

В.С.Абукенова, Ж.Ж.Блялова

*Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова
(E-mail: abu-veronika@yandex.ru)*

Популяции инфузорий (*Ciliophora*) активного ила очистных сооружений г. Темиртау

В статье приведены сведения о составе популяций ресничных и сосущих инфузорий активного ила аэротенков, данные о динамике популяций. Изучено влияние температуры воды и содержания кислорода на видовой состав, численность и морфологию инфузорий в течение года. Показаны основные экологические группы инфузорий и их соотношение в зависимости от условий среды. Выполнено определение видовых форм с помощью программы обработки изображения Adobe Photoshop. Методика определения качества очистки воды дополнена видовым анализом наиболее характерных представителей инфузорий.

Ключевые слова: активный ил, инфузории ресничные, сосущие, брюхоресничные, равноресничные, кругоресничные, графический редактор Adobe Photoshop.

Карагандинская область является крупным промышленным центром Республики Казахстан. Большинство предприятий области относятся к потребляющим воду в больших количествах. Качественная очистка сточных вод для возврата очищенной воды в природный оборот с наименьшим вредным воздействием — одна из самых актуальных задач региона. Очистные сооружения городов Караганды и Темиртау являются одними из самых крупных в области, предназначены для очистки смешанных сточных вод (производственные и хозяйственно-бытовые) и выполняют сброс воды в поверхностные водоемы (реки Сокур и Нура) согласно требованиям норм предельно допустимых концентраций для рыбохозяйственных водоемов.

В основе промышленных методов биологической очистки сточных вод лежит принцип естественного самоочищения [1]. В биологических прудах в очистке сточных вод принимают участие все организмы, населяющие водоем. Основная очистка воды производится в аэротенках с применением активного ила. Несмотря на то, что метод старый, это единственный на данный момент способ безотходного производства.

Аэротенки являются моделью природных условий, которые обеспечивают микроорганизмам благоприятные условия. С помощью воздухоподводящих машин обеспечивается постоянный приток кислорода, а загрязняющие частицы обеспечивают едой бактерии и простейших. Основным очистителем являются бактерии, а индикаторами состояния активного ила служат простейшие микроорганизмы [2]. В биопрудах происходит окончательная очистка воды от ила и нерастворяющихся частиц (частицы водорослей, животных и т.д.), затем очищенная сточная вода поступает в реку.

Гидробиологический анализ микрофауны является одним из самых оперативных способов контроля технологического процесса, так как отражает реакцию организмов активного ила на изменение условий среды обитания. Изменения в биоценозе активного ила позволяют быстро оценить его качественный уровень и сделать выводы об основных неблагоприятных факторах, ухудшающих эффективность очистки сточных вод [3].

На очистных сооружениях города Темиртау были начаты исследования динамики популяции активного ила под влиянием различных химических и физических факторов. Нами была предпринята попытка определить видовой состав постоянных обитателей активного ила, тогда как ранее для определения качества очистки с помощью индикаторных организмов считалось достаточным определение организмов до рода.

Материалы и методы исследования

Для гидробиологического анализа использовалась вода из аэротенка с активным илом, готовились временные микропрепараты по стандартной методике [4].

Микроскопия активного ила проводилась обычным световым микроскопом, а также с помощью видеокомплекса на базе поляризационного лабораторного микроскопа «VinaLogic 6XB-PC». Видеокомплекс позволяет выводить изображения на экран монитора и просматривать в режиме реального

времени, с помощью профессиональной цветной видеокамеры и тринокулярной насадки микроскопа. Вывод изображений и их запечатление проводятся в программе Altami Studio — это программное обеспечение для управления цифровыми камерами, а также проведения измерений и автоматического анализа изображений [5]. С помощью программы нами были сделаны снимки индикаторных организмов активного ила. На снимки накладывались фильтры резкости, цветового контраста и размытия. Резкость накладывается для увеличения точности полученной фотографии и облегчения определения вида. Фильтр размытия применяется для заднего фона, если кроме изучаемого объекта в кадре присутствует много лишнего и это сбивает при изучении. Фильтр цветовой контраст применяется для тусклых фотографий с целью увеличения цветового контраста.

Основной программой обработки изображений послужил графический редактор Adobe Photoshop. Чтобы улучшить визуальное восприятие и проанализировать изображение исследуемых объектов, использовался фильтр для устранения «шумов» TopazDeNoise 5.

Для проявления мелких деталей строения органелл, ресничек и цирр, выраженности мембран, подсчета и уточнения места расположения ребер, щетинок и рядов цирр, являющихся важными систематическими признаками инфузорий, использовался фильтр «Увеличение резкости».

Для восстановления исходных цветов полученного изображения, искаженного при вводе в компьютер, из-за недостаточного освещения, использовался фильтр «Автотон».

В результате проведенного исследования были сделаны более 70 фотографий и более 30 видеозаписей представителей микрофауны активного ила.

Для выявления постоянных популяций велся подсчет всех особей за год (декабрь 2013 – ноябрь 2014 гг.). В каждом месяце учитывались только те дни, когда проводился гидробиологический анализ. Количество этих дней принято за 100 %. Выявлялся среднегодовой процент встречаемости каждой основной группы: *Sarcodina*, *Ciliophora*, *Rotifera*. Также учитывались и единичные представители родов *Aeolosoma* и *Tobrillus*. Процент встречаемости постоянных популяций составляет больше 50 %, 10–50 % — непостоянные популяции и менее 10 % — особи, не создающие популяций.

В ходе работы для изучения динамики популяций учтены наиболее важные факторы: температура и показатель количества кислорода в воде.

Результаты и их обсуждение

Инфузории, встречающиеся в активном иле, принадлежат к двум классам: *Suctorioria* и *Ciliata*. *Ciliata* очень разнообразны, представлены 4 отрядами: *Kinetophragminophora*, *Oligohymenophora*, *Peritricha* и *Polyhymenophora*. Отряд *Kinetophragminophora* включает шесть родов и семь видов. Отличительная черта отряда — равномерный ресничный покров тела инфузории. В аэротенках из рода *Trachlius* встречается один вид *T. ovum*, имеет форму шара и толстый хоботок спереди, изогнутый на спинную сторону. *Litonotus lamella*, представитель рода *Litonotus*, постоянный обитатель активного ила. Вид характеризуется бутылковидной формой с плоской и широкой шеей. *Litonotus* — очень маленькая и подвижная инфузория. Постоянные обитатели активного ила — особи рода *Colpoda*, где он представлен двумя видами — *C. cucullus* и *C. inflata*. Род *Colpoda* имеет бобовидное тело с рядом ресничек, концентрически огибающих вестибулярную впадину.

Виды *Colpidium colpoda* и *Paramecium trichium* относятся к отряду *Oligohymenophora*. Оба вида встречаются редко. *C. colpoda* в основном обитает в перегруженном иле.

В активном иле находятся большие скопления представителей отряда *Peritricha*, который включает в себя пять родов и семь видов. Прикрепленные инфузории чаще всех представлены *Epistylis bimarginata* и *Opercularia coarctata*. *E. bimarginata* отличается носикообразным возвышением диска в центре и грушевидной формой тела (рис. 1).

Vorticella campanula и *Vorticella alba* — одиночные инфузории. Их стебли сильно сокращаются и заворачиваются в спираль. У представителей рода *Vorticella* стебель имеет одну особенность: при рассматривании в микроскоп можно увидеть в стебле тонкий стержень внутри.

Vaginicola crystalline и *Thuricola similis* имеют общую особенность — домики, в которых спрятаны сами животные. Домик вида *V. crystalline* не имеет стебля и дном прикрепляется к субстрату (рис. 2). Отверстие домика не имеет крышки. Форма высокого стакана. Вид *T. similis* похож на *V. crystalline*, но имеет свои отличия. Домик животного, в отличие от домика вагиниколы, имеет специальный клапан, который закрывается, когда животное находится внутри него. Ко дну домика *Thuricola* прикрепляется одним коротким стеблем.

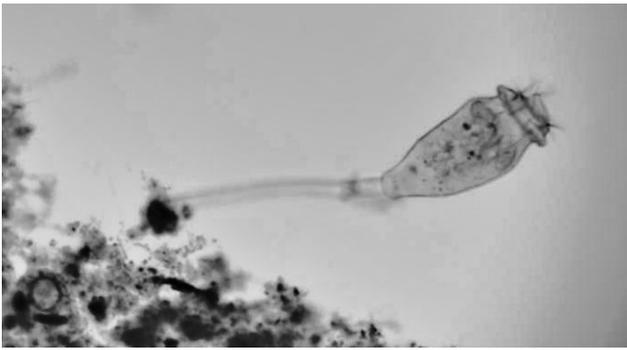


Рисунок 1. *Epistylis bimarginata*

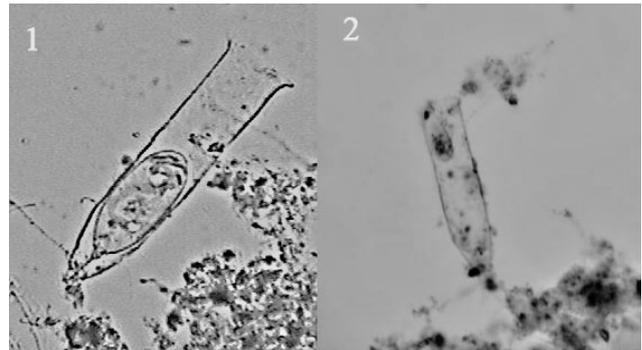


Рисунок 2. *Thuricola similis* (1); *Vaginicola crystalline* (2)

Виды рода *Opercularia* живут колониями, имеют прозрачный ветвящийся стебель. Тело овальное и сужается к перистому. Кроме вида *O. coarchata*, в активном иле встречается еще один вид — *O. microdiscum*.

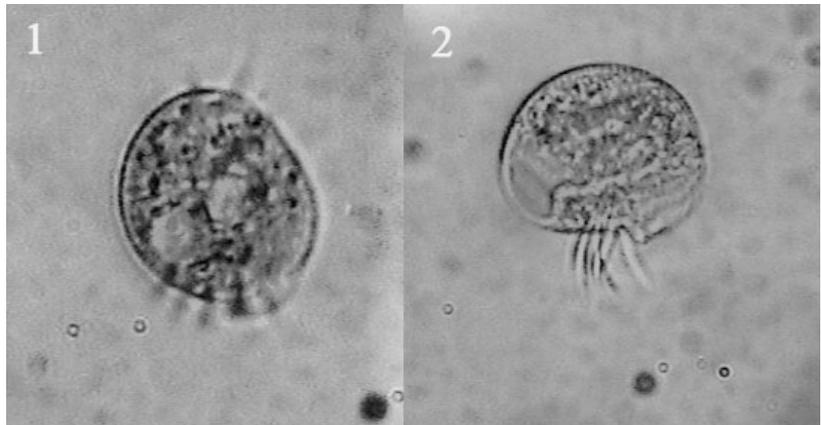
Polyhymenophora — малочисленный отряд, включает три рода: *Chaetospira*, *Oxytricha*, *Aspidisca*. Отличительный признак отряда — мощно развитая адоральная зона мембранелл, закрученная по часовой стрелке. *Chaetospira* представлена в активном иле одним видом — *C. mulleri*. Эта инфузория отличается от других представителей отряда наличием домика, в котором обитает сама инфузория. Домик бутылковидной формы, инфузория находится внутри него в свернутом состоянии (рис. 3).

Oxytricha fallax имеет эллипсовидное тело, суживающееся к переднему концу. Вид распространен в активном иле и является его постоянным обитателем.

Род *Aspidisca* представлен двумя видами: *A. costata* и *A. lynceus*. Формы *Aspidisca* очень мелкие и подвижные. Особи имеют панцeroобразную пелликулу. *A. costata* — самый распространенный представитель рода и является обязательным обитателем активного ила. Имеет овальное тело с семью фронтальными и пятью анальными циррами (рис. 4).



Рисунок 3. *Chaetospira mulleri* (животное в свернутом состоянии в домике)



1 — вид сверху

2 — вид сбоку

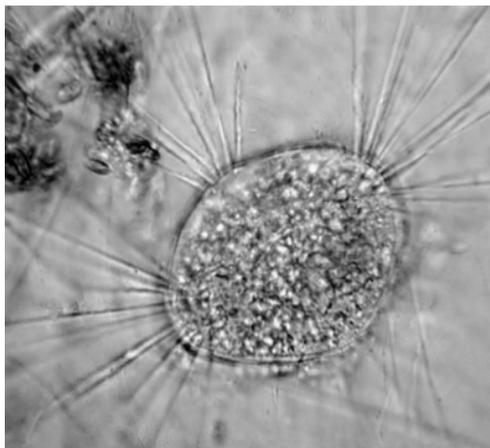
Рисунок 4. *Aspidisca costata*

Класс *Suctororia*, или сосущие инфузории, представлен специализированными хищниками. Включает шесть родов, встречающихся в активном иле: *Staurophrya*, *Podophrya*, *Discophrya*, *Tokophrya*, *Rhabdophrya*, *Acineta*. В период изучения видового состава из шести родов нам удалось зарегистрировать только три: *Acineta*, *Tokophrya* и *Discophrya*.

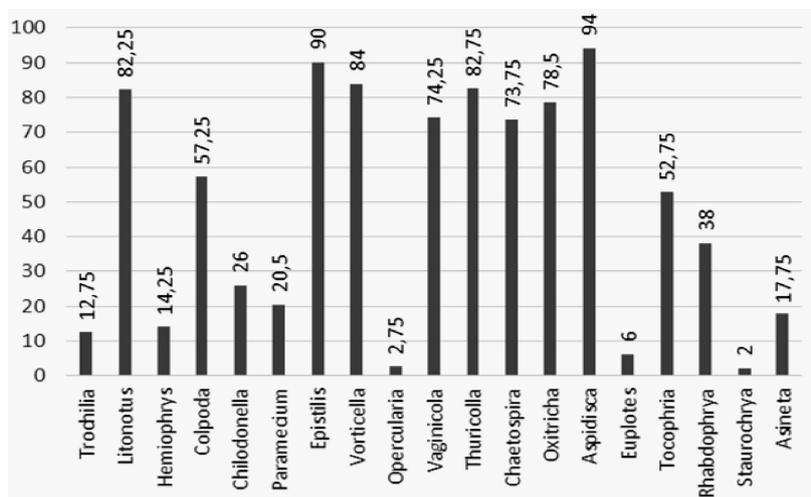
Инфузория *Acineta grandis* крупных размеров. Домик формой пирамиды, который животное заполняет не полностью. Щупальца собраны в два пучка.

Tokophrya mollis также имеет пирамидальную форму. Щупальца собраны в две ярко выраженные группы на верхнем полюсе тела.

Род *Discophrya* представлен одним видом — *D. erlangensis*. Вид *D. erlangensis* имеет блинообразное тело на коротком, расширенном сверху стебле. Щупальца располагаются по всему телу пучками (рис. 5).

Рисунок 5. *Discophrya erlangensis*

К классу *Ciliophora* относится 10 популяций инфузорий: *Litonotus* (82,25 %), *Colpoda* (57,25 %), *Epistylis* (90 %), *Vorticella* (84 %), *Vaginicola* (74,25 %), *Thuricolla* (82,75 %), *Chaetospira* (73,75 %), *Oxytricha* (78,5 %), *Aspidisca* (94 %), *Tocophrya* (52,75 %) (рис. 6).

Рисунок 6. Среднегодовая встречаемость популяций *Ciliophora*

Не образуют популяций инфузории рода *Opercularia* (2,75 %), *Euplotes* (6 %), *Staurophrya* (2 %). Летнее и зимнее время года характеризуются устойчивыми экосистемами активного ила. Температурный режим зимнего периода колеблется от 15 °С до 17 °С. Среднемесячная температура оптимума мезофилов и психрофилов равна 15,6 °С. Кислородный баланс составляет 7 мг/л. Такой режим благоприятно сказывается на жизнедеятельности инфузорий. В феврале возраст ила достигает 138 дней. Таким образом, в зимнее время года экосистема ила равновесна и самодостаточна.

Лето характеризуется более высокой температурой воды в аэротенках 22 °С. Температурный режим достигает оптимума для мезофилов. Кислородный баланс равен 5,7 мг/л, что не нарушает норму. Летом ил становится моложе, его возраст неравномерно колеблется. В июне возраст ила достигает 98 дней, в июле ил активно обновляется, и возраст — 28 дней. В августе ил не обновляется и возраст его достигает 60 дней. Средний возраст ила летом 62 дня.

Подсчет среднегодовой встречаемости инфузорий выявил постоянные популяции этих индикаторных организмов, которые не меняются при влиянии любых факторов. Кроме постоянных популяций (встречаемость 50–100 %), есть и те, встречаемость которых ниже 50 %. Для определения статуса популяций нами изучались средние данные встречаемости за три месяца в двух сезонах (декабрь–февраль, июнь–август). Популяции ресничных инфузорий *Ciliophora* образуют только девять постоянных сообществ. Виды рода *Tocophrya* образуют постоянную популяцию зимой (66 %), летом же

численность особей популяции низка. Популяция рода *Colpoda* существует в летнее время, встречаемость особей равна 55 % (рис. 7).

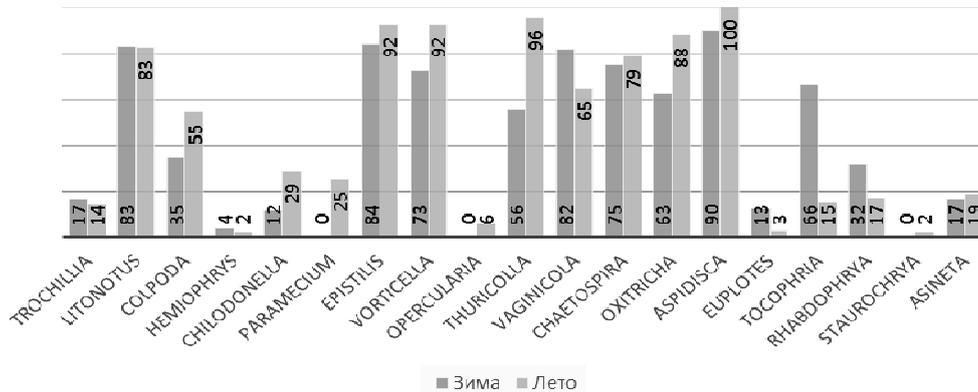


Рисунок 7. Среднемесячная встречаемость популяций *Ciliophora* (зимний и летний периоды)

В переходный период происходят значительные изменения, которые не могут не влиять на динамику популяций. Весенний месяц март характеризуется паводками, которые значительно меняют устоявшуюся систему в аэротенках. Количество особей может резко сократиться, а затем начинает постепенно увеличиваться. Средний показатель температуры равен 15,3 °С. Кислородный баланс резко увеличивается в месяц паводка — до 10,2 мг/л, в августе падает до 5,7 мг/л. Возраст ила насчитывает 80–91 день.

В это время *Ciliophora* образует десять постоянных популяций: *Litonotus* (93 %), *Colpoda* (64 %), *Epistilis* (93 %), *Vorticella* (85 %), *Thuricolla* (90 %), *Vaginicola* (50 %), *Chaetospira* (70 %), *Oxitricha* (66 %), *Aspidisca* (97 %), *Tocophria* (74 %). Все эти основные популяции не подвержены значительным изменениям численности.

Среднемесячная температура осеннего периода — 18,6 °С. Кислородный режим неоднородный, меняется с 6,5 до 7,7 и 5,7 мг/л. Средний показатель БПК 6,6 мг/л. В сентябре возраст ила достигает 55 дней, затем в октябре ил обновляется до возраста 48 дней. В ноябре ил стареет (возраст 98 дней). Для осени характерно существование 13 постоянных популяций инфузорий. Равноресничная *Paramecium* образует популяцию, встречаемость особей которой составляет 57 %. Также образовались популяции *Hemiophrys* (51 %) и *Rhabdophrya* (59 %) (рис. 8).

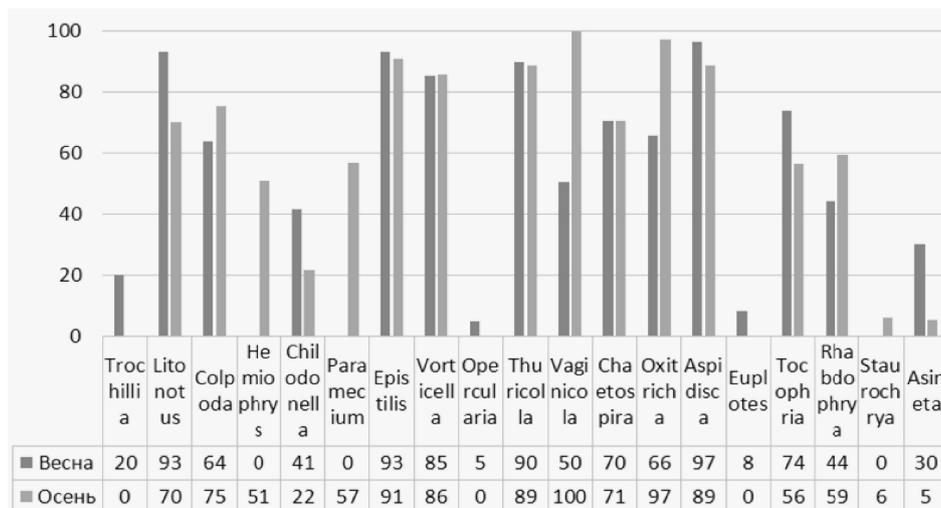


Рисунок 8. Среднемесячная встречаемость *Ciliophora* (весенний и осенний периоды)

Популяция *Tobrillus* не подвергается сильным колебаниям численности особей. Эта популяция стабильна во все времена года, при любых изменениях условий среды.

Количество особей в популяциях кругоресничных и брюхоресничных инфузорий превышает численность равноресничных инфузорий в 2,5 раза. Встречаемость сосущих инфузорий составила 65 %, популяцию можно считать постоянной. Для популяции *Chaetospira* оптимальный температурный режим характерен в летний период. Среднее значение температуры 22 °С (79 %). Температура 15 °С является менее благоприятной, и в весенний период численность популяции самая низкая — 70 % (рис. 9).

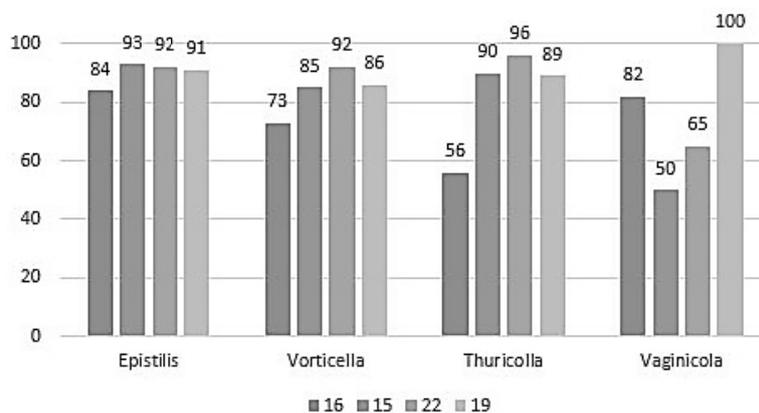


Рисунок 9. Динамика популяций *Ciliophora* весной (изменение t режима 15–22 °С)

Для популяции *Tocophria* летний период не является благоприятным. При высокой температуре встречаемость представителей рода упала до 15 %, а 15 °С — самая удовлетворительная температура, когда численность популяции составляет 74 %.

Популяция инфузорий *Colpoda* демонстрирует значительные колебания количества особей в зависимости от температуры. Показатель встречаемости при высоких температурах падает (35 %), а при низких — растет (75 %).

Для популяции *Vaginicola* наилучшей температурой для существования является 19 °С, при которой встречаемость 100 %. При низкой весенней температуре встречаемость *Vaginicola* сокращается до 50 %. На популяцию *Epistilis* температурный режим влияет незначительно. Общее количество особей почти не меняется по сезонам года и держится в пределах 91–93 % (рис. 10).

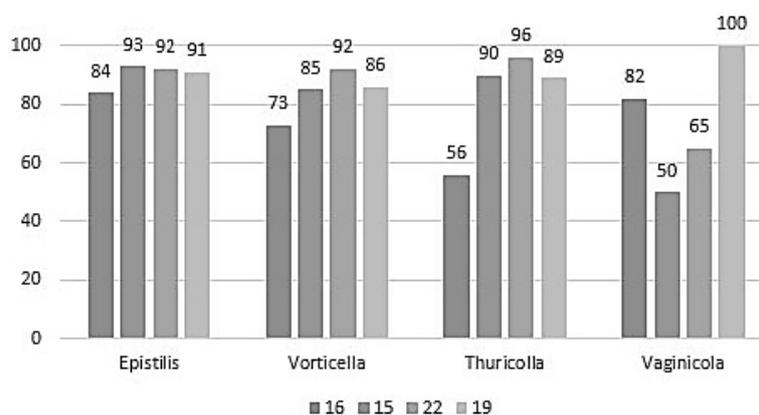


Рисунок 10. Динамика популяций *Ciliophora* зимой (изменение t режима 15–22 °С)

Для лучшего изучения влияния температурного режима были определены низкие, средние и высокие показатели встречаемости особей. Самая низкая встречаемость особей микрофауны характерна в марте, при температуре 12 °С, а высокая — в июле, при 24 °С. Средний показатель температуры за год — 16 °С. Для обеспечения оптимальных условий температурный режим не должен превышать 22 °С и снижаться ниже 15 °С.

Так как на встречаемость инфузорий влияют одновременно и другие факторы, изменения количества особей наблюдаются далеко не у всех популяций. Для популяции *Vorticella* неблагоприятна температура 12 °С, когда встречаемость падает до 86 %, а 16 °С — оптимальная температура для жиз-

недеятельности, так как встречаемость инфузорий достигает 100 %. Популяция *Tocophria* практически перестает существовать при 24 °С, а оптимальна для нее температура 16 °С, при которой процент встречаемости наивысший — 80 %.

Температурный режим влияет также на движение организмов. При неблагоприятной температуре они замедляются и практически не двигаются. У прикрепленных инфузорий отделяется телотрох от стебля.

На очистных сооружениях города Темиртау очистка воды проводится аэробным методом и поэтому количество кислорода в воде влияет на динамику популяций микроорганизмов. Показатель содержания кислорода весной 8,5 мг/л — самый высокий. Самый низкий кислородный показатель летний, он составляет 5,7 мг/л, что очень близко к показателю недостатка кислорода. Рост популяции *Centropyxis* ухудшается при высоком показателе количества кислорода — 8,5 мг/л и возобновляется при показателе содержания кислорода 5,7 мг/л (88 %). Популяция сосущих инфузорий *Tocophria* при недостатке кислорода сокращается до 15 %, т.е. фактически перестает существовать (рис. 11).

Хорошо прослеживается влияние кислородного режима на особей популяции *Tocophria*. При самом низком показателе содержания кислорода — 5 мг/л — популяция прекращает свое существование. По мере увеличения содержания кислорода, увеличивается и процент встречаемости популяции. Популяция *Epistilis* мало подвержена влиянию содержания кислорода в воде, поддерживает почти постоянный количественный состав — 93–100 %. На встречаемость особей популяции *Vorticella* больше влияет температурный режим, чем количество кислорода. Однако для особей *Vorticella* характерны особые физиологические изменения клетки, происходящие при низком содержании кислорода в воде аэротенка. В этом случае тело вортицеллы надувается и приобретает форму шара (рис. 12).

	Июль	Декабрь	Март
Количество O ₂ (мг/л)	5,0	6,8	10,2
<i>Philodinavus</i>	86	100	86
<i>Philodina</i>	93	100	86
<i>Arcella</i>	93	100	43
<i>Centropyxis</i>	100	100	29
<i>Diphloga</i>	100	100	100
<i>Pamphagus</i>	50	100	57
<i>Litonotus</i>	100	86	100
<i>Colpoda</i>	43	43	71
<i>Epistilis</i>	93	100	100
<i>Vorticella</i>	93	43	86
<i>Thuricolla</i>	93	0	100
<i>Vaginicola</i>	86	57	71
<i>Chaetospira</i>	93	86	71
<i>Oxitricha</i>	93	71	57
<i>Aspidisca</i>	100	71	100
<i>Tocophria</i>	7	43	71

Рисунок 11. Соотношение кислородного режима и встречаемость популяций *Ciliophora*

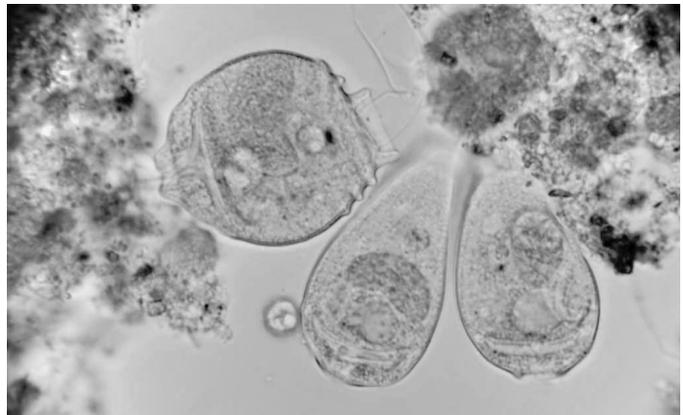


Рисунок 12. Физиологические изменения *Vorticella* при нехватке кислорода

Другие инфузории, чувствительные к содержанию кислорода в воде, теряют активность и образуют цисты. Наиболее требовательными к содержанию кислорода являются популяции *Colpoda* (43 %), *Tocophria* (7 %), *Epistilis* (93 %). Индифферентны к недостатку кислорода, активно размножаются и имеют большой процент встречаемости представители *Chaetospira* (93 %).

Таким образом, индикаторные организмы не являются организаторами биологической очистки воды, но их роль в системе очистных сооружений не менее важна. Самая главная их функция — это выявление качества очистки воды по количеству особей, по наличию тех или иных родов в активном иле на момент гидробиологического анализа, по физиологическому состоянию особей. Простейшие, являющиеся индикаторными организмами, — это санитары биоценоза активного ила. Бактериофаги значительно контролируют рост бактерий, хищные виды истребляют организмы-загрязнители актив-

ного ила. Основная роль в определении качества воды очистных сооружений г. Темиртау принадлежит постоянным популяциям инфузорий активного ила: *Litonotus* (82,25 %), *Colpoda* (57,25 %), *Epistylis* (90 %), *Vorticella* (84 %), *Vaginicola* (74,25 %), *Thuricolla* (82,75 %), *Chaetospira* (73,75 %), *Oxytricha* (78,5 %), *Aspidisca* (94 %), *Tokophrya* (52,75 %). К инфузориям-термофилам относится *Oxytricha* (93 %). К мезофилам относятся: *Vorticella* (100 %), *Tocophria* (80 %). К психрофилам относятся: *Colpoda* (71 %), *Epistylis* (100 %), *Thuricolla* (100 %). Эти популяции в основном не являются облигатными, но встречаются при достаточно определенных температурных условиях. Численность особей популяций рода, дополненная сведениями о видовом составе индикаторных организмов, достаточно точно выявляет температурный и кислородный режим аэротенка, что позволяет улучшить методику определения качества очистки воды.

Список литературы

- 1 Демина М.В. Рекомендации по проведению гидробиологического контроля на сооружениях биологической очистки с аэротенками. — Пермь: ОГУ «Аналитический центр», 2004. — С. 52.
- 2 Пантелеев В.Г., Егорова О.В., Клыкова Е.И. Компьютерная микроскопия. — М.: Техносфера, 2005. — 304 с.
- 3 Кутикова Л.А., Старобогатов Я.И. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР (планктон и бентос). — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — 315 с.
- 4 Алимов А.Ф. Протисты // Руководство по зоологии. — Ч. 2. — СПб.: Наука, 2007. — 1141 с.
- 5 Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Низшие беспозвоночные. — СПб., 1994. — Т. 1. — 340 с.

В.С.Абуkenова, Ж.Ж.Блялова

Темиртау қаласындағы тазарту жүйелері белсенді тұнбасындағы инфузориялардың (*Ciliophora*) түрлері

Мақалада белсенді тұнба аэротенкаларда мекендейтін кірпікшелі және сорғыш инфузориялардың популяция құрамы туралы мәліметтер келтірілген. Инфузориялар морфологиясына санына және түрлік құрамына өттегі құрамы мен су температурасының ықпалы жыл бойы зерттелді. Қоршаған орта жағдайына байланысты инфузориялардың негізгі экологиялық топтары көрсетілген. Adobe Photoshop программалық өңдеу арқылы түрлік формалары анықталды. Суды тазалау сапасын анықтау әдістемесі инфузориялардың неғұрлым таралған өкілдерінің түрлік сараптамасымен толықтырылды.

V.S.Abukonova, Zh.Zh.Blyalova

Populations of Ciliates (*Ciliophora*) of active sludge treatment facilities of Temirtau city

The article provides information on the composition of populations of ciliated and sucking ciliates of activated sludge aeration tanks. We presented data on population dynamics. We gave information the effect of water temperature and oxygen concentration on species composition, abundance and morphology of the ciliates during the year. Showed the main ecological groups of ciliates and their ratio depending on environmental conditions. In this research we made the determination of forms the program of the image processing Adobe Photoshop. Method of determining of water quality purification by population characteristics of ciliate species augmented by analysis of the most typical representatives.

References

- 1 Demina M.V. *Recommendations for hydrobiological monitoring on the biological treatment with aeration tanks*, Perm: OSU «Analytical centre», 2004, p. 52.
- 2 Panteleev V.G., Egorova O.V., Klykova E.I. *A computer microscopy*, Moscow: Technosphere, 2005. — 304 p.
- 3 Kutikova L.A., Starobogatov Ya.I. *Determinant of freshwater invertebrates of European part of the USSR (plankton and benthos)*, Leningrad: Hidrometeoizdat, 1977, 315 p.
- 4 Alimov A.F. *Guidance on zoology*, Saint Petersburg: Nauka, 2007, 2, 1141 p.
- 5 *A determinant of freshwater invertebrates of Russia and contiguous territories. Lower invertebrates*, Saint Petersburg, 1994, 1, 340 p.