v. 5, № 2—4.
- O'Connor D. and W. Eckenfelder. 1960. Pretreatment of organic Wastes in aerated Lagoons. Journ. Water Pollut. Contr. Federation, v. 32, № 4.
- Ohio River Committee and U. S. Public Health Service House. 1944. Document № 266. Ohio River Pollution Control. Part 2. Supplement G. U. S. Govt. Printing Office, Washington.
- Ophelm B. 1957. Southwest Montana fishery study. Dingell—Johnson Quart., v. 6, № 1.
- Oswald W. J., H. B. Gotaas, H. F. Ludwig, V. Lynch. 1953. Algae symbiosis in oxidation ponds. III. Photosynthetic oxygenation. Sewage and Industr. Wastes, v. 25, № 6.
- Palange R. C., G. G. Robeck, C. Henderson. 1956. Radioactivity in Stream Pollution. Ind. Eng. Chem., v. 48, № 10.
- Parker C. D., H. L. Jones, N. S. Greene. 1959. Performance of large sewage lagoons of Melbourne, Australia. Sewage and Industr. Waster, v. 31, № 2.
- Phelps E. B. 1909. Desinfection of sewage and sewage filter effluents. Water supply Papers, № 229, Washington.
- Phelps E. B. 1944. Stream Sanitation. New York.
- Pellerin P. 1958. Discharge of radioactive wastes and water pollution. Sixth European seminar for sanitary engineers, Nice, 17—25 September.
- Platt A. M. 1957. The retention of high level radioactive wastes. U. S. atom energ. comm.

- Pollution — caused fish kills. 1960. Division of water supply and pollution control. Washington.
- Pollution caused 50 000 damage to barges firm claims. 1959. Times, November 21.
- Pöpel F. 1959. Development in public health engineering in Germany. Proceeding the institution of civil engineering.
- Porges R. 1957. Waste treatment in the Missouri river basin. Sewage and Industr. Wastes, v. 29, № 11.
- Powel S. 1956. Adaptation of treated sewage for industrial use. Undustr. and Eng. Chem., v. 48, № 12.
- Price A. H. 1945. Epidemia diarrhea, nausea and vomitting of unknown cause. Journ. Amer. Med. Assoc., v. 127.
- The Problem of Municipal and Industrial Water Supplies for Oklahoma 1953. Oklahoma Society of Professional Engineers.
- Prüss M. 1953. Wasserwirtschaft an der Ruhr. Strasse und Verkehr, № 4.
- Pytlík K., K. Dusek. 1956. Čistění o vyzitkování odpadních vod jatek o zavodu masneho prumysly v asimilachich rybnicich. Sbor. Českosl. akad. zemed. ved, 29 B.
- Pytlík K., R. J. Vata ma, V. Benes. 1954. Čistění a vyzitkovani odpadnich vod cukrovarshych v akumulacnich rybnicich. Sbor. Českosl. akad. zemed. ved, 27B.
- Rand M. C. 1957. Concepts of surface reaeration — a critical review. Sewage and Industr. Wastes, v. 29, № 11.
- Raybould W. E. 1941. The Preparation of starch floucculants caustic. Journ. Soc. Chem. Ind., v. 60, London.
- Reid W., B. Treat and F. J. Wilson. 1959. Future Water Requirements in Oklahoma. Journ. Amer. Water Works Assoc., v. 51, № 11.
- Reed L., E. Theriault. 1931. Statistical treatment of reaction velocity data. Journ. Phys. Chem., v. 35.
- Report of the committee on Synthetic Detergents. 1956. London.
- Renshaw E. F. 1958. Economics of pollution control. Sewage and Industr. Wastes, v. 30, № 5.
- Reynolds R. 1943. Cleanliness and godliness. Allen and Unwin. London.
- Robins F. W. 1946. The story of water supply. London.
- Royal Commission on Sewage Disposal. 1908. 5th report. London.
- Royal Commission on Sewage Disposal. 1911. 7th report, v. 3, Appendice Part 2, H. M. Stationery Office, London.
- Royal Commission on Sewage Disposal. 1912. 8th report, v. 1. London.
- Royal Commission on Sewage Disposal. 1913. 8th report, v. 2. London.
- Second Progress report of the standing technical committee on synthetic detergents. 1959. London.
- Schant G. 1939. Fish catastrophes during droughts. Journ. Amer. Water Works Assoc., v. 31, № 5.
- Schmidt B. 1952. Die desinfection der Abwässer von Lungenheilstätten. Zeitschr. für Hygiene, v. 133.
- Scholz W. 1953. Effluent purification in paper and board mills with humic acid. Paper Maker. London, v. 126.
- Schroepfer G. J. 1942. An analysis of stream pollution and stream standarts. Sewage Works Journ., v. 14, № 9.
- Schuette W. H. 1959. Water resources and industrial Management. Sewage and Industr. Wastes, v. 31, № 3.
- Schwob C. E. 1955. Pollution — a growing problem a growing nation. Water. Washington.
- Shaw W. H., B. Grushkin. 1957. The toxyty of metal ions to aquatic organisms. Arch. Biochem. a. Biophys., v. 67, № 2.
- Sherriff T. C. 1952. Gas liquor as an agricultural fertilizer. Cas Journ., № 269.
- Sherwood P. W. 1955. Biological treatment of aqueous refinery wastes. Water and Water Eng., v. 59, № 47.
- Setter L. R. and Straub C. P. 1958. The distribution of radioactivity from rain. Trans. Amer. Geophys. Union, v. 39, № 3.
- Setter L. R., J. E. Regnier, E. A. Diephaus. 1959. Radioactivity of Surface Waters in United States. Journ. Amer. Water Works Assoc., v. 51, № 11.
- Southgate B. A. 1948. Treatment and disposal of industrial waste water. London.
- Southgate B., A. Pentelow, R. Bassindale. 1933. The toxyty to trout of potassium cyanide and p-cresol in water containing different concentrations of dissolved oxygen. Biochem. Journ., v. 27.
- Šrámek - Hušek R. 1956. Zur biologischen Charakteristik der höhoren Saprobitätsstufen. Arch. für Hydrobiol., Bd. 51.
- Standard Methods for the Examination of Water. Sewage and Industrial Wastes. 1955. 10th Ed., Amer. Publ. Health Assoc., New York.

- Stokinger H. R., R. Woodward. 1958. Toxicology for establishing drinking water standards. Journ. Amer. Water Works Assoc., v. 50, № 4.
- Straub C. P., L. R. Setter, A. Goldin, P. Hallbach. 1960. Strontium-90 in Surface Water in the United States. Journ. Amer. Water Works Assoc., v. 52, № 6.
- Stroede W. 1933. Schwefelwasserstoff und Sauerstoff in unseren natürlichen Gewässern. Zeitschr. Fish., v. 31.
- Streeter H. W. 1926. The rate of atmospheric reoxygenation of sewage polluted streams. Publ. Health Rep., № 41.
- Streeter H. W. 1934. Tendencies in Standards of river and lake cleanliness. Publ. Health Rep., v. 49, № 34. To же: Sewage Works Journ., v. 6, № 4.
- Streeter H. W. 1949. Nomographic solution of the oxygen sag equation. Sewage Works Journ., v. 21, № 5.
- Streeter H., E. Wand, E. Phelps. 1925. Factors concerned in the phenomena of oxidation and reoxygenation. Bull. U. S. Publ. Health Serv., № 146.
- Sven Oden. 1925. The size distribution of particles in soils. Soil Science, v. XIX, № 1.
- Subrahmanyan P. V., A. Anandeswara, A. Rao, S. Pillai. 1960. Aminoacid in sewage sludges. Journ. Water Pollut. Contr. Federation, v. 32, № 4.
- Suter R. and E Moore. 1922. Stream pollution studies. New York State Conservation Commission. New York.
- Ten rivers in American future. 1951. U. S. Presidents water resources policy Commission Report. Washington.
- The Thames Conservancy 1857—1957. 1957. London.
- Theriault E. 1927. The oxygen demand of polluted waters. Bull. U. S. Publ. Health Serv., № 173.
- Third Progress report of the standing Technical committee on synthetic detergents. 1960. London.
- Thoman J., K. Jenkins. 1958. Statistical summary of sewage chlorination practice in the United States. Sewage and Industr. Wastes, v. 30, № 12.
- Thomas H. A. 1937. The «slope» method of evaluating of the constant of the 1st Stage BOD curve. Sewage Works Journ., v. 9, № 4.
- Thomas H. A. 1954. Effects of detergents on sewage and sewage treatment at military installation. Sewage and Industr. Wastes, v. 26, № 8.
- Towne W. W., A. F. Bartsch, W. H. Davis. 1957. Raw sewage stabilization ponds in the Dakotas. Sewage and Industr. Wastes, v. 29, № 4.
- Tsivoglou E. C., A. F. Bartsch, D. E. Rushing, D. A. Holoday. 1958. Effects of uranium ore refiner wastes on Receiving Waters. Sewage and Industr. Wastes, v. 30, № 8.
- Tsivoglou E. C., M. Stein, W. W. Towne. 1960. Control of Radioactive Pollution of the Animas River. Journ. Water Pollut. Contr. Federation, v. 32, № 3.
- Ward H. C. 1953. Fisheries lab to test insecticide. Water pollut. abstr., v. 25, № 5.
- Water The year book of agriculture. 1955. Washington.
- Water laws in Moslem countries. 1954. Rome.
- Water resources policy. 1955. A report by the presidential advisory committee on Water resources policy. USA.
- Whipple G. Ch. 1954. The microscopy of drinking water. Fourth ed. New York—London.
- Webb H. 1963. Water pollution resulting from agricultural activities. Journ. Amer. Water Works Assoc., v. 54, № 1.
- Wedgwood P. and R. L. Cooper. 1953. Detection and determination of traces of polynuclear hydrocarbons in industrial effluents and sewage. Analyst, v. 78.
- Wedgwood P., R. Cooper. 1954. Detection and determination of traces of polynuclear hydrocarbons in industrial effluents and sewage. II sewage, humus and treated effluents. Analyst, v. 79.
- Weiss M. D. 1951. Industrial Water Pollution survey of legislation and regulation. New York.
- Wennström M. 1955. Oxidation ponds in Sweden. A Study on the pond system at Lund. Lunds. Univ. Arskrift, v. 2, № 51.
- Wilson W. 1933. Isolation of enteric bacilli from sewage and water and its bearing on epidemiology. Brit. Med. Journ., № 2.
- Wilson H. 1956. The law of river pollution. London.
- Wabman A., A. Gorman. 1931. Water borne typhoid still a menace. Journ. Publ. Health, v. 31.
- Zobell C. E. 1963. The occurrence, effects and fate of oil polluting the sea. Air and Water Pollution, v. 7, № 2/3.

- Абсорбция 81
- Агар 35
- мясо-пептонный 34, 35, 40
- Агрессивность воды 9, 199
- Адсорбция 97
- Азот 27, 65, 122, 178
- аммонийный 8, 15, 32, 38, 43, 63, 67, 72, 75, 123, 132, 133, 135, 179
- нитратный 8, 9, 43, 44, 63
- органический 46, 47
- Айвел, р. 8
- Акридин 183
- Акрилпласты 61
- Акрофуты 225
- Аксай, р. 24
- Активность 95
- бета-91
- наведенная 91
- Актиномицеты 34, 35
- Акцептор 189
- Аланин 178, 179
- Алдрин 183
- Алкиламид 117
- Алкиларил-сульфонат 68, 117
- Алкилбензенсульфонат 68
- Алюминий 11, 19, 52, 179
- сернокислый 53
- хлористый 61
- Алюминат натрия 171
- Альдегид 188, 189
- Альфа-целлюлоза 170
- Амиды 179, 182
- Аминокислоты 42, 178, 179, 189
- Аммиак 59, 63, 82, 186
- Аммоний 8, 9, 144
- Аму-Дарья, р. 22, 26, 120, 121
- Амур, р. 26
- Анаэробноз 29, 175
- Ангидрид мышьяковистый 58
- Антагонизм 60
- Антагонисты 105
- Антрацен 81
- Аэрация 30, 33, 185, 201, 203, 206, 209
- Аэробнофильтр 43
- Аэротенк 43, 81, 82, 102, 185, 224
- Бактерии 40, 142
- анаэробные 127
- аэробные 127
- нитрифицирующие 191
- Бактерии сапрофитные 8, 9, 35, 73, 86, 124, 145, 127, 249
- патогенные 102, 157, 159
- Балансы водохозяйственные 17
- водные 229, 230, 235, 238, 239
- Бактериофаг 106, 162
- Баржи нефтяные 49, 50
- Барьер заградительный 58, 117
- Бассейны купальные 129
- Бациллоносители 40, 157
- Бациллы туберкулезные 41
- Белая, р. 118, 178
- Бензин 184
- Бензол 71, 72, 81, 181, 184, 185
- Бензпирен 81
- Бензопиррол 181
- Биогельминты 110, 111
- Бильгарциоз 111
- Биотоп 157
- Биоценозы 36, 122, 124, 131, 159
- микробные 159
- Биофильтры 11, 41, 43, 81, 102
- Биохимическое потребление кислорода 34, 52, 65, 67, 72, 83, 85, 99, 132, 133, 138, 170
- Бихромат 29
- Бия, р. 28
- Боденское озеро 10
- БПК 126, 170, 175, 177, 186, 208
- взвешенных веществ 168
- метод прямого определения 190
- полное 177, 178, 192
- БПК, 208
- БПК, 8, 9, 32, 46, 65, 186
- БПК, 208, 210
- Брожение 86
- метановое 181
- спиртовое 181
- Бром 178
- Бруцеллез 41
- Буг Южный, р. 26
- Вако фильтры 86
- Варзоб, р. 201
- Васьюган, р. 28
- Вещества аллохтонные 141
- бромирующие 67
- взвешенные 18, 19, 24, 30, 38, 42, 43, 51, 62—65, 85, 86, 98, 120, 132, 134, 142, 168—176
- хозяйственно-фекальных вод 169
- гуминовые 27, 28
- излучающие 87—90
- минеральные 24, 27, 40
- органические 24, 27, 28, 40
- пахучие 6

- пектиновые 27
- плавающие 6
- поверхностно активные 69, 70
- радиоактивные 12, 18, 38, 97, 117, 193
- растворенные 38, 42, 43
- токсические 123, 139
- Взвесь 8, 24
- Вибрион 34
 - холерный 105
- Вид внешний водоема 130
 - — реки 16
- Винипласты 66
- Вискоза 58
- Вирусы 41
- Витим, р. 23
- Власениха, р. 71, 72
- Власоглав 41, 110
- Влияние завесей на рыб 174
 - — на водоем 174
- Водообильность шахт 73
- Водопотребление 230, 231
- Водоросли 34
 - диатомовые 122
 - зеленые 122
 - перидиновые 122
- Водосбор 11, 27, 28, 98
- Водоснабжение 9, 15, 16, 143
 - городское 11
 - нецентрализованное 102
 - обратное 49, 239
 - питьевое 16, 52, 133
 - централизованное 102
- Водород мышьяковистый 175
- Водостоки подземные 15
- Воды артезианские 30, 61
 - водопроводные 35, 90
 - грунтовые 30, 35, 61, 90, 142
 - дождевые 18—20, 34, 54, 94, 95, 200
 - метеорные 18—20, 87, 90
 - питьевые 10, 104
 - пластовые 50, 51
 - поверхностные 5, 8, 90, 94, 145
 - речные 159
 - снеговые 18, 20, 200
 - балластные 50
 - подсланевые 50
 - поверхностные как источник водо-снабжения в Англии 5, 12, 13
 - — — — в США 5
 - — — — в Японии 5
 - сточные промышленные 5, 6, 8, 11, 15, 16, 34, 38, 48, 109, 141
 - — — аммиачные 80
 - — — городские 49
 - — — дождевые 35, 87, 94
 - — — коксогозовые 77, 82
 - — — коксохимические 77
 - — — нефтяные 53
 - — — охлаждения 38, 54, 92
 - — — угольной промышленности 73
 - — — шерстомойные 85
 - — — шахтные 73, 75
 - — — целлюлозно-бумажной промыш-ленности 82
 - хозяйственно-бытовые 5, 50
 - — использование в промышленности 93
- Волга, р. 13, 14, 21, 22, 24, 26, 28, 29, 85, 86, 118, 129, 133, 144, 146, 154, 223
- Вологда, р. 213
- Волокно 86
- Воронеж, р. 65
- Воск 181, 189
- Вохна, р. 199, 207, 211, 212
- Вспенивание 12
- Вспышки водные 103, 104, 106, 109
- Вуокса, р. 118
- Вуппер, р. 9
- Выделения растительные 99
- Выпадения радиоактивные 96
- Выпаривание 52, 87, 185
 - с подогревом 52
- Вязкость воды 172
- Вязьма, р. 32
- Гаптен 106
- Гастроэнтериты 106
- Гексахлорбензол 184
- Гексахлорциклогесан 183
- Гексоген 67, 184
- Гельминтозы 102, 110
- Гельминты 4, 110, 111, 134
- Гемипеллюлоза 42, 170, 181
- Геперации период 161
- Генинды 110
- Геогельминты 110
- Гепатит инфекционный 102, 109, 110
- Гептахлор 116
- Гербисиды 100, 116
- Гидравлическое значение 173
- Гидробиология 128
- Гидробионты 38, 60, 121, 128
- Гидровскрыша 77, 171
- Гидрограф рек 22, 23
- Гидродобыча 73, 77, 97
- Гидроксил 182
- Гидролиз 20, 29, 42, 179
- Гидростроительство 11
- Гипохлорит 61
- Гипс 60
- Гистидин 179
- Гликоль 71
- Глицериды 182
- Глицин 179
- Глюкоза 181, 192
- Голопузка, рыба 97, 115
- ГОСТ 2761—57 13
- Грибы 125, 127
 - дрожжевые 34, 35, 36
 - плесневые 34, 35, 36
- Группа amino-NH₂ 182
 - диметиламино-N(CH₃)₂ 182
 - сульфгидрильная 114
- Губки 122, 127
- Гуматы 179
- Гумус почвенный 28
- Даугава, р. 119
- Дафнии 116
- Двина Северная, р. 28
- Двуустка сибирская 111
- ДДТ 116, 183
- Деградация почв 46
- Дезамидирование мочевины 179
- Действие антагонистическое 115
 - бактериостатическое 99
 - бактерицидное 99
 - канцерогенное 81
 - стимулирующее 116
 - токсическое 58, 100, 114, 115

Делавер, р. 6
 Денитрификация 57, 180
 Деппен, р. 203
 Детергент ABS 12
 Детергенты 8, 12, 13, 65, 69, 117, 182, 189
 — анионные 67, 68
 — катионные 67
 — неионизированные 67
 Детройт, р. 117, 129
 Дефицит воды 237
 — кислорода 30, 32, 115, 117, 118, 202
 Дехлорирование 8
 Дезмульсация нефти 50
 Джумна, р. 109
 Днарея 103, 107
 — вирусная 107
 Дивинил 64, 66
 Дизентерия 42, 102, 105, 106, 110, 158, 161
 — амебная 106
 Диск Секки 24
 Диффузия 81, 122
 — кислорода 202
 — турбулентная 202
 2,3-дихлоронафтохинон 100, 116
 Дихлорэтан 66, 67, 71
 Диэдрин 116
 Днепр, р. 12, 21, 26, 28, 29, 32, 164
 Днепропетровское водохранилище 99
 Добыча раздельная нефти 51
 — торфа 171
 Дозы сублетальные 115
 Дождевые воды, см. Воды дождевые
 Дон, р. 26, 65, 174
 Донец Северный, р. 14, 59, 60, 118
 Доочистка 228
 — в прудах 53, 227
 Дранункулез 111
 Древесина 84
 Дрожжи 85, 86, 185

Енисей, р. 22, 26

Жабры 115, 117
 Жгутиковые 123
 Желатина 34
 Железо 19, 21, 30, 31, 32, 42, 53, 75, 100, 122
 — закисное 124, 187
 — окисное 124
 — сернистое 123
 Желтуха инфекционная 102, 108
 Жесткость воды 30, 121
 — — карбонатная 31
 — — общая 31
 Жидкость дистиллерная 59

Заболеваемость 15, 41, 102
 Заболевания инфекционные 40, 41, 102, 155, 157, 164, 167
 — желудочно-кишечные 107
 — спорадические 102
 Заводы анилинокрасочные 182
 — кожевенные 175
 — металлургические 170
 — нефтеочистительные 183
 — нефтеперерабатывающие 52, 170, 185
 — сернокислотные 58, 62
 — содовые 58, 59

— сульфат-целлюлозные 175
 — химические 61
 Загрязнение водоемов 5, 6, 15
 — воды 120
 — — естественное 120
 — — понятие 120
 — воздуха 120
 — почвы 120
 — рек в Англии 11
 — — в США 18
 Загрязнения источников 72
 — нефтью 96, 97, 101
 — радиоактивные 87, 90, 92, 94
 Закачивание нефтепромысловых вод 52
 Законодательство 6, 7, 15, 228
 Законы по охране рек 5, 7
 Замор 29, 30, 118
 Запах 10, 12, 14, 30, 34, 57, 70, 73, 85, 99, 100, 121, 132, 134, 135, 137
 — дивинилстирольный 65
 — нефтепродуктов 52, 56
 — при разведении 65
 — фенольный 119
 Зей Степной, р. 52
 Земли редкие 97
 Зея, р. 23
 Зона анаэробная 131
 — бескислородная 120
 — восстановления 125
 — деградации 125
 — катаробная 128, 130
 — α -мезосапробная 122, 124, 125
 — β -мезосапробная 122, 124
 — олигосапробная 122
 — очень чистая 130
 — полисапробная 122, 123
 — свежего загрязнения 125, 126
 — септическая 125
 — чистая 130
 Зоны сапробности 113
 — санитарной охраны источников водоснабжения 5, 228
 Зоопланктон 127, 174

Игепон 70
 Иж, р. 32, 82, 213
 Излучатели альфа 93, 94
 — бета 93, 94
 — гамма 93, 94
 — осколочные 89
 Излучения альфа 88, 89
 — бета 88, 89
 — гамма 89
 Изотопы 87, 89, 92, 93, 94, 96
 — короткоживущие 89, 92
 Икра 113, 115
 Икрометание 113
 Ил активный 41, 42, 172, 198
 Иллинойс, р. 201, 220
 Инвазии 111
 Индолообразование 157
 Инсектициды 58
 Инфекции 40, 41, 102
 — вирусные 109
 — кишечные 15, 105, 111, 156, 158
 Инфузория 123
 Ион аммонийный 46, 144, 178
 — водородный поглощенный 20, 46
 — нитратный 144
 — нитритный 144

- сульфатный 18, 19
- сульфитный 18
- Ионизация 88
- Ионообменники 92
- Иргиз Большой, р. 234
- Ирригация 11, 229
- Ирризация 55
- Иртыш, р. 14, 28, 41, 57, 106, 111, 119
- Использование площади водосбора 98
- Использование сточных вод для полива 45
- — — — удобрения 45
- — — — в промышленности 48
- Исеть, р. 135
- Иссык, р. 201
- Истра, р. 33
- Иттрий-90 89
- Йод** 19
- Йод-131 89, 178
- Йодат калия 178
- Кадмий** 114, 115
- Калий** 39, 42, 95
- поглощенный 90
- радиоактивный 95
- Калории** 180
- Кальций** 19, 20, 60
- гидрат окиси 60
- углекислый 60
- хлористый 53, 60
- Кама, р. 82, 118, 144
- Кавал им. Москвы 14, 100, 101, 206, 215, 235
- Канализация 13, 15
- городская 14, 98, 101, 108
- общесплавная 169
- Капилляры с плоскопараллельными стеклами 34
- Капролактан 66
- Карбоксил 182
- метилцеллюлоза 69
- Карбонил 182
- Карп 115, 199
- Карта гидрохимическая 25
- загрязнения реки 139, 140
- Катаробы 128
- Катионы одновалентные 46
- двувалентные 46
- поглощенные 46
- Катунь, р. 28
- Каучук искусственный 58, 63—65
- — натрийдивиниловый 64
- — дивинилстирольный 64, 65
- — натрий бутадиеновый 64
- Каховское водохранилище 15
- Качество воды 18, 38, 121
- Москвы-реки 215
- стоков 7
- Керосин 66
- Кетоны 189
- Кеть, р. 30
- Кислород растворенный 6, 19, 29, 32, 123, 126, 128, 133, 142, 199—201, 219, 220
- содержание в роках 201
- Кислотность 65
- Кислота азотная 62
- акриловая 184
- анокреновая 27
- аспарагиновая 179
- гиппуровая 179, 180
- глютаминовая 179
- дихлорфепоксуксусная 64, 183
- креновая 27
- лимонная 158
- мочева 79
- серная 74, 171
- сернистая 83, 182
- уксусная 86, 181
- хромовая 46
- Кислоты жирные 14, 182, 185
- Классификация рек, 21, 131, 133—138
- сточных вод 38
- Клетчатка 178
- Клинч, р. 93
- Клостридиум 86, 107
- Клязьма, р. 174, 209, 211
- Клязьминское водохранилище, 30, 101, 129, 150
- Коагуляция алюминием 171, 179
- белков 162
- известью 66, 171
- Коагулянты 11, 77
- Кобальт 114, 115
- Коэффициент оборота 54
- аэрации 204, 205
- Ван-Гоффа температурный 195
- Кокки 34
- Количество сточных вод 236
- Колебания годового стока 154
- суточных расходов 154
- Коловратки 122
- Колодцы 34, 108
- Коллоиды в сточных водах 42
- Колумбия, р. 97, 116
- Колорадо, р. 91
- Комитет консультативный США 6, 11
- Комплекс лигнино-протеиновый 27
- поглощающий почв 20, 28, 46
- Комиссия международная 10, 90, 129
- английская королевская 32, 38, 75, 142
- Константа окисления органического вещества 192, 194, 208
- скорости аэрации 202, 203
- Контроль загрязнения 7, 10
- Концентрации допустимые 89, 90, 138
- Конъюнктивы 102
- Красители 63
- Кремнекислота активированная 8
- Кремний 42, 92
- Ксиленол 115
- Кубань, р. 26, 28, 119
- Купанье 108—110, 132
- Кура, р. 26, 28, 144
- Кюри, ед. изм. 88, 89, 92, 93, 94, 96
- Лагуны** 91, 224
- Лактоза 157
- Ладожское озеро 19, 150, 153, 175
- Ланолин 172, 185
- Лань, р. 28
- Ледостав 33, 218
- Лейцин 179
- Лея, р. 40, 69
- Лентец широкий 111
- Лептоспира 108
- Лептоспироз 108
- Лигнин 42, 64, 181
- Лигноцеллюлоза 181

- Лизин 179
 Ляпонды 189
 Липпе, р. 7, 9, 10
 Лихорадка водная 102, 108
 — болотная 108
 Личинки насекомых 122
 Лобня, р. 167, 207—209
 Лосось 10
 Лучи альфа 87
 — бета 87
 — гамма 87, 88
 — Рентгена 88
 Любовка, р. 15
 Любовское водохранилище 174
- Маас, р. 7
 Магний 19, 20, 60
 Мазут 50
 Мальки 113, 115
 Манчестерский судоходный канал 8
 Марганец 30, 31, 74, 100, 114
 — радиоактивный 92
 Масса бумажная 185
 Мегаэлектронвольт 88
 Медведка, р. 174
 Медвежьих озера 27
 Медь 42, 63, 74, 100, 114—116, 190, 232
 — радиоактивная 97
 Межень 24
 Меркаптан 84, 179, 181
 Меркаптиды 54
 Мероприятия организационные 14, 16, 228
 — технические 14, 228
 Мерсей, р. 119, 132
 Метан 29, 34, 188, 224
 Метиллиндол 181
 Метилмеркаптан 181
 Метоксиклор 116
 Миграция рыб 117
 Микробы дизентерийные 105
 — развитие 159
 Микрофлора патогенная 47, 156
 — сапрофитная 57, 101, 123, 130, 159, 163, 210
 Микроцистис 100
 Минерализация пластовых вод 51
 Минога 118
 Миссисипи, р. 116, 201
 Миссури, р. 116
 Мичиган, оз. 167
 М-концентрация 161
 Моллюски 96, 112, 127
 Москва-река 41, 57, 58, 60, 123, 124, 135, 164, 165, 174, 175, 213—220
 Моча 40, 41, 155, 179
 Мутность 21, 24, 40, 44, 76, 100, 121, 126, 173
 Мышь 63, 71, 116
 — радиоактивный 92
 Мыла 178, 181
 Мшанки 122, 127
- Нагрузка на водоем 13, 142
 Нарым, р. 30
 Насыщение кислородом 33, 201
 — — при перепаде воды 218
 Натрий 19, 42
 — дибутилнафталинсульфонилый 65
 — перборат 117
- пирофосфат 117
 — сульфат 59, 69, 115
 — триполифосфат 117
 — хлористый 59
 — радиоактивный 42, 92, 97
 Натяжение поверхностное 55, 113, 130
 Нафтален 81
 Нафталин 183
 Нева, р. 19, 26, 28
 Нежеголь, р. 118
 Некаль 65, 70
 Неман, р. 85
 Нематоды 34, 111
 Нефтеловушки 51, 55
 Нефтепродукты 49, 50, 53—56, 71, 101, 116, 118
 Нефтехимия 70
 Нефть 49—58, 70, 72, 117, 134, 185
 — кислая 54
 — многосернистая 52, 54
 — растворенная 50, 53, 55
 — эмульгированная 55
 Никель 9, 114, 115
 Нил, р. 107
 Нитраты 40, 57, 122, 124, 180, 191
 Нитрилакрил 66, 71
 Нитриты 124, 180, 191
 Нитрификация 43, 46, 127, 180, 191
 Нитробактер 180
 Нитрозомонас 180
 Номограмма 151, 152, 195—197
 Нормы нагрузки 45
 — содержания жира 185
 — строительного проектирования 19, 142
- Обводнение нефтяных пластов 51
 Обеззараживание 38
 Обеспеченность расхода воды 235
 Облучение внешнее 89
 — внутреннее 89
 Оборот воды 54, 239
 Общество Эмшерское 7
 Обь, р. 21, 28, 30, 57, 119, 120
 Объем речного стока 234, 235
 Огайо, р. 6, 11, 74, 75, 95, 155, 198, 203
 Ограниченность запасов воды 233
 Озера 18, 19, 20, 29, 34, 94
 Озон 10
 Ока, р. 12, 14, 71, 72, 144, 201, 213
 Окисление 46, 188—195
 — азота ультрафиолетом 180
 — азота аммонийного 180
 — нефти 57
 — органического вещества 43
 Окисляемость 27, 30, 53, 63, 133
 — йодатная 67, 72, 190
 — нефтепродуктов 52
 — перманганатная 28, 65, 67, 72, 85, 133
 Окись урана 90
 Оксидаза 115
 Окунь 115
 — морской 115
 Онежское озеро 19, 133
 Опиомелания 112
 ОП-7 70
 ОП-10 70
 Опресненные воды 64
 Организмы автотрофные 27, 122
 — бентосные 123
 — патогенные 41, 99

- показательные 122
- сапрофитные 134
- Органическое вещество 27—29, 175—183
- — сточных вод 42
- Орошение 16, 46, 240
- Осадок бытовых сточных вод 170
- Осадки атмосферные 18, 20
- Основания радиоактивные 47
- Остаток сухой 19, 65, 75, 144
- прокаленный 65
- Отложения донные 13, 34, 72, 75, 86, 96, 123, 126, 153, 173, 175, 188, 198, 204
- Отмирание бактерий 159, 162
- сапрофитной микрофлоры 219
- Отстаивание 11, 41, 102, 173
- Отстой вавесей 72
- Отстойники 53, 182
- Охрана водных ресурсов 17
- источников водоснабжения 5, 7, 14
- площади водосбора 241
- природы 241
- Очистка биологическая 44, 47, 48, 228
- городских сточных вод 44
- полная 98
- промышленных вод 228
- речной воды 244
- Паводки 13, 29, 36, 59
- Падение частиц 172, 173
- Палочка кишечная 8, 36, 72, 73, 99, 126, 129, 130, 134, 135, 156—159
- Коха 41
- тифозная 103
- туберкулезная 41
- Паракрезол 115
- Паратиф А 103
- Паратиф Б 103
- Паратифы 40, 102, 156, 157, 158
- pH 53, 62, 67, 86, 113, 115, 132, 134, 168
- Пектин 42, 181
- Пена 12, 67, 69, 96, 97, 185
- Пенообразование 182
- Пентахлорфенат натрия 183
- Перборат натрия 117
- Передача заболеваний 103
- Передвижение сточной воды 46, 143
- Перемешивание 142, 146
- ветровое 204
- полное 147
- Период полураспада 88, 89
- Пермутит 191
- Пестициды 116
- Петровские озера 27
- Пехорка, р. 213
- Печора, р. 26
- Пикокюри 88, 95
- Пина, р. 28
- Пирен 81
- Пиридин 183, 184
- Пирофосфат натрия 117
- Питание грунтовое 120
- Планктон 98, 189
- Пластики 66
- Пленка 96
- нефти 55, 57
- поверхностная 130
- Плотность населения 143
- среды 172
- частиц 172
- Площадь водосбора 7, 241
- Плутоний 88, 97
- Пляжи 110
- Подзона гиперсапробная 128
- Позитроны 88
- Показатели загрязнения биохимические 134, 199
- — бактериологические 37
- состояния водоемов 133—138
- Покров ледяной 30, 33, 34
- Поливинил 66
- Полиомнелит 41, 102, 109
- Полиэтиленгликоль 66
- Полиэтиленгликоколялкиловый эфир 70
- Половодье 13, 21, 24, 28, 131
- Планирование водного хозяйства 229
- Полупериод распада 88, 89, 193
- Поля орошения 44, 45, 46, 228
- фильтрации 228
- Пополнение подземных вод 328
- Потенциал окислительно-восстановительный 184
- редоксидный 187
- Потомак, р. 6, 11
- Потребление воды 38, 229—232
- — в городах 38, 39, 230
- — промышленностью 48, 230
- — предприятиями химической промышленности 59, 233
- кислорода 31, 44
- — почвами 168
- — дисперсными фракциями 170
- Правила охраны 132, 172, 176
- Преголь, р. 85
- Префильтры 8
- Преципитация 106
- Привкусы 10, 12, 14, 121, 127
- нефтяные 117
- фенольные 117
- хлорфенольные 10
- Признаки загрязнения 120, 131—135
- Припять, р. 28
- Прогиб кислородной кривой 203
- Продувка паром 80
- Продукция первичная 27, 217
- Прозрачность воды 24, 44, 65, 134, 141, 143, 144, 173, 175
- Производство картофелекрахмальное 170
- коженное 171
- консервное 171
- молочное 171
- дрожжевое 171
- химическое 71
- Промышленность атомная 48
- добыча угля и нефти 48, 49
- металлообрабатывающая 50
- нефтяная 49, 227, 232
- по переработке нефти 48, 49
- топливная 48
- химическая 48, 58, 59, 232
- целлюлозно-бумажная 48
- Протеазы 179
- Протени 178
- Протозоа 127
- Пруды 11, 53
- биологические 224—226
- накопители 226
- очистные 44
- расчет объема 225

— стабилизационные 44
 — рыбные 226
 Путешествие межпланетное 42
 Радиация тепловая 131
 — световая 131, 141
 Радий-226 стр. 90, 91, 95
 Разбавление 94, 142, 146, 151, 153
 — начальное 148, 149, 150, 151
 — основное 148, 149, 152
 — полное 148, 149, 152
 Распад анаэробный 34
 — радиоактивный 88
 Распространение загрязнения 139, 140, 143
 Растворимость кислорода 199, 200
 Расход воды 20, 21, 22, 24, 142, 147, 153
 — — годовой 21
 — — секундный 21
 — — суточный 154
 — — при нефтепереработке 49, 131
 Реакторы 91
 Реакция мономолекулярная 192
 Режим кислородный 21, 34
 — углекислотный 34
 — гидрологический 21, 22, 23
 Режим расходов, алтайский 22, 23
 — — восточноевропейский 22
 — — западносибирский 22
 — — казахстанский 22
 Рекарбонизация 11
 Реки технические 13
 Ресурсы водные 11, 13, 15—17
 Рециркуляция 59
 Рост водопотребления 231, 232, 238, 239
 Ртуть 71, 72, 114
 Рудник фосфоритовый 174
 Руды радиоактивные 90
 Рур, р. 7, 9
 Рутений-87 47, 93
 Рутений-106 89
 Ручьи 21, 28, 108, 143
 Рыбы 93, 96, 110, 113, 114, 119, 122, 127, 128
 — травоядные 117
 — хищные 117
 Рыбинское водохранилище 15, 129, 133, 146, 150, 223
 Самоочищение 5, 9, 140, 141, 207
 Сапробность 113, 121, 127, 128, 132, 134
 — бактериальная 165
 Саскачеван, р. 100
 Сахар 83, 84, 181
 Сбраживание осадков 41
 Сброс в реки 5, 14, 113
 — сточных жидкостей 7, 38, 142
 Свинец 42, 58, 72, 114, 116, 175
 Свислочь, р. 164, 203
 Северн, р. 8
 Селлигер, оз. 27, 150, 175, 176, 223
 Сера 40, 178
 Серебро 114, 157
 Серин 179
 Сернистый газ 8
 Сероводород 29, 34, 53, 54, 86, 115, 119, 122, 123, 124, 131, 179
 Сжигание 50, 87
 Силедра 99
 Силька метиленовая 123, 187, 191, 192

Система сапробности 121, 122, 127
 Скотол 181
 Скачок температурный 206
 Скважины 10, 11
 Скипидар 85
 Скорость отмирания 164
 — — часовая 164
 — падения частиц 172, 173
 — течения 24, 146
 — смешения 143, 146, 208
 Случь, р. 28
 Смердь, р. 28
 Смешение 143, 144, 146
 — турбулентное 147
 Смолы 79, 80, 189
 — кислые 115
 Снег 87, 91, 94
 Советы речные 7, 10
 Сода кальцинированная 59
 — каустическая 59
 Соединения гетероциклические 181
 — мышьяковистые 116
 — роданистые 58
 — фосфоросодержащие 183
 — цианистые 58
 — циклические 181, 189
 Сооружения водопроводные 10, 14, 69
 — очистные 99, 112
 Союз Рурский 7
 Спектрофотометр 42
 Спириллы 34
 Спирохеты 34
 Спирты 185, 188, 189
 — изопропиловый 66
 — этиловый 64, 84
 Спорт 15, 132
 Способ расчета содержания взвесей 176
 Среда пептоноглюкозная 158
 Стабилизация органического вещества 192
 Стандарт качества питьевой воды 60
 — государственный 24, 158
 Станция биологической очистки 7
 Старица 144
 Стафилококки 161
 Стекло органическое 71
 Стерлядь 118
 Стирка 108
 Стирол 71
 Стиролпласты 66
 Стоимость воды 231
 Стоки годовой 20
 — города 169
 — поверхностный 20, 33, 37, 98
 — подземный 33
 — промышленный 10, 36
 — реактивный 117, 119
 — склоновый 10
 — средний 21
 — элементарный 18, 20
 Стратификация 205
 Стратосфера 87
 Стронций-90 87, 89, 90, 95, 117
 Стронций-89 117
 Структура клетки 89
 Суглинок 168
 Суда с механическими двигателями 50
 Судостроение 9, 10, 101
 Сульфанил 70
 Сульфат-ион 9, 32, 80
 Сульфат-натрия 117

- Сульфат церия 29
 Сульфаты 12, 38, 53, 57, 65, 123
 Сульфиды 54, 115, 179
 Сульфиты 82, 123
 Сульфокислоты нефтяные 70
 Суперхлорирование 10
 Суперцентрифуга 170
 Суспензии 168
 Сухона, р. 86, 86, I 64, 165, 203, 213
 Сходня, р. 31
 Счет прямой микроорганизмов 34, 60
 Сыр-Дарья, р. 23, 26
- Танкеры 50
 Тексанов 70
 Темза, р. 8, 9, 69, 93, 119, 135, 167
 Температура 113, 121, 130, 141, 144, 162, 167, 194
 Теннесси, р. 93
 Тенииды 41
 Терек, р. 26, 28
 Тетраэтилсвинец 71, 184
 Техника атомизирующая 87
 Течения ветровые 150
 — градиентные 150
 — компенсационные 150
 Тирозин 179
 Титр-коли 32, 37, 130, 134, 137
 Тиф брюшной 15, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 110, 156, 158, 167
 Токсафен 58, 116, 183
 Токсичность 70, 113
 Томь, р. 14, 76, 82, 118
 Торед Сухой, р. 118
 Торед Казенный, р. 118
 Торий 87, 99
 Торф 81, 168, 174
 Транспорт нефти 50
 Трент, р. 132
 Грикрезилфосфаты 81
 Триполифосфат натрия 117
 Туберкулез 41, 102
 Туляремия 109
 Турбулентность 144
 Тушение кокса 80
- Убыль бактерий 162
 Уводь, р. 14, 135, 164
 Угледород 189
 — хлорированный 116
 Углеводы 178, 188, 189
 Углекислота 29, 32, 40, 122, 124
 Углерод 28, 122, 178, 191
 — лимоннокислых солей 158
 — радиоактивный 89
 — цитратов 158
 Уголь активированный 10, 70, 110
 Уда, р. 164, 213
 Удаление взвесей из промышленных стоков 171
 Удельный вес минеральных частиц 173
 — — целлюлозы 173
 Удобрение аммиачной жидкостью 80
 — минеральное 62
 — полей 48
 Указания методические 77, 142
 Ультрафильтры 170
 Уца, р. 164, 203
 Уравнение Стокса 173
 Урал, р. 26
- Уран 87, 88, 90—92
 Уровни воды 24
 Урохром 41, 128
 Урсол-Д 184
 Установки электрообессоливающие 54
 Устья рек 142
 Уча, р. 31, 32
 Учинское водохранилище 121
- Фабрики рудообогатительные 171
 — текстильные 127
 Фазы максимальной концентрации 166
 — развития бактерий 159—161
 — размножения бактерий 165
 Фактор водный 105
 Фекалии 40, 110
 Фенолы 5, 10, 18, 53, 66, 71, 72, 79, 80, 81, 82, 114, 144, 157, 183, 189, 244
 — летучие 67, 79
 — не летучие 67
 Феносольваны 81
 Фильтрация 5, 9, 10, 43, 54, 65, 70, 81, 106, 107, 110
 — перемежающаяся 43
 — через сетки 171
 Фильтры 53
 — антрацитовые 52
 — биологические 10
 — Вако 86
 — доломитовые 62
 — известковые 62
 — мембранные 34
 — скорые 12
 Фитоплактон 100, 174, 190, 192
 Флотация 53, 185
 Флотореагенты 77
 Флюоресценция 208
 Форель 114, 115
 — радужная 116
 Формалин 157, 183, 184
 Формула Стокса 172
 Фосфолипиды 42
 Фосфор 19, 27, 40, 42, 65, 117, 178
 Фосфор-32 стр. 89, 90, 97
 Фотосинтез 34, 44, 186, 211, 217
 Фракция сточных вод коллоидальная 42, 170, 178, 181, 182
 — — надколлоидальная 42, 170, 178, 181
 — — осаждаемая 42, 178, 181, 182
 — — растворенная 42, 182
 Фторирование 12
 Фунгисиды 58
- Хемосинтез 34
 Хипов 189
 Хитин 64
 Хлор активный 8, 28, 58, 61, 62, 106, 110, 116
 — остаточный 106
 — свободный 10
 Хлорбензол 67
 Хлорвинил 66
 Хлор-пон 9, 19, 32, 46, 60, 132, 146
 Хлориды 5, 8, 10, 12, 30, 38, 46, 52, 62, 63, 144
 Хлорирование 11, 12, 41, 52, 62, 102, 157, 182
 Хлороформ 61
 Хозяйство рыбное 15, 113
 Холера 40, 102, 105

Хром 40, 102, 105
Хром 8, 9, 190
Хроматография 42
— бумажная 179

Цвет 12, 30, 55, 85, 141
Цветение 98
Цветность 21, 28, 29, 100, 187
Цезий 93
— радиоактивный 87, 89
Целлюлоза 42, 86, 181, 183
Цементация 93
Цепи пищевые 97
Церий 93
— радиоактивный 89
Циан 115
Цианиды 114, 115
Цикл замкнутый 53
Цинк 9, 74, 114—116
Цистерна 14
Цисты 106
Цва, р. 28

Частицы альфа 88
— тонкодисперсные 174
Черви 127
— круглые 111
— ленточные 111
— губифициды 126, 127
Череповецкий залив 145
Чернозем 168
Число микробное 35
Чувствительность методов 145
Чусовая, р. 213

Шат, р. 15
Шатское водохранилище 174
Шерсть мытая 185
Шистосома 41, 111
Шкала визуальная 56

Щелока 86, 87
— сернистые 53
— сульфатные 83
— сульфитные 83, 84, 85
Щелочность 30, 31, 54, 143
Щелочь 190
Щука 114

Эквивалент населения 11, 19, 83, 186
— Рентгена 117
Эксплуатация полей орошения 45
Экстракция 80, 81, 170
Элдриш 116
Электрод водородный 187

Электролиз 54
Электролиты 20, 113
Электрон 188
Электроновольт 87, 144
Электропроводность 144
Эльба, р. 7, 40, 118, 244
Эмульсия нефти 51, 55
Эмульгаторы 77
Эмшер, р. 7, 9
Энзимы 114, 178, 192
Энергия излучения 88, 89
Энтероколиты 106
Эпидемии водные 102, 104, 105
Эри, оз. 129
Эрозия ветровая 27
Этилендиангидрин 66, 71
Эфир 170, 181, 189
— полиэтиленалкиловый 70
— полиэтиленфениловый 70
Эффективность очистных сооружений 240

Явления заморные 114
— поверхностные 96
Ягорба, р. 145
Ягорбский залив 145
Яуза, р. 32, 135, 207, 213

Anabaena spiroides 99
Aphanizomenon 99
Bact. aerogenes 158
B. citrovroum 158
B. Coli 158
— *commune* 158
— *mycoides* 36
— *paracoli* 158
— *typhi* 162
Bacillus mesentericus 107
Bithynia leachi 111
Chlorophyceae 99
Ciliata 121
Diatoma 99
Diphyllbothrium latum 111
Dracunculus medinensis 111
Escherichia coli 107, 155, 158, 161, 167
Hydropsyche cockerilli 97
Meridion 99
Opstrochis felineus 111
Pseudomonas aeruginosa 107
Rep 117
Richardsonius balteatus 97
Salmonella enteritidis 107
S. schottmulleri 156
Tabellaria 99

О Г Л А В Л Е Н И Е

	Стр.
Предисловие	3
Г л а в а I. Значение и современное состояние охраны поверхностных вод от загрязнения	5
Г л а в а II. Качество природных поверхностных вод	18
Факторы формирования физических свойств и химического состава	18
Гидрологический режим	21
Взвешенные вещества	24
Растворенное минеральное и органическое вещество	25
Кислородный режим	29
Микробialное население водоемов	34
Г л а в а III. Основные источники загрязнений и меры их устранения	38
Сточные воды городских канализаций	39
Микробialный состав	40
Химический состав	41
Способы очистки	42
Промышленные сточные воды	48
Сточные воды нефтяной промышленности	49
Сточные воды при нефтедобыче	50
Сточные воды нефтеперерабатывающих заводов	52
Нефть в водоеме	55
Сточные воды химической промышленности	58
Предприятия, дающие стоки, загрязненные минеральными веществами	59
Сточные воды, загрязненные органическими веществами	63
Нефтехимическая промышленность	70
Смешанные стоки химических производств	71
Сточные воды угольной промышленности	73
Сточные воды коксохимической и коксогазовой промышленности	77
Сточные воды целлюлозно-бумажной промышленности	82
Сточные воды целлюлозно-бумажной промышленности	87
Радиоактивные загрязнения водоемов	90
Промышленные источники загрязнения	94
Выпадения из атмосферы	97
Другие источники загрязнения	98
Сток с площади водосбора	98
Развитие водной растительности	102
Г л а в а IV. Загрязнение рек и заболеваемость	113
Г л а в а V. Влияние загрязнения водоемов на рыбное хозяйство	116
Влияние новых видов загрязнения	117
Практические следствия загрязнений	120
Г л а в а VI. Признаки загрязнения и оценка состояния водоемов	121
Системы сапробности	273

Классификация водоемов по химическим, бактериологическим показателям и физическим свойствам	131
---	-----

Г л а в а VII. Процессы самоочищения в реках	141
---	------------

Распространение загрязнения в водоемах	143
Показатели смещения	144
Скорость разбавления сточных вод в реках	146
Разбавление сточной жидкости в водоемах с замедленным течением	150
Степень обеспеченности расхода воды в реках	153
Закономерности микробного самоочищения водоемов	155
Источники и характер бактериальных загрязнений	155
Процессы бактериального самоочищения	159
Лабораторные исследования	159
Наблюдения на реках	162
Взвешенные вещества	168
Терригенная взвесь	168
Хозяйственно-фекальные сточные воды	169
Промышленные сточные воды	170
Превращение взвешенных веществ в водоеме	172
Органические вещества и их превращения	177
Городские сточные воды	178
Органические вещества промышленного происхождения	182
Биохимическое потребление кислорода	185
Окислительно-восстановительные процессы	186
Способы определения биохимического потребления кислорода	190
Математическое выражение скорости биохимического потребления кислорода	192
Растворенный кислород	199
Факторы кислородного режима	199
Источники поступления кислорода в реки и озера	200
Поступление кислорода из воздуха	202
Особенности процессов самоочищения в зависимости от характера рек	207
Процессы самоочищения в очень малых речках	207
Процессы самоочищения в малых реках	213
Процессы самоочищения в реках с большим расходом воды	220
Биологические пруды и лагуны	224

Г л а в а VIII. Охрана рек от загрязнения как основная часть планового использования водных ресурсов	228
---	------------

Охрана рек и использование водных ресурсов	229
Плановое использование водных ресурсов в СССР	233
Вопросы размещения промышленности и охрана площади водосбора	240
Поверхностные воды как источник пополнения запасов подземных вод	244

Литература	246
-----------------------------	------------

Предметный указатель	264
---------------------------------------	------------

Сергей Михайлович Драчев

**БОРЬБА С ЗАГРЯЗНЕНИЕМ РЕК, ОЗЕР И ВОДОХРАНИЛИЩ
ПРОМЫШЛЕННЫМИ И ВЫТОВЫМИ СТОКАМИ**

Утверждено к печати

Институтом биологии внутренних вод Академии наук СССР

Редактор издательства Л. С. Карпекина.

Художник М. Н. Свинына

Технический редактор М. Е. Зендель.

Корректоры Л. М. Бова, Ш. А. Иванова и Н. З. Петрова

Сдано в набор 6/VIII 1964 г. Подписано к печати
22/X 1964 г. РИСО АН СССР № 3-86В. Формат
бумаги $70 \times 108^{1/16}$. Бум. л. $8^{3/8}$. Печ. л. $16^{3/4} = 22.94$
усл. печ. л. + 3 вкл. Уч.-изд. л. $24.65 + 3$ вкл. (0.3).
Изд. № 2322. Тип. зак. № 884. М-25128. Тираж 1600.
ТП 1964 г. № 1012. Цена 1 р. 96 к.

Ленинградское отделение издательства «Наука»

Ленинград, В-164, Менделеевская лин., д. 1

1-я тип. изд. «Наука». Ленинград, В-34, 9 линия, д. 12

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

ИМЕЮТСЯ В ПРОДАЖЕ КНИГИ:

Братское водохранилище. Инженерная геология территории. 1963. 275 стр. Цена 2 р. 13 к.

Вопросы гидрологии Успенского водохранилища и его водосбора. 1963. 291 стр. Цена 2 р. 06 к.

Геохимия подземных вод некоторых районов СССР. 1963. 119 стр. Цена 55 к.

Жизнь пресных вод СССР. Том 4. Часть 2. 1959. 320 стр. Цена 1 р.

Книга целиком посвящена описанию методов физиологического, санитарно-биологического и медицинско-ветеринарного изучения рыб и беспозвоночных, а также методов физико-химического изучения воды и донных отложений.

Кузнецов С. И., Романенко В. И. Микробиологическое изучение внутренних водоемов. Лабораторное руководство. 1963. 129 стр. Цена 43 к.

Книга содержит новые методы микробиологического и химического анализов воды.

Радиоактивные изотопы в гидробиологии и методы санитарной гидробиологии. 1964. 192 стр. Цена 94 к.

Книга посвящена вопросам применения радиоактивных изотопов в гидробиологии и влияния радиоактивных веществ на водные организмы и биологическую продуктивность водоемов. Читатель также познакомится с методами санитарной гидробиологии, микробиологии и гидрохимии.

ГОТОВЯТСЯ К ПЕЧАТИ:

Биология Иркутского водохранилища. 20 л. Цена 1 р. 40 к.

Обобщены наблюдения за становлением гидрохимического режима и развитием жизни в водохранилище за первые шесть лет его существования.

Уважаемые товарищи!

Ваши заказы на книги издательства «Наука», имеющиеся в продаже, и предварительные заказы на книги, находящиеся в печати, присылайте по адресу:

Москва, К-12, Б. Черкасский пер., 2/10,

Контора «Академкнига», отдел «Книга—почтой»;

Ленинград, Д-120, Литейный пр., 57,

Левотделение «Академкнига», отдел «Книга—почтой».

ЗАКАЗЫ ВЫПОЛНЯЮТСЯ НАЛОЖЕННЫМ ПЛАТЕЖОМ.