

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

# **МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО ПО КОНТРОЛЮ ПРОЦЕССА БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД**

*Рекомендовано  
учебно-методическим объединением  
высших учебных заведений Республики Беларусь  
по образованию в области природопользования и лесного хозяйства  
в качестве учебно-методического пособия  
для студентов высших учебных заведений  
специальности 1-57 01 03 «Биоэкология»*

Минск 2009

УДК 628.35(1-21)(075.8)  
ББК 38.761.2я73  
М54

**А в т о р ы :**

*Р. М. Маркевич, И. А. Гребенчикова, М. В. Рымовская, Е. А. Флюрик*

**Р е ц е н з е н т ы :**

кафедра общей экологии и методики преподавания биологии  
биологического факультета БГУ (заведующий кафедрой  
кандидат биологических наук, доцент *В. В. Гричик*);  
директор УП «ЛЮТИОС»  
кандидат химических наук *А. В. Якимова*

*Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или ее части не может быть осуществлено без разрешения учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».*

**М54 Методическое руководство по контролю процесса биологической очистки городских сточных вод** : учеб.-метод. пособие для студентов специальности 1-57 01 03 «Биоэкология» / Р. М. Маркевич [и др.]. – Минск : БГТУ, 2009. – 161 с.  
ISBN 978-985-434-913-8.

Учебно-методическое пособие посвящено контролю процесса биологической очистки городских сточных вод. Химический и биохимический анализ сточной воды, а также бактериологический и гидробиологический анализ биоценоза ила необходимы для контроля процесса, позволяют судить об эффективности удаления загрязнений, выявлять нарушения процесса очистки и устанавливать возможные причины этих нарушений. Для идентификации организмов активного ила предложено использование электронной базы данных «Активный ил».

Пособие предназначено для студентов специальности «Биоэкология».

**УДК 628.35(1-21)(075.8)  
ББК 38.761.2я73**

**ISBN 978-985-434-913-8**

© УО «Белорусский государственный технологический университет», 2009  
© Маркевич Р. М., Гребенчикова И. А.,  
Рымовская М. В., Флюрик Е. А., 2009

## ВВЕДЕНИЕ

На городские очистные сооружения (станции аэрации) поступает смесь бытовых и производственных сточных вод тех промышленных предприятий, которые не имеют собственных очистных сооружений либо осуществляют только предварительную (локальную) обработку сточных вод. В большинстве случаев городские сточные воды проходят механо-биологическую очистку за исключением небольших населенных пунктов, где обработка может ограничиваться использованием только механических методов.

Поступившие на городские очистные сооружения сточные воды проходят решетки и песколовки для удаления отбросов и крупных минеральных примесей. Далее механическое изъятие загрязнений продолжается в первичных отстойниках, после которых сточные воды, содержащие растворенные и оставшиеся взвешенные (не более 150 мг/дм<sup>3</sup>) вещества, поступают в аэротенки для биологической очистки.

К достоинствам биологической очистки относится удаление широкого спектра загрязнений и образование простых конечных продуктов при отсутствии вторичного загрязнения воды. Вместе с тем для эффективного функционирования аэротенков, как биологических систем, необходимо строгое соблюдение технологических параметров (температура, состав и значение рН сточной воды, отсутствие токсичных соединений в концентрациях, ингибирующих жизнедеятельность организмов активного ила, наличие биогенных элементов, концентрация растворенного кислорода в сооружениях аэробной очистки, доля циркуляционного ила, условия массообмена в аэротенке и т. д.). Изменения одного или нескольких из этих параметров оказывают воздействие на состав и процессы жизнедеятельности организмов активного ила, на потребление ими загрязнений и могут привести к нарушению процесса очистки. Знание последствий, к которым приводит изменение параметров очистки, и умение оперативно обнаружить эти последствия, установить и ликвидировать причину позволяют управлять процессом, обеспечивать высокую эффективность очистки.

Данное руководство включает методики анализа сточных вод и активного ила, а также содержит информацию об обработке и интерпретации результатов с целью использования полученных данных для управления процессом биологической очистки городских сточных вод, который протекает в аэротенке.

# Глава 1. ОБЩАЯ ЧАСТЬ

## 1.1. Методы анализа

Биологическая очистка сточных вод в аэротенке заключается в деструкции загрязнений микро- и макроорганизмами, входящими в состав биоценоза активного ила. Наиболее активно жизнедеятельность этих организмов осуществляется в оптимальных условиях, поэтому важное значение имеет *химический анализ* осветленных сточных вод, поступающих в аэротенк. Одни химические показатели (химическая (ХПК) и биохимическая (БПК) потребность в кислороде, их соотношение, наличие токсикантов) позволяют судить о принципиальной возможности очистки сточных вод данного состава биологическими методами, другие (температура, pH, растворенный кислород, содержание фосфора и азота) свидетельствуют о наличии благоприятных условий для жизнедеятельности организмов активного ила.

Сопоставление результатов химического анализа исходных и биологически очищенных и осветленных во вторичном отстойнике сточных вод показывает эффективность очистки сточных вод по общим показателям загрязненности (ХПК, БПК, цветность, прозрачность), степень удаления таких биогенных элементов, как азот и фосфор. Кроме того, при наличии в сточных водах специфических загрязнений (нефтепродуктов, тяжелых металлов, синтетических поверхностно-активных веществ и т. д.) анализ их содержания до и после биологической очистки свидетельствует об эффективности удаления в результате биодеструкции или сорбции активным илом.

Эффективность процесса биологической очистки сточных вод определяется активностью функционирования ферментативной системы организмов активного ила. В городских сточных водах, как правило, содержится определенная доля промышленных сточных вод с характерными, часто токсичными, загрязнениями. Более того, при деструкции некоторых соединений могут образовываться промежуточные продукты и продукты метаболизма более токсичные, чем исходные вещества. Комбинации некоторых токсикантов оказывают более выраженное действие, чем влияние отдельных соединений. Оперативно контролировать токсичность производственных сточных вод, поступающих на биологические очистные сооружения, устанавливать допустимые концентрации

и нагрузки позволяют *биохимические методы*, в частности определение изменения активности ферментов-дегидрогеназ активного ила, перед подачей в систему биоочистки и в процессе биоочистки.

**Бактериологический анализ** процесса биологической очистки в аэротенках имеет две составляющие: санитарно-бактериологический анализ, характеризующий микробное загрязнение поступающих на очистку сточных вод, и определение общей численности и морфологического разнообразия бактерий в составе хлопьев активного ила. Для контроля процесса биологической очистки вторая составляющая имеет особо важное значение, поскольку именно бактерии являются основными представителями биоценоза активного ила и выполняют главную роль в процессе деструкции органических веществ. Особо важное значение имеет контроль нитчатых бактерий, чрезмерное развитие которых наиболее часто является причиной вспухания активного ила, нарушения его седиментационных свойств и выноса из вторичных отстойников.

**Гидробиологический анализ** для контроля работы аэротенков имеет основное значение. Общее количество, видовое разнообразие и физиологическое состояние организмов активного ила являются индикаторами протекающего процесса очистки. На каждом очистном сооружении формируется свой специфический биоценоз активного ила, уровень его развития и деструкционный потенциал определяются составом сточных вод, конструкцией и режимом эксплуатации очистных сооружений. При воздействии неблагоприятных факторов, нарушающих процесс очистки, состояние биоценоза активного ила меняется очень быстро, когда изменения химических параметров еще не фиксируются. Поэтому гидробиологический анализ позволяет наиболее оперативно выявлять нарушения процесса очистки, а также делать заключения о возможных причинах этих нарушений.

Наиболее полную и достоверную информацию о работе аэротенков можно получить лишь при одновременном проведении различных анализов и сопоставлении их результатов.

## 1.2. Отбор проб

Отбор пробы воды является важной частью ее анализа, необходимым условием правильности полученных результатов и применимости их на практике. Ошибки, возникающие при неправильном отборе пробы, в дальнейшем исправить уже нельзя.

Взятие проб производится в обязательном порядке на входе и выходе из очистных сооружений или проверяемой ступени очистки с учетом времени прохождения сточных вод через сооружения. Место, время, частота и способ взятия проб зависят от цели осуществляемого контроля и определяются в каждом конкретном случае с учетом режима работы очистных сооружений и возможных колебаний по времени состава и расхода сточных вод. Способы отбора, консервирования и хранения пробы должны гарантировать неизменность химического состава в интервале между отбором проб и их анализом.

К местам отбора проб должен быть свободный доступ. Безопасный отбор проб должен обеспечиваться в любое время года. При отборе проб сточных вод с помощью автоматических пробоотборников доступ к ним посторонних лиц должен быть исключен.

Пробы следует отбирать в турбулентных, хорошо перемешиваемых потоках, в ином случае отбор следует производить в нескольких местах по сечению потока и составлять среднюю пробу.

Объем пробы должен превышать не менее чем в три раза необходимый для одного определения требуемого числа показателей объем. При использовании стационарных автоматических пробоотборников отбор проб производится непосредственно в сосуд для хранения и транспортировки проб. Отбор проб для определения взвешенных веществ, показателей БПК и ХПК должен производиться в отдельные сосуды однократным наполнением без перелива.

Разовую (простую) пробу берут один раз в определенном месте и рассматривают результат одного анализа (при постоянстве качества воды), она дает сведения о составе сточной воды в данный момент в данном месте.

Смешанная проба составляется путем сливания простых проб, взятых в одном и том же месте через определенные промежутки времени или отобранных одновременно в разных местах обследуемого объекта. Анализ такой пробы дает сведения о среднем составе воды исследуемого объекта или среднем составе за определенный период времени (час, смену, день, но за период не более суток). Смешанную пробу нельзя отбирать для определения компонентов и характеристик воды, легко подвергающихся изменениям (растворенные газы, рН) и в случае, если характер воды изменяется во времени, когда отдельные составляющие пробы вступают во взаимодействие или изменяется их физическое состояние.

Смешанные пробы бывают среднесменными, среднесуточными и среднепропорциональными. Среднесменная и среднесуточная пробы готовятся смешением равных по объему проб, отобранных через равные промежутки времени. Результаты анализа тем точнее, чем меньше интервалы между отдельно взятыми составляющими, что достигается применением автоматических пробоотборников. Среднесуточную пробу отбирают при неравномерном поступлении сточных вод и различии их состава во времени. Для этого в течение суток отбирают 24 разовые пробы (через каждый час) в отдельные склянки. При наличии каких-либо заметных отклонений в разовых пробах от обычного вида сточной воды об этом делают специальную запись в журнале.

Среднепропорциональная проба готовится смешением объемов воды, пропорциональных величине расхода, отобранных через равные промежутки времени.

Серийные пробы отбирают, если качество воды изменяется как в разных местах объекта, так и в различные периоды времени. При анализе серии проб определяется изменение содержания наблюдаемых компонентов с учетом места и/или времени. Результаты обрабатывают и оценивают, используя методы математической статистики, полученные результаты более точны по сравнению с результатами разового отбора.

В случае выхода значения контролируемого показателя или группы показателей за пределы установленных значений, частоту отбора пробы увеличивают для выяснения причин. Когда есть основания полагать, что в сточные воды периодически попадают токсичные вещества, отбирают две пробы: одну направляют для получения среднепропорциональной пробы, а другую – в лабораторию для исследования на содержание токсических веществ.

Методика взятия проб для анализа содержания в сточной воде примесей зависит от характера их формирования в воде. Если сточные воды образуются равномерно по времени, то прибегают к отбору средних проб. При нерегулярном образовании сточных вод составляют среднепропорциональные пробы, т. е. отбирают порции, пропорциональные объему воды.

Для бактериологического анализа пробы сточных вод необходимо немедленно доставить в лабораторию и приступить к исследованию, в ином случае истинная картина будет сильно искажена.

Для сточных вод проводят отбор средней смешанной пробы (за час, смену, сутки) или серийных проб по предварительно разработанному плану. Определяют суточные максимум и минимум количества сточных вод и суточное, недельное и годовое изменение качества воды.

Транспортировать пробы следует быстро и осторожно, исключая перегревание и переохлаждение пробы. Принципиально следует избегать хранения проб воды. Время хранения пробы сточной воды не должно превышать одних суток. Хранят при температуре не выше 3–5°C в холодильнике для снижения скорости окислительных процессов. К анализу приступают после того, как температура воды сравняется с комнатной.

Для продления срока сохранности воды в том же состоянии, в котором она находилась в момент взятия пробы, ее необходимо законсервировать. Допускается консервирование проб, если консервирующий агент не препятствует определению анализируемых компонентов, а определяемый компонент подвергается изменениям и определение нельзя произвести сразу же на месте отбора пробы или в тот же день в лаборатории. Для определения ХПК и перманганатной окисляемости, общего и аммонийного азота консервирование проводят путем добавления к 1 дм<sup>3</sup> воды 2 см<sup>3</sup> 25%-ной серной кислоты. При определении взвешенных веществ, нитритов и нитратов, для консервирования применяют хлороформ (2 см<sup>3</sup> на 1 дм<sup>3</sup>). Определение БПК делают только из неконсервированных проб. Универсального консервирующего вещества не существует.

В связи с тем, что сточные воды могут содержать токсичные или воспламеняющиеся вещества и могут представлять опасность микробиологического или вирусного характера, при их отборе необходимо соблюдать особую осторожность, использовать резиновые перчатки, респиратор, резиновые сапоги. После отбора проб необходимо тщательно вымыть с мылом руки и протереть спиртом.



# Глава 2. ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СТОЧНЫХ ВОД

## 2.1. Химические показатели сточных вод

С целью контроля процесса биологической очистки городских сточных вод химическому анализу подвергают сточные воды, поступающие в аэротенк (осветленные в первичных отстойниках), и сточные воды после биологической очистки и отделения ила во вторичных отстойниках. Химический анализ проводят по целому ряду показателей, одни из которых характеризуют уровень загрязнения поступающих сточных вод и пригодность биологического метода для удаления таких загрязнений, другие показатели необходимы для оценки эффективности функционирования сооружений биологической очистки.

Для оценки состава поступающих на очистные сооружения сточных вод используются *нормативные показатели*, состоящие из общих показателей и показателей для вредных и ядовитых веществ. Сложность состава сточных вод и невозможность определения каждого из загрязняющих веществ приводит к необходимости применения *групповых (суммарных) показателей* свойств воды, без идентификации отдельных веществ. К таким показателям относятся: взвешенные вещества, плавающие примеси, запах, привкус, цветность, прозрачность, температура, рН, сухой остаток, минеральный состав, химическая потребность в кислороде (ХПК), биохимическая потребность в кислороде (БПК), перманганатная окисляемость, азот (общий, аммонийный, нитритный, нитратный), фосфаты, хлориды, сульфаты, тяжелые металлы и другие токсичные элементы, поверхностно-активные вещества, нефтепродукты, растворенный кислород.

Кроме перечисленных, в число обязательных показателей на городских очистных станциях может быть включено определение специфических примесей, поступающих в водоотводящую сеть от конкретных промышленных предприятий. Так, например, в сточных водах нефтехимических производств определяют содержание нефтепродуктов, в стоках производств с применением процессов электролиза и гальванизации – содержание металлов, цианидов и т. д.

## 2.2. Общие показатели сточных вод

Запах, привкус, прозрачность и мутность, цветность, температура определяются для быстрого получения общей оценки поступающего стока. При резком повышении этих показателей (по сравнению с наблюдаемыми обычно) необходимо принимать меры по защите сооружений, так как чаще всего такие отклонения свидетельствуют о залповых сбросах производственных сточных вод.

Характер и интенсивность *запаха* воды определяют органолептически. По характеру запахи делятся на две группы: запахи первой группы – естественного происхождения, причиной которых являются живущие и отмершие в воде организмы, загнивающие растительные остатки (болотный, гнилостный, древесный, рыбий и др.); запахи второй группы – искусственного происхождения, вызываемые примесями некоторых промышленных сточных вод, название получили по соответствующему органическому веществу (фенольный, хлорфенольный, камфорный, бензинный, хлорный и др.). Интенсивность запаха характеризуют по пятибалльной системе. Запах зависит от ряда причин: температуры воды, растворимых в воде газов и химического состава примесей.

Содержание взвешенных веществ косвенно оценивается путем определения прозрачности и мутности.

**Прозрачность воды** определяется двумя методами: по кресту и по шрифту. Прозрачность воды по кресту устанавливают с помощью прибора, представляющего собой градуированный по высоте через каждый сантиметр прозрачный цилиндр высотой 350 см, на дне которого помещен белый диск с черными линиями толщиной 1 мм в виде креста и четырьмя черными кружками диаметром 1 мм в секторах. Низ цилиндра освещается сильным источником света. Наибольшая высота водяного столба (см), через который отчетливо видны точки и крест, характеризует прозрачность воды по этому методу.

По шрифту прозрачность воды определяют в градуированном цилиндре, расположенном на высоте 4 см над стандартным шрифтом. Предельная высота столба воды, через который чтение шрифта еще возможно, выражает прозрачность.

При содержании в воде взвешенных веществ более 3 мг/дм<sup>3</sup> находят величину, обратную прозрачности, – *мутность воды*. Мутность

воды устанавливают в мутномере, сравнивая мутность исследуемой воды со стандартами, и выражают в мг/дм<sup>3</sup>.

**Цветность** определяют колориметрически, сравнивая цвет исследуемой воды, лишенной взвешенных веществ, с эталонной шкалой, имитирующей эту окраску. Используется платиново-кобальтовая либо бихроматно-кобальтовая шкала.

**Температура** – важный показатель, от которого зависит вязкость жидкости, а значит, скорость седиментации частиц, растворимость кислорода и скорость биохимических реакций при биологической очистке.

**Значение рН** – показатель, чрезвычайно важный для биохимических процессов, скорость которых может значительно изменяться при изменении величины рН. Кислые или щелочные производственные сточные воды должны быть нейтрализованы перед сбросом в водоотводящую сеть, чтобы предотвратить ее разрушение.

**Сухой остаток** – показатель, который характеризует общую загрязненность сточной воды органическими и минеральными примесями в различных агрегатных состояниях (мг/дм<sup>3</sup>). Этот показатель устанавливают после выпаривания и дальнейшего высушивания при температуре 105°C пробы сточной воды. После прокаливания при 600°C определяют зольность сухого остатка, находят соотношение органической и минеральной частей загрязнений в сухом остатке.

**Плотный остаток** – это суммарное количество органических и минеральных веществ в профильтрованной пробе сточных вод (мг/дм<sup>3</sup>). Определяют при таких же условиях, как и сухой остаток. После прокаливания плотного остатка при 600°C оценивают соотношение органической и минеральной частей растворимых загрязнений сточных вод.

**Взвешенные вещества** – один из важнейших технологических показателей качества воды, позволяющий оценить количество осадков, образующихся при очистке сточных вод. Потери при прокаливании взвешенных веществ определяют так же, как для сухого и плотного остатков, и выражают в виде процентного отношения минеральной части взвешенных веществ к их общему количеству по сухому веществу.

**Оседающие вещества** – часть взвешенных веществ, оседающих на дно цилиндра за 2 ч отстаивания в покое. Этот показатель характеризует способность взвешенных веществ к оседанию и позволяет оценить максимальный эффект отстаивания.

Для оценки работы сооружений биологической очистки основное значение имеют показатели содержания органических примесей и их природа, наличия биогенных элементов и возможных ингибиторов процесса. Комплексное содержание органических веществ в воде оценивается величинами ХПК, БПК, перманганатной окисляемости.

Указанные три показателя являются кислородными эквивалентами содержания органических веществ. Они выражают не количество органического вещества, а количество кислорода, потребляемое на окисление этих веществ: химическим путем в жестких условиях окисления (ХПК), химическим путем в мягких условиях (перманганатная окисляемость) и биологическим путем (БПК). Результаты определения окисляемости ( $\text{мг O}_2/\text{дм}^3$ ) выражают независимо от вида окислителя.

**Химической потребностью в кислороде** (ХПК) называется его количество, необходимое для полного окисления всех восстановителей (органического и неорганического происхождения), находящихся в воде. Количественное определение ХПК сточной воды производят окислением примесей сильными окислителями (бихроматом или йодатом калия) в кислой среде.

Анализ осуществляется путем кипячения исследуемой сточной жидкости с концентрированной серной кислотой и сильными окислителями ( $\text{KMnO}_4$  и, особенно,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ), отдающими свой кислород на окисление. Многие органические соединения содержат в своем составе кислород, при распаде вещества этот кислород расходуется на реакции окисления. В величину ХПК этот кислород не входит.

Ранее полагали, что при таком определении ХПК можно окислить все органические вещества, находящиеся в воде. Однако позже было установлено, что при этом не все органические соединения окисляются до конца, т. е. до образования углекислоты и воды. Если известен химический состав примесей, то ХПК можно подсчитать, написав для этого стехиометрические уравнения окисления. Расчетное значение ХПК может оказаться больше определенного экспериментально в связи с неполным окислением примесей в условиях проведения реакции. Выяснилось также, что при этом окисляются не только органические соединения, но и все недоокисленные неорганические.

При определении **биохимической потребности в кислороде** (БПК) имитируется процесс окисления органических веществ, который происходит в природных условиях (в реке, озере).

При определении БПК подготовленная соответствующим образом испытуемая вода разливается в несколько специальных (кислородных) склянок с притертыми пробками. Склянки заполняются с таким расчетом, чтобы в них не было пузырьков воздуха. В одних склянках определяют растворенный кислород в момент разлива проб, а в других – после инкубации в течение определенного времени в термостате при температуре 20°C, в темноте. БПК определяют по разности содержания растворенного кислорода в пробах до и после инкубации. Его содержание уменьшается по сравнению с первоначальным, так как часть кислорода используется аэробными микробами для окисления органических веществ. Если пробы разбавлялись, то при расчете БПК учитывается это разбавление. Показатели БПК<sub>5</sub>, БПК<sub>20</sub>, БПК<sub>полн</sub> обозначают количество кислорода, потребляемое микроорганизмами при окислении загрязнений сточной воды на протяжении 5, 20 и 25 сут соответственно.

Рекомендуется подготавливать пробу так, чтобы она перед инкубацией содержала (при температуре 20°C) около 8,8 мг/дм<sup>3</sup> кислорода, а после пятисуточного срока – не менее 3 мг/дм<sup>3</sup>. Для этого образцы воды с высоким значением БПК разбавляются специально подготовленной разбавляющей водой, содержащей неорганические питательные вещества в количестве, достаточном для нормального протекания аэробных биохимических процессов.

Концентрация органических веществ по БПК в сточных водах изменяется во времени. Этот процесс подчиняется кинетическому закону реакции первого порядка (для бытовых сточных вод при температуре 20°C константа скорости колеблется в пределах от 0,15 до 0,25 сут<sup>-1</sup>), но не на всем протяжении минерализации органического вещества. В некоторых промышленных сточных водах в течение первых суток потребление кислорода не происходит, а затем оно протекает энергично. Это происходит из-за того, что микробиота среды не адаптирована к данному загрязнению. Во избежание этого при определении БПК в лаборатории нужно вносить в разбавляющую воду адаптированную к данному образцу сточной воды микробиоту.

При биохимическом окислении роль окислителя выполняют бактерии, которые используют органические вещества сточных вод в качестве источников питания. Органические вещества перерабатываются бактериями в процессах обмена (окисляются ими с использованием кислорода или минерализуются), при этом часть веществ окисляется до конца

(используемая на энергетические потребности клетки), а часть – не до конца (используемая на прирост биомассы). Таким образом, для большинства индивидуальных органических веществ ХПК больше БПК (за любой срок инкубации) и больше (очень редко равна) перманганатной окисляемости. Соотношение между БПК и перманганатной окисляемостью может быть различным.

Таким образом, показатель БПК определяет количество кислорода, необходимое для жизнедеятельности микроорганизмов, участвующих в окислении органических соединений. Этот показатель характеризует биохимически окисляемую часть органических соединений сточной воды, находящихся, в первую очередь, в растворенном и коллоидном состояниях, а также в виде взвеси. Отношение  $BPK_{полн} / ХПК$  характеризует способность загрязнений сточных вод к биохимическому окислению. Для бытовых сточных вод это соотношение составляет 0,86, для производственных – изменяется в широких пределах, но, как правило, ниже, чем для бытовых.

При характеристике очищенных сточных вод наряду с такими показателями, как БПК, ХПК, количество взвешенных веществ, регистрируется концентрация растворенного кислорода. Растворенный кислород имеет очень большое значение при аэробных биохимических процессах. В неочищенную сточную жидкость он поступает вследствие диффузии из воздуха, в некоторых типах аэробных очистных сооружений кроме диффузии источником поступления могут быть и процессы фотосинтеза (за счет жизнедеятельности водорослей и высшей водной растительности). Степень насыщения жидкости кислородом зависит от температуры, минимальное количество растворенного кислорода в любом месте аэрационной системы не должно быть ниже 2 мг/дм<sup>3</sup>.

Лабораторные методы определения количества кислорода в воде (метод Винклера и др.), несмотря на сравнительно медленное изменение во времени этого параметра, недостаточны для корректного проведения этой технологической операции. В основу современных инструментальных методов определения растворенного кислорода в воде положен полярографический метод – измерение предельного диффузионного тока, при котором кислород восстанавливается на отрицательно заряженном металлическом электроде.

Контроль биохимического процесса очистки воды производят также методом измерения редокс-потенциала (eH). Установлено, что

eН полнее характеризует процесс биохимической очистки сточных вод, чем, например, растворенный кислород. Кроме того, величина редокс-потенциала дает объективную оценку этого процесса в тех случаях, когда загрязнения содержат токсичные вещества по отношению к микроорганизмам и тормозят очистку, несмотря на достаточное количество кислорода. Величину eН измеряют электрометрическим методом. Электродная система состоит из платинового пластинчатого электрода с гладкой поверхностью и стандартного электрода сравнения – каломельного или хлорсеребряного.

При контроле процесса биологической очистки сточных вод в аэрационных сооружениях особое внимание уделяется оценке форм и концентраций соединений азота.

Азот в сточных водах может находиться в различных химических формах (органических азотсодержащих соединений, ионов аммония, нитрат- и нитрит-ионов), в процессе биологической очистки происходит переход его из одной формы в другую. В городских сточных водах, как правило, после биологической очистки появляются окисленные соединения азота.

Для оценки содержания разных форм азота определяют следующие показатели: общий азот (сумма содержания азота в органической и неорганической формах), азот аммонийных солей, азот нитратов, азот нитритов. Определения эти занимают важное место при аналитическом исследовании городских сточных вод.

Соединения фосфора поступают в городские сточные воды с физиологическими выделениями людей, моющими средствами, содержатся в некоторых видах производственных вод.

Содержание азота и фосфора как биогенных элементов имеет значение для биологической очистки сточных вод.

### **2.3. Специфические показатели сточных вод**

Для оценки состава производственных сточных вод часто возникает необходимость определить концентрации индивидуальных примесей, если эти примеси отрицательно влияют на процесс очистки.

Сероводород своим присутствием указывает на наличие анаэробных процессов, связанных с распадом серосодержащих органических веществ. Сульфаты указывают на преимущественное протекание окислительных процессов при распаде серосодержащих органических

ких веществ. Хлориды не являются следствием минерализации какой-либо группы органических веществ городских сточных вод, процессы биохимического окисления не влияют на их содержание, только разбавление может изменить концентрацию хлоридов. Концентрация хлоридов и сульфатов влияет на общее солесодержание.

Тяжелые металлы (железо, никель, медь, свинец, цинк, кобальт, кадмий, хром, ртуть) и другие токсичные элементы (мышьяк, сурьма, бор, алюминий и др.) содержатся в сточных водах машиностроительных заводов, предприятий электронной, приборостроительной и других отраслей промышленности. Металлы находятся в виде ионов и комплексов с неорганическими и органическими веществами.

Синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), присутствующие в городских сточных водах, чаще являются анионоактивными или неионогенными соединениями. Эти два типа СПАВ определяют в городских сточных водах.

Концентрация нефтепродуктов в водоемах строго нормируется. Поскольку на городских очистных сооружениях степень их задержания не превышает 85%, в сточных водах, поступающих на очистку, содержание нефтепродуктов ограничивается.

Трудности определения индивидуальных веществ обусловлены непостоянством состава стоков, малыми концентрациями компонентов, одновременным присутствием многих разнохарактерных веществ, взаимно влияющих и затрудняющих избирательное определение. Для решения сложной задачи их определения широко используются современные физико-химические методы исследования – фотоколориметрия, газожидкостная хроматография, осциллополярография, люминесцентный анализ в сочетании с экстракцией, отгонкой и хроматографическим разделением в тонком слое и др.



# Глава 3. БИОХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АКТИВНОГО ИЛА

## 3.1. Назначение биохимического анализа

Эффективность биологической очистки определяется, прежде всего, состоянием активного ила. Химические методы оценки качества сточных вод не отражают характер действия загрязнителей в зависимости от факторов среды, не учитывают эффекты синергизма при действии нескольких загрязнителей и, как результат, не позволяют получить достаточную информацию для предотвращения возможных сбоев в технологическом режиме и связанного с ними ухудшения качества биологической очистки. При одинаковой биомассе активный ил может иметь не только резко различные количества бактериальных клеток и простейших, но и их биохимическую активность, поэтому определение дозы ила и даже гидробиологический анализ не могут дать полного представления об активности ила и скорости окисления загрязнений, а значит, и об эффективности процесса биологической очистки.

Таким образом, для полного представления о возможных последствиях для микроорганизмов активного ила направления сточных вод на биологическую очистку необходима разработка биоиндикационных подходов к регламентации действия токсичных веществ на экосистему аэротенков.

Способность микроорганизмов разрушать органические соединения сточной воды определяется наличием и активностью их ферментов, поэтому определение ферментативной активности микроорганизмов активного ила может существенно повысить эффективность экологического контроля работы сооружений биологической очистки. К методике определения активности ферментов предъявляется ряд требований:

- широкая специфичность определяемой группы ферментов по субстратам;
- оперативность контроля;
- простое экспериментальное оборудование, позволяющее применить методику не только в условиях исследовательской лаборатории, но и на действующих очистных сооружениях;

– оценка влияния токсиканта как на процесс окисления углеродсодержащих органических загрязнителей, так и на другие процессы жизнедеятельности ила;

– простота интерпретации результатов анализа.

В зависимости от направления действия выделяют следующие классы ферментов:

– оксидоредуктазы (катализируют окислительно-восстановительные реакции);

– трансферазы (катализируют перенос различных групп от одной молекулы к другой);

– гидролазы (катализируют гидролитические реакции);

– лиазы (отщепляют от субстратов ту или иную группу с образованием двойной связи либо присоединяют группы по месту двойной связи);

– изомеразы (осуществляют пространственные превращения соединений);

– лигазы (катализируют синтетические реакции, сопровождающиеся отщеплением остатков фосфорной кислоты от молекулы аденозинтрифосфата).

По степени субстратной специфичности (предпочтительности фермента к субстрату определенной структуры) выделяют ферменты:

– с абсолютной специфичностью (фермент катализирует превращение только одного субстрата);

– с групповой специфичностью (ферменты действуют на ряд субстратов с определенными группировками в их молекулах);

– катализирующие определенные типы реакций независимо от того, какие группировки присутствуют вблизи той связи, на которую действует фермент;

– со стереохимической специфичностью (фермент катализирует превращение только одного изомера субстрата).

Специфичность обычно рассматривают по отношению к субстрату, хотя фермент обладает селективностью и к другим условиям реакции (вид растворителя, pH среды).

Все ферменты важны в процессе очистки воды, однако особая роль принадлежит оксидоредуктазам. К классу оксидоредуктаз относятся ферменты-дегидрогеназы, которые катализируют первые этапы процесса окисления значительной группы субстратов путем их дегидрирования, обладают наибольшей чувствительностью к колеблющемуся во времени химическому составу сточных вод и наиболее ши-

рокой специфичностью по отношению к субстратам. В дальнейшем продукты окисления подвергаются деструкции с помощью других ферментов. По химическому действию дегидрогеназы делятся на никотинамидные и флавиновые. Никотинамидные дегидрогеназы первыми реагируют с субстратом, отщепляя от него два атома водорода и присоединяя их к коферменту – никотинамидадениндинуклеотиду (НАД). В результате этой реакции субстрат окисляется, а НАД восстанавливается до  $\text{НАД} \cdot \text{H}_2$ . Далее в реакцию вступает флавиновый кофермент – флавинадениндинуклеотид (ФАД), переносит водород с никотинамидного кофермента на флавиновый, в результате чего  $\text{НАД} \cdot \text{H}_2$  снова окисляется до НАД, а флавиновый – восстанавливается до  $\text{ФАД} \cdot \text{H}_2$ . Далее через цитохромы (окислительно-восстановительные ферменты) водород передается молекулярному кислороду, что и завершает процесс окисления с образованием окончательного продукта – воды.

Наиболее широко используются косвенные методы определения активности ферментов, когда наличие ферментов определяют по их действию на субстрат в определенных условиях, по скорости катализируемой ими ферментативной реакции, т. е. по скорости образования продуктов реакции или по скорости превращения субстрата. Для анализа превращенного субстрата или продуктов, образовавшихся из него, существует много методов: химические, поляриметрические, спектрофотометрические, фотоколориметрические, рефрактометрические, интерферометрические.

Применение *спектрофотометрических методов* определения скорости ферментативных реакций предполагает образование продуктов, поглощающих свет в определенной области спектра, как в видимой, так и в ультрафиолетовой. Специфическое поглощение может быть присуще также субстрату. Определяя изменение поглощения при определенной длине волны, можно узнать количество трансформировавшегося субстрата или образовавшегося продукта, т. е. получить представление об активности фермента.

Применение *фотоколориметрических методов* основано на поглощении света окрашенными продуктами данной реакции, величина поглощения пропорциональна ферментативной активности анализируемого образца. Для обеспечения точности такого анализа необходимо всегда выполнять следующие условия: подобрать реактив, специфичный для анализируемого вещества; разработать оптимальные

условия проведения колориметрической реакции и проводить ее в строго выбранных условиях; проводить анализ при параметрах, которые обеспечивают строгую пропорциональность оптической плотности раствора содержанию исследуемого вещества в растворе; измерять оптическую плотность при постоянной температуре; проводить колориметрирование с таким светофильтром, при котором наблюдается максимум поглощения света раствором; производить по 2–3 параллельных измерения.

**Интерферометрический метод** предусматривает определение активности ферментов по разности показателей преломления контрольного и исследуемого раствора, содержащего продукты ферментативной реакции.

**Манометрические методы** используются, когда в процессе ферментативной реакции (окисление, декарбоксилирование) образуются или поглощаются газообразные продукты. Скорость ферментативных реакций может определяться по химическому анализу продуктов, образовавшихся в процессе этих реакций.

**Поляриметрический метод** применяется редко, сущность заключается в способности растворов углеводов отклонять плоскость колебания поляризованных лучей света, и это отклонение пропорционально содержанию углеводов в растворе.

Для определения активности дегидрогеназ рационально использовать фотоколориметрический метод, поскольку фотоэлектродетекторы являются распространенным оборудованием химических лабораторий очистных сооружений, выполнение измерений не требует значительных затрат времени, а это обеспечивает оперативность анализа и возможность проведения большого числа измерений.

Для измерения дегидрогеназной активности в настоящее время широко используется метод, основанный на превращении бесцветного 2,3,5-трифенилтетразолия хлорида (ТТХ) в трифенилформазан (ТФФ) красного цвета под воздействием дегидрогеназ бактериальных клеток. Количество образующегося ТФФ пропорционально активности дегидрогеназ и обратно пропорционально величине токсичности. Количественная оценка результата может проводиться визуально сравнением интенсивности окраски опытного образца с контрольным либо путем измерения оптической плотности спиртового экстракта ТФФ на фотоэлектродетекторе.

Степень воздействия токсичных субстратов зависит от физико-химических свойств среды (сточной воды): солевого фона, характера сопутствующих органических загрязнений и их соотношения. Для научных исследований стандартизируют следующие параметры: температура исследуемой воды и ила  $25 \pm 5^\circ\text{C}$ , рН воды и токсичного субстрата не должны отличаться более чем на 0,1 единицы рН, доза ила  $2 \pm 0,1 \text{ г/дм}^3$ . Однако для практических целей оценка активности должна быть проведена оперативно.

В реальных аэрационных системах температура и рН исследуемой жидкости (сточной воды) и активного ила отличаются незначительно, и учет влияния этих параметров, а также дозы ила целесообразно осуществлять путем постановки контроля. В качестве контроля используют смесь активного ила (как источника ферментативной активности) и изменяющего цвет субстрата (2,3,5-трифенилтетразолия хлорида) с водопроводной водой, поскольку ее солевой фон и рН близки к таковым для сточной воды этого же населенного пункта.

Температура и длительность проведения анализа выбираются исходя из кинетики ферментативной реакции, для практических целей достаточно термостатирования при температуре  $30\text{--}40^\circ\text{C}$  в течение часа. Для количественной оценки увеличения концентрации трифенилформаза в результате протекания реакции, т.е. измерения оптической плотности раствора, требуется удаление из раствора взвешенных веществ. Процесс их непосредственного извлечения (фильтрованием, центрифугированием) приводит к удалению целевого трифенилформаза, поскольку он сорбируется на поверхности клеток. Поэтому целесообразно концентрирование ила из реакционной смеси центрифугированием с последующей экстракцией трифенилформаза этиловым спиртом и отделением обесцвеченного активного ила повторным центрифугированием.

При экстракции в растворитель кроме трифенилформаза переходят также экстрактивные вещества клеток, поэтому для получения достоверных результатов измерение оптической плотности следует проводить, используя в качестве раствора сравнения спиртовой экстракт, полученный из раствора, аналогичного опытному, но без 2,3,5-трифенилтетразолия хлорида. Это обеспечивает проведение анализа с соблюдением строгой пропорциональности оптической плотности раствора содержанию исследуемого вещества в растворе. Выбор светофильтра осуществляется проведением измерений оптической плотности

пробы на длинах волн, доступных для измерения на данном фотоэлектродетекторе, построением зависимости оптической плотности раствора от длины волны и выделением максимума поглощения света раствором. Осуществление трех параллельных измерений позволяет оценить результат с большей точностью.

Для оценки величины дегидрогеназной активности используются различные способы представления измерений. За единицу активности фермента обычно принимают такое количество фермента, которое катализирует превращение 1 мкмоль субстрата за 1 мин в заданных условиях определения. Рекомендуемая температура – 37°C, остальные условия – pH, концентрация субстрата – должны быть оптимальными для каждого фермента. Для выражения активности в абсолютных единицах нужно знать коэффициент молярной экстинкции поглощающего соединения. Это величина поглощения, которую дает 1 моль вещества, находящийся в 1 см<sup>3</sup> раствора при толщине поглощаемого слоя 1 см. Часто активность не требуется выражать в абсолютных международных единицах, а необходимы лишь сравнительные величины, тогда можно ограничиться данными по изменению оптической плотности по сравнению с контролем (вместо сточной воды к илу добавлена водопроводная вода). Для практических целей – оценки работы дегидрогеназ – приемлем второй вариант, поскольку не требует вычислений и более нагляден.

Количественное определение дегидрогеназ позволяет судить о напряженности окислительного процесса, оценить биологическую токсичность примесей производственных сточных вод вследствие чувствительности этой группы ферментов к действию низких концентраций токсичных соединений. Некоторыми исследователями предлагается использовать показатель дегидрогеназной активности для установления допустимых концентраций токсикантов в сточных водах, направляемых на биологическую очистку. Снижение этого показателя более чем на 20% по сравнению с контрольным опытом является свидетельством токсичности сточных вод. Вместе с тем, снижение показателя в процессе очистки может быть следствием значительного уменьшения в среде концентрации загрязнений или накопления метаболитов.

Введение в практику технологического контроля определения дегидрогеназной активности полезно в особенности потому, что дает возможность получить быструю, менее чем за 1 ч, характеристику состояния ила при предварительной визуальной оценке интенсивности окраски раствора в опытной и контрольной пробирках.

Дегидрогеназная активность рекомендуется в качестве интегрального показателя оценки состояния активного ила аэротенков городских очистных сооружений и необходимости принятия мер по предотвращению поступления на очистные сооружения токсичных примесей в составе сточных вод.

### **3.2. Методика определения дегидрогеназной активности**

*Отбор проб и подготовка к анализу.* Для усреднения следует отбирать не менее 0,5 дм<sup>3</sup> анализируемых жидкостей (сточной воды и активного ила). Рекомендуется проводить отбор проб активного ила на входе и выходе очистных сооружений для оценки изменения активности в результате очистки. Анализ проводится не более чем через три часа после отбора пробы активного ила.

*Реактивы.* Отстоянная водопроводная вода. Время отстаивания – не менее 2 суток. Осветленная сточная вода после первичных отстойников. 0,1%-ный раствор 2,3,5-трифенилтетразолия хлорида в воде.

*Ход определения.* Для приготовления опытной пробы к 10 см<sup>3</sup> сточной воды в пробирке добавляют 1 см<sup>3</sup> 0,1%-ного раствора ТТХ и 1 см<sup>3</sup> иловой жидкости. Одновременно готовят контрольную пробу, которая содержит те же компоненты, но без сточной воды, взамен ее вносят 10 см<sup>3</sup> водопроводной воды. Количество одновременно проводимых параллельных опытов составляет не менее двух. Также готовят не менее двух пробирок с раствором сравнения аналогично контрольным пробам, но без внесения раствора ТТХ.

Пробирки закрывают пробками, перемешивают содержимое и помещают в термостат при температуре 37°C. Через 60 мин отмечается появление розовой или красной окраски жидкости в опытной и контрольной пробирках. Отсутствие окраски в опытной пробирке или уменьшение ее интенсивности по сравнению с контрольной пробой (без сточной воды) свидетельствует о наличии токсичного действия сточных вод на микроорганизмы и служит сигналом для немедленно тщательного химического анализа сточных вод, поступающих на биологические очистные сооружения. Для количественной оценки токсичности сточной воды содержимое опытных пробирок центрифугируют 5 мин при 6000 об/мин. Надосадочную жидкость сливают и к осадку приливают 4 см<sup>3</sup> этанола, встряхивают 1,5 мин до утраты

хлопьями (хлопками) ила розовой окраски. Смесь центрифугируют 2 мин при 6000 об/мин и измеряют оптическую плотность надосадочной жидкости на фотоэлектроколориметре при длине волны 480 нм и толщине кюветы 1 см с использованием подготовленного раствора сравнения.

*Расчет.* Показатель дегидрогеназной активности ила (ДАИ) выражают в процентах по отношению к контролю и определяют по формуле

$$\text{ДАИ} = \frac{(a - \bar{b})}{\bar{b}} 100\%,$$

где  $a$  – оптическая плотность спиртового экстракта опытного раствора;  $\bar{b}$  – оптическая плотность спиртового экстракта контрольного раствора.



# Глава 4. БАКТЕРИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АКТИВНОГО ИЛА

## 4.1. Назначение бактериологического анализа

Бактериологический анализ на сооружениях биологической очистки сточных вод проводят для решения следующих задач:

– *санитарно-бактериологический анализ сточной воды*, т. е. учет сапрофитных бактерий и колиформных бактерий с целью установления присутствия в воде патогенных микроорганизмов и определения эффективности снижения бактериального загрязнения воды в результате очистки и обеззараживания;

– *определение общей численности и морфологического разнообразия бактерий внутри хлопьев активного ила*. Поскольку именно бактерии играют ключевую роль в деструкции загрязнений, их состав и взаимоотношения с простейшими определяют экологическую обстановку в аэротенке, а следовательно, и эффективность очистки. Вместе с тем, в настоящее время еще не накоплено достаточно опыта, позволяющего использовать данные бактериологического анализа для биоиндикации процесса очистки, т. е. для оценки и прогнозирования хода процесса, выявления нарушений и разработки мероприятий по их устранению;

– *контроль нитчатых бактерий*, чрезмерное развитие которых наиболее часто является причиной вспухания активного ила, т. е. нарушения его осаждаемости, что приводит к выносу взвешенных веществ из вторичных отстойников. Кроме контроля нитчатых бактерий, бактериологический анализ позволяет диагностировать гелевое вспухание, если его вызывают бактерии рода *Zoogloea*.

## 4.2. Санитарно-бактериологический анализ

Пробы воды для санитарно-бактериологического анализа отбирают на всех этапах очистки, после доочистки и обеззараживания, в водоеме выше и ниже выпуска очищенных сточных вод.

*Целью* санитарно-бактериологического анализа является определение общего количества сапрофитных микроорганизмов как по-

казателя присутствия в воде легко разлагающихся органических веществ и установление наличия патогенных микроорганизмов. Поскольку для выделения и идентификации отдельных патогенных микроорганизмов в воде необходимо применять специфические методики, это очень сложная, дорогостоящая и длительная работа. Поэтому бактериальное загрязнение воды контролируют по индикаторным организмам, которые, не являясь патогенными, имеют схожую с патогенами природу и жизнестойкость, присутствуют в большем количестве, легко обнаруживаются и идентифицируются. Таким требованиям отвечают колиформные бактерии, являющиеся показателями фекального загрязнения воды.

#### **4.2.1. Определение общего количества микроорганизмов, образующих колонии на питательном агаре**

Общее количество микроорганизмов (мезофильных аэробных и факультативно анаэробных) определяют путем посева  $1 \text{ см}^3$  разведенной воды на питательный агар в чашки Петри. Используют 2–3 разведения с тем расчетом, чтобы на чашках образовывалось не менее 15 и не более 300 колоний. Обычно для исходной сточной воды это разведения  $10^4$  и  $10^5$ , для очищенной воды после вторичных отстойников –  $10^2$  и  $10^3$ , после хлорирования – без разведения, для воды из водоема –  $10^1$ ,  $10^2$ ,  $10^3$ . При неизвестной степени бактериального загрязнения количество разведений увеличивают. Посевы выращивают при температуре  $37^\circ\text{C}$  в течение 24 ч, подсчитывают колонии и определяют количество бактерий в  $1 \text{ см}^3$  воды.

При полной биологической очистке обеспечивается снижение бактериального загрязнения воды на 91–95%.

**Выполнение анализа.** Питательный агар готовят из сухого препарата промышленного производства по способу, указанному на этикетке.

Готовят необходимые разведения сточной воды, тщательно перемешивают, из каждого разведения делают не менее двух посевов.

Стерильной пипеткой отбирают  $1 \text{ см}^3$  пробы воды соответствующего разведения и вносят в стерильную чашку Петри, слегка открыв крышку. Затем в чашку вливают 8–12  $\text{см}^3$  расплавленного и остуженного до температуры  $45\text{--}49^\circ\text{C}$  питательного агара после фламбирования краев посуды, в которой он содержится. Содержимое чашки быстро смешивают, равномерно распределяя по всему дну,

избегая образования пузырьков воздуха, попадания агара на края и крышку чашки. Чашку оставляют для застывания агара на горизонтальной поверхности, после чего помещают в термостат вверх дном и инкубируют при температуре  $37\pm 1^\circ\text{C}$  в течение 24 ч. При отсутствии роста инкубирование продолжают и учет проводят через 48 ч.

**Учет результатов.** Подсчитывают все выросшие на чашке колонии, наблюдаемые при увеличении в 2 раза. Учитывают только те чашки, на которых выросло не более 300 изолированных колоний.

Для каждого разведения определяют среднее количество колоний в чашке и выражают результат числом колониеобразующих единиц (КОЕ) в  $1\text{ см}^3$  исследуемой пробы воды.

#### **4.2.2. Определение количества общих колиформных бактерий**

Общие колиформные бактерии (ОКБ) – грамотрицательные, оксидазоотрицательные, не образующие спор палочки, способные расти на дифференциальных лактозных средах, ферментирующие лактозу (глюкозу) до кислоты, альдегида и газа при температуре  $37^\circ\text{C}$  в течение 24–48 ч.

Число колиформных бактерий в сточных водах определяют путем посева пробы воды соответствующего разведения на среду Эндо. Выбирают такие разведения, чтобы на каждой чашке образовывалось не более 50 характерных колоний кишечной палочки. Посевы инкубируют при температуре  $37\pm 1^\circ\text{C}$  в течение 24 ч, после чего подсчитывают красные с металлическим блеском, темно-красные, розовые с темным центром колонии и выражают результат числом бактерий в  $1\text{ см}^3$  воды. В случае сомнительных колоний принадлежность бактерий к группе кишечной палочки подтверждают микроскопированием (короткие, не образующие спор палочки, грамотрицательные) и газообразованием при ферментации лактозы.

#### **4.2.3. Определение общих и термотолерантных колиформных бактерий методом мембранной фильтрации**

После обеззараживания очищенных сточных вод определяют общие и термотолерантные колиформные бактерии.

Термотолерантные колиформные бактерии (ТКБ) входят в число общих колиформных бактерий, обладают всеми их признаками и, кроме того, способны ферментировать лактозу (глюкозу) до кислоты, альдегида и газа при температуре  $44\pm 0,5^\circ\text{C}$  в течение 24 ч.

Метод мембранной фильтрации является основным методом определения общих и термотолерантных колиформных бактерий. Установленный объем воды фильтруют через мембранные фильтры, выращивают посеvy на дифференциальной питательной среде с лактозой и проводят идентификацию колоний по культуральным и биохимическим свойствам.

**Приготовление среды.** Среdu Эндо готовят из сухого препарата промышленного производства по способу, указанному на этикетке.

Для повышения дифференцирующих свойств среды в готовую и охлажденную до 60–70°C среду перед розливом в чашки допускается прибавлять на 100 см<sup>3</sup> среды 0,2 см<sup>3</sup> 5%-ного спиртового раствора основного фуксина. Срок хранения раствора основного фуксина не более 1 месяца.

**Подготовка фильтровального аппарата.** Воронку и столик фильтровального аппарата обрабатывают ватным тампоном, смоченным спиртом ректификованным и фламбируют. После охлаждения на столик фильтровального аппарата кладут фламбированным пинцетом стерильный мембранный фильтр, прижимают его воронкой.

Мембранные фильтры готовят к анализу в соответствии с указаниями изготовителя.

**Выполнение анализа.** Объем воды для фильтрования должен быть таким, чтобы на фильтре получились изолированные колонии. Если качество воды неизвестно, для фильтрования следует взять несколько объемов (например, 0,1; 1,0; 10 см<sup>3</sup>) воды. Фильтруют сначала меньшие, затем большие объемы, меняя каждый раз фильтры. Перед фильтрованием каждой новой пробы прибор обеззараживают.

Отмеренный объем воды наливают в воронку прибора для фильтрования, затем создают вакуум. После окончания фильтрования отключают вакуум, воронку снимают, фильтр осторожно поднимают за край фламбированным пинцетом и переносят его, не переворачивая, на питательную среду, разлитую в чашки Петри, таким образом, чтобы между средой и фильтром не было пузырьков воздуха. Поверхность фильтра с осевшими на ней бактериями должна быть обращена вверх. На одну чашку можно поместить 3–4 фильтра с условием, что фильтры не будут соприкасаться.

Чашки с фильтрами ставят в термостат дном вверх и инкубируют посеvy при температуре 37±1°C в течение 24 ч.

Если на фильтре обнаружен рост изолированных типичных лактозоположительных колоний (темно-красных, красных с металлическим

блеском или без него или других подобного типа колоний с отпечатком на обратной стороне фильтра), подсчитывают число колоний каждого типа отдельно и подтверждают их принадлежность к ОКБ и ТКБ.

### **4.3. Определение общей численности бактерий в активном иле**

Концентрация бактериальных клеток в нормально функционирующем аэротенке составляет  $(2,0-2,5)10^9$  экз./см<sup>3</sup>.

Установление числа бактерий в хлопьях активного ила представляет собой сложную задачу: оценить количество бактерий путем высева пробы иловой воды на питательные среды практически невозможно.

Во-первых, отсутствуют питательные среды, на которых бы происходил рост всех жизнеспособных гетеротрофных бактерий, входящих в состав хлопьев. Кроме того, в активном иле присутствуют так называемые «дремлющие» бактерии, сохраняющие жизнеспособность, но инертные в данных условиях. При определенных условиях эти бактерии могут играть существенную роль в очистке сточных вод и их также необходимо учитывать.

Во-вторых, внутри хлопьев развиваются факультативно-анаэробные бактерии, и даже строгие анаэробы, требующие специфических условий выращивания.

Третья сложность заключается в том, что бактерии ила находятся в компактном хлопке активного ила и могут быть диспергированы только с использованием специальных методов гомогенизации (п. 4.3.1).

И наконец, для получения данных бактериологического анализа методом посева требуется длительное время: такой анализ не позволяет оперативно выявить нарушения процесса очистки.

Наиболее точно и быстро информацию о количестве и составе микробиоты хлопков активного ила можно получить прямым микроскопированием. При использовании флуоресцирующих красителей не требуется предварительная гомогенизация активного ила. Красители избирательно связываются только с бактериальными клетками, которые приобретают способность интенсивно светиться на фоне неживых включений ила, благодаря чему клетки легко обнаруживаются. Хлопья активного ила сохраняют свою целостность, не деформируются, поэтому при микроскопировании можно оценить особенности агрегации бактериальных клеток.

#### **4.3.1. Гомогенизация активного ила**

Пробу активного ила объемом 40 см<sup>3</sup> центрифугируют в течение 10 мин при 20 тыс. об/мин. Супернатант сливают сифоном, добавляют 40 см<sup>3</sup> 0,5%-ного раствора триполифосфата и обрабатывают в течение 15 мин в ультразвуковой установке мощностью 150 Вт.

#### **4.3.2. Метод прямого счета бактерий активного ила на мембранных фильтрах с окрашиванием эритрозином**

*Выполнение анализа.* Для анализа используют фильтры Synpor с размером пор 0,25–0,50 мкм. Мембранные фильтры готовят к анализу в соответствии с указаниями изготовителя.

Вакуум при фильтровании лучше создавать при помощи водоструйного насоса, поскольку фильтрование при большей разнице давлений может разрушать клетки микроорганизмов и мешать равномерно их распределению по поверхности фильтра.

Перед фильтрацией на мелкопористую площадку воронки помещают два вырезанных по диаметру кружка фильтровальной бумаги, а сверху – мембранный фильтр.

Из каждой пробы фильтруют не менее двух объемов по 1–5 см<sup>3</sup> активного ила. Во избежание наложения на фильтре нескольких слоев клеток, что затрудняет счет бактерий, образцы активного ила перед фильтрованием разбавляют таким образом, чтобы на фильтре образовывался преимущественно один слой бактерий. Так, при дозе ила 0,5–3,0 г/дм<sup>3</sup> требуется отфильтровать 1 см<sup>3</sup> активного ила, разбавленного в 10 раз дистиллированной водой.

Фильтры с осевшими на них микроорганизмами высушивают на фильтровальной бумаге на воздухе, затем окрашивают клетки раствором эритрозина (2 г эритрозина на 100 см<sup>3</sup> 50%-ного водного горячего раствора фенола). Для этого в чашку Петри помещают кружок фильтровальной бумаги, смоченной эритрозином, на который накладывают фильтр с бактериями (сторона фильтра с бактериями обращена вверх). Чашку Петри закрывают крышкой, окрашивание длится 2 суток. Краску с фильтра отмывают, перекадывая его на фильтровальной бумаге, смоченной дистиллированной водой, до тех пор, пока он не будет давать слабо-розовую окраску бумаги. При правильно проведенной отмывке поверхность фильтра сохраняет розовую окраску, а бактерии окрашены в ярко-красный цвет. Фильтр высушивают на воздухе.

Для микроскопирования половину фильтра помещают на предметное стекло, на которое предварительно нанесена капля иммерсионного масла,

сверху на фильтр наносят еще каплю масла. Подсчет ведут (окуляр  $\times 15$ , объектив  $\times 90$ ), используя фазово-контрастное устройство. Клетки бактерий отличаются от детрита правильной формой и менее интенсивной окраской.

Счет бактерий ведут при помощи окулярного сетчатого микрометра, количество просчитанных полей зрения в разных частях фильтра не должно быть меньше 20 на общей площади 20 000  $\mu\text{м}^2$ . Необходимо считать отдельно палочковидные формы и кокки.

Количество бактерий  $N$ , экз./ $\text{см}^3$ , вычисляют по формуле

$$N = \frac{10^8 S n}{S_1 V},$$

где  $S$  – площадь фильтра,  $\text{см}^2$ ;  $n$  – число клеток в одном квадрате счетной сетки, экз.;  $S_1$  – площадь квадрата счетной камеры,  $\text{мм}^2$ ;  $V$  – объем отфильтрованной пробы,  $\text{см}^3$ .

Площадь поля зрения, ограниченную определенной частью сетчатого микрометра, определяют используя объект-микрометр. Несколько раз, сопоставляя сторону измеряемой части сетчатого микрометра с делениями объект-микрометра, просчитывают величину стороны квадрата, а затем и площадь просчитываемой части поля зрения.

## **4.4. Контроль организмов активного ила при развитии вспухания**

### **4.4.1. Причины вспухания активного ила**

Для успешного функционирования аэротенков активный ил должен не только активно потреблять загрязнения, содержащиеся в сточной воде, но и хорошо отделяться от очищенной воды во вторичных отстойниках. Удовлетворяющий этому требованию ил имеет компактные, хорошо оседающие хлопья.

Молодой активный ил, в котором еще не сформировались плотные, достаточно крупные хлопья, имеет низкую седиментационную способность. Такой ил бывает в аэротенке при запуске, а также при большом приросте ила, когда удаляется значительный объем избыточного ила, и возраст его (среднее время пребывания в системе «аэротенк – вторичный отстойник») уменьшается. По мере созревания ила хлопья становятся более компактными, увеличиваются в размере, накапливается биополимерный гель, защищающий клетки в хлопьях от воздействия токсикантов и удерживающий клетки микроорганизмов, такие хлопья легко отделяются от очищенной воды во вторичных отстойниках (рис. 4.1).

Вместе с тем, при определенных условиях может наблюдаться снижение седиментационной способности зрелого, ранее хорошо оседавшего активного ила, происходит его *вспухание*. Во вторичных отстойниках хлопья ила плохо оседают, поднимаются на поверхность, выносятся вместе с очищенной водой, что значительно ухудшает ее качество. Увеличивается объем избыточного ила за счет повышения содержания в нем связанной влаги, осложняется утилизация ила с высокой влажностью.

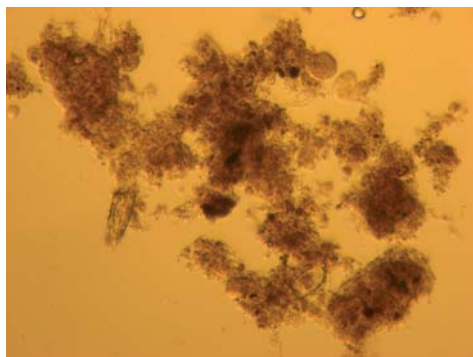


Рис. 4.1. Компактные хлопья активного ила

Вспухание активного ила может быть эпизодическим и хроническим. Эпизодическое вспухание возникает, если вызывающие его причины действуют кратковременно, оно характеризуется внезапным началом, интенсивным, но непродолжительным развитием. Хроническое вспухание долго продолжается или часто повторяется, приводит к вырождению биоценоза активного ила.

По характеру происходящих в активном иле изменений выделяют два основных типа вспухания активного ила: гелевое и нитчатое.

*Гелевое вспухание* развивается вследствие слишком интенсивного продуцирования гетеротрофными бактериями внеклеточного биополимера (геля). Увеличение синтеза биополимерного геля связывают с присутствием в сточных водах промышленных загрязнений, трудно окисляемых биохимическими методами, оказывающих токсическое действие на организмы ила. Для окисления таких загрязнений требуется поддерживать большой возраст ила – значительная его часть после вторичных отстойников возвращается в аэротенк, биополимерный гель накапливается, хлопья ила становятся рыхлыми и прозрачными (рис. 4.2).



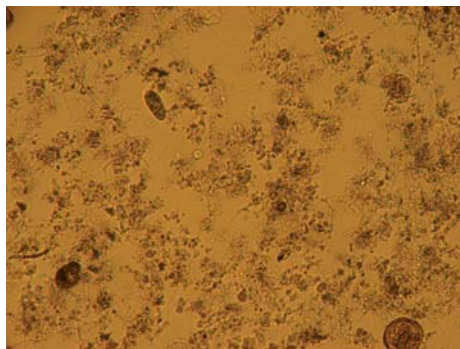


Рис. 4.2. Хлопья активного ила в условиях гелевого вспухания

**Нитчатое вспухание** активного ила характеризуется чрезмерным развитием и накоплением микроорганизмов с нитчатой структурой (хламидобактерий, цианобактерий, сапрофитных грибов). Эти организмы постоянно присутствуют в нормально функционирующем активном иле в небольшом количестве. При действии неблагоприятных факторов (недостаток кислорода, присутствие токсикантов, отклонение от оптимальных значений температуры и pH, дефицит биогенных элементов и др.) нитчатые получают массовое развитие вследствие своей повышенной устойчивости – в аэротенке формируется более примитивный, но и более жизнеспособный биоценоз. Нитчатые микроорганизмы создают рыхлые, открытые хлопья с развитой поверхностью и высокой окислительной способностью (рис. 4.3).

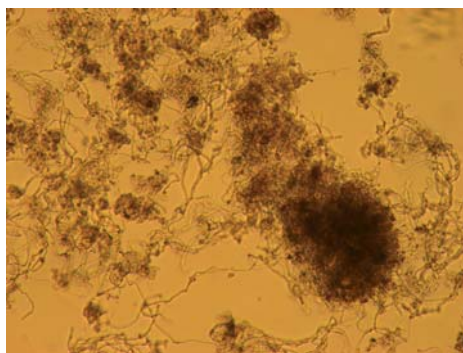


Рис. 4.3. Хлопья активного ила в условиях нитчатого вспухания

Очистка сточных вод в этих условиях может протекать эффективно, но конструкции вторичных отстойников не обеспечивают отделение вспухшего ила от очищенной воды.

Для выяснения основных причин нитчатого вспухания активного ила и разработки мероприятий по его подавлению необходимо определить хотя бы родовую принадлежность нитчатых микроорганизмов, чрезмерное развитие которых вызвало вспухание ила.

#### **4.4.2. Контроль нитчатых организмов**

Присутствующие в активном иле нитчатые микроорганизмы определяют путем предварительного окрашивания и прямого микроскопирования методом «живой капли» под покровным стеклом или в счетных камерах с помощью световой, люминесцентной и фазово-контрастной микроскопии.

В зависимости от применяемого красителя и техники окрашивания препарата в ходе микроскопирования могут быть решены следующие задачи:

- выявление трихонного строения нитчатых микроорганизмов путем микроскопирования препаратов, окрашенных акридиновым оранжевым;
- обнаружение включений гранул полифосфатов в виде зерен волютина при окрашивании по методу Нейссера;
- установление чехольчатого строения нитчатых микроорганизмов в результате окрашивания кристалвиолетом;
- определение родовой (иногда и видовой) принадлежности нитчатых микроорганизмов путем окрашивания по методу Грама;
- установление размеров нитчатых микроорганизмов;
- количественный учет нитчатых микроорганизмов.

#### **Окрашивание нитчатых микроорганизмов акридиновым оранжевым**

Люминесцентный краситель акридиновый оранжевый применяют для прижизненного окрашивания оболочек нитчатых микроорганизмов, в результате чего при использовании люминесцентной микроскопии четко выявляется форма и расположение трихом.

Раствор акридинового оранжевого готовят непосредственно перед окрашиванием путем растворения 3 мг красителя в 10 см<sup>3</sup> стерильной дистиллированной воды.

Отбирают 100 см<sup>3</sup> иловой смеси, аккуратно перемешивают, вносят 1 см<sup>3</sup> раствора акридинового оранжевого и снова перемешивают. Длительность окрашивания 10–12 мин.

Необходимо учитывать, что при избытке красителя сильное свечение препарата затрудняет счет нитчатых микроорганизмов.

#### **Окрашивание нитчатых микроорганизмов по методу Нейссера**

Обнаружение включений гранул полифосфатов в виде зерен воллютина проводят путем окрашивания фиксированного мазка синькой Нейссера. Зерна воллютина окрашиваются в темно-синий цвет, а тела микробных клеток – от светло-коричневого до светло-желтого цвета.

Готовят два основных раствора.

Раствор № 1: метиленовая синь – 0,1 г; этиловый спирт (96 об. %) – 2 см<sup>3</sup>; ледяная уксусная кислота – 5 см<sup>3</sup>; дистиллированная вода – 100 см<sup>3</sup>.

Раствор № 2: кристалвиолет – 0,2 г; этиловый спирт (96 об. %) – 2 см<sup>3</sup>; дистиллированная вода – 60 см<sup>3</sup>.

Для получения синьки Нейссера непосредственно перед окрашиванием смешивают 2 части раствора № 1 и 1 часть раствора № 2.

Для приготовления раствора Люголя 1 г йода кристаллического и 2 г йодистого калия размельчают в ступке, постепенно добавляя 300 см<sup>3</sup> дистиллированной воды до полного растворения йода. Раствор хранят во флаконе из темного стекла.

*Техника окрашивания.* Готовят фиксированный (в пламени спиртовки) мазок. Наносят синьку Нейссера, выдерживают 1–2 мин и сливают. На препарат наносят несколько капель раствора Люголя, выдерживают 1 мин. Промывают мазок водой, подсушивают фильтровальной бумагой. Докрашивают препарат раствором хризоидина или везувина в течение 2–3 мин. Промывают мазок водой, подсушивают и микроскопируют.

#### **Окрашивание нитчатых микроорганизмов кристалвиолетом**

Раствором кристалвиолета окрашивают фиксированный мазок с целью установления чехольчатого строения нитчатых микроорганизмов.

Готовят насыщенный раствор кристалвиолета, растворяя 10 г красителя в 100 см<sup>3</sup> этилового спирта (96 об. %).

Из насыщенного раствора готовят 0,1%-ный спиртоводный раствор кристалвиолета путем разбавления 1 см<sup>3</sup> насыщенного спиртового раствора 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды.

Окрашивание фиксированного мазка проводят в течение 1–2 мин, после чего промывают мазок водой, подсушивают и микроскопируют.

#### **Окрашивание нитчатых микроорганизмов по методу Грама**

В зависимости от строения клеточной стенки различают грамположительные и грамотрицательные микроорганизмы. Положительные по Граму нитчатые бактерии активного ила (*Nocardia sp.*, *Microthrix parvicella* и др.) прочно окрашиваются в фиолетовый цвет красителями трифенилметановой группы (генцианвиолет, метилвиолет, кристалвиолет). При воздействии на них этиловым спиртом они не обесцвечиваются, и после дополнительной обработки фуксином сохраняют первоначальный фиолетовый цвет. Отрицательные по Граму (*Sphaerotilus natans* и др.) бактерии активного ила под действием этилового спирта фиолетовый цвет теряют и в результате дополнительного окрашивания фуксином приобретают ярко-малиновый цвет.

*Приготовление растворов.* Генциановый фиолетовый карболовый (раствор № 1): растворяют 1 г генцианового фиолетового в 10 см<sup>3</sup> этилового спирта (96 об. %). 2 г свежеперегнанного кристаллического фенола растворяют в 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды. После полного растворения ингредиентов растворы смешивают. Хранят раствор не более 3-х месяцев.

Раствор Люголя: 1 г йода кристаллического и 2 г йодистого калия размельчают в ступке, постепенно медленно добавляя 300 см<sup>3</sup> дистиллированной воды до полного растворения йода. Хранят во флаконе из темного стекла.

Фуксин Пфейфера (водный раствор карболового фуксина Циля, раствор № 2): смешивают 1 см<sup>3</sup> карболового фуксина Циля и 9 см<sup>3</sup> дистиллированной воды.

*Техника окрашивания.* Готовят фиксированный (в пламени спиртовки) мазок. Покрывают мазок кусочком фильтровальной ткани и наносят на него карболовый раствор генцианового фиолетового (раствор № 1). Длительность окрашивания 1–2 мин. Снимают бумагу, сливают избыток красителя, и, не промывая препарат водой, наносят раствор Люголя на 1–2 мин до почернения препарата. Сливают краситель, мазок промывают этиловым спиртом (96 об. %), осторожно окуная стекло несколько раз в стаканчик со спиртом. Промывание прекращают, когда со стекла перестают стекать струйки жидкости, окрашенные в фиолетовый цвет. Препарат тщательно промывают водой. Докра-

шивают мазок фуксином Пфейфера (раствор № 2) в течение 1–2 мин. Промывают мазок водой, подсушивают и микроскопируют.

### **Установление размеров нитчатых организмов**

Для получения наиболее достоверных результатов определяют размеры живых организмов, поскольку при фиксации препаратов и окрашивании клеток их размеры уменьшаются. Для уменьшения подвижности клеток препарат можно слегка подогреть либо добавить к капле исследуемой суспензии каплю 0,1 %-ного водного раствора агар-агара.

Размеры нитчатых микроорганизмов определяют с помощью окуляр-микрометра, цену деления на его шкале устанавливают, пользуясь объект-микрометром. Для этого объект-микрометр помещают на столик микроскопа и, когда достигнута резкость (сильно затемняют), сравнивают при данном увеличении число делений окуляр-микрометра и объект-микрометра. Цену деления окуляр-микрометра вычисляют путем деления числа делений объект-микрометра на число делений окуляр-микрометра (п. 5.3.5).

Диаметр и длину клеток нитчатых микроорганизмов измеряют при непосредственном микроскопировании. При изменении увеличения цену деления окуляр-микрометра определяют заново.

### **Количественный учет нитчатых микроорганизмов**

*Использование счетных камер Горяева, Кольквитца, Нажотта и др.* Камеру накрывают покровным стеклом и плотно притирают (до образования радужных колец интерференции). Тщательно перемешанную иловую смесь пипеткой наносят каплями на нижний и верхний край покровного стекла, заполняя камеру. При этом необходимо следить, чтобы в камеру не попадали пузырьки воздуха. Избыток иловой смеси вытесняется по канавкам камеры.

Под микроскопом просматривают все квадраты по диагонали или камеру полностью, если численность микроорганизмов невелика.

В каждой пробе подсчитывают нитчатые микроорганизмы как минимум 3 раза и вычисляют среднее арифметическое.

Численность нитчатых микроорганизмов  $N$ , экз./см<sup>3</sup>, вычисляют по формуле

$$N = \frac{1000n}{Sh},$$

где  $n$  – численность микроорганизмов в квадрате сетки камеры, экз.;  $S$  – площадь квадрата сетки, мм<sup>2</sup>;  $h$  – глубина счетной камеры, мм; .

Численность подсчитанных организмов в 1 см<sup>3</sup> пересчитывают на грамм сухого вещества активного ила.

**Метод откалиброванной капли.** Перед определением иловую смесь тщательно перемешивают. Микропипеткой отбирают 0,1 см<sup>3</sup> смеси, наносят на предметное стекло и покрывают покровным стеклом размером 24×24 мм и по диагонали при увеличении ×10 просматривают 10 полей зрения. Из одной пробы просматривают не менее 3-х препаратов и находят среднее арифметическое.

Численность нитчатых микроорганизмов  $N$ , экз./см<sup>3</sup>, вычисляют по формуле

$$N = \frac{Sd}{\pi r^2 V},$$

где  $S$  – площадь покровного стекла, мм<sup>2</sup>;  $d$  – средняя численность микроорганизмов в одном поле зрения, экз.;  $\pi r^2$  – площадь поля зрения объектива ( $r$  определяют по линейке объект-микрометра), мм<sup>2</sup>;  $V$  – объем капли, см<sup>3</sup>.

Если численность организмов не велика, просматривают все поля зрения, начиная от левого верхнего угла покровного стекла вправо, затем на одно поле зрения вниз и влево, не пропуская ни одного поля зрения.

Численность нитчатых микроорганизмов на 1 г сухого вещества активного ила  $p$ , тыс. экз./г, в этом случае вычисляют по формуле

$$p = \frac{n}{aV},$$

где  $n$  – численность подсчитанных нитчатых микроорганизмов, экз.;  $a$  – доза ила по весу, г/дм<sup>3</sup>;  $V$  – объем капли, см<sup>3</sup>.

При чрезмерном развитии нитчатых организмов, когда их подсчет затруднен, можно использовать один из двух вариантов:

– иловую смесь разбавляют, подсчитывают численность нитчатых организмов в 0,1 см<sup>3</sup> и пересчитывают с учетом разбавления пробы;

– отбирают каплю иловой смеси объемом 0,01 см<sup>3</sup>, наносят на предметное стекло и накрывают покровным стеклом размером 9×9 мм. Перемещая препарат, просматривают его весь при увеличении ×100, подсчитывают численность нитчатых микроорганизмов в 0,01 см<sup>3</sup> и пересчитывают на 1 г сухого вещества активного ила.

## **Глава 5. ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АКТИВНОГО ИЛА**

Гидробиологический анализ имеет огромное значение для оценки работы очистной станции. Организмы биоценоза активного ила практически сразу реагируют на малейшие изменения состояния окружающей их среды морфологическими, физиологическими, поведенческими перестройками, легко заметными при микроскопировании. Оценивая количественный и качественный состав биоценоза гидробионтов, можно достаточно легко и быстро выявить нарушения процесса очистки и своевременно принять меры по их устранению. Таким образом, суть гидробиологического анализа состоит в оценке состояния и структурных особенностей биоценоза активного ила.

### **5.1. Периодичность анализа**

Обычно микроскопирование ила на очистных сооружениях производят 1 раз в декаду, и только при нарушениях технологического режима или появлении других факторов, способных дестабилизировать работу биосистемы, анализ проводят 2–3 раза в декаду или ежедневно. Однако такая периодичность анализа в большинстве случаев позволяет зафиксировать лишь результат неблагоприятного воздействия на биосистему, произошедшего, возможно, задолго до отбора проб. В этом случае не может быть и речи об оперативных действиях, направленных на устранение неполадок. Использование организмов биоценоза очистных сооружений в качестве индикаторов качества очистки воды может быть оправдано лишь в том случае, когда наблюдение за ними ведут постоянно – ежедневно или несколько раз в день.

### **5.2. Отбор проб**

#### **5.2.1. Места отбора проб**

Пробы для анализа берут отдельно из каждого узла сооружений биологической очистки – аэротенков, регенераторов, вторичных отстойников и т. д.

Отбор проб из аэротенков необходимо осуществлять с учетом особенностей их работы. Так, в аэротенках-вытеснителях по мере продвижения сточных вод вдоль сооружения формируются специфические биотопы, которые характеризуются различной степенью разложения органических веществ. В каждом из этих биотопов, соответственно, формируются специфические биоценозы активного ила с различной сапробностью, ферментативной активностью и устойчивостью к токсическим веществам. Причем на формирование такой зональности в аэротенке оказывает сильное влияние скорость потока сточных вод. Поэтому из каждого коридора аэротенков пробы отбирают в том случае, если необходимо охарактеризовать состояние зональных биоценозов на разных этапах очистки воды.

Для получения наиболее полной картины состояния процесса очистки пробу из аэротенков-вытеснителей обычно отбирают в конце зоны аэрирования иловой смеси, где процессы биологического окисления практически завершены: из сборных каналов аэротенков или на водосливах (перед поступлением на отстаивание во вторичные отстойники); в конце аэротенков, за 0,5–1,5 м от перелива с противоположной стороны от зоны подачи воздуха или со стороны фильтросных пластин. В аэротенках-смесителях пробы отбираются из сборных каналов. Желательно отбирать пробы из мест интенсивного перемешивания иловой смеси.

При необходимости анализируют каждый узел аэротенков. В этом случае пробы отбирают также в следующих точках:

- на расстоянии 0,5–1,5 м от конца регенератора, с противоположной стороны от фильтросных пластин;
- в местах поступления возвратного ила в регенераторы.

Для получения репрезентативных данных о состоянии флокулообразования активного ила, его седиментационных свойствах, количественных и качественных характеристиках биоценоза такие показатели, как концентрация активного ила по объему и массе, иловой индекс, прозрачность надильовой воды, число и видовой состав индикаторных организмов, необходимо определять в одной и той же пробе.

### **5.2.2. Методы отбора проб**

Подготовленную для отбора проб посуду предварительно ополаскивают отобранной водой. Для отбора проб используют ковш объемом 500 см<sup>3</sup>. Ковш погружают в воду на 3 мин, чтобы его тем-



пература сравнилась с температурой воды. Затем ковш погружают на глубину 0,5 м и сразу же извлекают. Иловую смесь переливают в стеклянную бутылку объемом 3 дм<sup>3</sup> так, чтобы все содержимое ковша было вылито. Отбор повторяют до тех пор, пока не наберется 2,8–2,9 дм<sup>3</sup> иловой смеси. Пробу снабжают этикеткой, на которой указывают дату и место отбора. Бутылку не закупоривают и немедленно доставляют в лабораторию.

К гидробиологическому анализу следует приступать не позднее 30–40 мин с момента взятия пробы, так как организмы активного ила чутко реагируют на условия окружающей среды. Так, наблюдения над инфузориями производят не более чем через 30 мин после взятия пробы, пока инфузории сохраняют физиологическое состояние, характерное для их пребывания в сооружении. Более длительное отстаивание пробы в лабораторных условиях может привести к различным физиологическим и морфологическим изменениям. Наблюдение жгутиконосцев желательно производить в течение первых 2–3 ч после отбора пробы, так как с течением времени может значительно измениться их видовой состав и численность (в два и более раза за сутки при температуре 18–20°C).

Пробы до просмотра должны храниться при доступе воздуха, вдали от химических препаратов, недопустимы даже кратковременные их перегревы.

При невозможности проведения анализа в указанный срок, пробы активного ила охлаждают и хранят не более 24 ч после отбора при температуре 3–4°C. Консервация проб не допускается. При проведении анализа температура пробы должна соответствовать температуре помещения, в котором его производят.

### **5.2.3. Измерение температуры воды**

При отборе проб измеряют температуру воды, используя термометры с ценой деления 0,1°C. На месте отбора 1 дм<sup>3</sup> воды наливают в склянку, нижнюю часть термометра погружают в воду и через 5 мин отсчитывают показания, держа его вместе со склянкой на уровне глаз. Точность определения составляет ±0,5°C.

## **5.3. Этапы гидробиологического анализа**

Гидробиологический анализ активного ила состоит из следующих этапов (табл. 5.1).

Этапы гидробиологического анализа

Номер этапа	Содержание этапа
1	Визуальное исследование ила. Определение состояния хлопка
2	Определение видового состава биоценоза активного ила
3	Определение численности организмов различных видов
4	Оценка физиологического состояния организмов активного ила
5	Определение размеров организмов
6	Классификация организмов активного ила по индикаторным группам
7	Определение типа биоценоза и его характерных особенностей
8	Подготовка гидробиологического заключения

### 5.3.1. Визуальное исследование ила

**Обице свойства** активного ила определяются визуально при просмотре в стакане или стеклянном цилиндре объемом 100 см<sup>3</sup>. Учитываются следующие показатели:

а) *скорость оседания хлопка* (быстро, медленно);

б) *цвет* (бурый, рыжеватый, черный, белесый и т. д.). Нормальный цвет ила – буро-коричневый. Темный, землистый ил с черным оттенком может быть следствием низкой аэрации, плохого перемешивания иловой смеси, недостаточного удаления избыточного ила, нарушением циркуляции, что ведет к залеживанию и загниванию ила;

в) *характер воды над осевшим илом* после его отстаивания в течение 30 мин. Надиловая вода должна быть прозрачной, не иметь окраски и опалесценции. Прозрачность анализируют в пробе, отобранной в конце зоны аэрации или сборном канале аэротенков (см. п. 2.2). Изменения в составе сточных вод и технологическом режиме их очистки могут вызывать диспергирование хлопьев ила и появление большого числа свободно живущих бактерий, что приводит к снижению этого показателя. Численные значения прозрачности могут находиться в пределах от двух до десятков сантиметров. Показатель коррелирует со значениями БПК в отстоянной пробе и характеризует эффективность удаления коллоидных веществ в аэротенках. Так, значение прозрачности 30 см и более соответствует высокой степени очистки, около 12 см – неполной биологической очистке;

г) *запах* (землистый, гнилостный, аптечный, нефтепродуктов, а также характерный для определенных химических веществ – сероводорода, хлорфенола и др.). Нормальным запахом ила считают бо́лотный, без преобладания других запахов;

д) *поведение ила при отстаивании*: вспухание, наличие или отсутствие четкой границы с очищенной жидкостью, скорость флокуляции, компактность хлопьев.

Кроме перечисленных основных свойств, при необходимости в описание включают также и другие показатели: наличие следов нефти, пены от синтетических моющих средств и др.

#### **Определение илового индекса**

Для характеристики седиментационных свойств активного ила используют показатель илового индекса. Для вычисления илового индекса необходимо определить дозу активного ила по массе и по объему.

**Определение дозы активного ила по массе.** 100 см<sup>3</sup> тщательно перемешанной иловой смеси с температурой лабораторного помещения фильтруют через предварительно высушенный и взвешенный бумажный фильтр с помощью водоструйного насоса через воронку Бюхнера. Цилиндр тщательно споласкивают небольшим количеством дистиллированной воды, полученную суспензию присоединяют к иловой смеси. Фильтр с отфильтрованной массой высушивают до достижения постоянной массы.

Дозу ила по массе  $d$ , г/дм<sup>3</sup>, рассчитывают по формуле

$$d = \frac{(a-b)1000}{V},$$

где  $a$ ,  $b$  – вес фильтра с осадком и без осадка соответственно, г;  $V$  – объем отфильтрованной пробы, см<sup>3</sup>.

Погрешность измерения составляет  $\pm 25\%$ .

**Определение дозы ила по объему.** Доза ила по объему  $V$ , см<sup>3</sup>/дм<sup>3</sup>, характеризует седиментационные свойства ила. Иловую смесь с температурой лабораторного помещения тщательно перемешивают и помещают в стеклянный цилиндр вместимостью 1 дм<sup>3</sup>, установленный на горизонтальную поверхность. Для определения равномерности осаждения отмечают объем, занимаемый оседающей массой активного ила, с интервалом 3 мин (по секундомеру). Через 30 мин отстаивания записывают окончательное значение дозы ила по объему в см<sup>3</sup>, округляя до целых. Погрешность измерения составляет  $\pm 25\%$ .

При температуре выше 25°C может произойти всплывание осевшего активного ила вследствие денитрификации, поэтому анализ проводят в прохладном помещении, вдали от источников тепла, а в жаркое время года пробу перед анализом желательно охладить до 18–20°C в холодильнике.

*Определение илового индекса.* Иловой индекс – объем, занимаемый 1 г сухого ила через 30 мин отстаивания в цилиндре вместимостью 1 дм<sup>3</sup>. Иловой индекс  $I$ , см<sup>3</sup>/г, рассчитывают как отношение дозы ила по объему  $V$  к дозе ила по массе  $d$ :

$$I = \frac{V}{d}.$$

Пониженные значения илового индекса характерны для активного ила с высокой зольностью, вызванной высокой минерализацией клеточного вещества или присутствием тяжелых взвесей. Ил с такими показателями может закупоривать коммуникационные сети. Возрастание илового индекса – показатель ухудшения седиментационной способности ила. Результатом является нарушение разделения иловой смеси во вторичных отстойниках и избыточный вынос взвешенных веществ с отстоянной водой. Стабильность значений илового индекса указывает на удовлетворительные условия эксплуатации очистных сооружений. Для различных сооружений биологической очистки характерны свои определенные значения этого показателя. Оптимальными считают значения илового индекса в пределах 90–120 см<sup>3</sup>/г.

#### **Определение состояния хлопка**

Состояние хлопка исследуют при микроскопировании взболтанной пробы.

При увеличении микроскопа 5×10, 10×10 отмечают:

- размер хлопка (крупный, мелкий);
- структуру (плотный, рыхлый, прозрачный);
- однородность;
- засоренность минеральными и посторонними органическими включениями.

Наличие большого количества детритных включений может быть следствием нарушения работы первичных отстойников (избыточный вынос взвешенных веществ), поступления в «голову» сооружений избыточного активного ила, сточной воды низкого качества из минерализатора, иловой воды из илоуплотнителей, фугата из цеха обработки осадков, дренажных сбросов. Этот показатель может указывать также на присутствие в сточных водах специфических промышленных загрязняющих веществ, плохо удаляемых при механическом отстаивании. Однако, если сооружения не перегружены и качество очистки высокое, а иловой индекс характеризует хорошее отделение очищенной

жидкости от массы ила, то присутствие некоторых количеств детритных включений не играет отрицательной роли, а в некоторых случаях, наоборот, утяжеляет хлопок ила, улучшая его седиментацию.

### **5.3.2. Определение видового состава биоценоза активного ила**

В основном гидробионтов определяют в живом виде с помощью световой, люминесцентной, фазово-контрастной микроскопии.

Каплю свежего ила наносят на предметное стекло, накрывают покровным стеклом и просматривают под микроскопом при увеличении 10×10. В случаях, когда диагностические признаки трудно различимы, используют большие увеличения (например, 40×10) и иммерсионную систему (объектив ×90). Исследование более крупных организмов (червей, коловраток) можно проводить, помещая пробу ила в чашку Петри, с использованием стереоскопического микроскопа.

При анализе очищенной воды, в которой организмов очень мало, для сгущения проб применяют центрифугирование, длительное отстаивание или фильтрование через мембранный фильтр с размером пор 2–5 мкм. При высокой концентрации ила (в случае исследования возвратного ила, проб из зон застоя) производят его разбавление. Чтобы не нарушать жизнедеятельность организмов, разбавлять пробу следует жидкостью, полученной из того же места, что и проба.

Рекомендуется просматривать до 5–10 капель, определяя виды организмов и отмечая их физиологическое состояние.

В ряде случаев при установлении видового состава биоценоза очистных сооружений необходимы фиксация и окрашивание организмов, их измерение, зарисовка и фотографирование.

Работу по идентификации гидробионтов позволяет облегчить полученный авторами фотоматериал, приведенный в прил. 2. Определение проводят в соответствии с базой данных «Активный ил». В случае недостатка справочного материала обращаются к таблицам и рисункам, приведенным в соответствующей литературе.

#### **Фиксация и окрашивание организмов активного ила**

Если определению мешает повышенная активность организмов, их следует наркотизировать или фиксировать. Для этого используют следующие препараты.

1. Спирт этиловый 96%-ный.
2. Формалин, 4–10%-ный водный раствор.

3. Уксусная кислота, 0,1%-ный водный раствор.
4. Сульфат никеля, 1%-ный водный раствор.
5. Новокаин, 2%-ный водный раствор (фармацевтический препарат).
6. Тизерцин (левомепромазин), 10%-ный водный раствор (фармацевтический препарат).

7. Фиксатор Утермеле.

Окрашивание производят для уточнения родовой и видовой принадлежности организмов. Для окрашивания применяют следующие основные красители.

1. Нейтральный красный индикатор, 0,01%-ный раствор в 60%-ном этиловом спирте.
2. Раствор Люголя на глицерине.
3. Жидкость Люголя.
4. Йод, 0,3%-ный и 1%-ный спиртовой растворы.
5. Акридиновый оранжевый гидрохлорид.
6. Метиленовый голубой, 0,5%-ный водный раствор.
7. Метиловый зеленый, 0,05%-ный водный раствор.
8. Метил-грин-уксусная кислота.
9. Азотнокислое серебро, 2%-ный водный раствор.
10. Осмиевая кислота, 1%-ный водный раствор.

Прописи наркотизирующих и фиксирующих препаратов, красителей приведены в прил. 1.

### **Способы фиксации**

1. 1–2 капли этанола или 4–10%-ного водного раствора формалина наносят рядом с покровным стеклом и дожидаются, когда реагент диффундирует в каплю иловой смеси, находящуюся под стеклом. При передозировке реагентов организмы могут сильно деформироваться, что затрудняет исследование.

2. 1–2 капли 10%-ного водного раствора тизерцина помещают непосредственно у покровного стекла. Препарат хорошо наркотизирует и не разрушает организмы.

3. 1%-ный водный раствор сульфата никеля используют для фиксации коловраток.

4. Раствор Люголя на глицерине используют для фиксации и контрастирования мелких жгутиконосцев.

5. Жидкость Люголя используют для фиксации мелких жгутиконосцев. Кроме фиксации, окрашивает полисахариды (кроме парамилона), хорошо контрастирует клетки, делает возможным их точное измерение.

6. Глицерин, вишневый клей (увеличивающие вязкость жидкости) вызывает замедление движения всех организмов, включая червей и коловраток. К капле иловой смеси на предметном стекле добавляют каплю глицерина, тщательно перемешивают препаратальной иглой, накрывают покровным стеклом и рассматривают под микроскопом. Оптимальное количество глицерина подбирают опытным путем после двух-трехкратного повторения процедуры.

7. 0,1%-ный раствор уксусной кислоты применяют для фиксации жгутиконосцев.

8. 2%-ный водный раствор новокаина используют для наркотизирования жгутиконосцев.

9. Пары 1%-ного водного раствора осмиевой кислоты. Лучший быстродействующий фиксатор для большинства организмов. Каплю жидкости с организмами помещают на предметное стекло, стекло быстро переворачивают и препарат в течение нескольких секунд выдерживают прижатым к горлышку склянки с 1%-ным водным раствором осмиевой кислоты.

10. Уретан. Мелкие кристаллы уретана помещают под предметное стекло препарата активного ила.

Не следует для остановки движения организмов прибегать к подсушиванию препаратов. Организмы при этом обездвиживаются, но одновременно происходит значительное искажение их формы, что затрудняет определение и оценку физиологического состояния животных.

#### **Консервация и хранение проб активного ила**

Используют жидкость Утермеле (3 капли фиксатора на 100 см<sup>3</sup> пробы). Хранение пробы допускается только для уточнения определения каких-либо видов, но не для гидробиологического заключения о состоянии биоценоза активного ила.

#### **Окрашивание препаратов активного ила**

**Окрашивание жгутиконосцев.** Наибольшие трудности возникают при определении и счете мелких жгутиконосцев из-за их малых размеров и активного движения. Окрашивание красителями, приводящими к гибели жгутиконосцев, не позволяет рассмотреть их вовсе. Поэтому для исследования этих организмов следует использовать витальные красители:

– нейтральный красный (0,1%-ный водный раствор) – для растительных жгутиконосцев;

- метиленовый синий – для животных жгутиконосцев;
- акридиновый оранжевый (наилучшие результаты при окрашивании цитоплазмы всех видов жгутиконосцев). При исследовании препаратов, окрашенных этим обладающим флуоресцентными свойствами красителем, используют люминесцентный микроскоп.

Раствор йода 1%-ный спиртовой используют для изучения жгутов и измерения их длины. Жгуты и клетки окрашивает в коричневый цвет; крахмал окрашивается при этом в синий цвет, парамилон йодом не окрашивается.

Ядра жгутиконосцев хорошо выявляются при фиксации их 0,1%-ным раствором уксусной кислоты.

Жгутики флагеллят хорошо видны в жидкости Утермеле или в растворе йода (0,3%-ный водный или 1%-ный спиртовой раствор йода). Следя под микроскопом за тем, чтобы жгутиконосцы оставались в поле зрения, под покровным стеклом при помощи полосок фильтровальной бумаги протягивают реактив.

**Окрашивание инфузорий.** Живых инфузорий подкрашивают, используя витальные красители: нейтральный красный и метиленовый зеленый. Нейтральный красный хорошо прокрашивает пищеварительные вакуоли, метиленовый зеленый – ядерный аппарат и отчасти цитоплазму.

Используют акридиновый оранжевый. В 100 см<sup>3</sup> иловой смеси вносят 1 см<sup>3</sup> раствора красителя и тщательно перемешивают. Нуклеиновые кислоты ядер (ДНК) окрашиваются в зеленый цвет, нуклеиновые кислоты ядрышек и цитоплазмы (РНК) – в красный. Микроскопируют с использованием люминесцентного микроскопа. При избытке красителя макронуклеус не выделяется четко, а избыточное свечение препарата затрудняет счет всех таксономических групп организмов.

Для окрашивания ядер можно добавлять к исследуемой капле иловой смеси одну каплю 5%-ного раствора уксусной кислоты. Инфузории при этом погибают, и ядра становятся видимыми.

Окрашивание ядер с одновременной фиксацией инфузорий. Используют методику окрашивания метил-грин-уксусной кислотой. Ядерный аппарат хорошо окрашивается в темно-зеленый цвет, цитоплазма становится светло-зеленой, видны наружные реснички.



Окрашивание ресничного аппарата. Применяют довольно сложную технику серебрения с использованием 2%-ного водного раствора азотнокислого серебра.

Каплю, содержащую инфузорию, равномерно размазывают по предметному стеклу на такой площади, чтобы потом ее можно было накрыть покровным стеклом. Размазанную каплю подсушивают на воздухе (без подогрева, лучше в течение нескольких дней). Сухой мазок помещают на 6–8 мин в 2%-ный раствор азотнокислого серебра, затем промывают дистиллированной водой и в белой фарфоровой чашке (или белой эмалированной кювете) выставляют на свет (не на прямой солнечный, но достаточно яркий) на 4–10 ч. Если препараты освещать ультрафиолетовой ртутной лампой, то срок экспозиции может быть сокращен до 20–30 мин. После выдерживания на свету препарат отмывают в водопроводной воде, высушивают и заключают в балзам. При микроскопировании очень хорошо просматриваются кинетосомы, реснички и фибриллярные структуры.

**Окрашивание водорослей.** Хроматофоры водорослей окрашивают акридиновым оранжевым.

Функциональное состояние водорослей на разных этапах очистки также оценивают при помощи акридинового оранжевого. Живые клетки микроводорослей окрашиваются в ярко-красный цвет, водоросли с угнетенным процессом фотосинтеза дают оранжево-розовую люминесценцию.

### **5.3.3. Определение численности организмов различных видов**

#### **Определение количества гидробионтов по балльной системе**

Принцип определения заключается в оценке относительной численности организмов активного ила по условной балльной шкале.

Каплю тщательно перемешанной суспензии активного ила объемом около 0,1 см<sup>3</sup> помещают на предметное стекло и накрывают покровным стеклом (желательно размером 24×24 мм). Препарат микроскопируют при увеличении 5×10 или 10×10, детали рассматривают при больших увеличениях. Просматривают 40 полей зрения, перемещая препарат зигзагообразно, стараясь охватить весь материал. Из каждой пробы отбирают не менее двух капель суспензии.

Учитывают все встречающиеся организмы. Оценивают относительную численность гидробионтов по условной пятибалльной шкале (табл. 5.2) либо, если данные используют в дальнейшем для математической обработки, по шестиступенчатой девятибалльной шкале (табл. 5.3).

Таблица 5.2

**Оценка численности гидробионтов по пятибалльной системе**

Частота встречаемости	Условные баллы встречаемости
единично	1
мало	2
порядочно	3
много	4
масса	5

Метод позволяет достаточно быстро, за 10–15 мин, просматривать каждую пробу, и его удобно применять при массовых анализах активного ила.

Таблица 5.3

**Оценка численности гидробионтов по девятибалльной системе**

Частота встречаемости	Количество экземпляров одного вида	Условные баллы встречаемости
очень редко	1	1
редко	1–3	2
нередко	4–10	3
часто	10–20	5
очень часто	20–40	7
масса	40–100	9

Однако полученные результаты субъективны, отличаются невысокой точностью и могут быть надежными только при достаточной квалификации исполнителя.

**Определение абсолютного количества организмов в единице объема**

*Подсчет организмов активного ила в счетных камерах.* Используют специальные счетные камеры с сетками различных типов, которые различаются группировкой больших и малых квадратов (Кольквитца, Нажотта, камеры для учета элементов крови Горяева, Фукса-Розенталя и др.). Наиболее доступной является камера Горяева (рис. 5.1). Она представляет собой пластину из толстого стекла, разделенную бороздками. Углубление в центральной части камеры находится на 0,1 мм ниже уровня соседних площадок. На дне его выгравирована счетная сетка. Сетка состоит из 225 больших квадратов, из которых 25 расчерчены вертикальными и горизонтальными линиями на 16 малых квадратов.

Каплю тщательно перемешанной суспензии активного ила помещают на центральную площадку камеры, на которой выгравирована сетка. Камеру накрывают покровным стеклом и плотно притирают его, вытесняя избыток жидкости, до образования радужных ньютоновых колец, чтобы обеспечить соответствие объема камеры расчетному. Помещают камеру на предметный столик микроскопа и рассматривают препарат при увеличении  $10\times 10$ , при необходимости  $40\times 10$ . Подсчитывают все организмы в малых или больших квадратах сетки, учитывая и те, которые находятся на пограничных линиях, перемещая камеру по диагонали. Если численность организмов незначительная, учет ведут во всей камере целиком. Просматривают не менее трех препаратов.

Число организмов определенного вида  $N$ , экз./см<sup>3</sup>, вычисляют по формуле

$$N = \frac{1000n}{Sh},$$

где  $n$  – среднее количество организмов в квадрате камеры, экз.;  $S$  – площадь квадрата сетки, мм<sup>2</sup>;  $h$  – глубина счетной камеры, мм.

Полученное число организмов при необходимости пересчитывают на грамм сухого вещества активного ила.

**Подсчет организмов активного ила методом откалиброванной капли.** Используют при отсутствии счетных камер. Метод является одним из наиболее удобных в практической работе.

Микропипеткой отбирают 0,1 см<sup>3</sup> тщательно перемешанной иловой смеси, наносят каплю на предметное стекло и накрывают покровным стеклом размером 24×24 мм. Подсчитывают организмы в 10 полях зрения, перемещая препарат по диагонали, при увеличении  $10\times 10$ , при

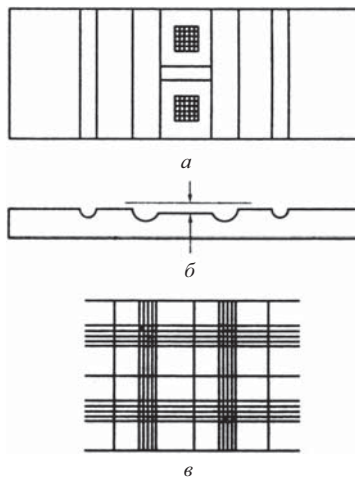


Рис. 5.1. Счетная камера Горяева:

$a$  – вид сверху;

$б$  – вид сбоку;

$в$  – вид сетки под микроскопом

необходимости  $40 \times 10$ . Просматривают не менее трех препаратов. Количество организмов  $N$ , экз./см<sup>3</sup>, определяют по формуле

$$N = \frac{Sd}{\pi r^2 V},$$

где  $S$  – площадь покровного стекла, мм<sup>2</sup>;  $d$  – среднее количество организмов в одном поле зрения, экз;  $\pi r^2$  – площадь поля зрения, мм<sup>2</sup> (радиус  $r$  поля зрения определяют по линейке объект-микрометра);  $V$  – объем капли, см<sup>3</sup>.

Наиболее точные результаты получают при подсчете организмов во всех полях зрения. В этом случае удобнее использовать меньший объем суспензии (например, 0,025 см<sup>3</sup>).

При подсчете крупных организмов (черви, водные клещи, личинки насекомых, тихоходки) объем жидкости увеличивают до 5–10 см<sup>3</sup>. Подсчет ведут в чашке Петри диаметром около 9 см с ровным дном, толщина слоя воды – 1,5 см. Учитывают все организмы в данном объеме, а затем делают пересчет на 1 см<sup>3</sup>.

**Подсчет организмов активного ила многоступенчатым методом откалиброванной капли О. Г. Никитиной.** Подсчет организмов осуществляется в три этапа.

*I этап.* На предметное стекло микропипеткой наносят откалиброванную каплю тщательно перемешанной иловой смеси объемом 0,01 см<sup>3</sup>. Препарат накрывают покровным стеклом размером 9×9 мм, полученным путем разрезания стандартного покровного стекла размером 18×18 мм на четыре равные части. Препарат укрепляют в препаратодержателе и просматривают все поля зрения при увеличении 10×10, перемещая его зигзагообразно, начиная от левого верхнего угла покровного стекла слева направо до конца, затем на одно поле зрения вниз и справа налево. Необходимо внимательно следить за тем, чтобы ни одно поле зрения не было пропущено.

*II этап.* На предметное стекло микропипеткой наносят откалиброванную каплю тщательно перемешанной иловой смеси объемом 0,1 см<sup>3</sup>. Препарат накрывают покровным стеклом размером 24×24 мм. Просматривают все поля зрения при увеличении 10×10. Подсчитывают только те организмы, которые не встречались на первом этапе.

*III этап.* Со дна сосуда пипеткой отбирают произвольное количество осевшего ила и помещают между двумя предметными стеклами

ми. Учитывают организмы, встречающиеся единично. Просматривают все поля зрения при увеличении  $10\times 10$ .

Для оперативного контроля можно ограничиться двумя первыми этапами.

По полученным данным можно рассчитать специфическую плотность организмов определенного вида  $P$ , тыс. экз./г, сухого вещества активного ила, по формуле

$$P = \frac{n}{aV},$$

где  $n$  – число организмов определенного вида, экз;  $a$  – доза ила, г/дм<sup>3</sup>;  $V$  – объем капли, см<sup>3</sup>.

Поскольку организмы сильно отличаются между собой по размерам, их содержание в активном иле часто приводят в пересчете на биомассу. Для этого вычисляют объем организмов, исходя из их размеров и приравнивая форму каждого организма к простейшему геометрическому телу. Плотность организмов принимают равной единице, получают биомассу в граммах. Для многих организмов данные по биомассе приведены в литературе.

#### **5.3.4. Оценка физиологического состояния организмов активного ила.**

При анализе физиологического состояния гидробионтов учитываются следующие показатели.

1. *Преобладающие группы* и виды организмов биоценоза. Надежными индикаторами состояния активного ила могут быть только организмы, встречающиеся в нем в значительных количествах.

2. *Степень упитанности* (хорошая, удовлетворительная, слабая). Важнейшим критерием упитанности служит интенсивность фагоцитоза, оцениваемая по количеству пищеварительных вакуолей. Другим критерием является степень прозрачности цитоплазмы.

3. *Состояние сократительных (пульсирующих) вакуолей*, выполняющих функцию осморегуляции. Обращают внимание на степень наполнения вакуолей и скорость их пульсации. При неблагоприятных условиях ритм пульсации замедляется, и осморегуляция нарушается. Размеры вакуолей характеризуют уровень кислорода в среде. Однако при длительном рассмотрении пробы под покровным стеклом наступает кислородное голодание, вследствие

чего пульсирующие вакуоли останавливают пульсацию, расширяются и деформируют тела организмов. Поэтому, наблюдая за живыми инфузориями, нужно достаточно часто заменять препарат свежей каплей иловой смеси.

4. *Форма тела.* Этот признак особенно изменчив у прикрепленных кругоресничных инфузорий. Отклонения от нормы могут быть вызваны различными факторами. При хорошей упитанности форма тела расширенная, почти округлая или бочонковидная, при слабой – происходит вытягивание организмов и расширение преддротовой области. При недостатке кислорода зооиды раздуваются вплоть до их разрыва. Токсические вещества вызывают возникновение различных уродств (вмятины, складки, асимметрия и т. д.).

5. *Состояние ресничного диска* у прикрепленных кругоресничных инфузорий (открыт, закрыт). Обычно он открыт и закрывается лишь при отклонении условий от нормы (избыточном количестве растворенной органики, наличии токсикантов).

6. *Интенсивность работы ресничного аппарата,* обеспечивающего питание и движение инфузорий (интенсивная, слабая, полная неподвижность). Движение ресничек зависит от многих факторов, в первую очередь от температуры и химического состава среды.

7. *Размеры организмов* (нормальные, укрупненные, мелкие). В основном этот показатель связан с условиями питания. Однако токсические вещества, попадающие на очистные сооружения с промышленными стоками, также вызывают измельчание организмов.

8. *Характер размножения* особенно наглядно проявляется на инфузориях. В основном им свойственно бесполое размножение, происходящее путем деления организма на две части. Однако время от времени в жизненный цикл включается половой процесс (конъюгация). Длина периода бесполого размножения у инфузорий варьирует в зависимости от жизненных условий. При обильном и разнообразном питании конъюгация задерживается, голодание и действие некоторых солей ускоряют ее наступление. Таким образом, наличие большого количества особей, размножающихся половым путем, указывает на сдвиг экологических условий в неблагоприятную сторону.

Для прикрепленных форм инфузорий отмечают также темп и количество образующихся «бродяжек».

9. *Наличие цист.* Инцистирование – важное биологическое приспособление большинства простейших, обеспечивающее их сохран-

ность в период наступления неблагоприятных для их существования естественных условий (постепенное снижение температуры, подсушивание, ухудшение питания). В процессе образования цист сбрасываются или втягиваются органеллы движения, животные округляются и образуют на своей поверхности плотную защитную оболочку. При возвращении благоприятных условий простейшие покидают цисты и вновь становятся активными.

10. *Наличие погибших животных.* Гибель может быть вызвана или очень быстрым и резким изменением жизненных факторов, при котором животные не успевают инцистироваться, или воздействием чуждых им реагентов (радиация, токсиканты и т. д.). Обычно картина массовой гибели гидробионтов наблюдается при мощных залповых сбросах отходов промышленных предприятий.

К анализу физиологического состояния организмов следует подходить творчески, не ограничиваясь указанными признаками. Так, например, могут появляться сезонные и покоящиеся формы организмов, может меняться способ их питания и т. д.

### 5.3.5. Определение размеров организмов

В ряде случаев для уточнения систематического положения или функциональных особенностей организмов активного ила необходимо определение их размеров. Измерение организмов производят с помощью окуляр-микрометра и объект-микрометра (рис. 5.2). Если организмы подвижны, используют один из методов фиксации.

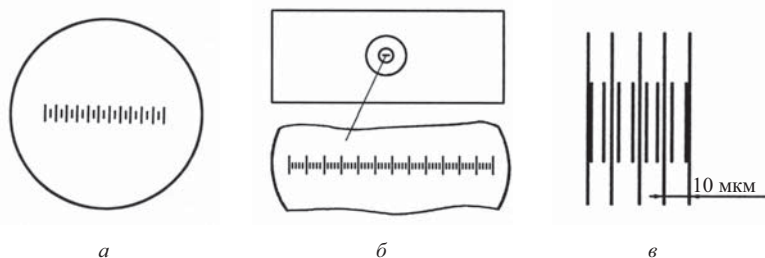


Рис. 5.2. Окуляр-микрометр (а), объект-микрометр (б), определение цены деления окуляр-микрометра (в)

**Окуляр-микрометр** представляет собой круглую стеклянную пластинку, в центре которой нанесены деления. Пластинку

вставляют в окуляр. Для этого вывинчивают глазную линзу окуляра, помещают на его диафрагму окуляр-микрометр делениями вниз и закручивают линзу. Чтобы с помощью окуляр-микрометра определить размер организма, предварительно определяют цену деления на его шкале. Для этого используют объект-микрометр.

**Объект-микрометр** – металлическая пластинка с отверстием в центре, в которое вставлено стекло с нанесенной на него линейкой. Цена одного деления линейки объект-микрометра составляет 10 мкм. Для определения цены деления окуляр-микрометра поступают следующим образом:

– помещают объект-микрометр на столик микроскопа. Фокусируют при малом увеличении, затем переводят револьвер на тот объектив, с помощью которого будет определяться величина организмов. Фокусируют деления линейки объект-микрометра;

– с помощью препаратоводителей поворачивают столик и предметное стекло таким образом, чтобы шкалы объект-микрометра и окуляр-микрометра были параллельны (для этого можно также поворачивать окуляр) и одна перекрывала другую;

– совмещают одно из делений шкалы окуляр-микрометра и объект-микрометра и находят следующее их совмещение;

– определяют цену деления окуляр-микрометра  $a$ , мкм, с помощью шкалы объект-микрометра с известной ценой деления (для данного увеличения микроскопа!) по формуле

$$a = \frac{n}{n_1} 10,$$

где  $n$  – число делений объект-микрометра;  $n_1$  – число делений окуляр-микрометра; 10 – цена одного деления объект-микрометра, мкм.

Далее помещают на столик микроскопа исследуемый препарат и определяют размер организмов, пользуясь шкалой окуляр-микрометра.

### **5.3.6. Классификация организмов активного ила по индикаторным группам**

Проводят распределение организмов, обнаруженных в исследованной пробе ила, на характерные группы биоиндикаторов. Основными критериями распределения служат пищевые потребности организ-



мов, а также их способность существовать в определенном диапазоне значений экологических факторов (температура, pH, концентрация растворенного кислорода, токсичных соединений и др.).

### 5.3.7. Определение типа биоценоза и его характерных особенностей

Включает итоговую оценку биоценоза, отнесение его к одному из определенных типов, характеристику установленного типа. При характеристике биоценоза уделяют внимание более многочисленным видам, отмечают массовое развитие, подавление или исчезновение из биоценоза того или иного вида-индикатора.

Рассчитывают также индексы видового разнообразия. Наиболее удобен для использования модифицированный индекс *Cuba*. В нем одновременно заложена информация как о количестве видов (целая часть индекса), так и об их численном распределении по видам (дробная часть).

Модифицированный индекс *Cuba* рассчитывают по формуле

$$D_m = n + Y_m,$$

где  $n$  – количество видов;  $Y_m$  – величина, связанная с распределением организмов по видам.

Для вычисления  $Y_m$  необходимо сначала определить величину  $Y$ :

$$Y = 1 - \frac{1}{2x} \sum_{i=1}^n \left| \frac{x}{n} - x_i \right|,$$

где  $x_i$  – количество организмов  $i$ -го вида;  $x = \sum_{i=1}^n x_i$  – общее количество во всех видах, присутствующих в биоценозе.

Величину  $Y_m$  рассчитывают по формуле

$$Y_m = \frac{1}{1 - \frac{1}{n}} \left( Y - \frac{1}{n} \right).$$

Диапазон возможного изменения индекса *Cuba*  $n < D_m < (n - 1)$ . Целая часть индекса  $[D_m]$  совпадает с количеством видов в биоценозе:

$$[D_m] = n.$$

Дробная часть  $\{D_m\}$  показывает равномерность распределения организмов по видам. Для модифицированного индекса *Cuba*  $\{D_m\}$  не зависит от количества видов и заключена в диапазоне

$$0 < \{D_m\} < 1.$$

Чем ближе  $\{D_m\}$  к нулю, тем больше численная неравномерность видов. Если  $\{D_m\}$  близко к единице (0,7–0,8), распределение организмов по видам равномерное.

### 5.3.8. Подготовка гидробиологического заключения

По результатам гидробиологического анализа составляют таблицу (табл. 5.4), в которой обнаруженные в активном иле организмы объединяют в индикаторные группы и анализируют их численность.

Таблица 5.4

Результаты гидробиологического анализа

Индикаторная группа, название организма	Количество организмов, экз./см <sup>3</sup> (экз./г)	
	Название точки отбора проб № 1	Название точки отбора проб № 2

Универсальных численных значений индикаторов, характерных для всех типов очистных сооружений, не существует. Каждая система биологической очистки по-своему уникальна и характеризуется собственным определенным соотношением различных видов биоиндикаторов для нормальных условий ведения процесса очистки и для условий его нарушения.

Результаты гидробиологического анализа могут не совпадать с гидрохимическими данными, так как гидробиологический анализ выявляет нарушения более оперативно. Так, при разрушении хлопьев и отдельных клеток организмов ила очистка некоторое время осуществляется за счет оказавшихся во внешней среде внутриклеточных ферментов, и качество очистки, регистрируемое химическими анализами, может сохраняться удовлетворительным. В то же время при гидробиологическом исследовании разрушение хлопьев и изменения в составе и физиологическом состоянии организмов биоценоза ила выявляются немедленно.

## 5.4. Краткий систематический обзор организмов активного ила

### 5.4.1. Простейшие (Protozoa)

Кроме бактерий, водорослей, грибов и актиномицетов в активном иле встречаются следующие типы и подтипы организмов: саркодовые (*Sarcodina*), жгутиковые (*Flagellata*), инфузории (*Ciliophora*), коловратки (*Rotifera*), первичнополостные (*Nematoda*) и вторичнополостные черви (*Oligochaeta*), водные клещи класса паукообразных (*Arachnida*), тихоходки (*Tardigrada*), брюхоресничные черви (*Gastrotricha*).

#### Тип Саркомастигофоры (*Sarcomastigophora*)

Одноклеточные животные, относящиеся к этому типу, имеют различные органоиды движения. Одни виды передвигаются только с помощью псевдоподий, другие – только с помощью жгутов. Ряд видов имеет и псевдоподии, и жгуты одновременно. Эти органоиды могут также сменять друг друга на разных фазах жизненного цикла. По этой причине жгутиконосцев и саркодовых объединяют в один тип.

В состав типа входят два подтипа: Жгутиконосцы (*Mastigophora*) и Саркодовые (*Sarcodina*).

**Подтип Жгутиконосцы (*Mastigophora*).** Основным признаком всех видов, входящих в состав подтипа, служит наличие органоидов движения – жгутов.

В подтипе выделяют два класса, представители которых различаются по строению клетки, течению жизненных циклов, характеру обмена веществ: Растительные жгутиконосцы – *Phytomastigophorea* и Животные жгутиконосцы – *Zoomastigophorea*.

Преобладающее большинство растительных и животных жгутиконосцев – одиночные формы, но выделяют и целый ряд колониальных видов (*Antophysa*, *Gonium*, *Eudorina*, *Volvox* и др.).

#### **Класс Растительные жгутиконосцы (*Phytomastigophorea*)**

Длина растительных жгутиконосцев варьирует от 3–5 до 400 мкм и более. Форма тела разнообразна: шаровидная, овальная, яйцевидная, палочковидная, листовидная и т. д. На поверхности тела могут быть разнообразные выросты и шипы.

Внешний покров тела у большинства видов представлен *пелликулой*, цитоплазма отчетливо разделена на *экто-* и *эндоплазму*.

На поверхности клетки многих жгутиконосцев может формироваться панцирь из клетчатки (*Dinoflagellida*), домик из клетчатки или хитиноидного вещества (род *Trachelomonas*), а у колониальных видов – слизистая капсула.

На переднем конце тела у многих видов жгутиконосцев находятся жгутики, длина которых изменяется в широких пределах у разных видов. При наличии двух жгутов один выполняет функцию движения и направлен вперед (*плавательный жгут*), второй – рулевую функцию и направлен назад (*рулевой жгут*).

Многие виды растительных жгутиконосцев имеют *стигму* (глазок) – органоид, воспринимающий свет. Стигма находится у основания жгута и представляет собой скопление красного пигмента – каротина.

В состав класса входят виды, имеющие *хлоропласты* и потому окрашенные в зеленый цвет и оттенки желтого, а также коричневого цветов, а также виды, лишенные хлоропластов, – бесцветные. Хлоропласты содержат зеленый пигмент хлорофилл и по строению сходны с хлоропластами растений. Форма, размеры и число хлоропластов в клетке неодинаковы у разных видов жгутиконосцев. Зеленые жгутиконосцы являются автотрофными организмами и на свету осуществляют процесс фотосинтеза. Однако целый ряд их видов, например эвглены, находясь в темноте, теряют хлоропласты и начинают питаться сапрофитно, готовыми органическими веществами, т. е. становятся гетеротрофными организмами. Некоторые виды эвглен обладают смешанным, или миксотрофным, типом обмена веществ и могут одновременно осуществлять процесс фотосинтеза и питаться сапрофитно.

*Бесцветные растительные жгутиконосцы* – гетеротрофные формы, питающиеся сапрофитно. Многие виды питаются бактериями. Некоторые виды (например, *Peranema*) – хищники, пищей им служат разнообразные мелкие виды простейших. Тип питания бактериофагов и хищников – фагоцитоз, и у многих из них есть ротовое отверстие, расположенное на переднем конце тела – *цитостом*.

В клетке растительных жгутиконосцев (чаще всего в переднем ее конце) имеются одна или несколько сократительных *вакуолей*, которые осуществляют осморегуляторную, а также выделительную функции. Резервуар сократительной вакуоли может быть сократимым или не способным сокращаться (пузула).

В цитоплазме растительных жгутиконосцев содержатся *запасные (резервные) вещества* – углеводы, откладывающиеся в форме зерен (крахмал, парамилон), и липиды в виде капель. Количество запасных веществ возрастает при обилии пищи.

*Ядро* у большинства видов одно, пузырьковидного типа. Расположено оно чаще в центре клетки, но может быть смещено к переднему или заднему концу тела. Ядро эвгленовых отличается крупным, центрально расположенным ядрышком.

Размножение у растительных жгутиконосцев в основном бесполое (агамное), осуществляется путем митотического деления клетки в продольном направлении на две одинаковые дочерние клетки. У колониальных видов дочерние особи не расходятся, а остаются связанными друг с другом. Для ряда видов известен и половой процесс.

Покоящиеся стадии – *цисты* – округлой или овальной формы, снаружи покрытые плотной оболочкой, на которой иногда образуются ребрышки, шипики и другие скульптурные образования. У зеленых видов цисты содержат хлоропласты и сохраняют зеленый цвет, а также стигму. Цисты формируются в жизненном цикле регулярно, особенно в неблагоприятных условиях: при низкой температуре окружающей среды и др. Например, некоторые виды (ряд эвглен) часто образуют цисты при содержании в сточной воде очистных сооружений токсических веществ.

Класс растительные жгутиконосцы включает в свой состав 10 отрядов. Виды, относящиеся к 5 отрядам, встречаются в системах очистных сооружений постоянно и представляют облигатную группу организмов, участвующих в биологической очистке воды, загрязненной бытовыми и промышленными стоками. В аэротенках станций аэрации в составе биоценозов активного ила распространены, главным образом, одиночные растительные жгутиконосцы.

***Особенности идентификации.*** Систематических признаков вида у жгутиконосцев не так много, и их определение связано со значительными трудностями.

Важными морфологическими признаками, которые следует учитывать при идентификации растительных жгутиконосцев, являются следующие:

- форма и размеры тела;
- число и длина жгутов, их расположение;
- наличие или отсутствие хлоропластов;

- наличие или отсутствие стигмы;
- форма и размеры ядра и его расположение в клетке;
- резервные вещества – крахмал и парамилон;
- характер внешнего покрова: пелликула, панцирь, домик (раковинка), слизистая капсула и др.

Для колониальных форм жгутиконосцев также учитывают:

- размеры, форму, число и характер соединения особей;
- характер развития колоний;
- тип размножения.

Многие растительные жгутиконосцы обладают очень мелкими размерами: например, есть виды, достигающие в длину 4–5 мкм. Определение вида таких мелких особей затруднительно, и потому прежде всего нужно установить группу, к которой они относятся, и род. Кроме того, каждый вид жгутиконосцев обладает ясно выраженным морфологическим полиморфизмом, т. е. включает в свой состав подвиды и формы, отличающиеся друг от друга по размерам тела, числу хлоропластов, длине жгута и т. д., что часто зависит от условий среды обитания. Это обстоятельство необходимо учитывать при определении видов.

**Индикаторное значение.** Иногда в аэротенках в теплое время года при хорошей очистке в массе развиваются зеленые эвгленовые *Euglena*, *Phacus*, *Trachelomonas*. Наиболее крупный представитель класса, хищник *Peranema trichophorum*, развивается в биоценозе аэротенков, работающих на полную биологическую очистку, в иле с хорошими нитрифицирующими свойствами.

Обладая способностью к фотосинтезу, зеленые жгутиконосцы благоприятно влияют на кислородный режим воды.

#### **Класс Животные жгутиконосцы (*Zoomastigophorea*)**

В класс *Zoomastigophorea* включены довольно разные по своему строению и, возможно, происхождению одноклеточные организмы, но всех их объединяет наличие жгутиков, отсутствие характерных для жгутиковых водорослей хлоропластов (бесцветные жгутиконосцы) и осмотрофный способ питания.

Размеры свободноживущих зоофлагеллат небольшие, в среднем от 5–10 до 20–30 (редко до 100) мкм. Среди них встречаются как одиночные, так и колониальные формы, свободноплавающие и прикрепленные, в домиках или без них.

**Особенности идентификации.** Основными признаками, используемыми при определении отрядов животных жгутиконосцев, служат:

- число жгутиков;
- наличие воротничка;
- наличие домика;
- форма тела;
- способность образовывать псевдоподии;
- особенности биологии.

В ряде случаев необходимо применение цитологических и электронно-микроскопических методик, способствующих выявлению характерных для таксона признаков, незаметных при обычном микроскопировании.

При определении таксонов более низкого ранга (семейства, роды, виды) кроме вышеперечисленных используют следующие признаки:

- колониальность;
- образ жизни (прикрепленные или планктонные формы);
- размеры тела и жгутиков, их положение;
- положение ядра и сократительных вакуолей;
- способ питания (по амебоидному типу или с помощью оформленного ротового отверстия, седиментация или активный поиск и захват пищи);
- характер поведения (движения).

**Индикаторное значение.** Большинство жгутиконосцев – виды с широкой экологической валентностью, способные развиваться при значительных изменениях параметров среды (температура, рН, солевой состав и т. п.). Представители отряда *Diplomonadida* предпочитают анаэробные условия, хотя для других зоофлагеллат кислород служит лимитирующим фактором развития.

Роль зоофлагеллат в процессах очистки воды многообразна, неоднозначна и определяется в первую очередь их трофическим статусом.

По способу питания выделяют различные группы зоофлагеллат, большинство из них – *бактериофаги*. Выедание бактерий ведет к уменьшению их числа, при этом интенсивный метаболизм оставшихся особей, находящихся в фазе физиологической молодости, благоприятствует очистке воды. Выедание патогенных бактерий тоже следует рассматривать как положительное влияние зоофлагеллат. Однако чрезмерное уменьшение числа бактерий при определенных условиях отрицательно сказывается на работе очистных сооружений. Таким образом, роль зоофлагеллат в очистных сооружениях примерно соответствует роли

инфузорий. *Сапротрофы* наряду с бактериями способны поедать неоформленное и усваивать растворенное органическое вещество. В этом случае они прямо участвуют в процессах самоочищения. *Щишники* поедают других зоофлагеллат.

Некоторые виды зоофлагеллат, в основном *седиментаторы*, интенсивно осаждают бактерии и формируют из них слизистые комки, что ведет к осветлению воды. Это способствует улучшению работы очистных сооружений.

В системе очистных сооружений распространены представители 5 отрядов зоофлагеллат: *Choanoflagellida*, *Bicosoecida*, *Rhizomastigida*, *Kinetoplastida* и *Diplomonadida*.

Осмотрофное питание, низкие энергетические процессы и высокая сапробиологическая валентность позволяют жгутиконосцам, также как и осмотрофным амебам, развиваться при высоких нагрузках или в пусковой период сооружений, в условиях низкого содержания кислорода в иловой смеси, в момент аварийных сбросов и перегрузок.

В воде с высоким содержанием органических веществ жгутиконосцы появляются вслед за бактериями. Однако осмотрофно питающиеся жгутиконосцы и амёбы имеют меньшую, чем у бактерий, удельную поверхность тела. Поэтому по эффективности и скорости потребления субстрата они уступают бактериям. Массовое развитие жгутиконосцев наблюдается в случае снижения численности бактериальных популяций.

Жгутиконосцы и амёбы, питающиеся фагоцитарно, в стабильных илах уступают инфузориям-бактериофагам, скорость потребления субстрата у которых выше. Однако в условиях, неблагоприятных для инфузорий, отмечают значительный рост их численности.

Таким образом, значительное увеличение численности жгутиконосцев и амёб в биоценозах активного ила может свидетельствовать о нарушениях технологического режима эксплуатации сооружений, вызывающих распад хлопьев ила (недостаток кислорода, залежи ила и т. п.).

Сами жгутиконосцы также служат пищей многим гидробионтам, например саркодовым, инфузориям, олигохетам, рачкам.

**Подтип Саркодовые (Sarcodina)** включает три класса: *Lobosea*, *Filosea* и *Heliozoa*. Класс *Lobosea* делится на два подкласса, представители обоих встречаются в очистных сооружениях – Голые амёбы (*Gymnamoebia*) и Раковинные корненожки (*Testacealobosia*). К раковинным корненожкам относятся также представители класса *Filosea*.



### **Класс Настоящие амёбы (*Lobosea*)**

**Подкласс Голье амёбы (*Gymnamoebia*).** Тело этих амёб голое, без раковинки, состоит из цитоплазмы, покрытой тонкой оболочкой. Они не обладают внутренним скелетом, способны менять форму в очень широких пределах. В теле амёб различают *эктоплазму* (гиалоплазму) и *эндоплазму* (гранулоплазму).

Характер движения амёб связан с формой тела и псевдоподий. Псевдоподии могут образовываться «взрывным» способом, при этом поток эндоплазмы устремляется к поверхности тела с силой, и медленным, если выпячивание происходит без «взрыва». Псевдоподии, образующиеся только за счет эктоплазмы, стекловидно-прозрачные. Движение амёб с уплотненной оболочкой (*Thecamoebae*) может осуществляться и без псевдоподий, путем перекачивания тела (подобно гусеничному трактору) (рис. 5.3).



Рис. 5.3. *Thecamoeba terricola*

Амёбы, передвигающиеся без образования боковых псевдоподий, – *моноподиальные формы*, образующие боковые псевдоподии, – *полиподиальные*. Моноподиальными являются амёбы группы «*limax*» (рис. 5.4).



Рис. 5.4. Амёбы группы «*limax*»

Псевдоподии бывают с широким основанием и тупым концом (лобоподии), вытянутые, нитевидные (филоподии), корневидно-разветвленные (ризоподии). Плавающие или планктонные формы мно-

гих амёб образуют радиальные псевдоподии, лучеобразно расходящиеся от тела во все стороны.

У многих амёб группы «*limax*» на конце тела округлое выпячивание – *уроид*. Он может соединяться с телом амёбы суженной «шейкой» или отделяться от тела только небольшой бороздкой. Чаще всего поверхность уроида покрыта буграми, шипиками или ворсинками.

*Ядро* амёб чаще всего пузыревидное, прозрачное, с одним центральным ядрышком. Строение ядра и картины его деления (митоза) имеют большое таксономическое значение.

*Цисты* амёб имеют внешнюю оболочку – *эктоцист* и внутреннюю – *эндоцист*. Часто наблюдается наружный желатинизированный слой, иногда – поры для выхода амёбы из цисты.

В цитоплазме амёб могут находиться симбиотические водоросли, кристаллические или иного вида гранулы и другие включения.

**Особенности идентификации.** Современная классификация голых амёб во многом отличается от существовавшей ранее. Исследования с применением современной ультрамикроскопической техники и подробное изучение циклов развития привели к уточнению систематики ряда видов, оказавшихся сборными группами (например, амёбы группы «*limax*») или стадиями развития других амёб.

При идентификации голых амёб важны следующие признаки:

- форма тела и псевдоподий;
- характер движения;
- наличие уроида и характер его поверхности;
- строение ядра и картины его деления;
- форма и строение цист;
- наличие и признаки жгутиковых стадий;
- наличие симбиотических водорослей, гранул и т. д. (признак непостоянен, используют его с осторожностью).

Определение видов амёб по подвижной амёбоидной стадии во многих случаях затруднено, а для наблюдения других стадий (жгутиковых, цист, митоза ядра) необходимо лабораторное культивирование.

**Индикаторное значение.** Индикаторное значение голых амёб определяется в основном их размером. Поэтому при проведении гидробиологического анализа активного ила их подразделяют на размерные группы – крупные (150–750 мкм) и мелкие (12–140 мкм),

не определяя до вида. *Мелкие голые амёбы* – показатели нарушения очистки, высокой нагрузки, неудовлетворительной аэрации, диспергирования хлопьев и высокого содержания в иловой смеси бактерий, не связанных с хлопьями активного ила. Так, при высокой нагрузке в активном иле развиваются многочисленные мелкие (100 мкм) амёбы группы «*limax*», устойчивые к действию неблагоприятных факторов. В аэротенках могут развиваться мелкие патогенные амёбы, особенно в летний период. *Крупные амёбы* – обычные обитатели нормально функционирующего ила (*Amoeba proteus*, 200–500 мкм).

*Подкласс Раковинные корненожки (Testacealobosia)*. В аэротенки раковинные корненожки попадают со сточной водой, особенно в период весенних и осенних паводков, из почвы и пресных водоемов (в основном из их прибрежной зоны и слоя ила), где широко распространены. В активном иле легко их идентифицировать. Раковинные корненожки – амёбоидные организмы, тело которых снаружи покрыто раковинкой разнообразной формы и строения.

Форма раковинки может быть дисковидной, шаровидной, яйцевидной, палочковидной и т. д. В зависимости от материала для построения раковинки бывают различных типов. Первые построены из частиц минерального или органического материала экзогенного происхождения (*ксеносом*): песчинок, частиц детрита, иногда обломков хитиновых панцирей коловраток, ракообразных, обломков или целых створок диатомовых водорослей и т. д. Частицы захватываются путем фагоцитоза и накапливаются в цитоплазме. При делении ксеносомы выходят на поверхность дочерней клетки, скрепляются органическим веществом и образуют раковинку. Раковинки второго типа построены из синтезированного самой клеткой чистого органического вещества (по-видимому, белка типа кератина). Они имеют гексагональную структуру, не всегда хорошо выраженную.

Цвет раковинки зависит от состава сточных вод. На поверхности раковинки могут быть выросты в форме шипов (с заходящей в них внутренней полостью) и игл, у которых внутренней полости нет.

Раковинка снабжена *устьем* – отверстием (обычно одним), из которого выходят псевдоподии. У неуплощенных раковинки с округлым или овальным поперечным сечением различают переднюю (устьевую), и заднюю, слепо замкнутую, части. У раковинки уплощенных различают брюшную поверхность, снабженную устьем, и противоположную ей спинную поверхность. Некоторые раковинки имеют вздутие в передней части – «kozyрек» или в задней части – «брюшко».

Устье может быть расположено в центре брюшной поверхности раковинки (*Arcella*, *Phryganella*) или эксцентрично (*Centropyxis*), непосредственно на поверхности раковинки (*Phryganella*) или в конце устьевой воронки, т. е. впячивания внутрь раковинки (*Arcella*, *Centropyxis*). Иногда устье скрыто нависающей над ним «губой» (*Plagiopyxis*).

Виды, обладающие устьем большого размера, диаметр которого равен или превышает диаметр раковинки, называются *эвристомными*. Виды же с маленьким устьем, диаметр которого меньше диаметра раковинки, получили название *микростомных*, а виды с узким, вытянутым устьем – *плагистомных*.

Края устья имеют различную форму – от округлой до лопастевидной и неправильной. У некоторых видов рода *Diffugia* устье окружено зубцами, образованными органическим веществом и ксеносомами.

Тело корненожек не занимает всей полости раковинки и соединяется с ее внутренней поверхностью особыми цитоплазматическими тяжами – эпиподиями.

Псевдоподии у корненожек родов *Arcella*, *Diffugia*, *Centropyxis* довольно широкие, закругленные на концах – *лобоподии*. В образовании лобоподий принимают участие экто- и эндоплазма, реже они полностью состоят из эктоплазмы. Особую форму лобоподий представляют ретикуллолобоподии, имеющие пальцевидную форму с заострениями на дистальных концах и образованные только за счет эктоплазмы. Ретикуллолобоподии часто ветвятся и анастомозируют друг с другом (роды *Phryganella*, *Cryptodiffugia*).

Цитоплазма отчетливо дифференцирована на экто- и эндоплазму. *Эктоплазма* – прозрачный гомогенный слой, хорошо видимый при формировании псевдоподий. *Эндоплазма* имеет гранулярную структуру, часто бывает вакуолизирована, и в ней располагаются *пищеварительные вакуоли* разных размеров и формы в зависимости от пищевых объектов. В клетке находятся также одна или несколько *сократительных вакуолей*. *Ядро* одно у большинства видов, но есть виды с двумя и большим числом ядер.

Размножение раковинных амёб – бинарное деление клетки внутри раковинки, протекающее путем митоза. Одна дочерняя особь остается в материнской раковинке, а вторая выходит через устье и здесь же строит себе новую раковинку, полностью подобную материнской. Обе дочерние особи соединены друг с другом в обла-

ти устья и расходятся только после того, как формирование новой раковинки будет закончено.

*Цисты*, которые представляют обязательную стадию жизненного цикла раковинных корненожек в природных условиях, в активном иле встречаются постоянно. Образование цист особенно интенсивно происходит при неблагоприятных условиях, например, при снижении температуры, при недостатке пищи, при попадании токсических веществ. Циста образуется в раковинке, при этом клетка становится округлой, окружает себя снаружи плотной оболочкой, а устье раковинки закрывается «пробкой» из слизистого вещества, которое в воде становится плотным.

Раковинные амёбы питаются бактериями, мелкими диатомовыми и другими водорослями, мелкими простейшими, например, жгутиконосцами рода *Monas* и их цистами, а также диффузно растворёнными в воде питательными веществами. В свою очередь раковинные амёбы могут служить пищей для более крупных обитателей активного ила – коловраток, олигохет, тихоходок.

**Особенности идентификации.** Для определения раковинных амёб важны признаки:

- форма, структура, материал раковинки;
- форма устья и его расположение;
- наличие, форма и размеры зубцов на краях устья.

**Индикаторное значение.** Раковинные корненожки в активном иле разделяют на две экологические группы. Парящие, или *планктонные (Gromia)*, имеют большую удельную поверхность, создаваемую длинными развитыми филлоподиями, при отстаивании иловой смеси оседают значительно медленнее основной иловой массы и долгое время остаются во взвешенном состоянии. Питаются они диспергированными бактериями, мелкими простейшими, поэтому в массе развиваются при нарушении процесса очистки и дефлокуляции хлопьев активного ила.

Остальные саркодовые объединены в группу *бентосных* (связанных с хлопьями ила).

Увеличение удельных нагрузок на активный ил по органическим веществам улучшает диффузное питание раковинных амёб и вызывает увеличение биомассы служащих для них пищей бактерий в хлопьях. Эти обстоятельства создают благоприятные условия для интенсивного размножения амёб и приводят к росту их численности.

### **Класс Филозеи (*Filosea*)**

Раковинные амебы класса имеют тонкие нитевидные гиалиновые псевдоподии (*филлоподии*), образованные только эктоплазмой.

Раковины строят из органического вещества, на поверхности которого правильными рядами расположены тонкие кремнеземные пластинки эндогенного происхождения – *идиосомы* (*Trineta*, *Euglypha* и др.). Форма раковинок разнообразна – овальная, яйцевидная, палочковидная и др. Устье одно, расположено терминально. Края устья гладкие либо окаймлены зубцами из органического вещества различной формы и размеров.

Строение и форма раковины специфичны для каждого вида и имеют основное значение в их определении.

Раковинка плотно прилегает к цитоплазме. Отчетливо различаются эктоплазма, образующая тонкий внешний гиалиновый слой, и эндоплазма сложного строения. Структура эндоплазмы обычно гранулярная, но в ряде случаев (*Trineta*, *Euglypha*) сильно вакуолизирована и в середине клетки имеется темный гранулярный слой, в котором сосредоточены пищеварительные вакуоли. Сократительная вакуоль обычно одна, но может быть несколько. Ядро пузырькового типа (одно или несколько) располагается в центре или в верхней части клетки.

Размножение путем бинарного деления клетки происходит внутри раковины. Одна из дочерних особей выходит наружу и строит новую раковину в области устья раковины материнской клетки.

Цисты формируются постоянно и располагаются внутри раковины.

**Индикаторное значение.** В активном иле встречаются постоянно. Предпочитают довольно чистую воду с небольшим содержанием органических веществ. При неблагоприятных условиях увеличивается количество цист, которых особенно много в аэротенках поздней осенью и зимой, а также при наличии в среде токсичных веществ.

### **Класс Солнечники (*Heliozoa*)**

Включает саркодовых с шарообразным телом, от которого отходят многочисленные тонкие, радиально расположенные *аксоподии* постоянной формы с тонкой эластичной осевой нитью (*аксонемой*) внутри. В активном иле наиболее часто встречается род *Actinophrys*. Солнечники являются хищниками, питаются жгутиковыми, коловратками, инфузориями.

**Индикаторное значение.** При разрушении хлопьев активного ила и, как следствие, массовом развитии мелких жгутиконосцев солнечники могут значительно увеличивать свою численность.

## Тип Инфузории (Ciliophora)

Инфузории попадают в очистные сооружения со сточной водой и составляют после бактерий наиболее многочисленную группу организмов активного ила. Это одноклеточные животные организмы, для которых характерны два отличительных признака – присутствие ресничек хотя бы на одной из стадий жизненного цикла и дуализм ядер.

Тело инфузорий состоит из цитоплазмы, в которой протекают все жизненные процессы. Снаружи оно покрыто более плотной оболочкой – *пелликулой*. Пелликула бывает гладкой, иногда ребристой, исчерченной, с различными шипами и выростами. В отдельных случаях тело может быть покрыто панцирем, или инфузории образуют домики (*lorica*), в которых могут укрываться.

Ресничный покров инфузорий называется *цилиатурой*. Соответственно положению на теле и назначению различают общую цилиатуру и ее разные участки – соматическую цилиатуру (ресничный покров на поверхности тела), околототовую, вестибулярную и т. д.

Реснички могут образовывать равномерный покров на теле инфузорий или располагаться только в определенных зонах, распределяться рядами по поверхности тела или группироваться в более сложные комплексы – мембраны, мембранеллы, цирры. *Мембраны* представляют слившиеся между собой реснички одного или двух соседних длинных рядов. В результате получается нечто вроде оборки, совершающей волнообразные движения (ундулирующая мембрана). *Мембранеллы* образуются слиянием ресничек коротких рядов и имеют вид тонкой пластинки, часто заостренной кверху. *Цирры* – пучки слившихся между собой ресничек 2–3 соседних рядов, имеют вид заостренных шипов. Мембраны и мембранеллы служат для улавливания пищевых частиц и направления их в ротовое отверстие. Цирры, так же, как и реснички, покрывающие тело, – в основном органоиды движения.

Дуализм ядерного аппарата инфузорий заключается в наличии у них двух типов ядер: макро- и микронуклеусов. *Макронуклеусы (Ma)* – крупные ядра, лежат обычно в центральной части тела инфузорий и управляют жизненными процессами. Форма их варьирует от округлых, эллипсоидных, до палочковидных, изогнутых, лентообразных и даже четковидных. Число макронуклеусов – один, редко два, как исключение, больше. *Микронуклеусы (Mi)* – мелкие ядра, активно участвуют в половом процессе, передавая наследственную информацию. Располагаются поблизости от макронуклеуса, в основном округлые. Их может быть один или несколько.

Питание осуществляется через ротовое отверстие (*цитостом*). Цитостом лежит на переднем, или верхнем (апикальном) конце тела или может быть смещен на брюшную (вентральную) сторону животного. Он может лежать непосредственно на поверхности тела или быть погруженным на дно предротовой впадины (*вестибулума*), которая отличается присутствием специализированной цилиатуры, состоящей из мембран и мембранелл. У двух групп инфузорий (*Peritricha* и *Spirotricha*) на апикальном конце тела имеется обширное околоротовое поле (*непистом*) – участок поверхности тела, окруженный широкой спиралью сильных мембранелл, в совокупности составляющих *адоральную зону мембранелл* (АЗМ). Задача всех ресничных образований пищеварительного аппарата (АЗМ и вестибулярной цилиатуры) – захват и направление пищи в цитостом.

Цитостом ведет в наиболее глубокий отдел пищеварительной системы – *глотку*. Она представляет собой воронку, на нижнем, свободном конце которой образуются пищеварительные вакуоли. В стенках глотки у многих групп низших инфузорий наблюдается развитие *трихит* – особых эктоплазматических «палочек». Назначение их неясно. Число пищеварительных вакуолей непостоянно и зависит от обилия пищи. Иногда они могут полностью заполнять цитоплазму, иногда совершенно отсутствуют.

В теле инфузорий одна, редко две, еще реже несколько *сократительных* (пульсирующих) *вакуолей*, участвующих в регулировании водного баланса, дыхания, выделения и осмотического давления. Располагаются они на строго определенных местах. Часто имеют подводящие каналы, всегда – короткий выводной проток, открывающийся наружу.

Форма и расположение всех вышеописанных структур имеют большое систематическое значение, по ним ведется определение групп и отдельных видов инфузорий.

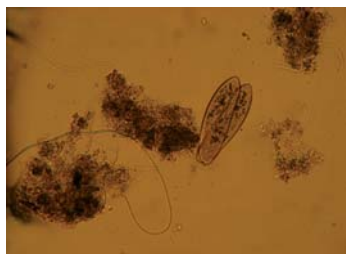


Рис. 5.5. Конъюгация у инфузорий рода *Paramecium*

Бесполое размножение инфузорий осуществляется делением надвое (поперечным, реже продольным). Половой процесс носит характер *конъюгации*, т. е. временного соединения двух особей для взаимного обмена частями ядерного аппарата (рис. 5.5).

Тип *Ciliophora* делится на два подтипа.

**Подтип Ресничные (Ciliata).** В течение всей жизни у представителей



подтипа сохраняется ресничный покров или его видоизменения (мембраны, мембранеллы, цирры). Постоянно присутствует цитостом, через который осуществляется питание. Пищей служат бактерии, мелкие жгутиконосцы и водоросли.

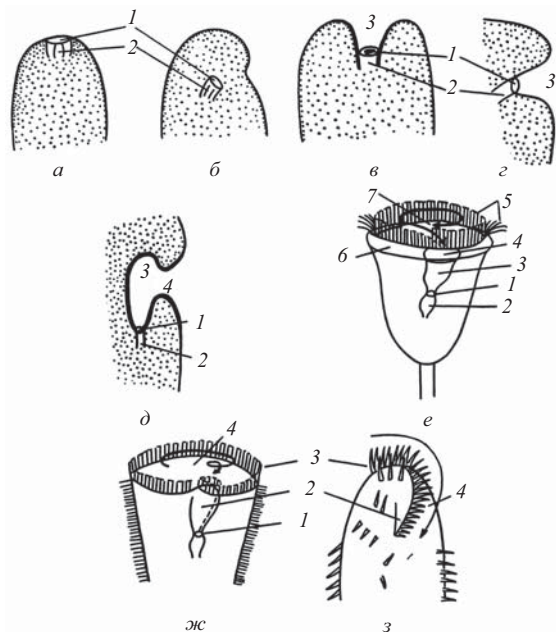


Рис. 5.6. Строение ротового аппарата инфузорий:  
*а, б* – *Kinetophragminophora*, подкл. *Gymnostomatia*;  
*в, г* – *Kinetophragminophora*, подкл. *Vestibulifera*;  
*1* – ротовое отверстие; *2* – глотка с трихитами; *3* – вестибулум;  
*д* – *Oligohymenophora*: *1* – ротовое отверстие; *2* – глотка;  
*3* – вестибулум; *4* – перистомальная впадина;  
*е* – *Peritricha*: *1* – ротовое отверстие; *2* – глотка;  
*3* – вестибулум; *4* – отверстие вестибулума;  
*5* – АЗМ; *6* – перистомальный валик; *7* – перистомальный диск;  
*ж* – *Polyhymenophora*, подкл. *Heterotrichida*;  
*з* – *Polyhymenophora*, подкл. *Hypotrichida*;  
*1* – ротовое отверстие; *2* – глотка; *3* – АЗМ; *4* – перистомальное поле

Подтип подразделяется на 4 класса, отличающиеся в основном строением ресничного аппарата, характером и расположением цитостома и ротовой цилиатуры.

1. **Класс *Kinetophragminophora*** объединяет наиболее примитивно устроенных инфузорий, с равномерным ресничным покровом, отсутствием дифференциации ресничек на соматические и околоротовые, поверхностным положением цитостома (рис. 5.6, *a–z*).

2. **Класс *Oligohymenophora*** имеет равномерную густую соматическую цилиатуру, ротовое отверстие погружено на дно глубокого вестибулума, который снабжен специальной вестибулярной цилиатурой, состоящей из мембраны на правой стороне и небольшого числа сложных органелл на левой стороне (рис. 5.6, *d*). Перистом развит не у всех представителей класса.

Преобладают свободноплавающие формы, питающиеся бактериями, мелкими жгутиковыми. Многие формы обитают в загрязненной воде. В активном иле встречаются представители двух отрядов – *Hymenostomatida* и *Scuticociliatida*.

3. **Класс *Peritricha***. В очистных сооружениях встречаются только прикрепленные перитрихи отряда *Sessilida*. В активном иле они являются ведущей группой по численности и видовому составу среди всех ресничных инфузорий, а часто и среди других организмов ила.

Пищей перитрихам служат свободные бактерии и мелкие жгутиковые, и их роль как седиментаторов, очищающих воду от бактерий, особенно болезнетворных, выше, чем у других групп ресничных инфузорий. Велико также их индикаторное значение, т. к. благодаря сравнительно крупным размерам и прикрепленному образу жизни они легко наблюдаемы.

Перитрихи имеют ряд особенностей в строении и поведении, связанных с прикрепленным образом жизни, что отличает их от других *Ciliata*.

Тело прикрепленных перитрих имеет чаще всего колоколовидную или чашевидную форму (рис. 5.6, *e*). Верхний (апикальный) полюс занят широким воронкообразным перистомом, окруженным АЗМ, которая составляет спираль, направленную к отверстию вестибулума против часовой стрелки. Зона мембранелл в вестибулуме переходит в специальную цилиатуру. Перистом сверху прикрыт, как крышечкой, перистомальным диском. АЗМ продолжается на краях перистомального диска.

Нижний (терминальный) полюс тела занят подошвой, обращенной к субстрату, на котором обитает животное. Подошва образует несократимый или сократимый (снабженный мионемой) стебель. *Мионема* представляет собой пучок сократимых волокон, спускающийся сквозь подошву из тела животного в стебель и проходящий по его центральной части (рис. 5.7).

Стебель может быть прямой (у одиночных перитрих) или ветвящийся (у колониальных). Колонии чаще всего обладают древовидной

формой. Строение стебля имеет очень большое значение в экологии и систематике перитрих.

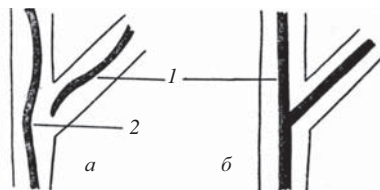


Рис. 5.7. Схема строения стеблей колониальных перитрих:  
*а* – род *Carchesium*; *б* – род *Zoothamnium*:  
 1 – мионема; 2 – разрыв между мионемами

Ресничный аппарат у взрослых особей ограничивается только АЗМ. На теле ресничный покров редуцирован полностью. Однако у подвижной стадии, которая служит для расселения («бродяжки»), временно возникает двигательный венчик ресничек.

Ядерный аппарат состоит из вытянутого, часто изогнутого или извитого *Ma* и одного небольшого *Mi*. Пульсирующих вакуолей одна, редко две, лежат всегда в верхней половине тела.

Бесполое размножение перитрих осуществляется продольным делением надвое, в то время как остальные инфузории делятся поперечно. При этом у одиночных форм одна из двух образующихся особей остается на старом стебле, вторая же превращается в «бродяжку» (рис. 5.8). Отыскав подходящий субстрат, «бродяжка» оседает на нем своей подошвой, сбрасывает двигательные реснички и формирует стебель.

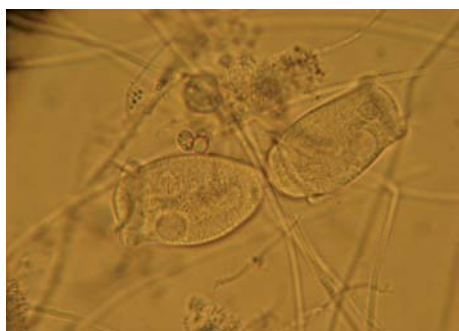


Рис. 5.8. Формирование «бродяжек» (на фото справа) у инфузорий рода *Vorticella*

У колониальных форм образовавшиеся при бесполом размножении особи не теряют связи друг с другом. Стебель, на котором они укреплены, ветвится, и они оказываются сидящими на концах ветвей древовидной колонии. Некоторые перитрихи образуют прозрачный домик (*lorica*), имеющий форму бокала.

Половое размножение перитрих отличается от обычной конъюгации всех остальных инфузорий. У них имеется половая дифференцировка на макро- и микроконъюгантов. *Макроконъюгант* по внешнему виду не отличается от обычной прикрепленной особи, *микроконъюгант* – очень мелкая половая «бродяжка», плавающая и активно отыскивающая макроконъюганта (рис. 5.9, а, б). После соединения конъюгирующих особей микроконъюгант целиком сливается с макроконъюгантом и образуется единый организм, тогда как у остальных инфузорий конъюгирующие особи расходятся. Таким образом, часто, особенно в весеннее и летнее время, на колониях перитрих можно наблюдать зооиды разной величины (макро- и микрозооиды), а на теле прикрепленных инфузорий – микроконъюгантов в момент конъюгации, похожих на наросты в форме бородавок.

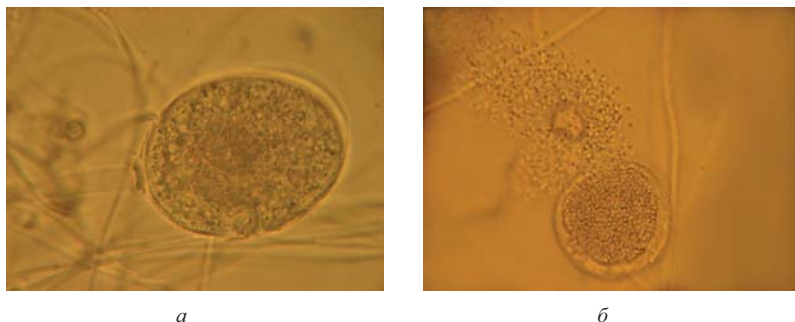


Рис. 5.9. Формирование микроконъюгантов (а) и их выход из зооида (б) у инфузорий рода *Epistylis*

4. *Класс Polyhymenophora* также имеет сложную АЗМ, а на поверхности тела или сохраняется равномерный ресничный покров, или образуются цирры, собранные в группы (рис. 5.6, ж, з). Представители подкласса *Spirotrichida* обладают мощно развитой АЗМ, часто продолжающейся на поверхность тела. АЗМ по часовой стрелке спускается к отверстию вестибулума. Вестибулярная полость хорошо раз-

вита, имеет свою цилиатуру. Ресничный покров или полный, или редуцирован и превращен в цирры. Формы очень активные, плавающие, ползающие или бегающие. Многие не избегают загрязненных вод.

**Подтип Сосущие (Suctorio).** Во взрослом состоянии суктории не имеют никаких ресничек или других двигательных аппаратов, реснички присутствуют только у молодых или эмбриональных форм (почек), способных к активному плаванию. Они опадают, когда эмбрион садится и начинает формировать стебель. Цитостом полностью отсутствует даже на эмбриональной стадии, хотя эти инфузории – типичные хищники. Пищей служат другие цилиаты, которые улавливаются при помощи специальных ловчих щупалец, разбросанных поодиночке или пучками по поверхности тела инфузории. Концы щупалец (часто булавовидно утолщенные) выделяют вещества, парализующие и убивающие добычу, а затем инфузория высасывает ее. Бесполое размножение происходит по типу почкования, почки образуются внутри или на поверхности тела, их может быть одна или несколько. Некоторые виды имеют домики.

Систематика внутри отряда разработана слабо и основана на типах почкования, принадлежность к тому или иному подотряду часто может быть определена только наблюдением за циклом развития. Границы семейств и родов очерчены нечетко.

В активном иле встречается несколько родов, обычно в небольшом количестве.

**Индикаторное значение.** Многие инфузории приспособлены к жизни в определенных зонах сапробности, и по их присутствию в очистных сооружениях можно судить о ходе и качестве очистки воды. С другой стороны, инфузории постоянно присутствуют в иле, они обычно многочисленны, хорошо различимы под микроскопом, быстро и чутко реагируют на изменения внешних условий. Поэтому наблюдение за их состоянием, поведением и происходящими с ними изменениями помогает быстро и легко заметить нарушения в технологическом режиме работы очистных сооружений или поступление токсических веществ со сточной водой. Вследствие этого знание видового состава и особенностей биологии инфузорий является непременным условием качественного проведения гидробиологического анализа при очистке воды.

Индикаторное значение инфузорий определяется их способом питания и ассоциацией с хлопками активного ила. В активном иле с мелкими диспергированными хлопками при недостаточном

перемешивании и циркуляции иловой смеси преобладают крупные свободноплавающие инфузории, питающиеся свободноживущими бактериями (роды *Chilodonella*, *Amphileptus*, *Tetrahymena*, *Paramecium*). Эти инфузории устойчивы к повышенной мутности среды, недостатку кислорода и повышенным нагрузкам по органическим веществам на активный ил.

В процессе формирования хлопков начинают преобладать хищные свободноплавающие инфузории, а также брюхоресничные (роды *Aspidisca*, *Euplotes*), использующие поверхность хлопков в качестве опоры для передвижения.

Появление прикрепленных кругоресничных инфузорий связывают с завершением процесса формирования хлопков. Эти организмы завершают процесс очистки воды и выполняют функции фильтраторов, потребляя не связанных с хлопками бактерий, что способствует осветлению воды.

Многие индивидуальные виды перитрих являются индикаторами принципиально различных состояний процесса очистки.

Физиологическое состояние ресничных инфузорий также имеет большое значение.

Колебания нагрузки на активный ил по органическим загрязняющим веществам приводят к морфологическим и физиологическим изменениям у прикрепленных инфузорий. С возрастанием нагрузки форма тела от вытянутой изменяется в бочкообразную и до округлой, возрастает число пищеварительных вакуолей, сужается перистом (рис. 5.10, *а*). При воздействии токсичных сточных вод зооиды отрываются от стеблей (рис. 5.10, *б*), измельчаются, ресничный диск закрывается.

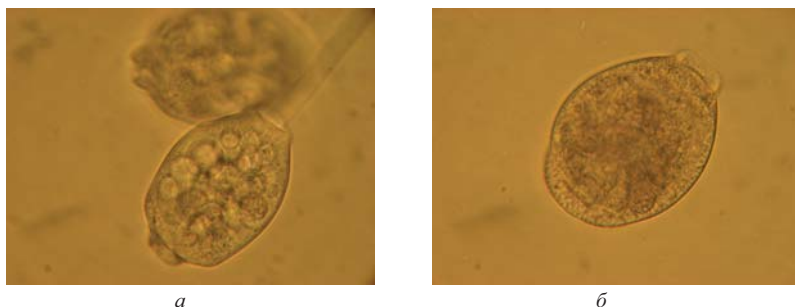


Рис. 5.10. Изменение морфологии перитрих при возрастании нагрузки по органическим веществам (*а*) и действии токсикантов (*б*) у кругоресничных инфузорий

Образование инфузориями цист и переход в состояние анабиоза указывает на неблагоприятные для жизнедеятельности условия. Цисты в основном шаровидные (рис. 5.11), хотя могут иметь и другую форму. Многие инфузории выдерживают полное высыхание с сохранением жизнеспособности в течение нескольких лет.

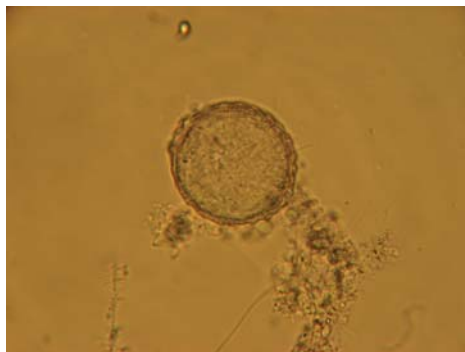


Рис. 5.11. Формирование цисты у инфузорий рода *Vorticella*

Прикрепленные инфузории в случае ухудшения аэробных условий или при наступлении других неблагоприятных факторов переходят в плавающее состояние. Для этого они отбрасывают ножку и образуют нижний венчик ресничек.

#### **5.4.2. Многоклеточные беспозвоночные активного ила (Metazoa)**

##### **Тип Немательминты (Nemathelminthes)**

##### **Класс Коловратки (*Rotifera*)**

*Коловратки* – многоклеточные организмы, первичнополостные черви. Длина тела коловраток варьирует от 40 до 2500 (чаще 100–300) мкм. Тело подразделено обычно на 3 отдела: головной, туловищный и ножной. Форма тела коловраток разнообразна, что связано с их образом жизни и способом передвижения. Головной отдел при отсутствии движения может втягиваться внутрь туловища. На терминальной части головы расправленной коловратки или на ее брюшной стороне находится *корона*, на основании строения которой выделяют крупные таксоны (отряды, семейства). Краевой венчик ресничек короны выполняет в основном функцию движения и одновременно

создает струи с пищевыми частицами, которые подхватываются ресничками прилежащих ресничных полей и выростов и проводят пищу ко рту. *Мастакс* (глотка), как правило, помещается в головном отделе и представляет собой мускулистый мешок с содержащимися внутри скелетными частями челюстей (рис. 5.12). Для каждого способа питания характерны определенные типы короны и мастакса. На голове могут находиться *хоботок*, *спинной выступ* с чувствительным щупальцем, через прозрачные покровы просвечивать *глазные пятна* (пятно) или *ретроцеребральный мешок* с темным содержимым (рис. 5.13).

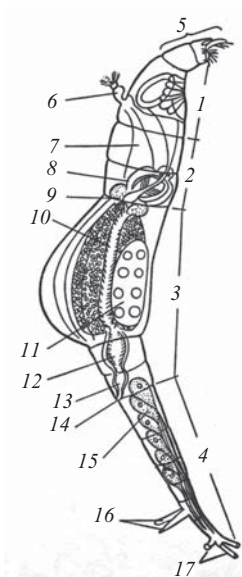


Рис. 5.12. Общее строение коловратки отряда *Bdelloidea*:

- 1 – голова; 2 – шея; 3 – туловище; 4 – нога; 5 – хоботок;  
 6 – спинное щупальце; 7 – мозг; 8 – мастакс; 9 – пищеварительные железы;  
 10 – трубка пищеварительного канала; 11 – гонада; 12 – задняя кишка; 13 – клоака;  
 14 – анальное отверстие; 15 – ножные железы; 16 – шпоры; 17 – пальцы ноги

Туловище коловраток часто уплощенное и может быть покрыто ригидным *панцирем*. Поверхность панциря гладкая с различными выростами или скульптурой в виде зерен, точек, бугорков и др. Большая группа коловраток (*Bdelloidea*) имеет тело червеобразной формы и передвигается пиявкообразно. Сидячие коловратки прикрепляются



ногой к субстрату, и их удлиненное тело нередко окружено *домиком*. Большинство видов коловраток снабжено мягкими покровами так, что при умерщвлении они сжимаются в комок.

*Нога*, если имеется, может быть червеобразной или членистой, длинной или короткой. Она обычно имеет ножные железы и 1–2 пальца, у *Bdelloida* пальцев может быть и 3–4. У прикрепляющихся к субстрату коловраток на конце ноги нередко развивается прикрепительная пластинка.

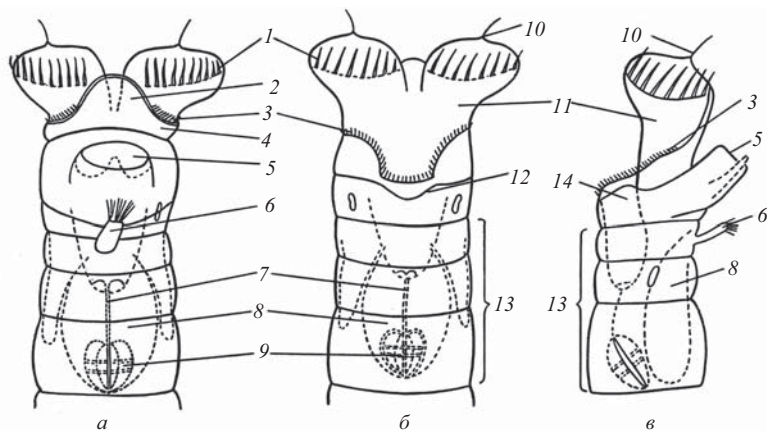


Рис. 5.13. Коловращательный аппарат отряда *Bdelloida* типа *Philodina*:

*a* – вид со спины; *б* – вид с брюшной стороны; *в* – вид сбоку:

- 1 – трокус; 2 – верхняя губа; 3 – цингулум;
- 4 – валик цингулума; 5 – хоботок; 6 – спинное щупальце;
- 7 – глоточная трубка; 8 – мозг; 9 – мастакс;
- 10 – щетинка папиллы; 11 – столбик лопастей короны;
- 12 – нижняя губа; 13 – шейный отдел; 14 – рот

Через покровы туловищного отдела коловраток видны внутренние органы. Пищеварительная система включает ротовую трубку, рот, глотку (мастакс), пищевод, желудочные железы, желудок, кишечник, для большинства форм клоаку и анальное отверстие. Выделительная система состоит из пары протонефридиев с мерцательными клетками, впадающих в мочевой пузырь. Нервная система хорошо дифференцирована, часто можно различить головной ганглий, глазные пятна, спинной и парные боковые туловищные чувствительные щупальца. Половая система самок имеет яичник, желточник и выводящие пути.

Самцы известны не у всех видов, они значительно меньших размеров, чем самки, имеют сильно редуцированные органы и обычно лишены пищеварительной системы.

Для большинства коловраток характерна гетерогония: чередование полового и бесполого размножения, для *Bdelloida* – только партеногенез. При хорошем питании и нормальных физико-химических условиях размножение происходит партеногенетически, с ухудшением условий самки откладывают яйца, из которых выводятся не только самки, но и самцы (часто карликовые). После спаривания самок с самцами откладываются уже покоящиеся яйца, способные переносить самые неблагоприятные условия (рис. 5.14).

В неблагоприятных условиях коловратки могут впасть в анабиоз, не индустрируясь, а просто сморщиваясь и высыхая. В высохшем состоянии они сохраняют жизнеспособность многие годы при значительных колебаниях температуры.

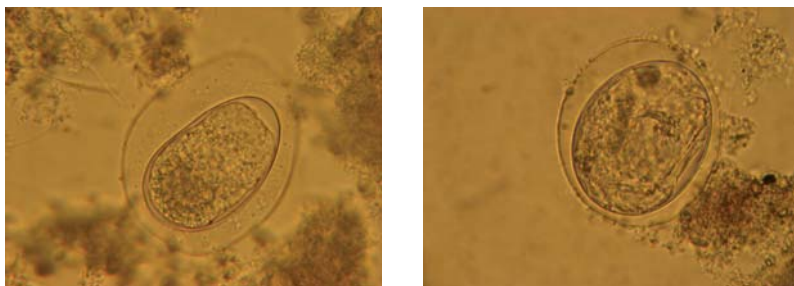


Рис. 5.14. Яйца коловраток в активном иле

**Особенности идентификации.** Трудности распознавания коловраток, в особенности до вида, состоят, с одной стороны, в огромном многообразии форм тела коловраток, что требует специфического подхода почти к каждому роду, с другой – в сильной деформации беспанцирных коловраток, сжимающихся при умерщвлении в бесформенный комок.

Для идентификации важны следующие признаки:

- наличие твердых покровов тела;
- форма и размер панциря, наличие на нем шипов;
- характер соединения спинной и брюшной пластинок панциря;
- строение головы;

- тип коловращательного аппарата;
- тип мастакса;
- наличие глазных пятен;
- наличие, размер и строение ноги;
- количество и размер пальцев и шпор ноги;
- характер движения;
- характер размножения.

Панцирных коловраток определяют до вида по строению твердых частей тела.

Беспанцирные коловратки доступны для определения обычно только в живом виде. При их определении даже до рода необходимо установить тип челюстного аппарата мастакса. С этой целью части челюстного аппарата выделяют из мастакса, растворяя его мышечные ткани жавелевой водой (10%-ный КОН, насыщенный хлором). После того, как животное помещается под покрывное стекло в небольшой капле воды или раствора формальдегида, под край стекла с большой осторожностью добавляется по капле жавелевая вода, так как при очень быстром растворении мастакса отдельные мелкие части челюстей быстро «уплывают» из поля зрения.

**Индикаторное значение.** В аэротенках обнаруживается около 90 видов коловраток. Их видовой состав и численность зависят от правильного хода процесса очистки стоков. Многие из коловраток мало устойчивы к определенным условиям среды и могут служить индикаторами солености, кислотности, сапробности и т. д.

Питанием для большинства коловраток служат бактерии и частицы детрита. В очистке стоков наибольшее значение имеют микрофаги отряда *Bdelloida*. Эти коловратки более устойчивы к изменениям условий среды и при обилии пищи хорошо сосуществуют с сидячими *Ciliata*, а иногда даже превосходят их в численности из-за некоторого преимущества в добыче пищи, поскольку они передвигаются. Некоторые коловратки являются хищниками, которые нападают на других коловраток и инфузорий (*Eosphora*, *Cephalodella*).

Большинство коловраток чувствительны к содержанию растворенного в воде кислорода и в большей степени развиваются на последних стадиях очистки сточных вод при низких значениях БПК<sub>5</sub>.

Замечено, что определенный набор видов коловраток специфичен для каждой ступени очистки воды и может служить биоиндикатором эффективности работы аэротенка.

Коловратки, малоприхотливые к содержанию кислорода, обычно более устойчивы и к влиянию ряда других факторов: кислотности, мутности, содержанию сероводорода, метана и т. д. Большинство коловраток обитает при pH ниже 7. Это в основном представители родов *Lecane*, *Lepadella*, *Cephalodella*, *Dicranophorus* и *Trichocerca*.

Основной состав коловраток в различных аэротенках сравнительно однообразен и постоянен. К типичным представителям фауны аэротенков относятся виды *Lecane* (*closterocerca*, *bullae*, *tenuiseta*, *inermis*, *decipiens*, *pyriformis*), *Colurella* (*uncinata*, *obtusae*, *colurus*), *Lepadella* (*patella*, *ovalis*, *acuminata*), *Cephalodella* (*gibba*, *gracilis*), *Philodina roseola*, *Rotaria* (*rotatoria*, *tardigrada*), *Encentrum putorius* и некоторые др.

Ухудшение условий работы аэротенков вызывает появление *Callidina* и *Rotaria neptunia*. Представители родов *Lecane*, *Lepadella*, *Cephalodella*, *Colurella* характеризуют работу аэротенков с низкими нагрузками, продленную аэрацию, полное окисление органических веществ.

При нормальной и стабилизированной работе аэротенков видовой и количественный состав коловраток мало подвержен влиянию атмосферных условий. Однако в летнее время нередко наблюдается возрастание как их видовой разнообразия, так и численности.

При сопоставлении видовой состава коловраток различных аэротенков можно установить заметные различия в динамике его качественного и количественного развития, зависящие от специфики технологического процесса каждого очистного сооружения.

#### **Класс Нематоды (*Nematodes*)**

В активном иле из первичнополостных червей встречаются круглые черви – нематоды (*Nematoda*).

Размеры свободноживущих нематод колеблются от 0,5 до 3 мм, форма тела вытянутая, с зауженными концами. Тело нематоды (рис. 5.15) покрыто плотной кутикулой, сбрасываемой во время линек личинки, вплоть до достижения половой зрелости. Внутренние органы представлены ротовой полостью, пищеводом, кишечником, гонадами и небольшим числом желез.

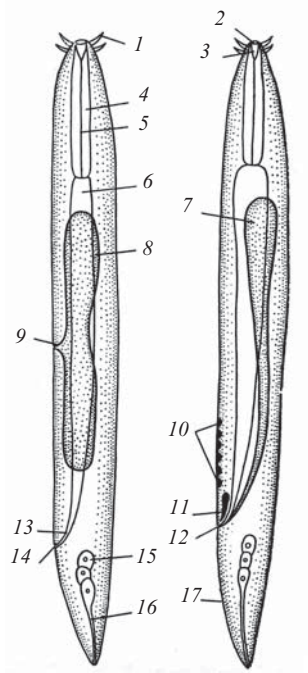


Рис. 5.15. Схема строения нематоды:

- 1 – головные щетинки; 2 – ротовое отверстие; 3 – стома; 4 – пищевод;  
 5 – просвет пищевода; 6 – кишка; 7 – семенник; 8 – яичник; 9 – вульва;  
 10 – супплементы; 11 – спикулы; 12 – клоака; 13 – ректум; 14 – анус;  
 15 – терминальные железы; 16 – проток терминальных желез; 17 – хвост

Нематоды лишены поперечной мускулатуры и двигаются, изгибая тело, но не меняя своей толщины, чем отличаются от других червей.

**Особенности идентификации.** При определении нематод наиболее важное значение имеет:

- строение головного конца: форма *стомы* и наличие в ней зубов, количество и длина головных щетинок, окружающих ротовое отверстие, а также положение и строение органа химического чувства – *амфида*, к сожалению, как правило, плохо различимого;

- положение *вульвы* у самок и длину *шикул* (совокупительный орган) у самцов, а также строение дополнительных внешних половых органов самцов – *супплементов* или *бурсы*;

– точное измерение частей тела и расчет их пропорций (длина тела, отношение длины к наибольшей ширине тела, отношение длины тела к длине пищевода, отношение длины тела к длине хвоста, положение вульвы относительно длины тела, выраженное в процентах).

**Индикаторное значение.** Нематоды обладают чрезвычайной эврибиотностью и способны обитать в самых разных биотических и абиотических условиях. В биоценоз активного ила может входить несколько видов нематод, которые в незначительных количествах развиваются в хорошо работающем иле. Наиболее часто в аэротенках встречаются три вида нематод – *Tobrilus helveticus*, *Rhabditis terricola*, *Paroigolaimella bernensis*.

Нематоды пропускают часть иловой массы через свой кишечник. Хлопья от пищеварительной деятельности нематод хорошо минерализуются, укрупняются, и в то же время разрыхляются.

Увеличение числа сапробиотических нематод указывает на повышение органического загрязнения, что делает нематод хорошими индикаторами качества воды. Заметное количество может указывать на залеживание, плохое перемешивание ила, недостаточную аэрацию, поскольку нематоды предпочитают застойные зоны.

#### **Тип Брюхоресничные (Gastrotricha)**

В активном иле обнаруживаются брюхоресничные черви, в основном принадлежащие к роду *Chaetonotus* (рис. 5.16, а).

Форма тела гастротрих различна, наиболее характерна несколько уплощенная червеобразная или бутылеvidная с расширенной головной частью, затем следует более узкая часть и широкое «туловище». Длина тела может быть от 60 до 600 мкм, но обычно не превышает 200 мкм. На брюшной стороне расположены органы движения – *реснички*. Кутикула у большей части видов покрыта разнообразными чешуйками, которые могут быть гладкими или иметь ребра и шипы. На заднем конце большинство видов имеет *хвостовую вилочку* с прикрепительными трубочками. Внутреннее строение гастротрих соответствует общему плану строения первичнополостных. Пищеварительная система состоит из ротового отверстия, расположенного вентрально, глотки, средней кишки, ректума и ануса, открывающегося дорсально. Половая система гермафродитная. Развивается одно очень крупное яйцо (рис. 5.16, б). Выделительная система протонефридиальная.

Питаются гастротрихи бактериями, протистами и детритом. Пищу загоняют в ротовое отверстие с помощью ротовых ресничек или засасывая глоткой, работающей как насос.



а



б

Рис. 5.16. *Chaetonotus* sp. в активном иле: а – взрослая особь; б – яйцо

**Индикаторное значение.** Встречаются в активном иле в основном при продленной аэрации, хотя могут обитать и в обычных аэротенках-вытеснителях. Так, *Chaetonotus maximus* – биоиндикатор недогруженных илов, высокой минерализации, глубокой очистки.

#### Тип Кольчатые черви (Annelida)

##### Класс Малощетинковые черви (*Oligochaeta*)

Малощетинковые черви имеют длину от десятых долей миллиметра до 200–300 мм. Тело сильно вытянутое (отношение ширины к длине 1 : 60–1 : 800), состоит из определенного количества сегментов, у одних видов их может быть 5–7, у других до 200 и больше (рис. 5.17). Внешне сегменты отделены друг от друга межсегментными бороздками, которые различимы на поверхности тела червя. Внутренне они отделяются поперечными неполными перегородками, которые разделяют внутреннюю полость тела животного и, как правило, соответствуют межсегментным бороздкам.

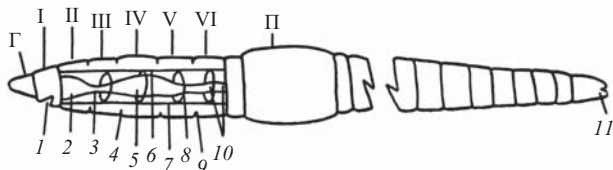


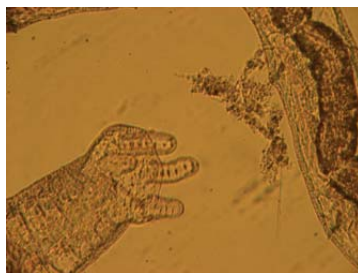
Рис. 5.17. Схема строения олигохет:

- Г – головная (предротовая) лопасть; II – поясок; I–VI – сегменты;
- 1 – ротовое отверстие; 2 – глотка; 3 – пищевод; 4 – межсегментная бороздка;
- 5 – желудочное расширение; 6 – спинной кровеносный сосуд;
- 7 – брюшной кровеносный сосуд; 8 – кольцевой кровеносный сосуд;
- 9 – диссепимент; 10 – начало пищеварительной части кишечника; 11 – анус

Перед первым сегментом тела находится головная (предротовая) лопасть. Обычно она округлая или заостренная. По бокам головной лопасти у немногих видов имеются глаза в виде двух темных пигментных пятен. Задний конец червя в виде конуса, на усеченной вершине которого расположено анальное отверстие. Нумерация сегментов дается от переднего конца тела червя к заднему. Все сегменты тела, кроме первого (на котором открывается ротовое отверстие), несут щетинки, образующие, как правило, на каждом сегменте четыре пучка – два спинных и два брюшных (рис. 5.18, *a*). В одном пучке может быть от двух до нескольких десятков щетинок. Главная функция щетинок – локомоторная. При движении червя они часто выпадают и ломаются, что необходимо учитывать при определении.



*a*



*б*

Рис. 5.18. Малощетинковый червь:  
*a* – расположение щетинок; *б* – жаберный аппарат

Наружные покровы червя образованы однослойным эпителием и кожно-мышечным мешком, состоящим из двух слоев гладкой мускулатуры. В некоторых случаях покровы содержат также эпидермальные тельца, рассеянные по всей поверхности тела и окрашенные в яркие цвета дыхательными пигментами. Покровы тела у большинства видов прозрачны, что позволяет рассмотреть их внутреннее строение.

Пищеварительный канал у олигохет представлен мускулистой трубкой, проходящей через все тело животного. Он начинается на брюшной стороне первого сегмента ротовым отверстием, которое ведет в мускулистую глотку. За ней следует узкий пищевод, сразу или постепенно переходящий в желудочное расширение. В нескольких последних сегментах расположен концевой отдел кишечника, открывающийся на последнем сегменте анальным отверстием.



Кровеносная система у олигохет замкнутая.

Дыхание кожное, но у ряда видов имеется жаберный аппарат, состоящий из нескольких пар пальцевидных выростов, лежащих на жаберном ложе – расширении тела за анальным отверстием (рис. 5.18, б), которые покрыты ресничным эпителием (жабры).

Выделительные органы – нефридии.

Центральная нервная система у олигохет представлена брюшной нервной цепочкой и парными надглоточными ганглиями.

Половая система гермафродитная. Некоторым представителям свойственно бесполое (агамное) размножение по типу паратомии, при котором путем поперечного деления образуются цепочки особей, поочередно отделяющихся от материнского организма.

**Особенности идентификации.** При небольшом количестве видов и возможности проводить определения на живом материале определительные таблицы и описания основаны на наиболее характерных видимых внешних и внутренних признаках того или иного вида.

При определении олигохет рекомендуется обращать внимание на основные признаки, знание которых позволяет значительно сокращать время повторных определений:

- форма тела;
- окраска;
- поведение животного.

Важными систематическими признаками являются также:

- строение жаберного аппарата;
- форма, количество и размеры щетинок, составляющих пучок.

**Индикаторное значение.** В системе биоценоза активного ила, основываясь на трофических связях, можно разделить животных данного класса на две группы.

Представители первой питаются активным илом, объедая его с поверхности хлопьев и заглатывая вместе с ним мелких малоподвижных простейших (например, раковинных амёб рода *Centropyxis*). Пищей им служит детрит растительного и животного происхождения, бактерии. Таким образом, большинство видов олигохет участвуют в минерализации ила.

Вторая группа объединяет хорошо плавающих олигохет с хищным типом питания, представителей рода *Chaetogaster*.

## Тип Членистоногие (Arthropoda)

### Класс Паукообразные (Arachnida)

Класс относится к подтипу Хелицеровые (*Chelicerata*). В активном иле класс представлен изредка встречающимися *водными клещами* (рис. 5.19). Тело клеща не расчленено, как у насекомых, а представляет собой монолитный хитиновый панцирь, имеющий темную окраску. На брюшной стороне отчетливо различимы 8 пар ног, на голове есть глаза и две пары жвал.

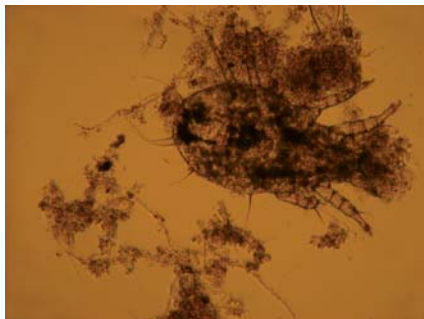


Рис. 5.19. Клещ в активном иле

**Индикаторное значение.** Клещи развиваются в минерализованном, иногда в голодающем, активном иле.

### Тип Тихоходки (Tardigrada)

Тихоходки (рис. 5.20, *а, б*) считаются родственными членистоногим, от которых отличаются отсутствием их основных признаков – наружного скелета и членистых конечностей.



*а*



*б*

Рис. 5.20. Тихоходки в активном иле при увеличении микроскопа 10×10 (*а*) и 40×10 (*б*)

Тело тихоходок обычно вальковатое, выпуклое со спинной стороны и уплощенное с брюшной. Слабыми перетяжками оно разделено на головную лопасть, на которой расположены ротовое отверстие и органы чувств, и четыре следующих за ней сегмента, несущие по паре ножек. Размеры большинства тихоходок от 90 до 800 мкм. Вышедшие из яиц особи некоторых видов в длину не более 50 мкм. В основном тихоходки бесцветны, но встречаются и окрашенные особи. Тихоходки обладают четырьмя парами бугорчатых ножек. Каждая ножка на своей вершине несет коготки, форма и расположение которых – важный систематический признак. Ротовое отверстие обычно находится в вершине ротового конуса, у представителей некоторых родов оно окружено кутикулярными складками. За ротовым отверстием следует ротовая трубка, обычно жесткая и прямая, по сторонам которой лежат два стилета. Передние концы стилетов способны выдвигаться через ротовое отверстие и прокалывать пищевые объекты. Проксимальный конец ротовой трубки переходит в мускулистую сосательную глотку. У большинства тихоходок просвет глотки снабжен различными кутикулярными образованиями.

В систематике некоторых родов тихоходок используется такой признак, как характер скульптуры хориона отложенных яиц. Часто это единственный способ, дающий возможность различать виды, взрослые особи которых практически идентичны.

Тело тихоходок покрыто кутикулой, которая может образовывать утолщенные участки (спинные и брюшные пластинки) или нести различную скульптуру (утолщения, бугорки и др.). Тихоходки сбрасывают кутикулу при линьке или при откладывании яиц (рис. 5.21).

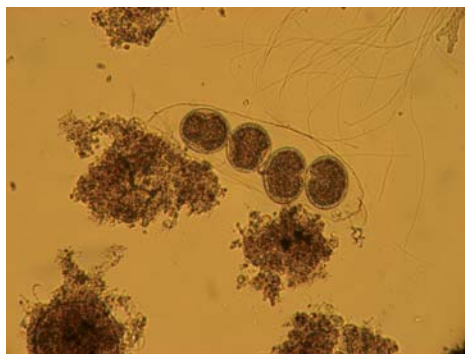


Рис. 5.21. Кутикула тихоходки с яйцами

Тихоходки раздельнополы, иногда размножаются партеногенетически.

Неблагоприятные условия переживают путем инцистирования (животное втягивает конечности, сбрасывает кутикулу и сворачивается в капсулированный шарик), могут также образовывать толстостенные покоящиеся яйца. В состоянии анабиоза тихоходки способны существовать длительное время. В активном иле они могут появляться с интервалом в несколько лет, когда условия становятся благоприятными для их развития.

**Индикаторное значение.** Тихоходки являются хищниками, потребителями мелких беспозвоночных (простейших, колероваток, нематод). Служат показателем высокого качества очистки, удовлетворительной нитрификации.

## **5.5. Применение базы данных для гидробиологического контроля процесса биологической очистки сточных вод**

### **5.5.1. Назначение и структура базы данных**

В настоящее время базы данных предназначены для выполнения двух основных задач:

- хранения большого объема информации;
- обеспечения быстрого доступа к необходимой информации.

База данных «Активный ил» (рис. 5.22) представляет собой первую в научной и учебно-методической литературе попытку создать перечень (базу данных) представителей активного ила станций биологической очистки воды Республики Беларусь. Кроме того, созданная база позволяет решить нелегкую задачу: обучить молодого специалиста определять организмы активного ила на разных стадиях развития, при разной нагрузке активного ила. Здесь требуется наблюдательность, терпение, опыт, и только тогда мир простейших активного ила откроет свои тайны.

**Назначение базы данных.** База данных «Активный ил» дает возможность оперативного и простого определения систематической принадлежности организмов активного ила, в большинстве случаев, их родового и видового названия по признакам внешнего строения, которые можно обнаружить, используя биологический микроскоп с 90-кратным увеличением.



Рис. 5.22. Главная страница базы данных «Активный ил»

**Структура базы данных.** База данных включает 6 разделов:

1. *Раздел «Методики».* В данном разделе приведены основные методики, которые используются для общей характеристики активного ила (рис. 5.23). Для просмотра методик необходимо щелкнуть левой кнопкой компьютерной мыши по соответствующим активным ссылкам.

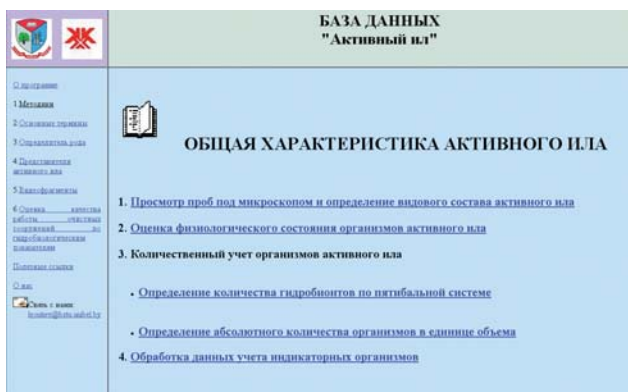
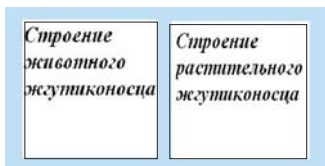


Рис. 5.23. Раздел «Методики»

Для удобства работы в конце каждой методики имеется кнопка **Печать страницы**, которая позволяет распечатать текущую страницу.



2. В разделе «Основные термины» приведены термины, графические рисунки, схемы строения простейших (рис. 5.24).

Для просмотра графического материала, находящегося в данном разделе, необходимо щелкнуть левой кнопкой мыши по интересующей активной ссылке. Рисунок автоматически откроется в новом окне.



Рис. 5.24. Раздел «Основные термины»

3. Раздел «Определитель рода» – включает основные признаки-ключи (таблицы-ключи) для определения простейших активного ила (рис. 5.25).

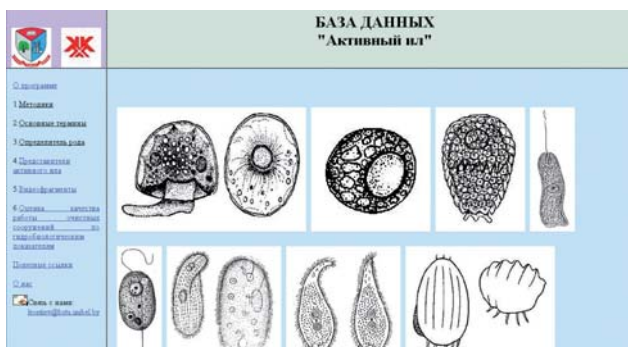


Рис. 5.25. Раздел «Определитель рода»

С помощью диалоговой системы уточнения таксономического положения наблюдаемого объекта предложена последовательная цепь определяющих признаков. В результате обработки полученных данных о наличии признаков у организма база данных выдает ответ, к какому роду относится идентифицируемый исследователем представитель активного ила.

Каждая цепь определяющих признаков в представленной базе данных построена по принципу, принятому в большинстве биологических определителей. Этот принцип основан на сравнении признаков, рассматриваемых альтернативно (взаимоисключаяще), каждая ступень определения обычно содержит тезу (набор определенных признаков) и антитезу (с набором признаков прямо противоположного значения). Тезы имеют порядковый номер, антитезы набраны с новой строки и начинаются знаком тире. В конце каждой тезы или антитезы написан номер следующей ступени, куда нужно обращаться для дальнейшего определения.

Однако в разработанной базе данных для более быстрой и удобной работы антитезы не приведены, а для каждого определяющего род признака даны два варианта ответа «Да» и «Нет». Исследователь должен только подтвердить или опровергнуть наличие указанного определяющего признака у организма, а программа самостоятельно перейдет к следующему признаку.

4. Раздел «Представители активного ила» (атлас простейших активного ила). В данном разделе приведена сводная таблица по простейшим активного ила, обнаруженным на станциях биологической очистки воды Республики Беларусь. В архиве данного раздела имеется большое число фотографий представителей активного ила с описанием времени и места их обнаружения (рис. 5.26).

БАЗА ДАННЫХ "Активный ил"				
Имя: _____ в строку: за язык: _____ из: (Имя): _____				
Представители активного ила				
фотография	Индикаторная группа	Синтаксическое название	Место обнаружения - городское очистительное сооружение	Примечание
	Свободноживущие инфузории	Синдотоне шпалата	УП "Александровская" МОСА_1	Дата обнаружения: 08.07.08 г. <a href="#">Дополнительные сведения</a> <a href="#">Другие фотографии</a>
	Свободноживущие инфузории	Синдотоне шпалата	УП "Александровская" МОСА_1	Дата обнаружения: 17.07.08 г. <a href="#">Дополнительные сведения</a>

Рис. 5.26. Раздел «Представители активного ила»

Фотографии более 40 родов простейших помогают не только в установлении систематического названия определяемого организма, но и в анализе качества и биоразнообразия активного ила. Кроме того, благодаря представленной в таблице информации о принадлежности организмов к той или иной индикаторной группе, исследователь может проанализировать эффективность работы активного ила.

5. Раздел «Видеофрагменты». С целью более наглядной демонстрации жизнедеятельности представителей активного ила в данном разделе собраны видеофрагменты (рис. 5.27), дающие исследователю представление о жизнедеятельности организмов активного ила, например, о способе движения раковинных корненожек *Arcella vulgaris*, инфузорий *Tardigrada sp.*, сокращении стебля у инфузории *Vorticella microstoma*, о способе прикрепления инфузорий рода *Vaginicola* к субстрату, ротовом аппарате инфузорий *Vaginicola crystallina*, процессе размножения *Paramecium aurelia* и др.



Рис. 5.27. Раздел «Видеофрагменты»

Для того чтобы активировать видеофрагмент, необходимо щелчком левой кнопки мышки нажать на фотографию интересующего организма. По щелчку происходит переход на следующую страницу базы данных со встроенным проигрывателем (рис. 5.28). Кроме того, на экране также представлена краткая характеристика данного организма. Видеофрагмент запускается автоматически, в случае необходимости, можно остановить просмотр и распечатать текущий кадр.





Рис. 5.28. Пример видеофайла

6. Раздел «Оценка качества работы очистных сооружений по гидробиологическим показателям». В данном разделе даны практические рекомендации по оценке качества и улучшению работы очистных сооружений (рис. 5.29), основанные на гидробиологическом анализе активного ила.

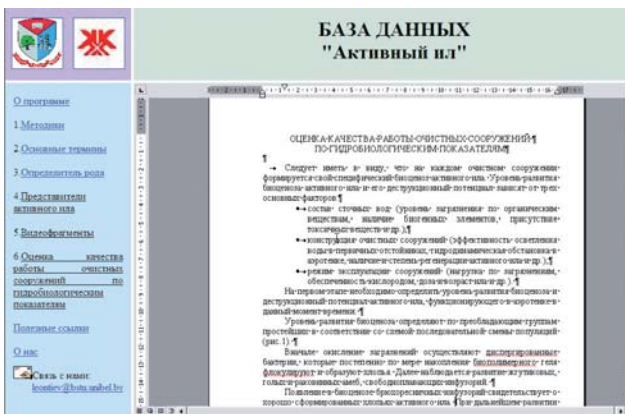


Рис. 5.29. Раздел «Оценка качества работы очистных сооружений по гидробиологическим показателям»

Кроме того, в разработанной базе данных есть и вспомогательные разделы:

- «*О программе*» – представлена краткая информация о возможностях базы данных, порядке работы с ней и регенерации программного кода базы (в случае его повреждения);
- «*Полезные ссылки*» – имеется перечень ссылок на Интернет-ресурсы, касающиеся вопросов биологической очистки сточных вод;
- «*О нас*» – представлена краткая информация о разработчиках базы данных.

### 5.5.2. Примеры задач, выполняемых с помощью базы данных «Активный ил»

#### *Пример 1. Определение рода организма, обнаруженного в пробе активного ила.*

Перед началом работы по определению систематического названия организма рекомендуется в разделе «Основные термины» ознакомиться с понятиями, которые будут встречаться в ходе определения. Кроме того, в данном разделе приведены схемы строения некоторых простейших с пояснениями.

Для определения рода, к которому относится определяемый организм (рис. 5.30, *а*), нужно сначала выбрать в разделе «Определитель рода» одно из представленных графических изображений, наиболее сходное с определяемым организмом. В данном случае это изображение, представленное на рис. 5.30, *б*.

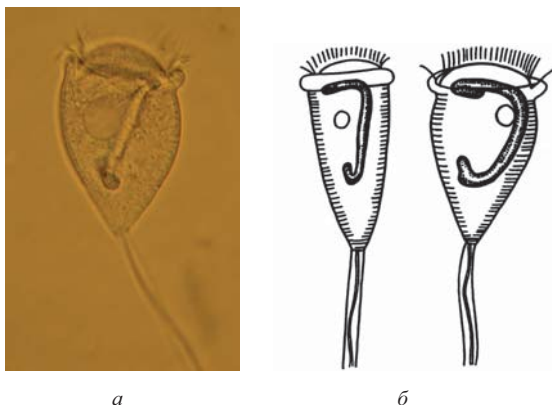


Рис. 5.30. Определение систематического названия организма активного ила:  
*а* – фотография организма, обнаруженного в активном иле;  
*б* – выбранное графическое изображение из раздела базы данных «Определитель рода»

Щелчком левой кнопки компьютерной мыши по графическому изображению переходят к следующему этапу определения (рис. 5.31).

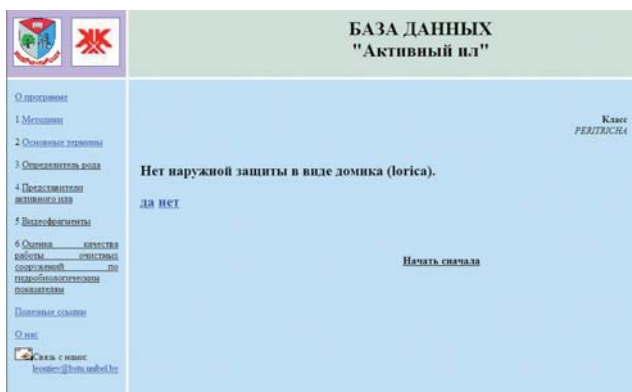


Рис. 5.31. Первый отличительный признак рода

Далее последовательно приведен ряд признаков, на которые следует обратить внимание при определении. При этом рядом с каждым признаком имеется два варианта ответа, позволяющие подтвердить или опровергнуть наличие признака у определяемого объекта.

Очень важно тщательно рассмотреть и установить наличие указанных признаков у определяемого организма, так как успех определения в значительной мере зависит именно от этого.

Необходимо отметить, что в верхнем правом углу определителя указан класс или подкласс, к которому относится определяемый организм. В рассматриваемом примере организм принадлежит к классу *Peritricha*.

Последовательность дальнейшего определения рода организма: «*Нет наружной защиты в виде домика (lorica)*»; данный признак отсутствует у определяемого организма, следовательно, нужно выбрать ответ «Да»; далее переходят к следующему признаку (рис. 5.32) и определяют его наличие у организма: «*Стебель не сократимый, мионемы не имеет. Формы колониальные*»; из фотографии представленной на рис. 5.30, а хорошо видно, что у организма имеется мионема, поэтому указанный признак присущ определяемому организму. Выбираем ответ «Нет».

В конце определения, проанализировав все ответы исследователя, база данных выдает родовое название организма. В приведенном примере организм относится к роду *Vorticella*.

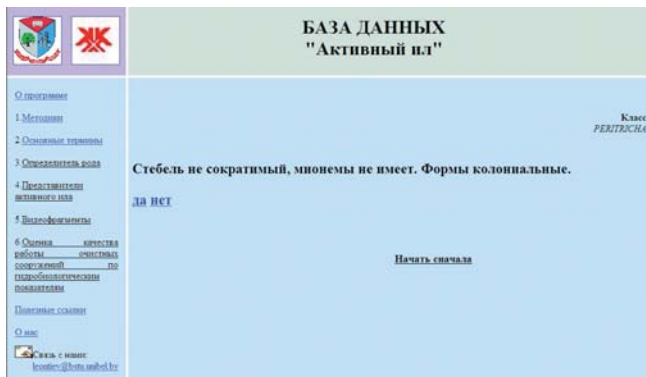


Рис. 5.32. Второй отличительный признак рода

В случае необходимости определение можно начать заново в любой момент, щелкнув по активной ссылке «Начать сначала» левой кнопкой компьютерной мыши.

**Пример 2. Определение мест обнаружения инфузории *Chilodonella uncinata*.**

С помощью возможностей базы данных можно осуществлять поиск по таблице «Представители активного ила». В графе «Найти» необходимо указать название интересующего организма или место обнаружения или установить другой критерий поиска. Кроме того, можно указать в каких столбцах будет производиться поиск (при отсутствии указаний система будет выполнять поиск по всем имеющимся столбцам) и, нажав кнопку «Найти» (рис. 5.33), запустить поиск.



Рис. 5.33. Заполнение граф поиска по таблице «Представители активного ила»

В приведенном случае в графе «Найти» пишут название интересующего организма – *Chilodonella uncinata*, в графе «В столбцах» указывают, что поиск необходимо производить по систематическому названию организма.

Результаты поиска будут представлены в виде таблицы с учетом указанного критерия поиска, т. е. будет отобрана только информация, касающаяся инфузории *Chilodonella uncinata*.

База данных дает возможность получения дополнительной информации о любом из простейших, имеющемся в архиве, например, просмотреть имеющиеся фотографии организмов (рис. 5.34). В подписях к фотографиям указана дата обнаружения простейшего. Для активации этой возможности базы данных необходимо щелкнуть левой кнопкой мыши по активной ссылке «Другие фотографии».



Рис. 5.34. Результат использования активной ссылки «Другие фотографии»

Кроме того, база данных снабжена функцией, позволяющей ознакомиться с дополнительной информацией об указанном организме. Информация представлена текстовым файлом (рис. 5.35). Для этого необходимо щелкнуть левой кнопкой мыши по активной ссылке «Дополнительная информация».

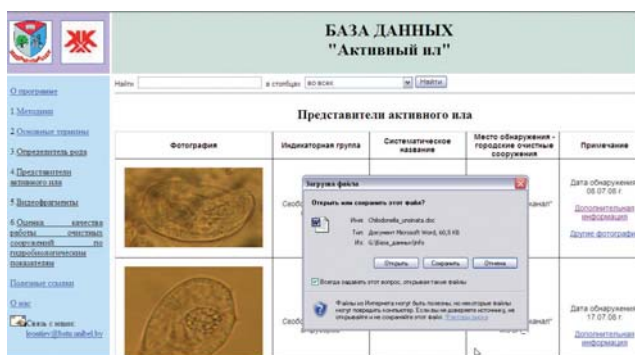


Рис. 5.35. Результат использования активной ссылки «Дополнительная информация»

Разработанная база данных «Активный ил» постоянно дополняется фотографиями и информацией о новых обнаруженных организмах, вносятся интересные видеофрагменты из жизни представителей активного ила. Кроме того, расширяется перечень станций биологической очистки воды Республики Беларусь, на которых проведен мониторинг простейших активного ила.

База данных «Активный ил» зарегистрирована в Государственном регистре информационных ресурсов Научно-инженерного республиканского унитарного предприятия «Институт прикладных программных систем» Министерства связи и информатизации Республики Беларусь (Регистрационное свидетельство № 1750900641 от 01.06.2009 г.).

# Глава 6. КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССА БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД

## 6.1. Оценка качества работы очистных сооружений по гидробиологическим показателям

Контроль процесса биологической очистки сточных вод в аэротенке заключается в получении и обработке данных химического, биохимического, бактериологического и гидробиологического анализов с целью оценки эффективности очистки, выявления нарушений очистки, установления их причин и проведения мероприятий по устранению неблагоприятных факторов.

Следует иметь в виду, что на каждом очистном сооружении формируется свой специфический биоценоз активного ила. Уровень развития биоценоза активного ила и его деструкционный потенциал зависят от трех основных факторов:

- состав сточных вод (уровень загрязнения по органическим веществам, наличие биогенных элементов, присутствие токсичных веществ и др.);

- конструкция очистных сооружений (эффективность осветления воды в первичных отстойниках, гидродинамическая обстановка в аэротенке, наличие и степень регенерации активного ила и др.);

- режим эксплуатации сооружений (нагрузка по загрязнениям, обеспеченность кислородом, доза и возраст ила и др.).

На первом этапе необходимо определить уровень развития биоценоза и деструкционный потенциал активного ила, функционирующего в аэротенке в данный момент времени.

Уровень развития биоценоза определяют по преобладающим группам простейших в соответствии со схемой последовательной смены популяций (см. рисунок).

Вначале окисление загрязнений осуществляют диспергированные бактерии, которые постепенно по мере накопления биополимерного геля флокулируют и образуют хлопья. Далее наблюдается развитие жгутиковых, голых и раковинных амёб, свободноплавающих инфузорий.

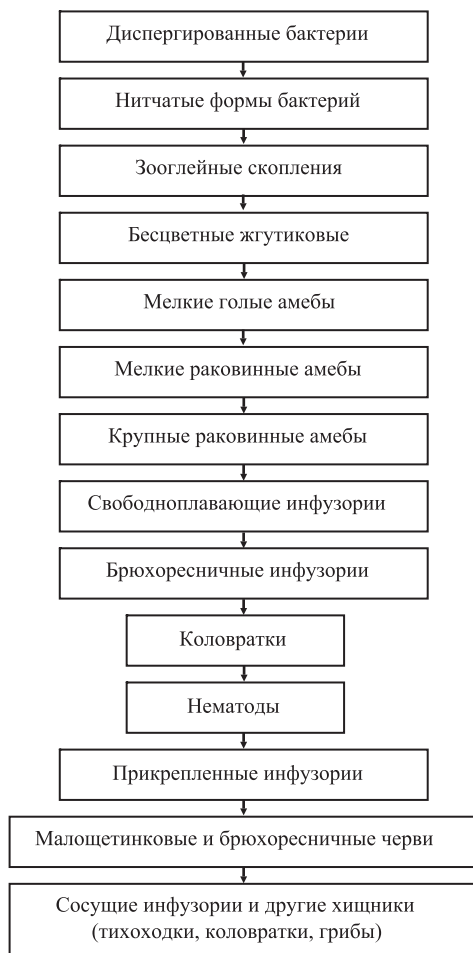


Рисунок. Последовательная смена популяций при развитии биоценоза активного ила

Появление в биоценозе брюхоресничных инфузорий свидетельствует о хорошо сформированных хлопьях активного ила. При дальнейшем развитии биоценоза начинают доминировать организмы, непосредственно связанные с хлопьями ила: прикрепленные инфузории, коловратки, нематоды и т. д.



Показателями высокого уровня развития биоценоза, а значит, и высокого качества очистки сточных вод, являются хищники: черви, сосущие инфузории, хищные колероватки, грибы, тихоходки. В таких условиях, когда высока степень удаления органических загрязнений, интенсивно протекает нитрификация.

Деструкционный потенциал активного ила оценивают по основным показателям функционирования аэротенков: нагрузке на ил, окислительной мощности, степени очистки по БПК и др. Взаимосвязь уровня развития биоценоза активного ила и его деструкционного потенциала представлена в табл. 6.1. По ее данным определяют деструкционный потенциал ила.

Если на данный момент степень очистки сточных вод в аэротенке удовлетворяет предъявляемым требованиям, и при этом активный ил хорошо оседает во вторичных отстойниках, существующий биоценоз следует признать характерным для данных очистных сооружений.

В дальнейшем необходимо следить за изменением численности отдельных индикаторных групп, нарушением их соотношения, изменением состояния отдельных гидробионтов.

Если изменения состава основных индикаторных групп организмов имеют обратную направленность в схеме последовательной смены популяций, т. е. могут привести к упрощению биоценоза, снижению деструкционного потенциала активного ила, необходимо оперативно выявлять и устранять причины, вызвавшие эти изменения. Для этого следует воспользоваться табл. 6.2, в которой для различных индикаторных групп организмов приведены возможные причины, вызывающие изменение численности и соотношения между отдельными представителями, а также указаны мероприятия, реализация которых поможет восстановить нормальное функционирование аэротенка.

Если на данный момент времени активный ил имеет низкий деструкционный потенциал, степень очистки сточных вод в аэротенке неудовлетворительная или ил плохо осаждается во вторичных отстойниках, необходимо провести гидробиологический анализ активного ила и в соответствии с преобладающими группами индикаторных организмов, пользуясь табл. 6.2, выявить основные причины нарушения очистки.

Характеристика биоценоза активного ила

Уровень деструкционного потенциала активного ила	Основные показатели функционирования аэротенка и эффективности очистки	Уровень развития биоценоза
Низкий	Удельная нагрузка 400–600 мг БПК/г активного ила. Окислительная мощность 1,5–1,1 кг/(м <sup>3</sup> ·сут). Неполная очистка, снижение БПК ≤ 90%	Белное видовое разнообразие простейших (5–16 видов), отсутствие хищников. Численное преобладание отдельных групп: нитчатых бактерий, жгутиконосцев, бентосных раковинных амёб, крупных свободноплавающих инфузورий или мелких корненожек
Средний	Удельная нагрузка 150–400 мг БПК/г активного ила. Окислительная мощность 1,1–0,3 кг/(м <sup>3</sup> ·сут). Сточные воды – комбинированного состава, доля производственных вод составляет 50–60% общаго количества. Полная очистка до значения БПК = 15 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> , удовлетворительная нитрификация в основном в летний период	Численность видов простейших и многоклеточных организмов составляет 13–25, в удовлетворительных условиях может достигать 30. Биоценоз разнообразен по видам, отсутствуют численно доминирующие виды. Биоценоз динамичен, быстро меняется при изменении условий. Из инфузورий преобладают свободноплавающие, в некотором количестве присутствуют прикрепленные инфузории, коловатки, черви. Хищники появляются в период нитрификации
Высокий	Удельная нагрузка 80–150 мг БПК/г активного ила. Окислительная мощность 0,3–0,1 кг/(м <sup>3</sup> ·сут). Полная очистка по органическим загрязнениям и нитрификация	Высокое таксономическое разнообразие (до 45 видов простейших) без численного преобладания отдельных видов. Практически отсутствуют нитчатые бактерии, мелкие бесцветные жгутиконосцы, мелкие формы толей и раковинных амёб. Из инфузорий преобладают брюхооресничные и прикрепленные формы, как одиночные, так и колониальные. Бентосные раковинные амёбы представлены несколькими разными родами. Присутствуют хищники: коловатки, сосущие инфузории, хищные грибы и черви

Таблица 6.2  
**Контроль процесса биологической очистки сточных вод в аэротенке по индикаторным группам организмов**

1 Изменение численности, состояния индикаторной группы организмов (или отдельных представителей)	2 Возможные причины	3 Необходимые мероприятия
Увеличение численности не связанных с хлопьями (диспергированных) бактерий	Поступление токсикантов	Принять меры по предотвращению поступления токсикантов (работа с промышленными предприятиями). Увеличить долю циркуляционного ила, усилить аэрацию. Улучшить первичное отстаивание
Выделение избыточного количества полимерного геля (гельное вспухание)	Наличие в сточных водах сложн-окисляемых и устойчивых к биологическому окислению веществ	Увеличить интенсивность аэрации. Повысить долю циркуляционного ила, увеличить возраст ила
Увеличение численности нитчатых форм серобактерий или цианобактерий (нитчатое вспухание)	Поступление токсикантов	Принять меры по предотвращению поступления токсикантов (работа с промышленными предприятиями). Увеличить дозу циркуляционного ила, усилить аэрацию. Улучшить первичное отстаивание
Увеличение численности нитчатых бактерий рода <i>Sphaerotilus</i> (нитчатое вспухание), численности бентосных раковинных амёб	Отклонение от оптимального соотношения органических веществ и биогенных элементов Дефицит кислорода, нарушение аэробности	Ввести подпитку веществами, содержащими биогенные элементы Увеличить интенсивность аэрации. Предотвратить образование застойных зон в первичных отстойниках
Увеличение численности бесцветных жгутиковых, мелких голевых амёб	Перегрузка ила по легкоокисляемым органическим веществам Дефицит кислорода, нарушение аэробности	Увеличить дозу ила в аэротенке. Увеличить интенсивность аэрации. Повысить эффективность регенерации ила Увеличить интенсивность аэрации. Предотвратить образование застойных зон в первичных отстойниках

1	2	3
Увеличение численности мелких раковых планктонных амёб	Поступление токсикантов	Принять меры по предотвращению поступления токсикантов (работы с промышленными предприятиями). Увеличить долю циркуляционного ила, усилить аэрацию. Улучшить первичное отстаивание
Увеличение численности крупных свободноплавающих инфузорий	Перегрузка ила по легкоокисляемым органическим веществам Дефицит кислорода, нарушение азробности	Увеличить дозу ила в аэротенке. Увеличить интенсивность аэрации. Повысить эффективность регенерации ила. Увеличить интенсивность аэрации. Предотвращать образование застойных зон в первичных отстойниках
Численное преобладание свободноплавающих инфузорий над прикрепленными	Гниение осадка в первичных отстойниках, плохое перемешивание и образование застойных зон в аэротенке	Увеличить интенсивность аэрации. Предотвращать образование застойных зон в первичных отстойниках. Улучшить циркуляцию ила и массообмен в аэротенке
Уменьшение численности или исчезновение прикрепленных и свободноплавающих инфузорий, хищных колониаторов, тихоходок, хищных грибов	Снижение эффективности или отсутствия нитрификации	Увеличить интенсивность аэрации. Увеличить концентрацию ила в аэротенке. Повысить долю циркуляционного ила, увеличить возраст ила
Увеличение численности цист простейших	Поступление токсикантов	Принять меры по предотвращению поступления токсикантов (работы с промышленными предприятиями). Увеличить долю циркуляционного ила, усилить аэрацию. Улучшить первичное отстаивание
Снижение прироста активного ила	Отклонение от оптимального соотношения органических веществ и биогенных элементов Дефицит кислорода, нарушение азробности	Внести поправки веществами, содержащими биогенные элементы.  Увеличить интенсивность аэрации
Увеличение прироста активного ила	Гниение осадка в первичных отстойниках, плохое перемешивание и образование застойных зон в аэротенке	Предотвращать образование застойных зон в первичных отстойниках Улучшить циркуляцию ила и массообмен в аэротенке

## 6.2. Технологические параметры оценки работы очистных сооружений

К числу основных технологических параметров, характеризующих процесс биохимической очистки сточных вод и определяющих эффективность работы аэротенков, относятся нагрузка, окислительная мощность аэротенка, скорость окисления, возраст ила, иловый индекс, необходимое время аэрации, расход воздуха на 1 м<sup>3</sup> очищенной воды, затраты электроэнергии.

Чаще значение *нагрузки* считают по БПК как суммарному показателю загрязнения, иногда – по индивидуальным загрязнениям, подаваемым на очистку в пересчете на 1 м<sup>3</sup> очистных сооружений (нагрузка на аэротенк) или на 1 г сухой биомассы активного ила либо на 1 г беззольной его части (нагрузка на активный ил) в единицу времени (чаще в сутки).

В зависимости от величины нагрузки различают аэрационные системы высоконагружаемые, классические и низконагружаемые.

Высокой считается нагрузка >400 мг БПК<sub>полн</sub> на 1 г беззольного вещества активного ила в сутки. В таких сооружениях наибольший прирост ила, наименьшая степень очистки.

Перегруженный активный ил не справляется с окислением поступающих загрязнений. В таком иле число видов простейших невелико, количественно преобладают 2–3 вида. Обычно наблюдается большое количество бесцветных жгутиковых, мелких амёб или инфузорий. Хлопья ила темные, содержат разнообразные твердые включения.

В этих условиях могут развиваться нитчатые формы бактерий, хлопья ила распадаются, в большом количестве присутствуют бактерии во взвешенном состоянии, вода над илом мутная.

Сооружения с классической нагрузкой (150–400 мг БПК<sub>полн</sub> на 1 г беззольного вещества активного ила в сут) обеспечивают высокую степень очистки по БПК, иногда – частичную нитрификацию. Они заселены большим числом организмов различных групп, бактерии в основном находятся в зооглейных скоплениях, хлопья плотные, компактные, ил быстро оседает, вода над ним прозрачная.

Прирост ила меньше максимального в связи с достаточно глубоко проходящими процессами эндогенного окисления ила.

Если нагрузка низкая (<150 мг БПК<sub>полн</sub> на 1 г беззольного вещества активного ила в сут), то степень очистки в сооружениях колеблется,

но чаще бывает высокая. Прирост ила минимальный, глубоко развит процесс нитрификации, биоценоз ила характеризуется разнообразием видов. При этом наблюдается постепенное уменьшение размеров простейших, они становятся прозрачными, теряют пищеварительные вакуоли. Инфузории постепенно превращаются в цисты. Хлопья ила также становятся прозрачными, вода над илом опалесцирует.

Однако это справедливо только в том случае, если низкие нагрузки сопровождаются допустимой нагрузкой по токсикантам, присутствующим в сточных водах и накапливающимся в активном иле в результате биосорбции. Чтобы предупредить подавление жизнедеятельности активного ила токсичными веществами, необходимо следить, чтобы содержание индивидуальных токсичных веществ не превышало установленных для них предельно допустимых концентраций (ПДК).

**Окислительная мощность аэротенков** – это количество органических загрязнений, снимаемых в единицу времени массой активного ила, находящейся в единице объема аэротенка. Таким образом, окислительная мощность определяется как произведение нагрузки на аэротенк на коэффициент, определяющий эффективность очистки сточной воды по показателю БПК. Коэффициент может быть выражен в процентах или в долях единицы.

Окислительная мощность на городских сооружениях биологической очистки с аэротенками может изменяться от 0,1 до 1,5 кг БПК/(м<sup>3</sup>·сут). При оценке работы биофильтров под окислительной мощностью понимают количество органических загрязнений по БПК, которое может быть изъято из сточной воды 1 м<sup>3</sup> загрузочного материала в течение суток (150–600 г БПК/(м<sup>3</sup>·сут).

Окислительная мощность, отнесенная к одному часу, есть средняя скорость окисления загрязнений активным илом. Эта величина – основная расчетная характеристика аэротенка. Она зависит от вида обрабатываемых сточных вод, концентрации загрязнений в исходной воде, требуемого качества очищенной воды, температуры, концентрации ила и других факторов.

**Возраст ила** – это среднее время (сут) его пребывания в системе аэрационных сооружений, определяемое как частное от деления общей массы ила в аэрационной системе (включая каналы и вторичные отстойники) на суточный прирост ила. Прирост ила подсчитывается путем суммирования масс ила, удаляемого из системы выносом с очищенной водой, и избыточного ила, перекачиваемого на илоуплотнители или в другие сооружения.

Чем больше нагрузка на ил, тем больше его прирост и объем образующегося избыточного ила, который удаляется, и, следовательно, возраст ила уменьшается.

Молодые, активно растущие хлопья способны быстро извлекать загрязняющие вещества, но могут иметь недостаточную способность к седиментации. Вместе с тем хорошо оседающий ил может иметь низкую активность окисления загрязняющих веществ.

В пусковой период работы очистных сооружений бактерии находятся во взвешенном состоянии, затем слипаются в хлопья, которые развиваются с возрастом ила. По мере того как хлопья растут и стареют, они в большей степени состоят из мертвых клеток и аккумулярованных инертных частиц (мертвые клетки тоже чистят воду своими ферментами, но хуже и непродолжительно). Таким образом, по мере старения хлопья увеличиваются в размере, лучше сорбируют загрязнения, больше защищены биополимерным гелем от токсикантов, легче отделяются от очищенной воды при отстаивании. Однако в стареющих хлопьях снижается относительная численность активных живых клеток, при увеличении размера хлопьев ила ухудшается доступ кислорода к отдельным бактериальным клеткам и затрудняется отведение метаболитов, т. е. ухудшается режим массообмена клеток с окружающей средой и, соответственно, уменьшается скорость окисления загрязнений.

Очистные сооружения должны работать на максимально возможной концентрации ила, при которой обеспечивается как достаточное снабжение хлопьев ила растворенным кислородом, так и удовлетворительная работа вторичных отстойников.

Высоконагружаемые сооружения работают на неполную очистку с возрастом ила не более 2–3 сут. С низкими нагрузками на ил связана нитрификация и большой возраст ила (6–12 сут). Возраст ила более 8 сут обеспечивает глубокую минерализацию органических веществ с последующей нитрификацией.

Чем сложнее состав сточных вод, тем больший возраст ила требуется поддерживать для обеспечения удовлетворительного окисления загрязняющих веществ. Так, для биохимической очистки сточных вод при производстве синтетического каучука требуемый возраст ила составляет 20–30 сут, а поливинилового спирта – более 50 сут.

Интенсивность прироста активного ила зависит от многих факторов:  
– природы окисляемого субстрата;

- самоокисляющей способности активного ила, которая определяется величиной нагрузки на ил и длительностью аэрации;
- седиментационных характеристик ила и выноса взвешенных веществ из вторичных отстойников;
- наличия токсикантов, снижающих прирост, или мутагенов – стимуляторов прироста.

Таким образом, при очистке сточных вод, содержащих высокие концентрации легкоокисляемых загрязнений (городские, сточные воды пищевой промышленности), прирост ила повышенный, а при очистке промышленных сточных вод сложного состава – пониженный. Сокращение прироста наблюдается на тех сооружениях, где в очищаемых сточных водах присутствуют токсические или бактерицидные вещества (фармацевтические заводы, предприятия по производству химических реактивов, пестицидов и т. п.). В то же время некоторые поллютанты (например, фенол), могут стимулировать прирост ила.

Возраст ила является ключевым параметром в организации процессов удаления биогенных элементов. При снижении его значения ниже максимального утрачивается способность ила к нитрификации, при увеличении возраста ила выше максимального снижается эффективность процесса биологического удаления фосфора.

**Иловый индекс** оценивает его седиментационные свойства и представляет собой объем в миллилитрах, который занимает ил в цилиндре после 30 мин отстаивания. Объем должен быть отнесен к 1 г сухого вещества ила. Хорошо оседающий ил имеет иловый индекс от 60 до 150 мл/г в зависимости от технологического регламента работы аэрационных сооружений и состава сточных вод. При индексе ила более 150 мл/г говорят о «вспухании» ила.

**Расход воздуха** при пневматической системе аэрации подсчитывают по отношению к 1 м<sup>3</sup> очищенной воды и 1 кг снятой БПК<sub>5</sub>. Для городских сточных вод при мелкопузырчатой системе аэрации на 1 м<sup>3</sup> воды расходуется 5–10 м<sup>3</sup> воздуха или 40–60 кг на 1 кг снятой БПК<sub>5</sub>. При механической системе аэрации подобных расчетов по воздуху сделать невозможно. В этом случае оценивается лишь затрата электроэнергии, как и при пневматической системе, из расчета на 1 м<sup>3</sup> воды или на 1 кг снятой БПК<sub>5</sub>.

Добиться той или иной требуемой степени очистки воды и минерализации ила можно путем изменения соотношения количеств подаваемых загрязнений и работающего в системе ила, т. е. изменением



нагрузки на ил. Количество загрязнений в сточной воде – величина неуправляемая и не может быть изменена. Можно в относительно небольших пределах менять лишь концентрацию (дозу) ила, которая обычно поддерживается на уровне 2–3 г/дм<sup>3</sup>. Увеличение дозы ила способствовало бы ускорению окислительных процессов, однако возникли бы проблемы при отделении ила во вторичных отстойниках. При дозе ила в аэротенках >3 г/дм<sup>3</sup> происходит его излишнее накопление в иловой зоне вторичных отстойников, загнивание, увеличивается вынос с очищенной водой.

В комплексе сооружений биологической очистки находятся вторичные отстойники, в которых очищенная вода отделяется от ила (или биопленки). Контроль и оценка работы этих сооружений осуществляются в неразрывной связи с контролем работы основного биоокислительного сооружения. Илы уплотняют в гравитационных сооружениях (отстойники радиального и вертикального типа), а также во флотаторах. На городских станциях часто используют илоуплотнители радиального типа. Работу вторичных отстойников контролируют во многом так же, как и работу первичных отстойников. В частности, фиксируется продолжительность отстаивания смеси и вынос ила с очищенной водой, количество и качество откачиваемого ила (по концентрации сухого вещества), уплотненного ила и иловой воды.

Во вторичные отстойники поступает смесь с концентрацией ила не менее 1000 мг/дм<sup>3</sup>, в зависимости от режима работы и типа биоокислителя концентрация ила может достигать до 2,5–5 г/дм<sup>3</sup>. Если обеспечивается полная биологическая очистка, то при достаточной продолжительности отстаивания (около 2 ч) вынос ила с очищенной водой составляет всего 10–25 мг/дм<sup>3</sup> (в среднесуточных пробах) независимо от исходной дозы ила. Эффективность отстаивания в этом случае составляет 98–99%.

Активный ил откачивается из вторичных отстойников с концентрацией 4–8 г/дм<sup>3</sup>, т. е. с влажностью 99,6–99,2%. Максимальная достигаемая концентрация ила после отстаивания составляет около 25–30 г/дм<sup>3</sup> (в илоуплотнителях), однако отстойники в таком режиме никогда не работают. Длительное пребывание ила в условиях отсутствия растворенного кислорода может повлечь глубокие и необратимые изменения биохимической активности ила.

Важно учитывать качество иловой воды (по взвешенным веществам, БПК), поскольку передача этой воды на повторную очистку

увеличивает нагрузку на очистные сооружения. Обычно количество взвешенных веществ и БПК<sub>5</sub> иловой воды колеблется от 20 до 100 мг/дм<sup>3</sup>.

Контролируя работу вторичных отстойников по задержанию взвешенных веществ (активного ила или биопленки), сопоставляют их количество, осадок по объему (количество оседающих веществ) и прозрачность в сточной воде до и после отстойников. При характеристике работы вторичных отстойников указываются количество и качество (по концентрации сухого вещества) возвратного и избыточного илов.

Повышенный вынос взвешенных веществ из вторичных отстойников является одной из характерных особенностей вспухания ила. Причиной этого является перегрузка аэротенка загрязнениями, наличие большого количества углеводов, недостаточное количество воздуха, низкая активная реакция рН. Микрофлора такого ила отличается большим количеством нитевидных бактерий, замедлением скоростей отстаивания и увеличением илового индекса.

Интенсификация работы аэротенков возможна за счет различных мероприятий: повышения концентрации ила в сооружениях, выравнивания нагрузки на ил и исключения шоковых перегрузок, создания оптимальных условий по рН и температуре, а также внедрения способов окисления с помощью чистого кислорода или воздуха, обогащенного кислородом.

Причинами, нарушающими работу аэротенка, являются: перегрузка очистного сооружения органическими веществами, образование анаэробных зон, недостаток биогенных элементов, резкое изменение температуры или активной реакции среды, попадание в очищенную воду токсических веществ и др.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### Прописи основных фиксирующих препаратов и красителей

#### **Акридиновый оранжевый гидрохлорид**

*Приготовление.* Растворяют 3 мг акридинового оранжевого в 10 см<sup>3</sup> дистиллированной воды. Раствор готовят непосредственно перед окрашиванием.

#### **Жидкость Люголя**

*Приготовление.* Растирают в ступке 1 г кристаллического йода и 1 г йодистого калия с небольшим количеством дистиллированной воды. Прибавляя воду, доводят объем до 300 см<sup>3</sup>.

#### **Метил-грин-уксусная кислота**

*Приготовление.* 0,5 г метиленового зеленого растворяют в 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды. Полученный раствор экстрагируют хлороформом в течение 2–3 сут. Окрашенный слой хлороформа многократно сливают до полного прекращения окрашивания. В отстоянный водный раствор добавляют 1 см<sup>3</sup> ледяной уксусной кислоты.

#### **Осмиевая кислота 1%-ный водный раствор**

Пары осмиевой кислоты очень ядовиты, поэтому для приготовления раствора вскрытую ампулу сразу же бросают в склянку с умеренным количеством дистиллированной воды. Склянка должна быть из темного стекла с хорошо притертой пробкой и притертым колпачком.

#### **Раствор Люголя на глицерине**

*Приготовление.* Растирают в ступке 1 г кристаллического йода и 2 г йодистого калия с добавлением 3 см<sup>3</sup> дистиллированной воды и небольших порций глицерина. Постепенно добавляют глицерин, доводя объем до 100 см<sup>3</sup>.



#### **Фиксатор Утермеле**

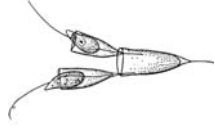
*Приготовление.* В 20 см<sup>3</sup> дистиллированной воды с 5 г дважды сублимированного йода растворяют 10 г йодида калия, добавляют 50 см<sup>3</sup> дистиллированной воды и 5 г уксуснокислого натрия. Полученный раствор хранят не более 1 месяца в склянке из темного стекла с притертой пробкой.


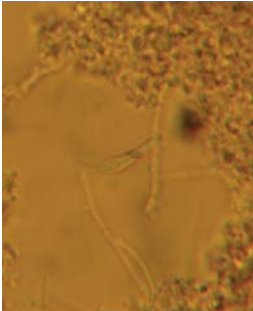

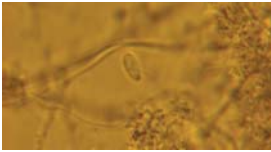
## Представители основных индикаторных групп биоценоза активного ила




Таблица 1

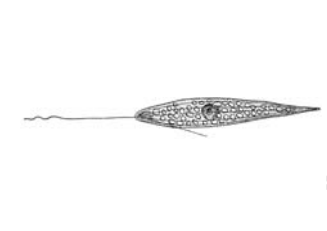
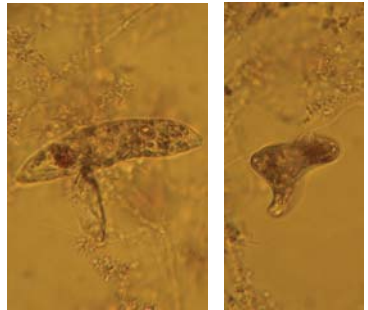
### Индикаторная группа Жгутиконосцы

Графическое изображение организма, название	Фотография	Описание	Индикаторное значение организма
1	2	3	4
Тип <i>Sarcostomastigophora</i> Подтип <i>Mastigophora</i> Класс <i>Phytomastigophorea</i> Отряд <i>Euglenida</i> Род <i>Anisonema</i>			
Бесцветные эвгленовые жгутиконосцы, одиночные, свободноплавающие. У большинства видов тело овальное, асимметричное, сплюсненное в спинно-брюшном направлении. Пелликула гладкая или с тонкими косыми штрихами. Тело слабометаболичное. На «брюшной» стороне может быть продольная борозда. 2 жгута на переднем конце тела. Один направлен вперед, другой, более длинный, назад. Стилмы нет. Сократительная вакуоль одна, спереди. Парамилоновых зерен немного, и они сосредоточены в задней части тела. Ядро одно, округлое, положение его несколько различается у разных видов. Размножение агамное путем продольного деления клетки. В очистных сооружениях отмечено 2 вида			
 <i>Anisonema ovale</i>		Мелкие жгутиконосцы с овальным телом. Пелликула гладкая. Длина тела 10–14, ширина 7–8 мкм. Длина переднего жгута равна длине тела, задний жгут в 1,5 раза длиннее тела	Питание сапрофитное. В очистных сооружениях обитает постоянно, обитает в виде отстойников и аэротенков

1	2	3	4
<p>Тип <i>Sarcostagiphora</i> Подтип <i>Mastigophora</i> Класс <i>Zoostagiphorea</i> Отряд <i>Vicosoecida</i></p> <p>Род <i>Vicoesa</i></p>	<p>Бесцветные жгутиконосцы, живущие в домиках, с 2 жгутиками, одним из которых клетка прикрепляется ко дну домика, другой жгутик (апикальный) свободен. Оба жгутика сократимы, способно к сокращению и тело клетки. На переднем (апикальном) конце клетки имеется протоплазматический губовидный вырост, воспринимающий пищу. Ядро в передней трети тела, сократительная вакуоль – в задней (базальной). Прикрепленные и планктонные формы, одиночные или колониальные. В очистных сооружениях встречаются 2 вида</p>	<p>Колониальные. Колонии древовидные, дочерние домики прикрепляются к внутренним стенкам материнских с помощью стебельков. Домики кубовидной формы с заостренным базальным концом, переходящим в стебелек. Стенки домика толстые, бесцветные, без видимых структур. Высота домика (без стебелька) 10–20, ширина 6–9 мкм. Стебельки 10–100 мкм.</p> <p>Длина клетки 6–10, ширина 5–8 мкм. Апикальный жгутик в 1,5–4 раза длиннее тела клетки</p>	<p>Встречается в стоячих водоемах. Отмечается для вторичных отстойников, активного ила и проточных фильтров</p>
 <p><i>Vicoesa petiolata</i></p>			

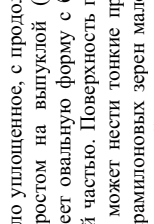
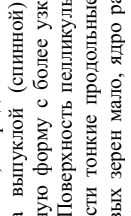
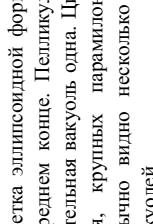
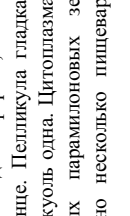
1	2	3	4
Тип <i>Sarcomastigophora</i> Подтип <i>Mastigophora</i> Класс <i>Zoomastigophorea</i> Отряд <i>Kinetoplastida</i>			
Род <i>Bodo</i>			
Представители наиболее многочисленны по видовому составу и наиболее распространены среди всех свободноживущих кинетопластид. Тело чаще всего овальное, яйцевидное или близкой формы, может метаболизировать, но псевдоподии не образует. Жгутики всегда 2, обычно они начинаются из небольшого углубления на переднем конце тела, где у большинства особей имеется оформленное ротовое отверстие (цитостом)			
 <p style="text-align: center;"><i>Bodo angustatus</i></p>		Ланцетовидный, узкий, иногда спирально закрученный, очень гибкий жгутиконосец. Рострум выражен хорошо, но не изогнут. Жгутики отходят ниже основания рострума. Ядро и сократительная вакуоль в передней части тела. Движение резкое, почти непрерывное, с внезапными поворотами. Длина 10–15, ширина 2,5–3,5 мкм. Плавательный жгутик примерно равен длине тела, рулевой в 2 раза длиннее	Встречается в хорошо работающих проточных фильтрах, аэротенках при аэробной стабилизации активного ила, вторичных отстойниках
 <p style="text-align: center;"><i>Bodo saltans</i></p>		Яйцевидной формы, с заостренным передним концом, изогнутым в виде клюва (рострум). Цитостом в основании рострума. Сократительная вакуоль и ядро в переднем конце тела. Пищеварительные вакуоли в заднем конце. Движется по субстрату резко, раскачиваясь, с внезапными бросками. Плавает быстро, равномерно, вращаясь вокруг продольной оси. Длина 10–15, ширина 4–6 мкм. Плавательный жгутик равен длине тела, рулевой в 2–2,5 раза длиннее	Один из обычных жгутиконосцев очистных сооружений, встречается в аэротенках, отстойниках, фильтрах. Чувствителен к сероводороду, в высоконагруженных аэротенках встречается редко

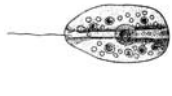
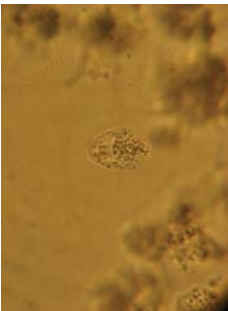

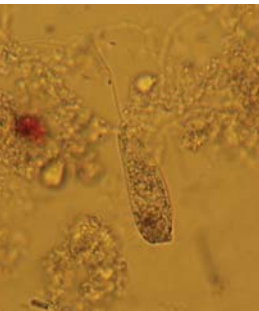
1	2	3	4
<p>Тип <i>Sarcostomastigophora</i> Подтип <i>Mastigophora</i> Класс <i>Phyтомastigophorea</i> Отряд <i>Euglenida</i></p> <p>Род <i>Euglena</i></p> <p>Свободноплавающие одиночные жгутиконосцы с удлинённым веретеновидным, цилиндрическим или овальным телом. Жгут 1, плавательный, расположен на переднем конце и направлен вперед. Метаболичны. Пелликула тонкая, со штрихами, ребрами и другими скульптурными образованиями. Есть стигма. Хлоропласты разнообразной формы, их число варьирует у разных видов, а иногда и в пределах одного вида. Окраска большинства эвглен зеленая. Сократительная вакуоль одна, возле жгутикового резервуара. Ядро одно, округлое, с крупным, центрально расположенным ядрышком. Положение ядра в клетке – один из таксономических признаков видов эвглен. Резервное вещество – парамилон. Размножение агамное путем продольного деления клетки. Род содержит около 50 видов</p>		<p>Тело цилиндрическое или вытянутое, веретеновидное, спереди немного сужено и косо срезано, задний конец узкий, заканчивается прозрачным заостренным отростком. Пелликула с многочисленными спиральными штрихами. Тело сильно метаболичное. Стигма в переднем конце тела. Хлоропласты зеленые, дисковидные, с изрезанными краями, число их 6–14.</p> <p>Зерна парамиллона немногочисленные, овальные. В темноте хлоропласты разрушаются и клетка становится бесцветной. Вид обладает морфологическим полиморфизмом.</p> <p>Длина тела 35–70, ширина 8–15 мкм. Жгут равен длине тела или немного короче его</p>	<p>Питание микотрофное.</p> <p>Встречается в очистных сооружениях, но не образует постоянных популяций</p>
 <p><i>Euglena gracilis</i></p>			

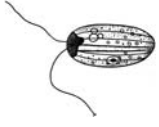
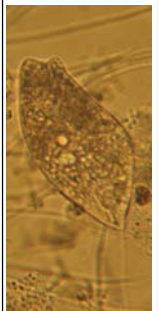
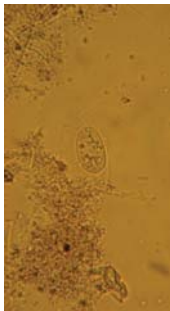

1	2	3	4
	<p>Тип <i>Sarcostagiphora</i> Подтип <i>Mastigophora</i> Класс <i>Phycomastigophorea</i> Отряд <i>Euglenida</i></p> <p style="text-align: center;">Род <i>Heteronema</i></p>		
 <p style="text-align: center;"><i>Heteronema acis</i></p>		<p>Клетка узкая, сильно удлинненная, веретеновидной формы. На переднем конце видны сократительная вакуоль и узкая глотка. Парамилонных зерен много, расположены по всей длине клетки, их форма овальная. Длина тела 40–55, ширина 10–22 мкм. Длина плавательного жгута равна длине тела, а рулевого жгута – 1/2 этой длины</p>	<p>Питание как гетеротрофное – бактериями и мелкими одноклеточными водорослями, простейшими, – так и сапрофитное.</p> <p>Роль в процессах биологической очистки воды определяется способом питания</p>
	<p>Тип <i>Sarcostagiphora</i> Подтип <i>Mastigophora</i> Класс <i>Phycomastigophorea</i> Отряд <i>Euglenida</i></p> <p style="text-align: center;">Род <i>Petalomonas</i></p>		
			<p>Мелкие бесцветные свободноплавающие одиночные эвгленовые жгутиконосцы с очень разнообразной формой тела: овальной, грушевидной, веретеновидной и др. Пелликула плотная, клетки неметаболические. Поверхность пелликулы может быть гладкая, с продольными штрихами и ребрами</p>



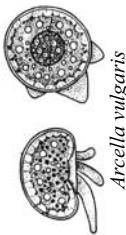
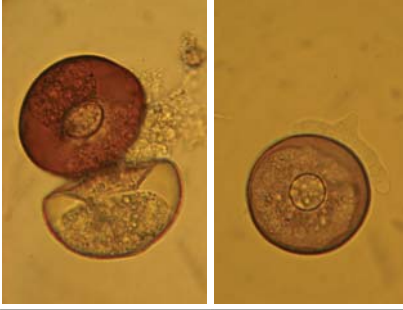
Продолжение табл. 1

1	2	3	4
<p>Передний конец у большинства видов сужен, закруглен, форма заднего конца широко варьирует у разных видов – от округлой до широкой с глубокими выемками. Жгут один, направлен вперед (плавательный). Зерна парамиллона мелкие, округлые или овальные. Ядро одно, пузырьковидное, в середине тела. Размножение агамное. Род включает 42 вида. Многие виды полиморфны по морфологическим признакам</p>			
 <p><i>Petalomonas steinii</i></p>		<p>Тело уплощенное, с продольным килевидным выростом на выпуклой (спинной) стороне, имеет овальную форму с более узкой передней частью. Поверхность пелликулы гладкая, но может нести тонкие продольные штрихи. Парамиллионовых зерен мало, ядро расположено в передней половине тела. Длина тела 35–45, ширина 25–30 мкм. Длина жгута равна длине тела</p>	<p>Питание гетеротрофное, сапрофитное. В очистных сооружениях обнаружен в отстойниках</p>
 <p><i>Petalomonas pusilla</i></p>		<p>Клетка эллипсоидной формы, с 1 жгутом на переднем конце. Пелликула гладкая. Сократительная вакуоль одна. Цитоплазма прозрачная, крупных парамиллионовых зерен нет, обычно видно несколько пищеварительных вакуолей. Длина тела 7–15, ширина 3–5 мкм. Длина жгута почти равна длине тела или может превышать ее в 1,5–2 раза</p>	<p>Питание гетеротрофное, сапрофитное. Один из широко распространенных жгутиконосцев в сточных водах городских стоков, в активном или аэротенках и в отстойниках</p>

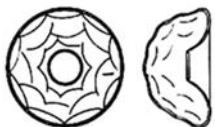
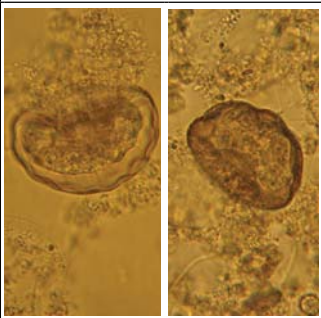

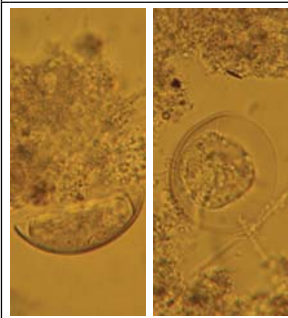
1	2	3	4
 <p><i>Petalomonas mediocanellata</i></p>		<p>Тело сильно уплощенное, овальное, широкое, с двумя продольными бороздками, сдвинутыми к средней части. Зерна парамиллона многочисленные, разной величины. Длина тела 30–40, ширина 23–28 мкм. Длина жгутов около 1/2 длины тела</p>	<p>Питание гетеротрофное, сапрофитное. Обьчен в загрязненных бытовыми отходами водах, в отстойниках очистных сооружений</p>
<p>Тип <i>Sarcomastigophora</i> Подтип <i>Mastigophora</i> Класс <i>Phyтомastigophorea</i> Отряд <i>Euglenida</i></p>			
<p>Род <i>Petaloma</i></p> <p>Бесцветные эвгленовые жгутиконосцы с продолговатым телом. На переднем, закругленном конце, у основания жгутов – цитостом с двумя твердыми продольными палочками, идущими вдоль глотки. Жгутов 2: передний, плавательный жгут, и задний, прикрепленный к пелликуле. Задний конец тела закруглен или тупо срезан. Пелликула с тонкими косыми штрихами. Одна сократительная вакуоль в переднем конце тела у стенки жгутикового резервуара. Ядро в центре тела, парамиллоновые зерна разных размеров и формы. Размножение только агамное. Организмы гетеротрофные, основная пища – бактерии, но среди перанем есть хищные виды, питающиеся разнообразными мелкими животными</p>			
 <p><i>Petaloma trichophorum</i></p>		<p>Крупный жгутиконосец с удлиненным цилиндрическим телом, трехгранным в поперечном сечении. Пелликула с четко выраженными косыми штрихами.</p> <p>2 жгута выходят в середине переднего конца тела из жгутикового резервуара. Плавательный жгут сильно развит, при движении прямой и хорошо виден у живых экземпляров. Рулевой жгут прикреплен к пелликуле и проходит косо вдоль тела. Палочковый аппарат развит хорошо и виден у живых особей</p>	<p>Хищник, основная пища – простейшие. В очистных сооружениях обитает в виде во все сезоны года, массового разведения достигает особенно в активном иле аэротенков</p>

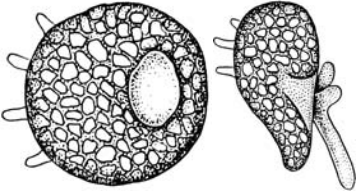
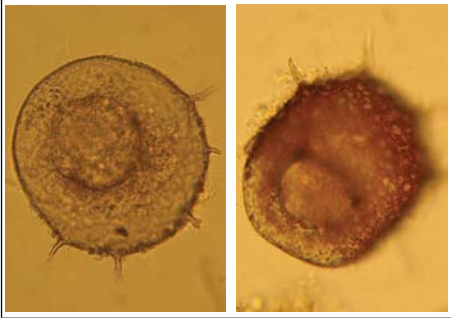

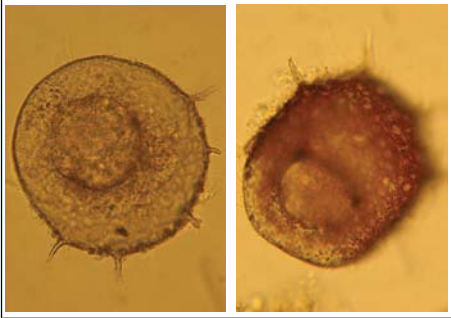

1	2	3	4
 <p><i>Entosiphon sulcatum</i></p>		<p>Задний конец тела широкий, прямой, но может менять форму при движении. Парамиллона много, зерна его расположены в цитоплазме на всем протяжении тела. Длина тела 50–70, ширина 20–25 мкм. Длина плавательного жгула превышает длину тела в 1,5 раза</p>	
<p>Тип <i>Sarcomastigophora</i> Подтип <i>Mastigophora</i> Класс <i>Phytomastigophorea</i> Отряд <i>Engelenida</i></p>			
<p>Клетки неметаболические, немного сжатые, овальные или яйцевидные, с твердой, продольно заштрихованной или ребристой пелликулой. На переднем конце тела с брюшной стороны из отверстия глотки выходят 2 жгула, прикрепляющиеся к резервуару глотки базальными зернами. Передний жгут более короткий и тонкий, при движении интенсивно колеблется, задний – более длинный и толстый, при движении обычно волочится сзади тела. С брюшной стороны возле резервуара имеется одна или несколько сократительных вакуолей. Рядом с глоткой находится узкоконическая палочковая органелла – сифон. Ядро с крупным ядрышком. Деление продольное. Движение ползающее, реже плавающее</p>			
		<p>Клетки эллипсоидные или слегка яйцевидные, с закругленным задним и немного суженным, плоско или косо срезанным передним концами, уплощенные. Пелликула твердая, с 4–8 ребрами и бороздками между ними. Сифон доходит почти до заднего конца. Ядро эллипсоидное, с ядрышком, ближе к центру или немного сбоку. Жгуты выходят из углубления на брюшной стороне клетки. Движение скользящее, слегка дрожжащее. Передний жгут почти равен длине тела, задний в 1,5–2 раза превышает длину тела. Длина тела 16–48, ширина 11–26 мкм</p>	<p>Один из обычных жгутиконосцев очистных сооружений</p>

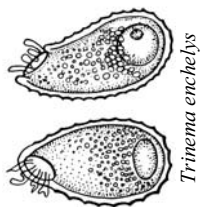
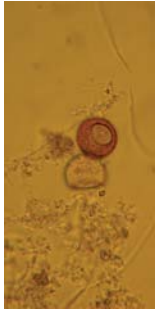


## Индикаторная группа Раковинные амёбы

Графическое изображение организма, название	Фотография	Описание	Индикаторное значение организма
1	2	3	4
 <p><i>Arcella vulgaris</i></p>		<p>Тип <i>Sarcocodina</i> Подтип <i>Sarcodina</i> Класс <i>Lobosea</i> Подкласс <i>Testacalobosia</i> Отряд <i>Arcellinida</i></p> <p>Род <i>Arcella</i></p> <p>Раковинка состоит из органического материала, прозрачная, от бесцветной до темно-коричневой, с гексагональной структурой, которая не всегда хорошо видна. Сверху дисковидная, иногда много- или четырехугольная, с зубцами или края ее гладкие, в профиль полукруглая, но вершина ее может быть срезана, а нижний край вогнут. Устье в центре брюшной поверхности раковинки, которая считается передним ее концом, форма устья округлая или овальная. Клетка не занимает всего пространства раковинки и связана с ее стенками с помощью цитоплазматических тяжей. Лобоподии немногочисленные, форма их постоянно меняется. Ядер 2 или больше. Сократительных вакуолей несколько</p>	<p>Один из обилие-ных многочислен-ных видов фауны активного ила аэро-тенков</p> <p>Раковинка полукруглая в профиль, вершина ее закруглена и приподнята, нижняя поверхность вогнута, с закругленными краями и округлым устьем в центре. Цвет раковинки от светло-желтого до темно-коричневого, гексагональная структура поверхности хорошо выражена. Клетка не заполняет весь объем раковинки и связана с ней многочисленными нитевидными тяжами цитоплазмы. Ядер 2, пузырьковидной формы. Сократительных вакуолей несколько (3–5). Диаметр раковинки 30–100 мкм, высота раковинки около половины ее диаметра</p>

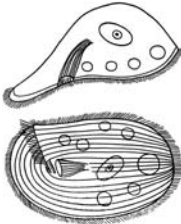
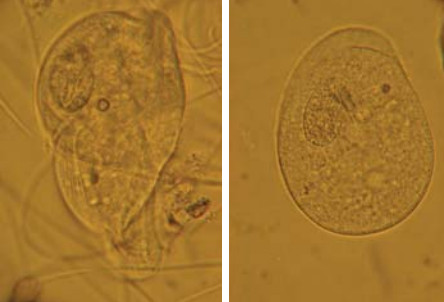
Продолжение табл. 2

1	2	3	4
 <p><i>Arcella gibbosa</i></p>		<p>Раковина бесцветна у молодых особей и желтоватая или коричневая у взрослых. Форма раковины круглая сверху и имеет вид полушеры в профиль. Брюшная поверхность раковины и ее внешний край гладкие, выпуклая часть имеет регулярные углубления. Устье вдавлено, округлое и имеет выраженный краевой ободок. Отношение высоты раковины к диаметру 0,5–0,9. Диаметр раковины 70–125, высота 49–74, диаметр устья 19–32 мкм</p>	<p>Питаются бактериями, мелкими водорослями</p>
 <p><i>Microchlamys patella</i></p>		<p>Род <i>Microchlamys</i></p> <p>Раковина диаметром около 45 мкм, способная к изгибанию или ригидная, построена из органического материала. Цитоплазматическое тело окружено мембраной с единственным отверстием. Мембрана прикрепляется к раковине через определенные промежутки. Ядро занимает центральное положение. Псевдоподии цилиндрической формы</p>	<p>Питание гетеротрофное. Основная пища – бактерии и водоросли</p>
		<p>Раковина прозрачная, желтоватая или коричневая, круглая сверху, в профиль напоминает перевернутое неглубокое блюдце. Поверхность ее может быть гладкой или шероховатой. Диаметр раковины 31–48 мкм, высота 13–16 мкм</p>	



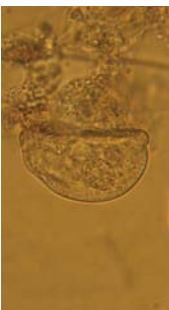


1	2	3	4
 <p style="text-align: right;"><i>Centropyxis aculeata</i></p>		<p style="text-align: center;">Род <i>Centropyxis</i></p> <p>Раковинка округлая или дисковидная, покрыта песчинками, частичками детрита или оболочками диатомовых водорослей. Устье расположено эксцентрично, втянуто внутрь, форма его округлая, овальная или лопастная, от краев его внутри могут отходить выступы. На поверхности раковинки часто бывают шипы. Клетка занимает весь объем раковинки. Ядро одно, есть сократительная вакуоль. Псевдоподии типа лобоподий. Размножение только агамное путем бинарного деления клетки</p>	
 <p style="text-align: right;"><i>Centropyxis</i> sp.</p>		<p>Раковинка варьирует по форме и размерам, снаружи покрыта мелкими песчинками, кусочками детрита, створками оболочек диатомовых водорослей. Цвет раковинки желтый или коричневый. Устье расположено эксцентрично, форма его изменчива. Край устья продолжается внутри раковинки в виде зубчиков или пластинок. На вершине раковинки 4–6 шипиков. Диаметр раковинки 100–150, диаметр устья 50–60 мкм</p>	<p>Гетеротрофы, пищевой служат бактерии, мелкие водоросли, простейшие. Широко распространенный массовый вид в очистных сооружениях. Один из облигатных видов активного ила азотенков</p>
		<p>Вид, обладающий мелкими размерами. Раковинка округлая, бесцветная, покрыта снаружи мелкими минеральными частичками. Устье округлое или слегка овальное, расположено эксцентрично</p>	<p>В активном иле образует массовые популяции, прикрепляясь к бактериальным хлопьям</p>

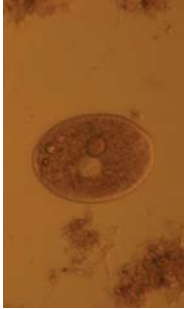



1	2	3	4
 <p><i>Trinema encheleyis</i></p>		<p>Лобоподии мелкие, глянцевые. Поверхность раковинки без шпиков. Диаметр раковинки 15–30 мкм</p>	
<p>Тип <i>Sarcocystisophora</i> Подтип <i>Sarcodina</i> Класс <i>Filosea</i> Отряд <i>Gromiida</i></p>			
<p>Род <i>Trinema</i></p> <p>Раковинка овальная или яйцевидная, состоит из округлых кремнеземных пластинок. Устье смещено на боковую поверхность раковинки, имеет округлую или овальную форму. Края устья без зубцов. Филлоподии тонкие, неветвящиеся. Ядро одно, в верхней части клетки. Размножение агамное путем митотического деления клетки</p>			
		<p>Раковинка от овальной до яйцевидной формы. Кремнеземные пластинки округлые. Устье овальное, сильно смещено на боковую сторону. Длина раковинки 30–100, ширина 15–60; диаметр кремнеземных пластинок 4–12 мкм</p>	<p>Питание гетеротрофное. Основная пища – бактерии и другие мелкие организмы, частицы детрита. В очистных сооружениях встречается постоянно, особенно много в активном иле аэротенков</p>

## Индикаторная группа Свободноплавающие инфузории

Графическое изображение организма, название	Фотография	Описание	Индикаторное значение организма
1	2	3	4
Тип <i>Ciliophora</i> Подтип <i>Ciliata</i> Класс <i>Kinetophragminophora</i> Подкласс <i>Hypostomatia</i>			
Род <i>Chilodonella</i>			
 <p data-bbox="804 1189 848 1300"><i>Chilodonella cucullulus</i></p>		<p data-bbox="409 161 505 1366">Тело овальное, дорсовентрально сплющено. Вентральная сторона плоская, дорсальная в задней половине выпуклая. Передняя часть уплощена также и с дорсальной стороны, и по ней может проходить поперечная борозда, усаженная чувствительными ресничками. Цитостом круглый, глотка вооружена трихитами, которые могут выдвигаться наружу. <i>Ma</i> округлый, лежит в задней, утолщенной части тела. Число пульсирующих вакуолей варьирует. В активном иле два вида</p>	
<p data-bbox="521 161 566 1366">Форма тела эллипсоидная, с ясно выступающей уплощенной «губой» на переднем конце. Дорсальная поверхность вздута в виде бутра. Пульсирующих вакуолей много. Глотка имеет 12 трихит и 3 неясно выраженные вестibuлярные мембранеллы. Вентральных ресничных рядов 19–20. Длина 130 мкм</p> <p data-bbox="521 360 617 727">Пища – бактерии и водоросли. В активном иле – обычная форма</p>			



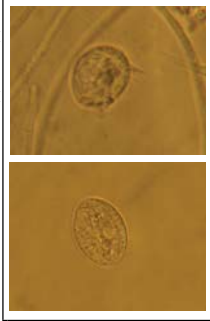
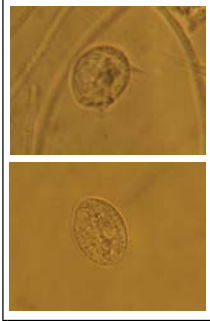





1	2	3	4
 <p><i>Chilodonella uncinata</i></p>		<p>По форме тела и отдельным признакам похожа на <i>Ch. sicillibus</i>, но имеет только две пульсирующие вакуоли и 11 рядов вентральных ресничек. Длина 50–90 мкм</p>	<p>В активном или обычной форма</p>
<p>Тип <i>Ciliophora</i> Подтип <i>Ciliata</i> Класс <i>Kinetophragminophora</i> Подкласс <i>Synnostomatia</i> Отряд <i>Pleurostomatida</i></p> <p>Род <i>Litonotus</i></p>			
<p>Вытянутые бутылковидные инфузории, уплощенные в переднем (шейке) и заднем (хвосте) отделах. Шейка прозрачная. Ресничный покров имеется только на правой (нижней) стороне тела. Два округлых <i>Ma</i> в центре тела, между ними один <i>Mi</i> нальню, либо вакуолей много, в 2 ряда по краям тела.</p>		<p>Шейка плоская, широкая, ее конец слабо загнут дорсально, задний конец хвостообразно оттянут, прозрачный. Левая (верхняя) сторона несет 3–5 продольных полос. Пульсирующая вакуоль расположена в заднем кончике расширенной части тела перед ее сужением в хвостовой отделе. Два округлых <i>Ma</i> или один вытянутый.</p>	<p>Хищники. В активном или при повышенной нагрузке и нарушениях процесса очистки</p>
<p>Вытянутые бутылковидные инфузории, уплощенные в переднем (шейке) и заднем (хвосте) отделах. Шейка прозрачная. Ресничный покров имеется только на правой (нижней) стороне тела. Два округлых <i>Ma</i> в центре тела, между ними один <i>Mi</i> нальню, либо вакуолей много, в 2 ряда по краям тела.</p>		<p>Шейка плоская, широкая, ее конец слабо загнут дорсально, задний конец хвостообразно оттянут, прозрачный. Левая (верхняя) сторона несет 3–5 продольных полос. Пульсирующая вакуоль расположена в заднем кончике расширенной части тела перед ее сужением в хвостовой отделе. Два округлых <i>Ma</i> или один вытянутый.</p>	<p>Длина до 200 мкм, в активном или часто – значительно более мелкие формы</p>
 <p><i>Litonotus lamella</i></p>			

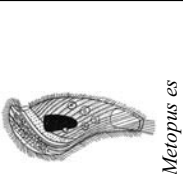
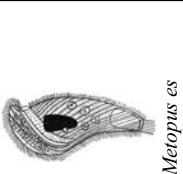


1	2	3	4
Тип <i>Ciliophora</i> Подтип <i>Ciliata</i> Класс <i>Kinetophragminophora</i> Подкласс <i>Gymnostomatia</i> Отряд <i>Prostomatida</i> Род <i>Prorodon</i>	 	<p>Тело эллипсоидное, овоидное, цилиндрическое. Цитостом на переднем конце овальной формы, снабжен сильными трихитами и окружен специальными твердыми ресничками, загнутыми вперед. Характерно присутствие на дорсальной стороне тела специальной «щеточки» из трех рядов сближенных ресничек. На заднем конце тела реснички удлинены. <i>Ma</i> шаровидный. Пульсирующая вакуоль лежит сзади, терминально, снабжена приводящими каналами. Ресничный покров густой и ровный. Длина 80–160 мкм</p>	<p>Распространен широко. Питание бактериальное</p>
Тип <i>Ciliophora</i> Подтип <i>Ciliata</i> Класс <i>Kinetophragminophora</i> Подкласс <i>Gymnostomatia</i> Отряд <i>Prostomatida</i> Род <i>Trachelophyllum</i>	 	<p>Реснички, расположенные вокруг цитостома, загнуты вперед в виде кисточки. Длина 40–50 мкм</p>	<p>Питание бактериальное. В активном или смешанных сточных водах, иногда в массовом количестве</p>

Мелкие вытянутые уплощенные формы, очень гибкие. Цитостом на переднем, суженном конце тела, глотка длинная и узкая. *Ma* два, круглые. Пульсирующая вакуоль одна, на заднем конце тела. В активном или обычен один вид

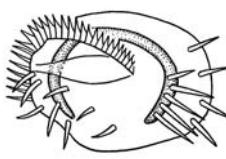
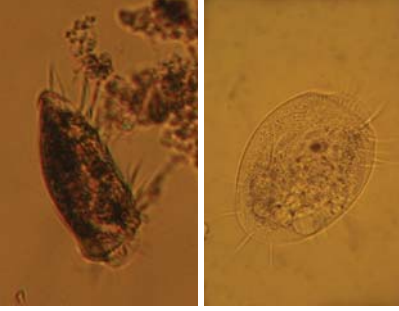
*Trachelophyllum pusillum*

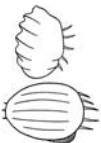
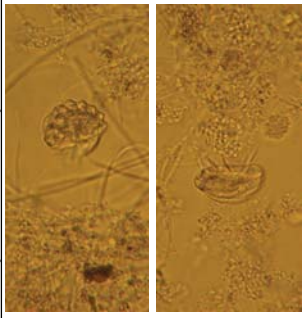

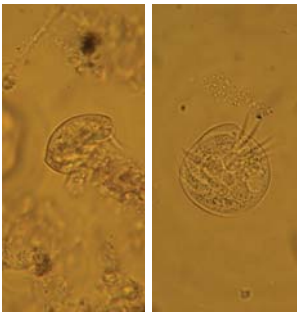
1	2	3	4
<p>Тип <i>Ciliophora</i></p>	<p>Подтип <i>Ciliata</i></p>	<p>Класс <i>Kinetophragminophora</i></p>	<p>Подкласс <i>Syntostomatia</i> Отрадь <i>Prostomatida</i></p>
<p>Бочонковидные инфузории с закругленным задним концом тела, несущим шиловидные отростки. Ротовое отверстие окружено зубцами панциря. На заднем конце тела имеется одна или несколько слабо заметных хвостовых ресничек и хорошо заметные шиловидные выросты панциря (чаще три). Пульсирующая вакуоль на заднем конце тела, <i>Ma</i> круглый, в центре. В активном иле встречается один вид</p>	<p>Род <i>Coleps</i></p>	<p>Тело бочонковидное, задняя часть чуть шире передней. Цвет темно-коричневый. Число пластинок панциря варьирует. Хвостовая ресничка 1, хвостовых шипов 3. Сильно изменчив по размерам и количеству пластинок панциря. Движение очень быстрое. Длина 55–65 мкм</p>	<p>Устойчив к низкому содержанию <math>O_2</math>. Переносит сольеность до 0,3%. В активном иле с высокой нагрузкой</p>
 <p><i>Coleps hirtus</i></p>		<p>Форма овальная, спереди слева несколько выдается. Вентральная сторона уплощена, дорсальная выпуклая. Ресничные ряды тянутся полукругом от переднего левого края к заднему кону и к гриффелю. <i>Ma</i> типичный, справа две пульсирующие вакуоли. Длина 20–30 мкм</p>	<p>Пища – бактерии. В активном иле очень обычная форма</p>
<p>Тип <i>Ciliophora</i> Подтип <i>Ciliata</i> Класс <i>Kinetophragminophora</i> Подкласс <i>Hypostomatia</i></p>	<p>Род <i>Trochilia</i></p>	<p>Мелкие формы с плотной панциреобразной эктоплазмой. Вентральная сторона плоская, дорсальная выпуклая. Реснички имеются только на вентральной стороне в виде изогнутой полосы из нескольких продольных рядов вдоль правой стороны тела. В глотке хорошо заметные трихиты. Ядро состоит из двух половин: темной и светлой (вакуолизированной). На заднем конце тела острый грифель из сросшихся ресничек. В активном иле один вид</p>	<p>Форма овальная, спереди слева несколько выдается. Вентральная сторона уплощена, дорсальная выпуклая. Ресничные ряды тянутся полукругом от переднего левого края к заднему кону и к гриффелю. <i>Ma</i> типичный, справа две пульсирующие вакуоли. Длина 20–30 мкм</p>
 <p><i>Trochilia minuta</i></p>		<p>Форма овальная, спереди слева несколько выдается. Вентральная сторона уплощена, дорсальная выпуклая. Ресничные ряды тянутся полукругом от переднего левого края к заднему кону и к гриффелю. <i>Ma</i> типичный, справа две пульсирующие вакуоли. Длина 20–30 мкм</p>	<p>Пища – бактерии. В активном иле очень обычная форма</p>

1	2	3	4
	Тип <i>Ciliophora</i> Подтип <i>Ciliata</i> Класс <i>Oligohymenophora</i> Отряд <i>Hymenostomatida</i> Подотряд <i>Tetrahymenina</i>		
<p>Род <i>Uronema</i></p> <p>Род включает овальных или вытянуто-овальных инфузорий, слегка уплощенных. Передний конец не имеет ресничек. Вестибулум расположен вентрально, близко к левой стороне передней половины тела и вооружен маленькой язычковой мембраной. Имеется один овальный <i>Ma</i> и терминально расположенная пульсирующая вакуоль. В активном иле один вид</p>   <p><i>Uronema nigricans</i></p>	<p>Тело вытянуто-овальное, спереди несколько сужено, к левой стороне вестибулула прикрепляется маленькая треугольная undulating membrane. Реснички длинные, разделены в 14–15 продольных рядов. Одна длинная каудальная ресничка на конце тела. Рядом со сферическим <i>Ma</i> лежит единственный <i>Mi</i>.</p> <p>Длина 19–32, по Калло 30–50 мкм</p>	<p>Широко распространено в странах, особенно в сильно загрязненной воде.</p> <p>В активном иле с высоким содержанием органических веществ</p>	
<p>Тип <i>Ciliophora</i> Подтип <i>Ciliata</i> Класс <i>Polyhymenophora</i> Подкласс <i>Spirotrichida</i> Отряд <i>Heterotrichida</i></p> <p>Род <i>Climacostomum</i></p> <p>Тело овальное, в поперечном разрезе несколько сплющенное, имеет равномерный ресничный покров. Правый край перистомы лишен мембранелл, левый несет АЭМ, которая внизу у вестибулярного отверстия закручивается в спираль по часовой стрелке. Вестибулум в виде длинной изогнутой трубки. Пульсирующая вакуоль сзади, с 2 каналами, направленными вперед по бокам тела. В активном иле 1 вид</p>  <p><i>Climacostomum virens</i></p>	<p>В основном с признаками рода <i>Ma</i> имеет форму буквы «З». В теле могут находиться симбиотические водоросли.</p> <p>Длина тела 100–300 мкм</p>	<p>Пища – бактерии, жгутиковые.</p> <p>В активном иле редок, чаще встречается во вторичных отстойниках</p>	

1	2	3	4
Тип <i>Ciliophora</i> Подтип <i>Ciliata</i> Класс <i>Polyhymenophora</i> Подкласс <i>Spirotrichida</i> Оряд <i>Heterotrichida</i>	Род <i>Metopus</i>		
Основной признак – вытягивание АЗМ в диагональном или поперечном направлении по ventральной стороне тела. Форма тела варьирует от плоской до перекрученной с загнутой в виде козырька передней частью тела. АЗМ пересекает ventральную сторону тела, на которой располагается щелевидное вестибулярное отверстие. В центре самой широкой части тела лежит крупный компактный <i>Ma</i> , на заднем конце тела – крупная пульсирующая вакуоли. В активном иле два вида	 <p style="text-align: center;"><i>Metopus es</i></p>	Тело имеет форму латинской буквы «S». Передний конец (предготовая часть) значительно короче задней и нависает в виде козырька над ventральной стороной тела, которую по диагонали пересекает АЗМ. Задняя часть вытянута и сужена, терминальный ее конец тупо срезан. Длина тела 120–160 мкм	Питание бактериальное. В загрязненных водах. В сточной воде, в активном иле с высокой нагрузкой
 <p style="text-align: center;"><i>Paramecium aurelia</i></p>		Тело имеет форму латинской буквы «S». Передний конец (предготовая часть) значительно короче задней и нависает в виде козырька над ventральной стороной тела, которую по диагонали пересекает АЗМ. Задняя часть вытянута и сужена, терминальный ее конец тупо срезан. Длина тела 120–160 мкм	Питание бактериальное. В загрязненных водах. В сточной воде, в активном иле с высокой нагрузкой
Тип <i>Ciliophora</i> Подтип <i>Ciliata</i> Класс <i>Oligohymenophora</i> Оряд <i>Hymenostomatida</i> Подотряд <i>Paramecium</i>	Род <i>Paramecium</i>		
Тело веретеновидно вытянутое или более широкое, вдоль него от переднего конца, часто ассиметрично, проходит перистомальная впадина, ведущая к вестибулу. Вестибулум и ротовое отверстие помещаются в передней половине или в центре тела. Соматическая циллиатура полная и равномерная. В эктоплазме многочисленные трихоцисты. Обычно имеются две пульсирующие вакуоли. <i>Ma</i> один, лежит в центре тела, <i>Mi</i> от одного до нескольких		Тело сигарообразное, но задний конец более закруглен, чем у <i>P. caudatum</i> . <i>Ma</i> расположен центрально, около него два пузыревидных <i>Mi</i> . Продольная борозда (перистом) шире и менее глубокая, чем у <i>P. caudatum</i> . Две пульсирующие вакуоли со звездчато расположенными приводящими каналами в разных концах тела. Ресничный покров равномерный. Длина 130–180 мкм	Питаются бактериями. В сильно загрязненной сточной воде часто особый вид. В активном иле встречается редко

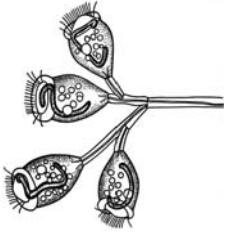
**Индикаторная группа Брюхоресничные инфузории**

Графическое изображение организма, название	Фотография	Описание	Индикаторное значение организма
1	2	3	4
<p align="center">Тип <i>Ciliophora</i> Подтип <i>Ciliata</i> Класс <i>Polytrichophora</i> Подкласс <i>Spirotrichida</i> Отряд <i>Euplotrichida</i></p>			
<p align="center">Род <i>Euplotes</i></p>			
<p>Инфузории этого рода обладают широкой перистомальной областью, вооруженной хорошо развитыми мембранеллами. Цирры хорошо развиты, но расположены в строго определенных областях вентральной стороны тела. Краевых цирр нет. Тело овоидной формы, нестигаемое, пелликула жесткая, панциреобразная. Дорсальная сторона тела часто несет ребристость, расположенную продольно, вентральная сторона плоская, несет цирры: 9 или более фронтально-вентральных, 5 анальных и 4 разбросанные хвостовые. Перистом в виде широкого треугольника, передняя часть АЗМ лежит в плоской впадине. <i>Ma</i> лентовидный, по форме варьирует у разных видов, <i>Mi</i> один, маленький</p>			
 <p align="right"><i>Euplotes patella</i></p>		<p>Форма крупная, очертания округлые, эллипсоидные, иногда угловатые. Дорсальная поверхность несет 6 продольных ребер, но они могут быть и слабо выражены. АЗМ в передней части расположена фронтально, затем загибается под углом и спускается к вестибулу почти перпендикулярно. <i>Ma</i> имеет С-образную форму. <i>Mi</i> лежит близко от переднего конца тела, с левой стороны. Длина тела 80–150 мкм</p> <p>Питается водорослями, жгутиконосцами, инфузориями. Распространен широко. В активном или иногда многочислен</p>	

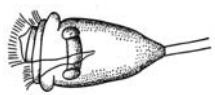
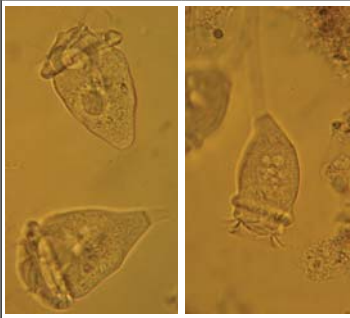
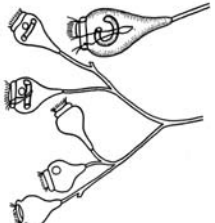
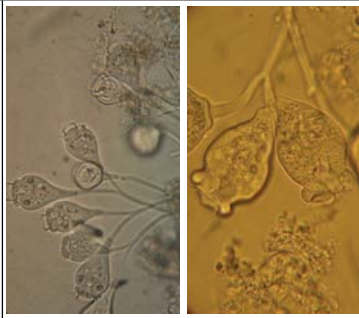
1	2	3	4
<p style="text-align: center;">Род <i>Aspidisca</i></p>  <p style="text-align: center;"><i>Aspidisca costata</i></p>	<p style="text-align: center;">Род <i>Aspidisca</i></p> 	<p>Тело овальное. Легко отличается благодаря присутствию на дорсальной стороне хорошо заметных 6 продольных ребер. Имеет 7 фронтальных и 5 анальных цирр. <i>Ma</i> заметен плохо из-за толстой пелликулы, лежит в передней части тела. Размеры изменчивы, длина тела 25–40 мкм</p>	<p>Питание бактериальное. Наиболее распространен в активном или нормальном или нормально работающих аэротенках. Широкий диапазон толерантности к различным факторам среды. В илах всех уровней нагрузки</p>
 <p style="text-align: center;"><i>Aspidisca lyncensis</i></p>		<p>Более крупный, чем <i>A. costata</i>, спинная сторона менее выпуклая и гладкая, лишена ребер и зубцов. Длина тела 30–50 мкм</p>	<p>Питание бактериальное. В активном или часто массовый вид, но реже, чем <i>A. costata</i>. Встречается при снижении нагрузок, с хорошо протекающими процессами нитрификации</p>

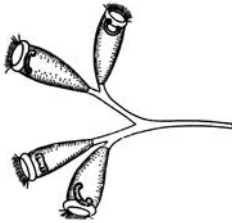
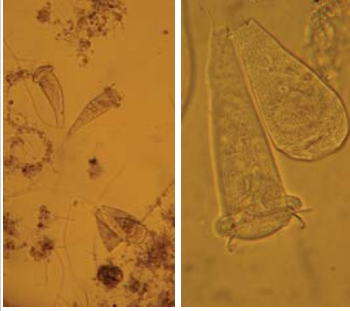
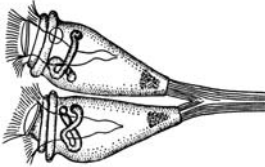
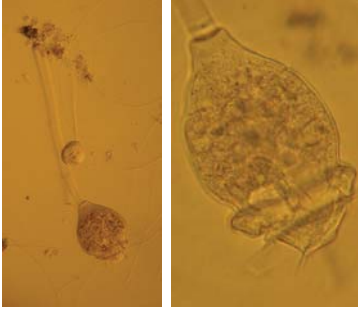


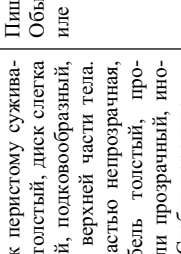
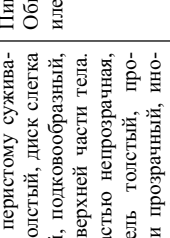
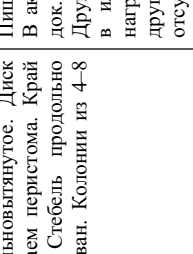
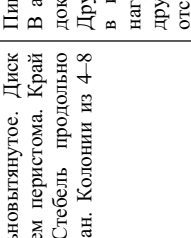
## Индикаторная группа Кругоресничные инфузории

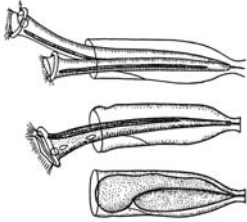
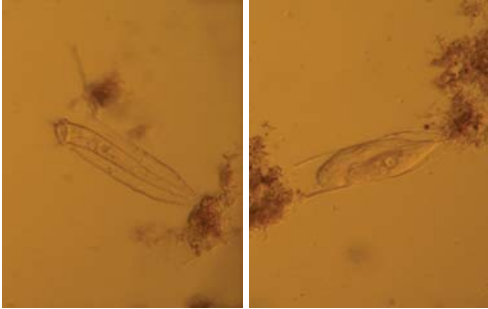
Графическое изображение организма, название	Фотография	Описание	Индикаторное значение организма
1	2	3	4
<p>Тип <i>Ciliophora</i> Подтип <i>Ciliata</i> Класс <i>Peritricha</i> Отряд <i>Sessilida</i></p> <p>Род <i>Carchesium</i></p>			
<p>Виды исключительно колоннальные, но мионемы отдельных отдельных стеблей не соединяются между собой и стебли отдельных зооидов сокращаются и расправляются самостоятельно</p>	 <p><i>Carchesium batorigetense</i></p>	<p>Тело вытянуто-овальной или овальной формы, сужено к перистому. Валик перистомы неширокий, диск выпуклый. Ма одним концом вытянут вдоль тела, другим окружает глотку. Пульсирующая вакуоль в верхней половине тела. Колонии небольшие (4–16 зооидов), на тонких, древовидно ветвящихся стеблях. В месте ветвления стебли отделены друг от друга перегородками.</p> <p>Длина тела 52–78 мкм</p>	<p>В активном или присутствует постоянно</p>
<p>Род <i>Epistylis</i></p> <p>Инфузории колоннальные, на несократимом стебле. Колонии древовидные, форма тела разнообразная, но всегда с валиком, окружающим перистом (основной признак рода). В активном или встречается несколько видов</p>			

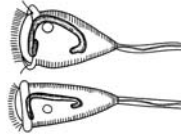
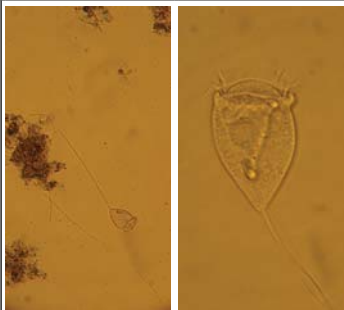
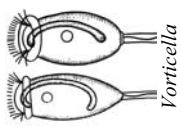



1	2	3	4
 <p><i>Epistylis bimarginata</i></p>		<p>Тело овальное или короткогрушевидное, суженное книзу. Валок перистома двойной, верхнее кольцо валика часто стоит вертикально, нижнее отогнуто в стороны. Диск в центре имеет носикообразное возвышение. <i>Ма</i> подковообразный, лежит поперек тела под перистомом. Стебли длинные, прозрачные, средней ширины. Длина тела 50–86 мкм</p>	<p>Пища – бактерии. В активном или со средней и небольшой нагрузкой встречается часто</p>
 <p><i>Epistylis longicaudatum</i></p>		<p>Мелкий вид с правильной грушевидной формой тела, с узким, сильно вытянутым нижним концом. Перистом сильно сужен, окружен плотным валиком. Пелликула гладкая. <i>Ма</i> подковообразный, лежит поперек в широкой части тела. Диск плоский. Глотка узкая, длинная, спускается до нижней, узкой части тела. Стебель тонкий, ветвление неправильное, часто одностороннее, ветви несколько изогнуты. Колонии небольшие, менее 10 особей. Длина тела 35–61 мкм</p>	<p>Пища – бактерии</p>

1	2	3	4
 <p style="text-align: center;"><i>Epistylis plicatilis</i></p>		<p>Тело в форме вытянутого конуса, самая широкая часть – перистом. Диск выпуклый. <i>Ma</i> полковообразный, короткий, лежит горизонтально в верхней части тела под перистомом. Стебель гладкий, прозрачный, выскокй. Колонии крупные, до нескольких десятков особей. Высота колоний в водоемах достигает нескольких мм. Длина тела 98–145 мкм, иногда меньше</p>	<p>Пища – бактерии. В активном иле один из постоянных видов. Свидетельствует о высоком качестве очистки и хороших нитрифицирующих свойствах ила</p>
 <p style="text-align: center;"><i>Epistylis potemici</i></p>		<p>Крупный вид с телом в форме вытянутой груши. Иногда тело перегнуто посередине, расширено вверх и вниз. Напоминает <i>E. irseolata</i>, но отличается от него двойным перистомальным валиком, тонким, неправильно изогнутым <i>Ma</i>, толстыми и длинными, продольно исчерченными стеблями, в центре которых хорошо виден светлый канал. Длина тела 97–145 мкм</p>	<p>Питание – бактерии, мелкие жгутиковые</p>

1	2	3	4
 <p><i>Epistylis urceolata</i></p>		<p>Тело амфорообразное, к перистому суживается. Валек перистама толстый, диск слегка выпуклый. <i>Ma</i> короткий, подковообразный, лежит горизонтально в верхней части тела. Цитоплазма большей частью непрозрачная, гранулированная. Стебель толстый, продольно исчерченный или прозрачный, иногда сегментированный. Стебли короткие. Длина тела 60–130 мкм</p>	<p>Пища – бактерии. Обьечн в активном иле</p>
<p>Стебель несократимый, прозрачный, ветвящийся. Формы колоннальные. Формы колоннальные. Тело овальное или веретеновидное, к перистому суживается, валек перистама отсутствует, диск на ножке, подымается над краем перистама. <i>Ma</i> подковообразный, всегда лежит поперек в расширенной части тела, огйбая большую мешковидную глотку. В активном иле – несколько видов</p>	<p>Род <i>Opercularia</i></p>	<p>Тело очень узкое, сильновытянутое. Диск высоко поднят над краем перистама. Край перистама зубчатый. Стебель продольно исчерчен и сегментирован. Колонии из 4–8 зоондов. Длина тела 120 мкм</p>	<p>Пища – бактерии. В активном иле редок. Другие виды рода – в илах с высокой нагрузкой, там, где другие перитрихи отсутствуют</p>
 <p><i>Opercularia phryganeae</i></p>		<p>Тело очень узкое, сильновытянутое. Диск высоко поднят над краем перистама. Край перистама зубчатый. Стебель продольно исчерчен и сегментирован. Колонии из 4–8 зоондов. Длина тела 120 мкм</p>	<p>Пища – бактерии. В активном иле редок. Другие виды рода – в илах с высокой нагрузкой, там, где другие перитрихи отсутствуют</p>

1	2	3	4
 <p style="text-align: right;"><i>Thuricicola similis</i></p>		<p style="text-align: center;">Род <i>Thuricicola</i></p> <p>Домик не имеет наружного стебля. Внутри присутствует особый клапан, закрывающий просвет домика, когда животное прячется внутрь. В активном или один вид</p> <p>Домик имеет форму высокого бокала, нижняя часть которого сужена в ножку. Боковые стороны домика иногда волнистые. Края устья чуть отогнуты. Клапан расположен на расстоянии 1/3 длины от отверстия домика. Инфузории длинные, вытянуты в форме музыкальной трубы, сильно исчерчены поперечно, имеют длинный, вытянутый вдоль тела лентовидный <i>Ma</i>. В домике находятся большей частью по две особи неравной длины (но может быть и одна). Ко дну домика зооиды прикрепляются одним коротким внутренним стеблем. Высота домика 160–250, длина тела 200–280 мкм</p>	<p>В активном или бытовых, смешанных и производственных сточных вод время нами наблюдается массовое развитие</p>
<p>Одиночные инфузории. Тело в форме колокола или овала, прикрепленное к очень сильно сократимому стеблю, который при сокращении сворачивается в спираль. В активном или встречается много видов. Целый ряд из них отличается очень сильной внутривидовой изменчивостью, и определение до вида представляет значительные трудности.</p> <p>Род <i>Vorticella</i>, преобладающий в аэрогенах, отличается высокой экологической пластичностью и встречается в широком диапазоне органических нагрузок в пределах поли-, <math>\alpha</math>-, <math>\beta</math>-мезосапробности</p>	<p style="text-align: center;">Род <i>Vorticella</i></p>		

1	2	3	4
 <p><i>Vorticella convallaria</i></p>		<p>Тело колоколовидное, самая широкая часть – перистом. Края перистома имеют вид нетолстого валика или ободка, иногда отогнутого книзу. Перистомальный диск слабовыпуклый. Исчерченность пелликулы нежная, но хорошо выраженная. Цитоплазма прозрачная, иногда желтоватая, пищеварительные вакуоли многочисленные и преимущественно овальные. <i>Ма</i> червеобразно изогнут, один конец его лежит поперечно в верхней части тела, второй вытянут продольно вниз. Вид очень часто склепится сообществами, образует группы вокруг одного комочка ила. Длина тела 50–80 мкм</p>	<p>Пища – бактерии, мелкие жгутиковые. Основной вид рода <i>Vorticella</i> в активном или бытовых и смешанных сточных вод. Не избегает загрязненных вод. При неблагоприятных условиях быстро образует «бродяжку» и уплывает прочь</p>
 <p><i>Vorticella ovum</i></p>		<p>Тело вытянуто-овальное, перистом уже тела или равен ему по ширине. Перистомальный валик толстый, сильно выступающий, диск небольшой, сильновыпуклый. Цитоплазма стекловидно-прозрачная. <i>Ма</i> очень правильной С-образной формы, вытянут вдоль тела. Пульсирующая вакуоль в передней половине, иногда почти в центре тела. Длина тела 70–100 мкм</p>	<p>В активном или встречается периодически</p>

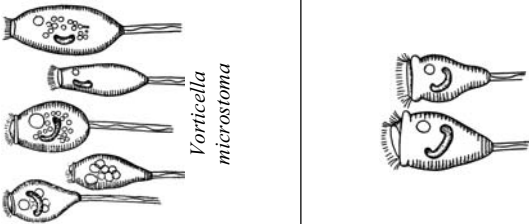
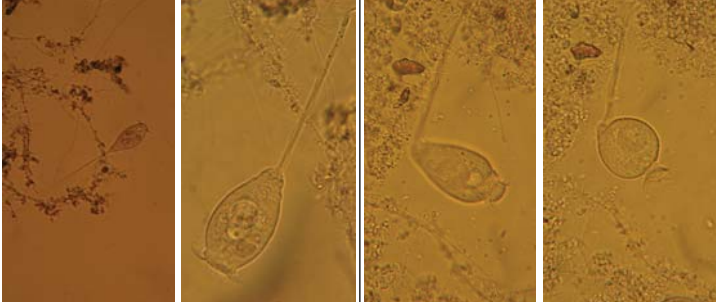
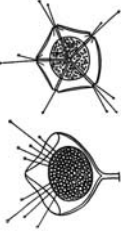
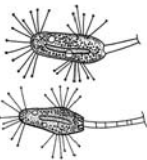
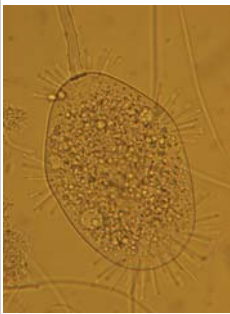
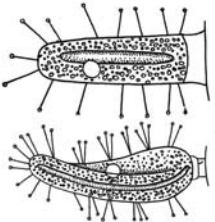


1	2	3	4
 <p><i>Vorticella microstoma</i></p> <p><i>Vorticella submicrostoma</i></p>		<p>Тело в типичном случае грушевидное. Окраска беловато-серая. Область перистомата заметно сужена, валик практически отсутствует, диск маленький, выпуклый, стембель тонкий, в несколько раз длиннее тела. Пелликула густо исчерчена, но полосы не всегда хорошо видны. <i>Ma</i> подковообразный, но положение его в теле изменчиво (и поперечное, и продольное). Формы мелкие, длина тела 35–85 мкм</p> <p>Мелкий вид с колоколовидной формой тела, иногда чуть сужен под перистомом. Исчерченность сильная. Перистомальный край крепкий, в виде тонкого валика. <i>Ma</i> подковообразный, лежит в центре тела большей частью наклонно. Длина тела 37–48 мкм</p>	<p>Обычна для сильно загрязненных вод. Полисапроб, изосапроб, но может жить и в более чистых зонах. Легко приспособляется и дает ряд морфологических вариаций. Характеризует перегрузку ила</p>

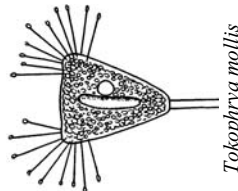
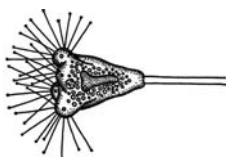

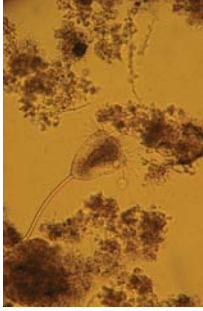
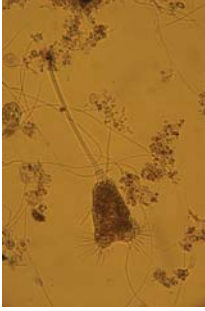
Таблица 6

## Индикаторная группа Сосущие инфузории


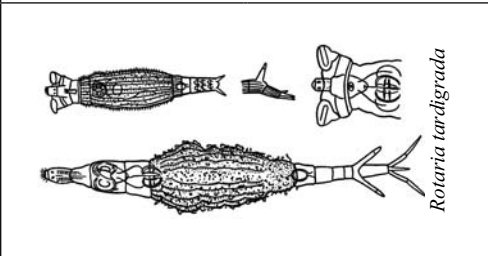
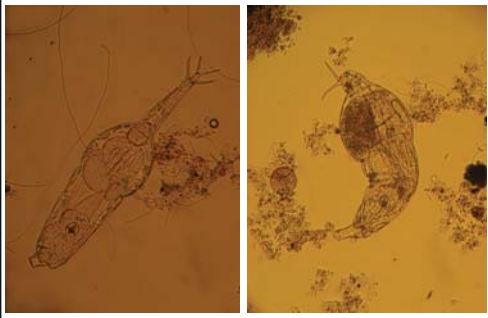
Графическое изображение организма, название	Фотография	Описание	Индикаторное значение организма
1	2	3	4
Тип <i>Ciliophora</i> Подтип <i>Suctoría</i> Отряд <i>Suctorida</i>			
Род <i>Acineta</i>			
Инфузория обитает в домике, целиком покрывающем тело. Домик имеет наружный стержень, большей частью короткий. Тело инфузории не прикрепляется ко дну домика. Щупальца собраны в пучки, высовывающиеся из домика наружу	 <p style="text-align: center;"><i>Acineta cuspidata</i></p>	Домик снизу закруглен чашевидно, в профиль имеет заостренные углы, в плане пятиугольный. Верхняя поверхность его сложена из 5 загибающихся, соединенных в центре лепестков. В щелях между ними расположены 5 пучков щупалец. <i>Ма</i> круглый, лежит в нижней части тела. Домик может нацело или частично заполняться телом животного, имеет очень короткую ножку. Высота домика 30–50 мкм	Хищники. Питаются мелкими и крупными простейшими. В низконагружаемых илах, в аэротенках продленной аэрации, обесчещивающих высокое качество очистки
Род <i>Rhabdophrya</i>			
Вертикально вытянутые в виде столбика формы со щупальцами, расположенными пучками или венчиками вдоль тела. <i>Ма</i> продольно вытянут. Стержень варьирует по длине и толщине, но не превышает длины тела	 <p style="text-align: center;"><i>Rhabdophrya</i> sp.1</p>	Тело палочковидное или веретеновидное, на тонком прозрачном, иногда неправильно сегментированном стержне. На верхнем конце тела пучок из 8–12 щупалец, по бокам тела два пучка из 6–8 щупалец	Хищники. Питаются мелкими и крупными простейшими

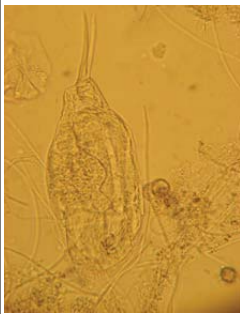
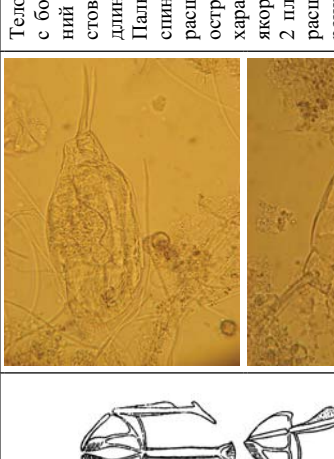
1		3	4
 <p><i>Rhabdophrya</i> sp.2</p>	 	<p>Пульсирующих вакуолей 2. Длина тела 45–55 мкм</p> <p>Тело палочковидное или веретеновидное на коротком и широком цоколевидном стебле (иногда стебель плохо различим). Шуляльца вдоль тела сидят поодиночке или небольшими группами по 2–3 штуки. Пульсирующая вакуоль одна. Длина тела 60–80 мкм</p>	<p>Развивается в небольшом количестве при полном окислении загрязняющих веществ и стабилизации процесса очистки. Индикатор высокого качества очистки</p> <p>Хищники. Питаются мелкими и крупными простейшими. Развивается в небольшом количестве при полном окислении загрязняющих веществ и стабилизации процесса очистки. Индикатор высокого качества очистки</p>

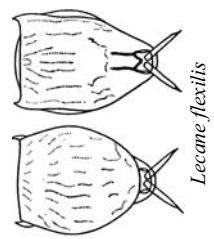
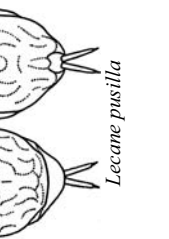


1	2	3	4
<p>Тело грушевидное или пирамидальное. Щупальца собраны в 1–4 пучка на верхней поверхности тела. Стебель неупругий</p> <p></p> <p><i>Tokophrya mollis</i></p> <p></p> <p><i>Tokophrya quadripartita</i></p>	<p>Род <i>Tokophrya</i></p> <p>Тело пирамидальной формы, щупальца собраны в 2 ясные группы на верхнем полюсе тела. <i>Ma</i> лентовидный, выгнут вертикально. Единственная пульсирующая вакуоль расположена в центре.</p> <p>Длина тела 50–70 мкм</p> <p></p> <p></p> <p></p>	<p>Тело пирамидальной формы, верхний полюс большей частью имеет квадратную форму в поперечном сечении. Имеются 4 ясные группы щупалец, по одной в каждом углу верхнего полюса тела. <i>Ma</i> овальный или выгнутый, расположен центрально. Единственная пульсирующая вакуоль лежит в верхней части тела. Вид часто прикрепляется к стеблям инфузорий рода <i>Epirhyalis</i>.</p> <p>Длина тела 50–70 мкм</p>	<p>Хищник. Развивается при полном окислении загрязняющих веществ и стабилизации процесса очистки. Индикатор высокого качества очистки. В активном иле – обычный вид</p> <p>Хищники. Питаются мелкими и крупными простейшими. Развиваются в не- больших количествах при полном окислении загрязняющих веществ и стабилизации процесса очистки. Индикатор высокого качества очистки. В активном иле обычный вид на колониях <i>Epirhyalis</i> и на хлопьях ила</p>

## Индикаторная группа Коловратки

Графическое изображение организма, название	Фотография	Описание	Индикаторное значение организма
1	2	3	4
Тип <i>Nemathelminthes</i> Класс <i>Rotifera</i> Отряд <i>Bdelloidea</i> Семейство <i>Philodinidae</i>			
Род <i>Rotaria</i>			
<p>Тело длинное или очень длинное, с нежными покровами, гладкими, иногда с точками или со штриховатостью. Туловище слабо отделено от шеи и ноги. Тело с хорошо развитыми частями: ногой, пальцами, шпорами, хоботком и спинным щупальцем. Корона обычная. Хоботок иногда очень длинный. На хоботке обычно 2 глазных пятна. Шпоры ноги средней длины или очень длинные. Палец 3, спинной палец обычно короче. В ункусах 2/2, реже 3/3 зуба. Живородящие</p>		<p>Тело средних размеров, от светлого до темнокоричневого цвета. Голова короткая, широкая, корона немного шире ее. Хоботок довольно длинный и тонкий. Спинное щупальце короткое, 1/2 ширины шеи. Туловище ясно отделено, в срединной части с перехватом, на упругих покровах с продольной штриховатостью (бороздками) и приставшими частями детрита. Нога довольно широкая, 5-члениковая, последний членик ноги длинный. Шпоры длинные, в 2 раза длиннее членика ноги, на конце с небольшим члеником. Пальцы ноги неодинаковые: 2 самых длинных бросших пальца значительно длиннее шпор. В ункусах 2/2 зуба.</p>	<p>Устойчивы к изменениям условий среды.</p> <p>Встречаются при перрузке аэротенков и неполной очистке воды</p>
 <p><i>Rotaria tardigrada</i></p>		<p>Длина 360–700 мкм. У формы с длиной тела 700 мкм длина шпор 60 мкм</p>	

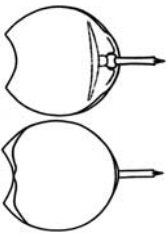
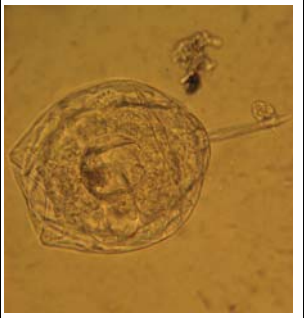
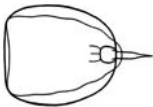

1	2	3	4
	Тип <i>Nemathelminthes</i> Класс <i>Rotifera</i> Отряд <i>Ploimida</i> Семейство <i>Notommatidae</i>	Род <i>Cephalodella</i>	
<p>Тело подразделено на голову, туловище и ногу. Туловище чаще призматическое, иногда веретеновидное или мешковидное, нередко сжатое с боков. Уплотненные покровы туловища образованы несколькими пластинками (обычно 2 вентролатеральные и 2 дорсолатеральные), соединенными бороздками. На голове косозелений коловращательный аппарат. Рот нередко окружен клоновидными губами. Нога короткая, не разделенная на членики, прикрытая более или менее развитым хвостовым выростом. Пальцы ноги равные, короткие или длинные, чаще тонкие. Мастак с мощной мускулатурой, позволяющей высасывать добычу. Плечуральные палочки развиты не у всех видов. Глазные пятна фронтальные или церебральные, простые или удвоенные, иногда заключенные в капсулу, с красным пигментом или бесцветные</p>		<p>Тело относительно крупное, заметно сжатое с боков, на спине сильно выпуклое. Передний край небольшой головы скошен. Хвостовой вырост полностью или наполовину длины прикрывает ногу. Нога короткая. Пальцы длинные, тонкие, согнутые на спинную сторону, у основания немного расширенные и постепенно переходящие в острые концы. Челюстной аппарат мастакса характерен строением манубрий, на концах явно расширенных, у основания с 2 пластинками. Фулькрум на конце (сбоку) расширенный. Рамусы без аллола, на внутренних краях с зубчатой пластинкой. Глазное пятно фронтальное, с линзой или двойное, красное, у псаммонных форм обычно бесцветное.</p>	<p>Хищники. Поседают коловраток, инфузурий, водоросли. Эвритопны. Встречаются в средах с широкой амплитудой колебания БПК<sub>5</sub> (0–30 мг/дм<sup>3</sup>)</p>
	<p>Общая длина 250–450, пальцев 67–170, мастакса 70–90 мкм</p>		
			<p><i>Cephalodella gibba</i></p>

1	2	3	4
	Тип <i>Nemathelminthes</i> Класс <i>Rotifera</i> Отряд <i>Ploumida</i> Семейство <i>Lecanidae</i>	Род <i>Lecane</i>	
<p>Тело подразделено на голову, туловище и ногу. Брюшная пластинка панциря обычно больше спинной. Пластинки соединены боковыми складками, образующими боковые борозды. Передние края панциря прямые, выпуклые или вогнутые, совпадающие или нет, нередко с боковыми, реже срединными шипами. Задний край панциря чаще округлый, иногда с хвостовым придатком или шипом. Пальцы ровные, реже вздутые. Коточки, если есть, иногда с плечиками. На конце палец постепенно переходит либо перехватом в концевое острие, либо уступом в коточок. Коточки 1 или 2, в последнем случае они иногда разделены продольной бороздой или линией. Подрод <i>Monostyla</i> – пальцы ноги полностью слиты в один</p>		<p>Панцирь овальный, иногда почти округлый со скульптурой в виде гребней и полей. Передний край широкий, слабовыпуклый, с боковыми шипами. Второй членок ноги обычно заходит за задний край панциря. Пальцы искривленные, с кривыми коточками, часто заметны плечики. Спинная пластинка: длина 72–76, ширина 63–66; брюшная: длина 66–90, ширина 50–60; длина пальцев 22–30, коточка 3–5 мкм</p>	<p>Показатель высокого качества очистки воды</p>
	<p>Панцирь твердый, чашевидный, со скульптурой в виде фасеток. Передние края широкие, прямые, почти совпадают с боковыми углами. Спинная пластинка усеченно-округлая, брюшная удлиненная, с параллельными или слабо вздутыми сторонами. Боковые борозды глубокие. Второй членок ноги почти округлый, не заходит за задний край панциря. Пальцы короткие, перед коточком утолщенные. Спинная пластинка: длина 54, ширина 52; брюшная: длина 60, ширина 45; ширина переднего края 50, длина пальцев 20–26, коточка 5 мкм</p>	<p>Индикаторное значение четко не определено</p>	

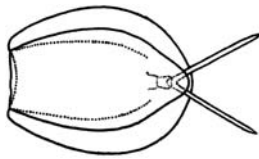
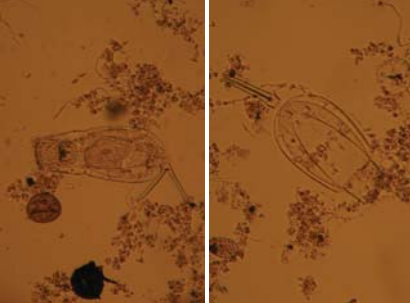
4	3	2	1
<p>Индикаторное значение четко не определено</p>	<p>Панцирь с хорошо выраженной своеобразной скульптурой в виде гребней, удлиненно-эллиптический, узкий (ширина около 3/5 длины). Передние края слегка выпуклые. Последний членик ноги выступает за край панциря. Пальцы очень длинные, тонкие, прямые. Коготки тонкие, острые, без плечиков. Общая длина 220; длина спиной пластинки 120, брюшной 145, ширина панциря 84, длина пальцев 38, коготка 20 мкм. Европейские формы меньших размеров. Спинальная пластинка: длина 70–78, ширина 60–65; брюшная пластинка: длина 89–85, ширина 60–64; длина пальцев 35–40, коготка 10–13 мкм</p>		 <p><i>Lecane elongata</i></p>
<p>Встречается в водах, в которых наблюдается практически полное окисление органического вещества (с БПК<sub>5</sub> не более 30 мг/дм<sup>3</sup>)</p>	<p>Панцирь овальный, гладкий, с поперечной брюшной складкой над ногой. Спинальная пластинка сильновыпуклая. Передние края панциря с U-образной выемкой, неодинаковые: более узкая и глубокая выемка на брюшной стороне. Второй членик большой, не заходящий за задний край панциря. Палец ноги сравнительно длинный, в средней части немного вздутый. Коготок с продольной бороздой и плечиками. Общая длина 160–234; спинальная пластинка: длина 101–123, ширина 75–105; брюшная пластинка: длина 93–140, ширина 68–97; длина пальца 48–72, коготка 14–22 мкм</p>		 <p><i>Lecane (Monostyla) bulla</i></p>

1	2	3	4
 <p style="text-align: center;"><i>Lecane (Monostyla) closterocerca</i></p>		<p>Панцирь широкоовальный или почти округлый, гладкий, иногда с несколькими складками. Передние края волнугие, совпадающие или параллельные. Боковые углы их умеренно выступающие, без шипиков, иногда закруглены. Палец без коготка, постепенно суживающийся к концу.</p> <p>Общая длина 83–128; спинная пластинка: длина 54–90, ширина 53–75; брюшная пластинка: длина 57–82, ширина 44–60; длина пальца 21–38 мкм</p>	<p>Встречаются в водах, в которых наблюдается полное окисление органического вещества (с БПК<sub>5</sub> не более 30 мг/дм<sup>3</sup>)</p>
 <p style="text-align: center;"><i>Lecane (Monostyla) decipiens</i></p>		<p>Панцирь овальный, гладкий. Передние края панциря совпадают с глубоким средним вырезом и острыми боковыми треугольными углами. Второй членик ноги не заходит за задний край панциря. Палец без коготка, постепенно суживающийся на конце.</p> <p>Общая длина 175; спинная пластинка: длина 75–116, ширина 60–98; брюшная пластинка: длина 90–128, ширина 50–78; длина пальца 25–48 мкм</p>	<p>Встречаются в водах с БПК<sub>5</sub> не более 30 мг/дм<sup>3</sup></p>

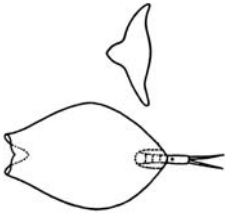
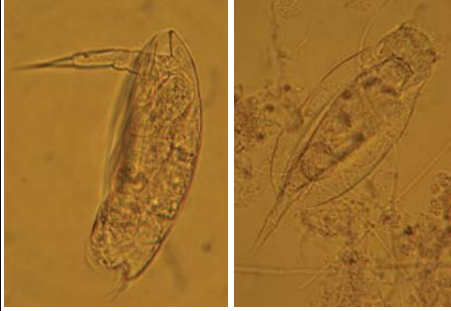
Продолжение табл. 7

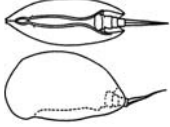

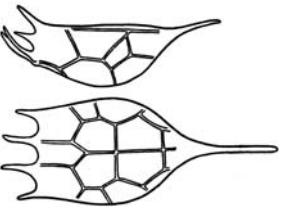

1	2	3	4
 <p><i>Lecane (Monostyla) cornuta</i></p>		<p>Панцирь почти округлый, иногда с поперечной складкой у переднего спинного края и на брюшной стороне над ногой. Передние края панциря округло-вогнутые, с тупыми боковыми углами, или волнисто-вогнутые, с маленькими боковыми шипиками. Задний край брюшной пластинки округлый. Нога с нежестким 1-м и почти квадратным 2-м члеником. Палец длинный, с 2 коготками и шпечиками. Общая длина 120–158; спинная пластинка: длина 90–102, ширина 88–105; брюшная: длина 85–128, ширина 88–105; палец 40–46, коготок 8–10 мкм</p>	<p>В более загрязненных водах, но с преобладанием окислительных процессов. Обитает при pH 5–10, температуре 5–32°C</p>
 <p><i>Lecane (Monostyla) pyriformis</i></p>		<p>Панцирь овальный, гладкий. Передние края панциря прямые или немного выпуклые, с закругленными боковыми углами. Боковые борозды неясные. Второй членик ноги не заходит за задний край панциря. Палец ноги изменчивый в форме, кинжаловидный, веретеновидный или до середины ровный, затем суживающийся в тонкое острие. Общая длина 62–88; спинная пластинка: длина 51–67, ширина 40–60; брюшная пластинка: длина 53–70, ширина 39–49; длина пальцев 22–33 мкм</p>	<p>Встречаются при перегрузке аэротенков и неполной очистке воды</p>



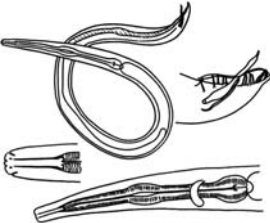
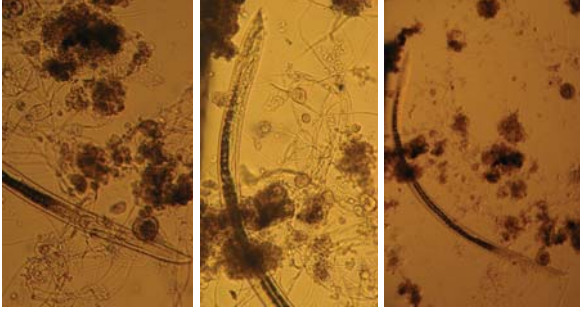
1	2	3	4
	<p>Тип <i>Nemathelminthes</i> Класс <i>Rotifera</i> Отряд <i>Ploumida</i> Семейство <i>Euchlanidae</i></p> <p>Род <i>Dipleuchlanis</i></p>		
 <p><i>Dipleuchlanis propatula</i></p>		<p>Пальцы ноги длинные, около 1/2 длины панциря, с параллельными краями и коротким острием. Передний брюшной край слабо выгнутый. В унксах 7 основных зубов. У молодых особей желудочные железы удлиненные, колбасовидные, у взрослых – широкие и лопастные.</p> <p>Общая длина 230–375, длина панциря 110–200, пальцев 70–100 мкм</p>	<p>Индикаторное значение четко не определено</p>
	<p>Тип <i>Nemathelminthes</i> Класс <i>Rotifera</i> Отряд <i>Ploumida</i> Семейство <i>Colurellidae</i></p> <p>Род <i>Lepadella</i></p>		
	<p>Панцирь сплюснутый дорсентрально, составленный из спинной и брюшной пластинок, плотно прилегающих своими краями. Поверхность его гладкая или со скульптурой в виде мелких морщин, борозд и точек. Точки обычно полосой окаймляют отверстие для головы, образуя «воротничок». Спинная пластинка панциря выпуклая, иногда с 1-им или несколькими продольными килями или гребнями</p>		

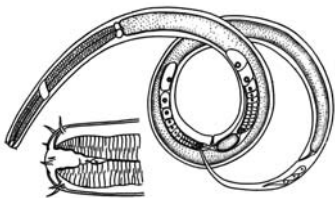
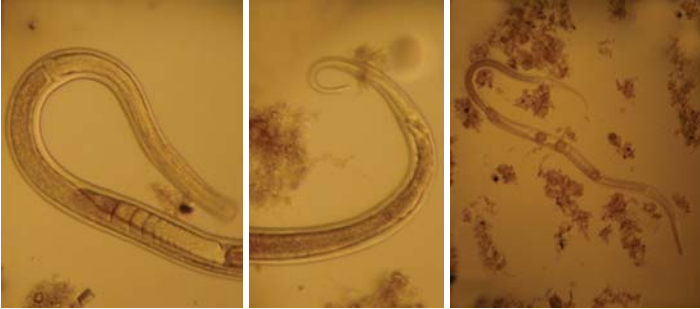


1	2	3	4
 <p data-bbox="632 1149 655 1348"><i>Lepadella rhomboides</i></p>		<p>Панцирь продолговатый, овально-ромбовидный, со скульптурой в виде штрихов и морщин. Вдоль спинной пластинки проходит широкий, обычно умеренно высокий киль с боковыми бороздами. Передний спинной край широкий, со средней насечкой и воротничком в виде точек, брюшной край более глубокий, V-образный. Задний край панциря закруглен. Последний членик ноги самый длинный, иногда заходит за задний край панциря. Пальцы длинные, на конце тонкие и острые. В аэротенках – 3 разновидности (<i>typica</i>, <i>carinata</i>, <i>haneri</i>). Типичная форма имеет сводчатый киль без гребня, воротничковую линию на переднем крае панциря и более короткие пальцы. Длина 110–120, ширина 55–88; длина пальцев 20–28 мкм</p>	<p>Встречается в водах, в которых наблюдается практически полное окисление органического вещества.</p>
<p data-bbox="770 702 789 829" style="text-align: center;">Род <i>Colurella</i></p> <p>Панцирь небольших размеров, сплюснутый с боков, по форме более или менее бобовидный, гладкий, реже со скульптурой. Передний край панциря сбоку закругленный, реже срезанный, задний округлый или оттянутый, иногда переходящий в шип. На брюшной стороне продольная щель, несколько расширенная в передней и задней частях; реже она отсутствует. Спинная пластинка панциря впереди и сзади обычно со средними вырезами. Нога чаще 3-члениковая, иногда 2- или 4-члениковая, обычно заметно втянутая внутрь панциря, но с выступающими пальцами. На ноге 2 расходящихся или прижатых друг к другу пальца, реже – слитые. 2 глазных пятна красного цвета, иногда бесцветные, или они отсутствуют</p>			

1	2	3	4
 <p data-bbox="442 1173 464 1332"><i>Colurella colurus</i></p>		<p data-bbox="240 375 504 566">Панцирь сбоку ближе к овальной форме, задний край округлый. Брюшная щель есть. Пальцы ноги ~1/2–1/3 длины панциря. Различают 2 формы. У <i>C. solutus colurus</i> брюшной край панциря довольно прямой, спинной вырез на заднем крае глубокий. Панцирь несильно сжат с боков. У <i>C. solutus compressa</i> брюшной край более выпуклый, спинной вырез на заднем крае слабо заметен или отсутствует. Панцирь сильно сжат с боков. Для обеих форм: длина панциря 71–101, высота 37–57, толщина 25–37; длина пальцев 27–43 мкм</p>	<p data-bbox="240 582 504 1374">Эвриглопы. Встречаются в средах с широкой амплитудой колебания БПК<sub>5</sub> (0–30 мг/дм<sup>3</sup>)</p>
<p data-bbox="504 406 532 1125">Тип <i>Nemathelminthes</i> Класс <i>Rotifera</i> Отряд <i>Ploimida</i> Семейство <i>Brachionidae</i></p>			
<p data-bbox="532 167 644 295">Панцирь ложковидной или прямоугольной формы. Спинная пластинка более или менее выпуклая, брюшная почти плоская или вогнутая. На поверхности спинной пластинки скульптура в виде точек, шипиков, гребней и фасеток, расположение которых имеет систематическое значение. По переднему краю обычно 6 парных шипов. Задний край панциря с 1 или 2 шипами, иногда асимметричными, или шипы отсутствуют. Передний край обычно с небольшой срединной выемкой</p>	<p data-bbox="532 327 644 359">Род <i>Keratella</i></p>	<p data-bbox="532 375 644 566">Панцирь ложкоподобной формы, с выпуклой спинной и почти плоской брюшной пластинками. Спинная пластинка с точками, сеточкой и характерным рисунком скульптуры: передняя открытая фронтальная фасетка, за ней 2 пары килевых фасеток, разделенных продольным килем. Брюшная пластинка с точками, чаще лишь в передней половине. Задний край с 1 средним шипом, длинным или коротким, иногда округлый, без шипа. Длина панциря 130–195, ширина 52–82; длина передних шипов: средних 14–33, промежуточных 8–21, заднего до 70 мкм</p>	<p data-bbox="532 582 644 1374">Широко распространенные типичные планктонты. Встречаются в средах с БПК<sub>5</sub> не более 30 мг/дм<sup>3</sup></p>
 <p data-bbox="935 1157 957 1348"><i>Keratella cochlearis</i></p>		<p data-bbox="644 375 959 566">Панцирь ложковидной формы. Спинная пластинка более или менее выпуклая, брюшная почти плоская или вогнутая. На поверхности спинной пластинки скульптура в виде точек, шипиков, гребней и фасеток, расположение которых имеет систематическое значение. По переднему краю обычно 6 парных шипов. Задний край панциря с 1 или 2 шипами, иногда асимметричными, или шипы отсутствуют. Передний край обычно с небольшой срединной выемкой</p>	<p data-bbox="644 582 959 1374">Широко распространенные типичные планктонты. Встречаются в средах с БПК<sub>5</sub> не более 30 мг/дм<sup>3</sup></p>

## Индикаторная группа Первичнополостные черви (нематоды)

Графическое изображение организма, название	Фотография	Описание	Индикаторное значение организма
1	2	3	4
Тип <i>Nemathelminthes</i> Класс <i>Nematodes</i>			
Род <i>Rhabditis</i>			
 <p data-bbox="756 1165 778 1332"><i>Rhabditis terricola</i></p>		<p data-bbox="352 367 498 790">Губы выражены слабо; глубина стомы 31 мкм, в основании стома расширена и в месте перегиба в просвет пищевода несет небольшие зубы. Средний (метакорпальный) бульбус с хорошо развитой полостью, задний (кардинальный) с дробильным аппаратом.</p> <p data-bbox="504 367 621 790">Наибольшая ширина тела 50 (♂) и 90 (♀) мкм ; длина пищевода 250–270 мкм. Самки живородящие. Самцы имеют бурсу с 7 парами ребер, длина спикул 62, длина хвоста 40 (♂) и 130 (♀) мкм</p>	<p data-bbox="352 159 425 351">В хорошо работающем или количестве незначительно.</p> <p data-bbox="431 159 571 351">Заметное количество во может указывать на залеживание, плохое перемешивание, недостаточную аэрацию</p>

1	2	3	4
 <p data-bbox="770 1161 792 1332"><i>Tobrilus helveticus</i></p>		<p data-bbox="239 703 258 820">Род <i>Tobrilus</i></p> <p data-bbox="269 368 535 788">Толщина кутикулы около 1,5 мкм. Соматические щетинки малочисленные, кольчатость кутикулы выражена очень слабо. Передний конец тулой, очень слабо закругленный. Ширина головы 24–26, длина больших головных щетинок 5–6, ширина стомы 10, наибольшая ширина тела 49–55, длина пищевода 310–330, длина передней гонады до места перегиба 220–240, длина задней гонады 200–260, длина хвоста 220–250 мкм, что в 7–8 раз превышает ширину тела в области ануса</p>	<p data-bbox="269 161 486 352">В хорошо работающем или количественно незначительно. Заметное количество может указывать на залеживание, плохое перемешивание ила, недостаточную аэрацию</p>

## ЛИТЕРАТУРА

1. Санитарно-микробиологический анализ питьевой воды: методические указания МУК РБ № 11-10-1-2002 / М-во здравоохранения Респ. Беларусь. – Минск, 2002. – 208 с.

2. Методика технологического контроля работы очистных сооружений городской канализации: утв. М-вом ЖКХ РСФСР по согласованию с М-вом мелиорации и вод. хоз-ва СССР и Минздравом РСФСР / Гл. упр. водопровод.-канализац. хоз-ва. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1977. – 303 с.

3. Методы санитарно-биологического контроля: методическое руководство по гидробиологическому и бактериологическому контролю процесса биологической очистки на сооружениях с аэротенками. ПНД Ф СБ 14.1.77-96: утв. заместителем министра по охране окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации В. Ф. Костиным 03.03.1996 / М-во охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации. – М., 1996. – 60 с.

4. Методы санитарно-биологического контроля: методическое руководство по гидробиологическому контролю нитчатых микроорганизмов активного ила. ПНД Ф СБ 14.1.92-96: утв. зам. министра по охране окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации В. Ф. Костиным 10.03.1996 / М-во охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации. – М., 1996. – 18 с.

5. Сборник методик выполнения измерений, допущенных к применению в деятельности лабораторий экологического контроля предприятий и организаций Респ. Беларусь: утв. министром по природным ресурсам и охране окружающей среды Респ. Беларусь М. И. Русым 09.10.1995 / М-во природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, БелНИЦ «ЭКОЛОГИЯ». – Минск, 1995. – Ч. 1, 2.

6. Рымовская, М. В. Дегидрогеназная активность ила биоочистных сооружений как показатель токсичности сточных вод химических производств / М. В. Рымовская, Н. С. Ручай // Актуальные проблемы экологии – 2006: материалы II-й Междунар науч.-практ. конф., Гродно, 22–24 ноября 2006 г. В кн.: *Экологические проблемы западного региона Беларуси: сб. науч. статей* / Гродн. гос. ун-т им. Я. Купалы; редкол.: Е. П. Кремлев (отв. ред.) [и др.]. – Гродно: ГрГУ, 2007. – С. 300–302.

7. Польшалина, Г. В. Определение активности ферментов: справочник / Г. В. Польшалина, В. С. Чередниченко, Л. В. Римарева. – М.: ДеЛи принт, 2003. – 375 с.

8. Липунов, И. Н. Основы химии и микробиологии природных и сточных вод / И. Н. Липунов. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. акад., 1995. – 212 с.

9. Доливо-Добровольский, Л. Б. Химия и микробиология воды (основы химической и микробиологической очистки) / Л. Б. Доливо-Добровольский, Л. А. Кульский, В. Ф. Накорчевская. – Киев: Вища школа, 1971. – 306 с.

10. Алексеев, Л. С. Контроль качества воды: учебник / Л. С. Алексеев. – М.: ИНФРА-М, 2004. – 154 с.

11. Карюхина, Т. А. Контроль качества воды: учебник для техникумов / Т. А. Карюхина, И. Н. Чурбанова. – М.: Стройиздат, 1986. – 160 с.

12. Жмур, Н. С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Н. С. Жмур. – М.: АКВАРОС, 2003. – 512 с.

13. Фауна аэротенков: атлас / А. А. Айсаев [и др.]; отв. ред. Л. А. Кутикова. – Л.: Наука: Ленингр. отделение, 1984. – 264 с.

14. Инструкция по отбору проб для анализа сточных и поверхностных вод: утв. первым заместителем председателя гос. комитета Респ. Беларусь по экологии 16.02.1994 / М-во природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь. – Минск, 1996. – 16 с.

15. Кутикова, Л. А. Коловратки фауны СССР / Л. А. Кутикова. – Л.: Наука, 1970. – 744 с.

16. Ветрова, З. И. Бесцветные эвгленовые водоросли Украины / З. И. Ветрова. – Киев: Наукова думка, 1980. – 184 с.

17. Fossner, W. A user-friendly guide to the ciliates (Protozoa, Ciliophora) commonly used by hydrobiologists as bioindicators in rivers, lakes and waste waters, with notes on their ecology / W. Fossner, G. Berger // Freshwater biology. – 1996. – Vol. 35, № 2. – P. 375–482.

18. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Низшие беспозвоночные: в 6 т. / Л. В. Иванова [и др.]; ред. С. Я. Цалолихин. – СПб.: Зоолог. ин-т РАН, 1994. – Т. 1. – 396 с.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	<b>3</b>
<b>Глава 1. ОБЩАЯ ЧАСТЬ</b> .....	<b>4</b>
1.1. Методы анализа .....	4
1.2. Отбор проб .....	5
<b>Глава 2. ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СТОЧНЫХ ВОД</b> .....	<b>9</b>
2.1. Химические показатели сточных вод .....	9
2.2. Общие показатели сточных вод .....	10
2.3. Специфические показатели сточных вод .....	15
<b>Глава 3. БИОХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АКТИВНОГО ИЛА</b> ...	<b>17</b>
3.1. Назначение биохимического анализа .....	17
3.2. Методика определения дегидрогеназной активности ..	23
<b>Глава 4. БАКТЕРИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АКТИВНОГО ИЛА</b> .....	<b>25</b>
4.1. Назначение бактериологического анализа .....	25
4.2. Санитарно-бактериологический анализ .....	25
4.3. Определение общей численности бактерий в активном иле .....	29
4.4. Контроль организмов активного ила при развитии вспухания .....	31
<b>Глава 5. ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АКТИВНОГО ИЛА</b> .....	<b>39</b>
5.1. Периодичность анализа .....	39
5.2. Отбор проб .....	39
5.3. Этапы гидробиологического анализа .....	41
5.4. Краткий систематический обзор организмов активного ила .....	59
5.5. Применение базы данных для гидробиологического контроля процесса биологической очистки сточных вод .....	92

<b>Глава 6. КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССА БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД</b> .....	<b>103</b>
6.1. Оценка качества работы очистных сооружений по гидробиологическим показателям .....	103
6.2. Технологические параметры оценки работы очистных сооружений .....	109
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1.</b> Прописи основных фиксирующих препаратов и красителей .....	<b>115</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 2.</b> Представители основных индикаторных групп биоценоза активного ила .....	<b>116</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА</b> .....	<b>157</b>



Учебное издание

**Маркевич** Раиса Михайловна  
**Гребенчикова** Ирина Александровна  
**Рымовская** Мария Васильевна  
**Флюрик** Елена Андреевна

**МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО  
ПО КОНТРОЛЮ ПРОЦЕССА  
БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ  
ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД**

Учебно-методическое пособие

Редактор *М. А. Юрасова*  
Компьютерная верстка *О. В. Трусевич*

Подписано в печать 26.11.2009. Формат 60×84<sup>1/16</sup>.  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 9,4. Уч.-изд. л. 9,7.  
Тираж 100 экз. Заказ .

Учреждение образования  
«Белорусский государственный технологический университет».  
220006. Минск, Свердлова, 13а.  
ЛИ № 02330/0549423 от 08.04.2009.

Отпечатано в лаборатории полиграфии учреждения образования  
«Белорусский государственный технологический университет».  
220006. Минск, Свердлова, 13.  
ЛП № 02330/0150477 от 16.01.2009.