
УДК 576. 89 (470, 621)
ББК 28.083.66 (2 РОС Адыг)
Д 41
Н.Д. Джимова, С.И. Читао

**Эколого-фаунистическая характеристика
отдельных представителей типа *Protozoa*, обитающих
в активном иле очистных сооружений г. Майкопа,
Шовгеновского и Гиагинского районов Республики Адыгея**

(Рецензирована)

Аннотация:

Фауна активного ила очистных сооружений и фильтрационных полей Республики Адыгея представлена многочисленными беспозвоночными: коловратками, нематодами, малощетинковыми, кольцецами, ракообразными, личинками насекомых, моллюсками и разными систематическими группами Protozoa. Рассмотрены вопросы экологического значения представителей простейших, возможности их использования в качестве индикаторов степени биологической очистки смешанных стоков.

Ключевые слова:

Простейшие, эколого-фаунистическая характеристика, индикаторы биологической очистки.

В условиях экологического кризиса и преддверии экологической катастрофы одной из наиболее важных проблем является очистка сточных вод и восстановление водных ресурсов региона.

Из существующих способов промышленной очистки воды, наиболее эффективна биологическая, которая происходит в аэротенках с помощью активного ила по тем же принципам, что и в природных водоемах. Сточную воду очищают живые организмы: простейшие, коловратки, нематоды, малощетинковые кольцецы, ракообразные, личинки насекомых, моллюски.

Из перечисленных групп беспозвоночных наиболее ощутимый вклад в плане биологической очистки воды принадлежит простейшим, самой многочисленной в активном иле аэротенков. Свободноживущие простейшие (саркодовые, жгутиконосцы и инфузории), так же как и в природных водоемах, активно очищают воду от загрязнений, однако их роль до сих пор выяснена недостаточно, так как не до конца изучены звенья сложного процесса биологической очистки.

Земельные участки, которые в прошлом служили и служат для очистки воды, сохранились в мелких хозяйственных агрокомплексах,

называемых полями фильтрации. Такие поля имеются во многих районах РА, в частности, в Гиагинском и Шовгеновском районах. Процесс очистки воды на полях фильтрации происходит в верхнем слое рыхлой почвы до глубины проникновения воздуха. Другая форма очистки – поля орошения, но и эта форма не обеспечивает очистку воды в связи с потребностями возделываемых сельскохозяйственных культур.

Следующим этапом развития способов очистки воды были биологические пруды. Это искусственные, созданные человеком водоемы, в которых процесс очистки происходит путем естественного самоочищения, обычного для водоемов, и только отчасти регулируемого человеком.

Технический процесс привел к необходимости искать более ускоренные и экономичные методы очистки воды – это биологические методы, основанные на активной деятельности живых организмов. В настоящее время биологическая очистка осуществляется в двух типах сооружений: биофильтрах и аэротенках. В биофильтрах процесс очищения такой же, как и на полях фильтрации, но происходит более интенсивно и только в летнее время при высокой температуре. При снижении температуры окис-

лительные процессы замедляются, а в зимний период прекращаются. Поэтому, наиболее универсальным методом биологической очистки является очистка сточных вод в аэротенках.

Обитатели активного ила, осуществляющие биологическую очистку в аэротенках представляют смешанную популяцию микроорганизмов, которая формируется путем селекции микроорганизмов сточной воды. Микроорганизмы активного ила в каждом отдельном случае образуются в соответствии с составом и концентрацией поступающего стока в условиях аэротенка.

Активный ил, очищающий высококонцентрированную сточную воду, состоит из мелких, легких хлопьев, образованных путем слипания оболочек бактерий. С понижением концентрации стока хлопья ила увеличиваются в размерах. Лучшими считаются хлопья среднего размера. Они быстрее адсорбируют загрязнения и опускаются на дно. Таким образом, основу активного ила составляют бактериальные хлопья, в целом, представляющие сложный биоценоз, в состав которого входят разные систематические группы с преобладанием гетеротрофов.

Цель исследования: изучение видового разнообразия простейших активного ила аэротенков очистных сооружений и возможность использования некоторых представителей в качестве биоиндикаторов степени очистки сточных вод.

Задачи:

1. выявление видового состава классов жгутиконосцев, саркодовых и инфузорий активного ила аэротенков очистных сооружений;
2. определение сезонной динамики численности популяций инфузорий;
3. изучение роли представителей разных классов простейших в очистке сточных вод;
4. использование инфузорий в качестве тест-индикаторов в процессе очистки.

Материалы и методы. Мониторинг видового состава, численности, особенностей биологии и адаптации к среде обитания проведен на живых объектах фильтрационных водоемов Гиагинского, Шовгеновского районов и очистных сооружениях г. Майкопа за период с сентября 2002 по апрель 2005гг. Ежемесячный отбор проб осуществлялся на протяжении светового дня из активного ила шести аэротенков и водоемов разной степени загрязненности.

Химический анализ воды до и после очистки определяли по стандартной методике.

Результаты исследований.

Видовой состав жгутиконосцев обследованных очистных сооружений Республики Адыгея характеризуется преобладанием зеленых видов эвгленовых. На очистных сооружениях и на фильтрационных полях обнаружено всего 28 видов эвгленовых.

В условиях резкого снижения биологического потребления кислорода (БПК) интенсивно размножаются именно жгутиконосцы: *Euglena viridis*, *Phacus caudate*, *Phacus curvicornis* и другие, способные развиваться в воде, богатой органическими веществами. Это согласуется с литературными данными о наиболее многочисленных видах, развивающихся на фильтрационных полях и в очистных сооружениях других территорий: *Euglena pisciformis*, *E. texta*, *E. oxuris*, *E. Gracilis*.

Обитание жгутиконосцев в сточных водах с большим содержанием органических веществ является одним из доказательств, что фотосинтезирующие виды эвгленовых нуждаются в растворенных органических соединениях, которые поглощаются ими всей поверхностью тела, способствует при этом ускорению процессов разложения органических веществ и, следовательно, определяет их важную роль в очистке воды. Автотрофные жгутиконосцы кроме всего прочего выделяют кислород в воду [9].

Таким образом, представители класса жгутиконосцев, поглощая органические вещества и обогащая воду кислородом, в значительной степени интенсифицируют процессы самоочищения очистных сооружений. Поэтому именно жгутиконосцам принадлежит ведущая роль в очистке воды в основном на полях фильтрации и биологических прудах.

Согласно литературным данным, биоценоз аэротенках неоднороден и представлен как постоянными гетеротрофными, так и факультативными автотрофными жгутиконосцами, поступающими с потоками сточных вод. Поэтому в активном иле аэротенков встречаются все виды, обычные для водоемов и почвы.

В аэротенках очистных сооружений Республики Адыгея встречаются также авто- и гетеротрофы с преобладанием последних. Видовой состав биоценоза автотрофных эвгленовых

представлен видами, численность которых зависит в основном от сезонных явлений. В весенне-летний период отмечается наибольшее видовое разнообразие с наличием таких видов как *Euglena proxima*, *E. acus*, *E. oxyuris*, *E. gracilis*, *E. pisciformis*, *Trachelomonas volvocina*, *T. hispida*, *T. volvocinopsis*, *Phacus pleuronecta*, *Ph. longicauda*, *Ph. brevicaudatus*. В отличие от других регионов, в очистных сооружениях Республики Адыгея пик видового разнообразия хлорофилоносных форм отмечается ещё и в осенний период.

Таким образом, для очистных сооружений южных регионов характерны два пика подъема численности видового состава хлорофиллоносных эвгленовых. В активном иле обнаружены также цисты зеленых эвгленовых. Периодическая встречаемость, малая численность, пребывание в состоянии цист говорит о том, что зеленые эвгленовые не участвуют в очистке сточной воды в аэротенках, а являются пищей для других животных биоценоза.

Фотосинтезирующие зеленые жгутиконосцы не могут обитать в аэротенках с постоянным перемешиванием воды и непрерывным движением активного ила.

В отличие от зеленых, ниже перечисленные гетеротрофные виды жгутиконосцев приспособились к условиям обитания в активном иле аэротенков: *Astasia*, *Peranema*, *Menoidium*, *Rhabdomonas*, *Urceolus*, *Heteronema*, *Distigma*, *Spehenomonas*, *Cyclidiopsis*, *Petalomonas*, *Notjsolenus*, *Anisonema*.

Наиболее часто встречающиеся группы жгутиконосцев относятся к пяти родам.

Род *Astasia*. *A. longa*, *A. klebsii*, *A. quartana*, *A. curvata*. Все эти виды морфологически не отличаются от видов природных водоемов, они постоянно обитают в активном иле аэротенков (т.е. облигатные) в составе хлопьев, питаются пинцитозом, быстро размножаются, особенно *A. Longa*.

Род *Peranema*. Нами обнаружено два вида этого рода: *P. trichophorum* и *P. granuliferum*. *P. trichophorum* постоянно обитает в аэротенках в течение всего года, по типу питания хищник. *P. granuliferum* – меньших размеров, встречается в активном иле редко, питается растворенными в воде органическими веществами.

Род *Petalomonas*. Обнаружено три вида, относящиеся к роду *Petalomonas*: *P. pussila*,

P. abscissa, *P. mediocanellata*. Они встречается в аэротенках редко, обитая на хлопьях активного ила. Обнаруженные виды питаются сапрофитно, минерализуют органические вещества, загрязняющие воду.

Род *Urceolus* представлен двумя видами: *U. cyclostomus*, *U. cursorum*, численность которых резко возрастает весной и летом. Они обнаруживаются преимущественно в 5 и 6 (завершающих) аэротенках с наиболее очищенной водой, поэтому они могут отражать степень очистки воды.

Род *Heteronema*. В наших исследованиях данный род в хлопьях активного ила представлен только одним видом – *H. Acus*, который питается сапрофитно и участвует в минерализации растворенных в воде органических веществ.

Таким образом, жгутиконосцы активного ила могут быть использованы в качестве биоиндикаторов степени очистки воды очистных сооружений и чистоты воды в природных водоемах. При разной степени загрязнённости воды (а-мезасапробной – сильной, в-мезасапробной – промежуточной) индикаторными могут быть разные виды жгутиконосцев. Индикаторами а-мезасапробной воды служат виды: *Astasia longa*, *Petalomonas pusilla*, *P. abscissa*, *P. meliocannelata*, *Urceolus cyrusorum*. К в-мезасапробным относятся *Astasia klebsii*, *A. quartana*, *A. curvata*, *Peranema triehophorum*, *P. granuliferum*, *Urceolus cyclostomus*, *Heteronema acus*.

Класс саркодовых в составе биоценоза активного ила представлен свободноживущими формами, которые относятся к двум отрядам: голые и раковинные амёбы. Следует отметить, что голые амёбы активного ила менее изучены, чем остальные группы простейших, входящие в биоценозы активного ила.

Голые амёбы – многочисленная группа среди организмов активного ила, играющая значительную роль в очистке воды. Одной из характерных форм адаптации голых амёб к условиям среды в активном иле является их обитание в иловых хлопьях, защищающих от воздействия бурного перемешивания иловых масс в аэротенках, в которые они попадают вместе со сточной водой. Голые свободноживущие формы амёб встречаются преимущественно в мезасапробной зоне (вторичные отстойники), вместе с патогенными видами.

Под Amoeba. В очистных сооружениях обнаружены пять видов амёб группы *Limax*. Все они отличаются друг от друга формой тела, размерами и лобоподиями. В массовом количестве они размножаются с конца апреля по июнь. Мелкие амёбы наиболее распространённые и многочисленны, встречающиеся в активном иле. При изучении проб активного ила в одном поле зрения под микроскопом насчитывается до 5 и более экземпляров.

Из раковинных амёб определены виды: *Arsella vulgaris*, *Diffugia gobulosa*, *Diffugia corona*, *Centropyxis aculeata*, *Centropyxis sylvatica*, *Centropyxis sp.*, *Euglypha laevis*, *Trinema encheilus*, которые внесены в список сапробных организмов мезосапробной зоны.

Представители класса инфузорий (целиата) занимают доминирующее положение в биоценозе активного ила. В процессе биологической очистки цилиата играют двойную роль. Они являются основными фильтраторами в массе поглощающих бактерий ила. Кроме этого, цилиаты имеют большое значение для поддержания работоспособности ила, благодаря постоянному поглощению бактерий стимулируется их непрерывное размножение, бактериальная функция ила все время обновляется, и этим поддерживается жизнедеятельность. Увеличивается количество детритофагов и редуцентов.

Не менее важное следствие фильтрационной активности цилиата – осветление очищенной воды и уничтожение болезнетворных бактерий. Эта роль экспериментально доказана. Фильтрационная активность цилиата позволяет использовать их в качестве биоиндикаторов в определении степени чистоты воды очистных сооружений.

Впервые в условиях нашего региона обнаружены виды: *Vorticella convallaria*, *Vorticella alba*, *Vorticella conica*, *Vorticella microstoma*, *Vorticella hyalina*, *Carchesium polypinum*, *C. bartoligetense*, *E. plicatilis*, *Opercularia coarctata*, *Thuricola similis*, входящие в постоянный состав фауны активного ила. Инфузории группы *Peritricha*, ведущие прикрепленный образ жизни, в отличие от других тесно, связаны с иловыми хлопьями, к которым они прикрепляются, и, оседая на дно вторичных отстойников, снова возвращаются вместе с илом в аэротенк. Этот замкнутый круг свидетельствует о преоблада-

нии перитрих над другими группами цилиат в зрелом и хорошо работающем активном иле, который очищает загрязненную воду.

У перитрих очень мощный ристомальный ресничный аппарат, поэтому им удается захватывать одиночные бактерии на большом расстоянии. Даже в условиях зрелого ила, где большинство бактерий собрано в хлопья, перитрихи находят достаточное питание и этим самым активнее других простейших, способствуют очищению воды от свободных, в том числе болезнетворных бактерий [1].

В случае нарушения технологического режима в аэротенках наблюдается обратное явление: исчезновение сидячих форм (перитрихий), массовое развитие свободных инфузорий – первый сигнал нарушения режима работы сооружений. Появление полисапробных форм инфузорий и бесцветных жгутиконосцев – указывает на резкое, катастрофическое ухудшение процесса очистки.

Исследование сезонной динамики перитрих рода *Vorticellidae* показало 2 пика возрастания численности – мартовский и ноябрьский, при этом на очистных сооружениях г. Майкопа у представителей рода *Epistylis* выделены холодолюбивые и теплолюбивые виды.

Из представителей рода *Opercularia* обнаружены 2 вида (*Opercularia sp n I*, *Opercularia sp n II*). Оба вида без особых изменений численности встречаются в течение всего года.

По нашим наблюдениям представители рода *Carchesium* увеличиваются в численности в более теплое время года. Наиболее оптимальные условия для размножения в узком диапазоне температур от 15° до 18°C. В конце августа отмечается значительный подъем численности. Дальнейшее возрастание наблюдается до конца сентября, после которого отмечается резкий спад.

Все виды инфузорий, обнаруженные в очистных сооружениях можно разделить на холодолюбивые и теплолюбивые. У холодолюбивых отмечаются два пика подъема численности: 1 – в марте, 2 – в ноябре, декабре, у теплолюбивых – один пик (август, сентябрь).

Кроме видов инфузорий с сезонной активностью, встречаются виды с постоянной численностью в течение всего года, которые преимущественно обитают в мезосапробной воде. Виды с постоянной численностью и одним пи-

ком сезонной активности по нашим наблюдениям, можно считать показателями сапробности воды.

Таким образом, из всех групп простейших наибольшее значение имеют перитрихи, которые могут быть индикаторами технологического процесса очистки воды, активно реагирующие на любые изменения состояния активного ила.

Морфологические изменения (сужение перистомального валика, усиленное движение ресничек и т.д.) перитрих на изменение среды могут быть использованы при разработке экспресс – методов контроля за работой очистных сооружений. В связи с этим необходимо выявить виды инфузорий, наиболее пригодные для морфофизиологического тестирования; исследовать изменчивость видов – индикаторов в зависимости от степени сапробности воды в аэротенке с учетом уровня сбросов по сезонам года.

Для морфофизиологического тестирования качества воды в аэротенках нами отобраны представители отряда Peritricha, которые являются хорошими индикаторами, так как они первыми реагируют на любое изменение в водной среде.

В последнее время эта способность простейших находит признание у специалистов гидробиологов. Список организмов-индикаторов из 32 видов, с указанием сапробной валентности и индикаторного веса зоидов приводился В. Сладечком для северных регионов [6]. Для южных регионов подобные исследования не проводились.

Экологией кругоресничных инфузорий занимались ведущие протозоологи Финлей Г.Е., (1969), Банина Н.Н., (1983), Суханова К.Л. (1984) [2, 3, 7] изучая расселение простейших в естественных и искусственных водоемах, взаимоотношения между этими организмами, потребности некоторых видов простейших к условиям среды; количественную зависимость простейших от некоторых факторов, их индикаторное значение.

Разнообразный видовой состав и высокая численность простейших тесно связан с той ролью, которую они играют в экосистеме активного ила. Особое значение как индикаторные организмы простейшие приобретают в сооружениях биологической очистки сточных вод,

прежде всего в аэротенках, где формируется активный ил, очищающий воду от органических загрязнений.

Наблюдаемая индивидуальная изменчивость ряда видов в зависимости от условий питания, а значит и от концентрации органических веществ в сточной воде, доказывает необходимость исследования морфофизиологического состояния простейших. Изменения наблюдаются в поведении, в росте и упитанности зоидов, в количестве пищеварительных вакуолей, в степени раскрытия и активности перистоста.

Если вид широко распространен в разных сапробных средах, то у него заметно различное раскрытие перистоста. Если же перистом способен к расширению, то вид является узкораспространенным. На этом основании можно привести формулировку двух законов. «Чем больше открыта воронка перистоста, тем меньше корма» [4]. При сравнении возможных индивидуальных изменений инфузорий в активном иле, справедлив и закон «Отношение ширины тела к ширине перистоста, обратно пропорционально количеству пищи в среде». Этот закон применим как к отдельным видам, так и к перитрихам в целом.

В экосистеме активного ила преобладают виды с широкой экологической активностью, способные обитать в разных зонах сапробности. На этой основе для производственного гидробиологического анализа качества очистки воды в аэротенках Гейспичем К.Ф. был предложен метод морфофизиологического тестирования, в котором обнаруживаются под микроскопом признаки, меняющиеся под воздействием изменения качества воды [4]:

- а) формы и размеры тела;
- б) количество пищеварительных вакуолей;
- в) зернистость цитоплазмы.

Специфика метода контроля заключается в том, что позволяет улавливать наличие любых загрязнений, не обнаруживаемых физико-химическими анализами, т.е. является экспресс-методом.

Определенные трудности связаны с отсутствием единой системы контроля качества воды, как для открытых водоемов, так и для очистных сооружений. При выборе методов необходимо учитывать особенности экосистемы активного ила и условия, связанные с технологи-

ей очистки, видовой состав, а так же пищевые взаимоотношения между видами.

В связи с условиями технологии биоочистки, рециркуляции и активной аэрации ила происходит смешение видов, характерное для начальных и конечных этапов очистки, что является фактором, затрудняющим проведение контроля по индикаторным видам.

Для определения качества очищаемой воды и эффективности работы очистных сооружений, нами было выделено пять основных видов перитрих, из которых наиболее удачными для морфо-физиологического тестирования оказались виды *Vorticella convollaria*, *Carchesium polyrium*, преимущество которых состоит в следующем:

- о массовое присутствие на разных ступенях очистки в аэротенке.

- о относительно большие размеры зоидов, что облегчает нахождение и измерение животных.

- о характерное строение перистома, позволяющее организму реагировать на изменения в окружающей среде.

Вода, прошедшая очистку во всех коридорах биореактора идет на слив, и резко отличается от поступающей тем, что более прозрачна, скорость оседания ила гораздо выше. Наблюдаемые виды, на данном участке резко отличаются: прозрачностью цитоплазмы, хорошо заметной поперечной исчерченностью, а также интенсивной работой ресничного аппарата и увеличением площади перистомального диска.

Полученные данные с учетом места забора пробы, сезона года представлены в обобщающей таблице (табл. 1).

Таблица 1

	Приемная камера	Вторичные отстойники	Биопруды	р. Белая	
				до смешивания	после смешивания
t, С	5,2	16,1	11,3	10,5	10
pH	7,4	7,3	7,7	7,9	7,9
Взвешенные вещества	60,8	8,9	9,6	55,9	37,5
Прозрачность	3,92	29,50	30	-	-
Азот аммонийный, мг/л	7,80	0,34	-	0,14	-
Азот нитритный, мг/л	0,150	0,030	0,008	0,042	0,024
Азот нитратный, мг/л	0,14	1,85	1,14	0,15	0,19
Фосфаты, мг/л	2,75	3,20	2,03	1,50	1,30
ХПК	174,5	40,4	36,6	-	-
БПК ₅ , мг/л, (O ₂)	93,70	8,62	4,85	2,60	2,68
Растворенные вещества, мг/л	588,5	566,8	404,6	314,7	294,0
Нефтепродукты, мг/л	1,11	отс	-	отс	-
СПАВ	0,116	0,039	0,057	-	-
Хлориды, мг/л	62,7	65,2	40,2	15,7	10,5
Сульфаты, мг/л	64,2	53,7	39,8	34,2	47,7
Растворенный кислород, мг/л	-	5,3	10,7	12,1	12,0

В наших исследованиях отмечено, что рост организмов интенсивно увеличивается в весенне-осенний период, и замедляется летом и зимой. Этот параметр в эксперименте имеет второстепенное значение.

Ширина тела – характеризует степень упитанности представителей родов *Vorticella* и *Carchesium*, определяется наличием в среде органических веществ и бактерий. Изменения ширины и длины тела зоидов аналогичны, что

видимо связано с общими для различных сезонов года метаболическими процессами.

Замеры ширины перистома организмов данного вида представляют совершенно иную характеристику. В процессе очищения воды в аэротенке и передвижении ее к последующим этапам очистки (вторичные отстойники) сильно изменяют не только характер очищаемой жидкости, но и сами перитрихи. Рассмотрим измененные формы *Vorticella*, *Carchesium* на разных ступенях гидробиологической очистки. В пер-

вой точке взятия пробы, то есть на входе сапробной воды в аэротенк, ширина раскрытия перистома всегда меньше, нежели на выходе. В воде более очищенной, лишенной основной массы органических веществ и бактериального населения, у *Vorticella convolaria*, *Carchesium polyrinum* неминуемо возникает потребность в особом рода приспособлениях. Вследствие недостаточного количества пищевых частиц в среде у перитрих происходит постепенное использование многочисленных пищеварительных вакуолей, резервов питания. Это делает цитоплазму зоидов прозрачной и малозернистой. Малая концентрация в воде бактерий приводит к тому, что ресничный аппарат начинает работать более интенсивно, края колоколовидного тела инфузории, образующие перистомальный валик, стремятся развернуться наружу, тем самым, увеличивая площадь деятельности спирально-ресничного аппарата. И такое приспособление инфузорий перитрих, ведущих прикрепленный образ жизни, в изменяющихся условиях среды, в процессе эволюции способствовали существованию в разных зонах сапробности воды: лигосапробной, бета-сапробной, альфа-сапробной, мезасапробной или полисапробной [6]. Так же, это одна из причин преобладания перитрих над другими группами инфузорий в зрелом, хорошо работающем, активном иле.

Процентное соотношение величин: ширины раскрытия перистома к ширине тела, дает нам яркую характеристику реакции представителей видов *Vorticella convolaria*, *Carchesium polyrinum* на начальной и конечной ступенях очистки в аэротенке. Следовательно, чем выше процент соотношения ширины перистома к ширине тела будет на выходе из аэротенка от такового на входе, тем с большей уверенностью можно судить о качестве очищаемой жидкости. А значит, справедлива мысль: чем больше открыта воронка перистома, тем меньше в среде обитания корма.

Таким образом *Vorticella convolaria*, *Carchesium polyrinum* могут быть использованы в начале, когда происходит становление фауны активного ила, и как тест – организмы при определении степени очистки воды.

Выводы:

1. Жгутиконосцы и инфузории активного ила аэротенков являются индикаторами чистоты воды.
2. При исчезновении кругоресничных инфузорий и массовом развитии свободных инфузорий нарушается режим работы аэротенков.
3. Появление полисапробных инфузорий и бесцветных жгутиконосцев – показатель катастрофического ухудшения качества воды
4. Большую роль в очистке воды играют виды Саркодовых, внесенные в список сапробных организмов.

В работе использованы данные лаборатории по всем группам простейших, а также результаты исследований студентов, изучавших фауну очистных сооружений г. Белореченска и г. Майкопа.

Примечания:

1. Банина Н.Н. Сидячие перетрихи как эписимбиотные организмы. – Изв. Гос. НИОРХ. 1977, т. 119, с. 53-73.
2. Банина Н.Н. Ciliata в очистных сооружениях бытовых и смешанных сточных вод // Простейшие активного ила. – Л.: Наука, 1983, стр. 527.
3. Банина Н.Н., Суханова К.Л. Простейшие в процессах биологической очистки сточных вод // актуальные вопросы гидробиологии. – Л.: Промрыбзавод, 1984, вып. 223.
4. Гейпсиц К.Ф. Методика технологического контроля работы очистных сооружений, фауна аэротенков – Л, 1984, с. 53.
5. Липеровская Е.С. Гидробиологический анализ активного ила. – В кн.: Методика технологического контроля работы технологического контроля работы очистных сооружений городской канализации. М., 1977, стр. 201-206.
6. Сладечек В. Атлас сапробных организмов. Унифицированные методы исследования качества вод. М., 1977, ч. III, стр. 144-161.
7. Sladeczek V. System of water quality from the biological point of view. – In: Ergebnisse Zimmologic. Stuttgart, 1973, p. 1 – 218.
8. Finley H.E. Ecology of peritrich Protozoa. – In: Progress in Protozoology. Leningrad., 1969, p. 176-179.
9. Ludwig G.F., Gewald W. Role of algae in sewage oxidation ponds. – Sci Monthly, 1962, vol. 71, № 1, p. 2-33.