

УДК 628.355

Р. М. Маркевич, кандидат химических наук, доцент;
И. А. Гребенчикова, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);
А. В. Роденко, директор (ООО «ГЕФЛИС»);

Р. Н. Вострова, кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой (БелГУТ)

ОСОБЕННОСТИ БИОЦЕНОЗА АКТИВНОГО ИЛА, НАХОДЯЩЕГОСЯ В СВОБОДНОМ СОСТОЯНИИ И ИММОБИЛИЗОВАННОГО НА ПОЛИМЕРНОМ НОСИТЕЛЕ

Исследован биоценоз свободноплавающего и иммобилизованного на волокнисто-пористом носителе активного ила аэротенков очистных сооружений г. Ивацевичи, функционирующих в режиме нитри-денитрификации. Выявлены различия структуры хлопка, видового состава и соотношения основных индикаторных групп организмов свободноплавающего активного ила разных технологических линий. Идентифицировано около 50 видов организмов. Показана способность волокнисто-пористого носителя удерживать значительное количество биомассы ила.

The biotic community composition of free-floating and fiber-porous carrier immobilized active sludge from Ivatsevichi treatment plant aerotanks, functioning under nitrification-denitrification conditions, has been studied. Differences in flock structure, species composition and proportion of main indicative groups of free-floating active sludge organisms for different technology lines have been revealed. About 50 species of organisms have been identified. The ability of the fiber-porous carrier to adsorb the considerable amount of sludge biomass has been shown.

Введение. Все большее распространение при строительстве и реконструкции очистных сооружений получают системы с применением носителей для иммобилизации биомассы.

Из используемых в настоящее время носителей хорошо зарекомендовали себя элементы, изготовленные из волокнисто-пористого нетканого материала [1]. Их выполняют в виде полых цилиндрических элементов внутренним диаметром 45–55 мм с толщиной стенки 5–10 мм. Носитель характеризуется пористостью 65–80%, при этом средний размер пор составляет 50–70 мкм. Малый диаметр волокон (50–80 мкм), высокая пористость носителя и размер пор, сравнимый с размерами хлопков активного ила (АИ), создают благоприятные условия для их удержания. Высокая концентрация бактериальной массы, в свою очередь, способствует привлечению питающихся ею организмов более высоких трофических уровней. В результате на носителе формируется специфический биоценоз, отличающийся от такового в зонах, не оснащенных носителем. Этот биоценоз устойчив к изменению условий своего функционирования (состава стока, рН сточных вод, времени аэрации, концентрации растворенного кислорода в воде и др.). Применение иммобилизованных организмов способствует повышению глубины очистки от трудноокисляемых органических веществ, интенсификации процессов удаления соединений азота, снижению риска вспухания активного ила, приводит к увеличению окислительной мощности аэротенка [2].

Основная часть. Цель работы заключалась в определении уровня развития и особенностей биоценоза АИ, находящегося в свободноплавающим состоянии и иммобилизованного на носителе.

Объектом исследования служила иловая смесь, отобранная из зон денитрификации и нитрификации четырех технологических линий очистных сооружений г. Ивацевичи. Внутри каждой линии создан собственный контур циркуляции иловой смеси из вторичных отстойников в регенераторы ила, а также из зон нитрификации в зоны денитрификации. В результате этого, несмотря на идентичный состав поступающих сточных вод, линии функционируют в относительно обособленном режиме. Нитрификаторы каждой технологической линии оснащены волокнисто-пористыми носителями биомассы. Для изучения иммобилизованного биоценоза использовали элементы носителя, извлеченные из зон нитрификации 2-й и 4-й линий.

Работу проводили с ноября 2012 г. по февраль 2013 г.

Анализ АИ осуществляли при помощи микроскопа «Биологический». Для исследования свободноплавающего ила использовали метод «откалиброванной капли» [3]. Микроскопировали взмученную пробу. Крупные гидробионты учитывали при увеличении $\times 100$. Более мелкие организмы, локализованные в пределах хлопков активного ила и трудно различимые при малом увеличении, рассматривали при увеличении $\times 400$. Определяли абсолютное количество организмов в единице объема иловой смеси, а также суммарное количество организмов, принадлежащих к основным индикаторным группам.

Идентификацию организмов производили по морфологическим признакам по [4–5].

Характеристики хлопка определяли при увеличении микроскопа $\times 40$, $\times 100$, $\times 400$.

Иммобилизованный биоценоз изучали с использованием продольных и поперечных срезов

элемента носителя, которые микроскопировали при увеличениях $\times 40$, $\times 100$.

Удерживающую способность носителя по биомассе определяли по разнице высушенного до постоянной массы элемента носителя, извлеченного из зон нитрификации 2-й и 4-й линий, до и после удаления биомассы АИ. Для освобождения носителя от биомассы его выдерживали в нагретой до 85–90°C концентрированной серной кислоте в течение 15–30 мин, затем промывали дистиллированной водой.

В составе биоценоза свободноплавающего АИ обнаружено около 50 видов простейших и многоклеточных организмов, из них встречались одновременно 20–28 видов. В ряде случаев установить видовую принадлежность было затруднительно, и определение производили до рода. Выявлено 7 видов раковинных и более 3 видов голых амёб, 9 видов кругоресничных, 9 – свободноплавающих,

2 – брюхоресничных и более 5 видов сосущих инфузорий, 3 вида жгутиковых, 5 видов коловраток. В биоценозе присутствовали также нематоды, малоцетинковые черви, тихоходки.

Установлено, что во всех четырех технологических линиях видовой состав биоценоза мало различался на протяжении всего периода исследований. Однако количество организмов отдельных видов сильно варьировало в пробах иловой суспензии, отобранных из разных линий. Общая численность представителей простейших и многоклеточных организмов в исследуемый период колебалась от 7 до 16 тыс. экз./см³ в биоценозах 1-й и 2-й линий и от 5 до 44 тыс. экз./см³ в биоценозах 3-й и 4-й линий.

Показано, что биоценозы всех линий подвержены колебаниям численности организмов основных индикаторных групп, что характерно для очистных сооружений небольших населенных пунктов (рис. 1–2).

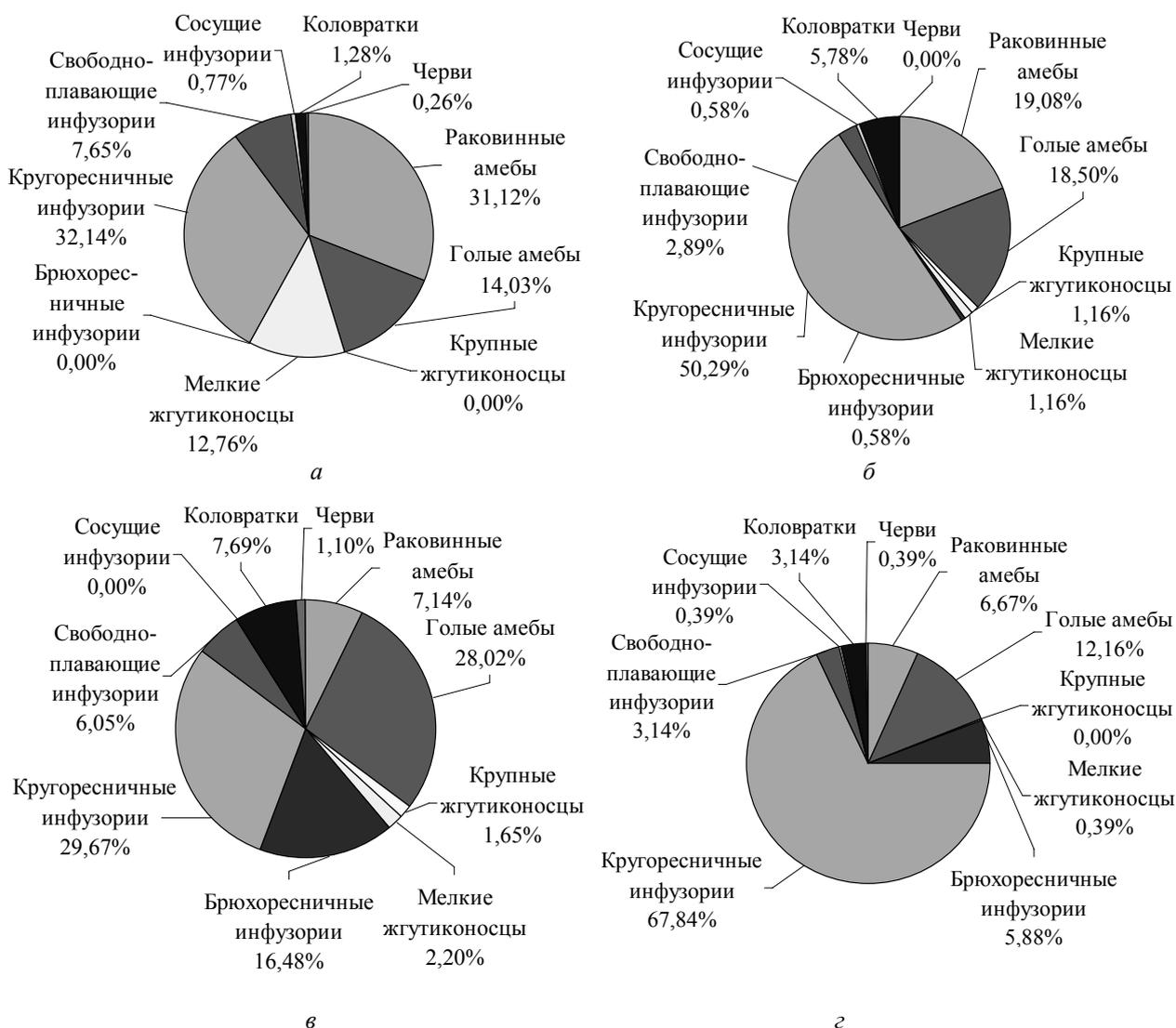


Рис. 1. Распределение организмов активного ила по основным индикаторным группам в зоне нитрификации 2-й линии:
а – декабрь 2012 г.; б – январь 2013 г.; в, г – февраль 2013 г.

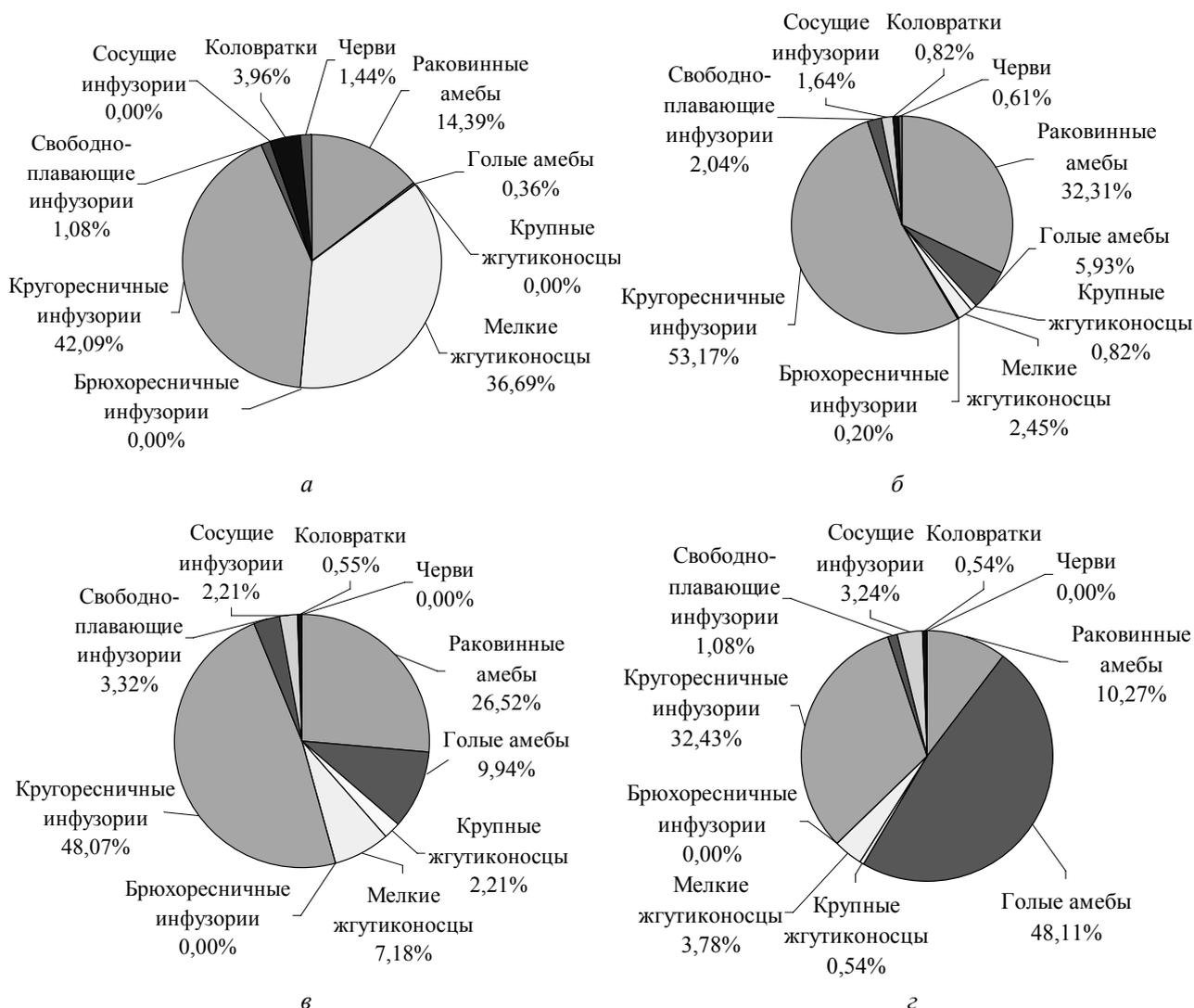


Рис. 2. Распределение организмов активного ила по основным индикаторным группам в зоне нитрификации 4-й линии: а – декабрь 2012 г.; б – январь 2013 г.; в, г – февраль 2013 г.

Более благоприятная ситуация как по видовому составу, так и по соотношению индикаторных групп наблюдалась в биоценозах 1-й и 2-й линий (рис. 1). Значительную долю (30–70%) в них постоянно занимали кругоресничные инфузории, наибольшее количество которых принадлежало к родам *Epistylis*, *Opercularia*. В значительных количествах встречался вид *Vorticella convallaria*, причем кроме обычной формы *V. convallaria* var. *typica* отмечена форма *V. convallaria* var. *similis*, что свидетельствует о высоких концентрациях растворенного кислорода в зонах нитрификации этих линий.

Присутствовавшие в зонах нитрификации 1-й и 2-й линий на хлопках АИ мелкие раковинные амёбы *Centropyxis* sp. способствовали их утяжелению и лучшему осаждению. Голые амёбы в АИ этих двух линий отличались достаточно большим размером. Доля свободноплавающих

и брюхоресничных инфузорий обычно была невелика. В биоценозах выявлено незначительное количество нематод, что говорит о хорошем перемешивании и отсутствии застойных зон. Постоянно встречались коловратки, сосущие инфузории, что свидетельствует о высоком уровне развития биоценоза.

В биоценозах 3-й и 4-й линий также большую долю занимали кругоресничные инфузории (32–56%) (рис. 2), однако здесь, кроме обычных для очистных сооружений представителей родов *Epistylis*, *Opercularia* и вида *Vorticella convallaria*, в массе развивался вид *Vorticella submicrostoma*, который устойчив к пониженным концентрациям кислорода, повышенным нагрузкам по органическим веществам. Другим характерным признаком биоценозов 3-й и 4-й линий являлись периодические вспышки численности мелких жгутиконосцев,

мелких раковинных амёб *Pamphagus hyalinum*, мелких голых амёб. Суммарная доля этих индикаторных групп в период исследований достигала 50–60%. Это свидетельствует о более низком уровне развития биоценоза и может служить признаком нарушений процесса очистки сточных вод, в частности вызванных дефицитом растворенного кислорода в иловой смеси.

Как правило, чередование аэробных и анаэробных зон в одном сооружении приводит к формированию более плотного, компактного, хорошо структурированного хлопка активного ила, что наблюдалось для АИ 1-й и 2-й линий на протяжении всего периода исследований (рис. 3 а, б). Средний размер хлопков здесь в основном составлял 200–400 мкм. В то же время хлопья АИ 3-й и 4-й линий были меньшего размера (50–170 мкм), с рыхлыми краями (рис. 3 в, г). Кроме того, в иловой суспензии присутствовало большое количество мелких, плохо сформированных хлопьев. Полученные при микроскопировании данные коррелируют со значениями показателя илового индекса, который для линий 1 и 2 варьировал в пределах 80–100 см³/г, а для линий 3 и 4 – 120–190 см³/г.

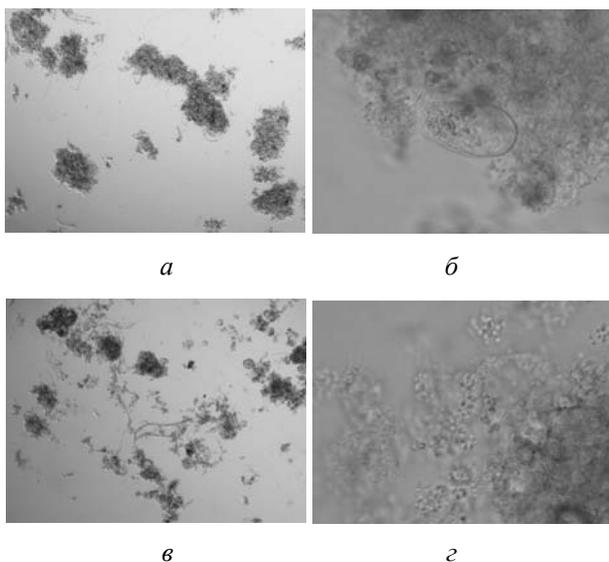


Рис. 3. Характерная структура хлопка активного ила 1-й и 2-й линий (а – $\times 40$, б – $\times 400$) и 3-й и 4-й линий (в – $\times 40$, г – $\times 400$)

Динамика осаждения АИ (рис. 4) подтверждает вышесказанное. Хлопки 1-й и 2-й линий практически полностью оседают в течение 15 мин, для хлопков 3-й и 4-й линий характерно более равномерное и медленное осаждение.

Концентрация АИ по массе (доза ила) в иловой смеси всех линий была достаточно высокой и составляла 2,6–4,3 г/дм³, в среднем около 3,0–3,5 г/дм³.

В период исследований на очистных сооружениях г. Ивацевичи не выявлено нитчатого

вспухания АИ, несмотря на поступление сточных вод спиртового завода, отличающихся высоким уровнем загрязненности.

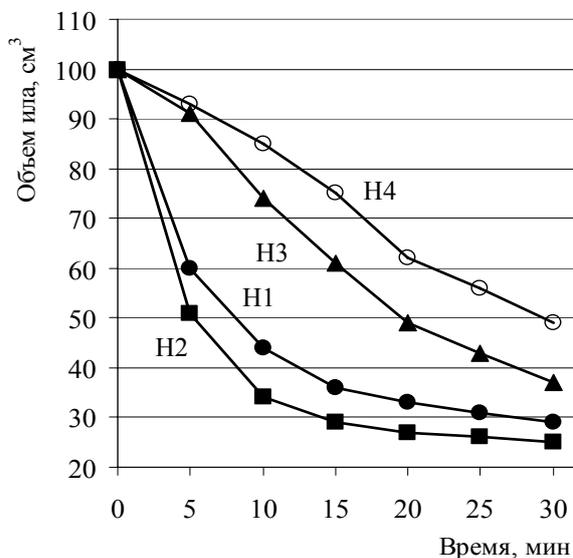


Рис. 4. Динамика осаждения АИ 13.02.13: Н1, Н2, Н3, Н4 – зоны нитрификации 1, 2, 3, 4-й технологических линий

Биоценоз иммобилизованного АИ (рис. 5) по видовому составу идентичен биоценозу свободноплавающего, но характеризуется гораздо более высокой концентрацией как бактериальной массы, так и организмов высших трофических уровней (коловратки, нематоды, хищные грибы, малощетинковые черви и др.).

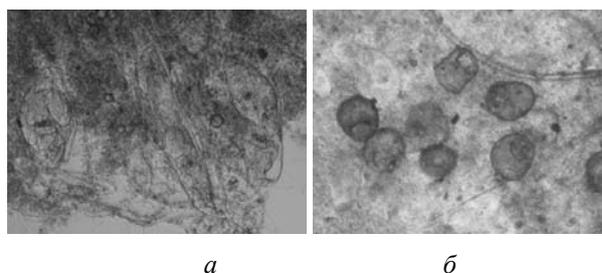


Рис. 5. Организмы биоценоза, иммобилизованного на носителе в зоне нитрификации 4-й линии 30.11.12: а – коловратки; б – раковинные амёбы ($\times 100$)

Установлено, что в порах волокнисто-пористого носителя в значительном количестве накапливаются хлопья АИ (рис. 6). Удерживающая способность носителя по биомассе в зоне нитрификации 2-й линии в январе-феврале была несколько выше и составляла 0,109–0,112 г/г, в то время как для зоны нитрификации 4-й линии эта величина колебалась в пределах 0,093–0,100 г/г. Это явление можно объяснить меньшей плотностью упаковки в порах носителя более рыхлых

хлопков 4-й линии. Удерживающая способность носителя увеличивалась на 33–48% и достигала 0,139–0,193 г/г при массовом развитии крупных организмов, например малоцетинковых червей, что отмечено в зоне нитрификации 4-й линии в ноябре-декабре 2012 г. Черви выедают хлопья ила из пор носителя, чем способствуют обновлению задерживаемой на нем биомассы и улучшению массообмена в этой зоне. Однако их массовое развитие приводило к оголению участков носителя и снижению его роли в нитрификаторе. Кроме того, при нарушениях режима аэрации и снижении концентрации растворенного кислорода происходит гибель этих организмов. При этом тела червей с носителя попадают в иловую смесь, и их разложение может привести к вторичному загрязнению воды.

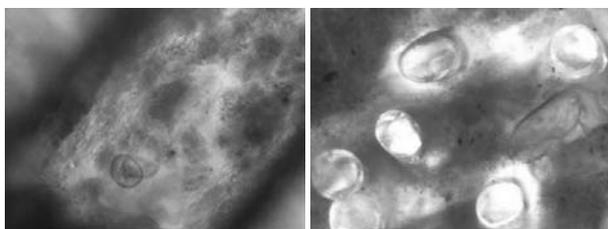


Рис. 6. Биоценоз, иммобилизованный на носителе в зоне нитрификации 2-й линии 16.01.13:
a – активный ил на поверхности волокон ($\times 100$);
б – активный ил в порах элемента носителя (поперечный срез элемента, $\times 40$)

Суммарная доза свободноплавающего и иммобилизованного активного ила в зонах нитрификации достигала 4,1–4,8 г/дм³.

Заключение. Исследование свободноплавающего активного ила четырех технологических линий очистных сооружений г. Ивацевичи показало, что при идентичном составе исходных сточных вод автономная рециркуляция ила на разных линиях приводит к формированию биоценозов, близких по видовому составу, однако различающихся по количественному соотношению организмов как отдельных видов, так и основных индикаторных групп.

Свободноплавающий активный ил всех линий подвержен значительным колебаниям численности организмов, что связано с изменением расхода сточных вод и уровня их загрязненности, вызванных сбросами промышленных предприятий. В целом биоценозы 1-й и 2-й линий имеют более высокий уровень развития, иловая суспензия отличается лучшим качеством хлопков. В то же время биоценозы 3-й и 4-й линий подвержены всплескам численности организмов низших трофических уровней, иловая суспензия включает мелкие рыхлые хлопья и имеет худшие седиментационные

характеристики. Таким образом, можно отметить более высокий деструкционный потенциал биоценозов 1-й и 2-й линий [2].

Размещение в зонах нитрификации волокнисто-пористого полимерного носителя способствует длительному удержанию в них значительного количества биомассы, что позволяет увеличить возраст ила. Это особенно важно для глубокого протекания нитрификации, поскольку бактерии, окисляющие аммонийный азот, имеют низкую скорость роста.

Иммобилизованный АИ имеет практически тот же видовой состав, что и свободноплавающий, но отличается более высокой концентрацией организмов. Удерживающая способность носителя ниже в зонах, где в составе иловой суспензии находятся более рыхлые и плохо сформированные хлопья АИ, и растет при увеличении количества иммобилизованных организмов высших трофических уровней.

В зонах нитрификации, оснащенных волокнисто-пористым полимерным носителем, достигается большая доза ила по сравнению с зонами со свободноплавающим илом. Это способствует более интенсивному изъятию загрязнений из сточных вод, обеспечивает глубокое протекание нитрификации, т. е. повышает эффективность функционирования очистных сооружений.

Литература

1. Носитель биомассы фильтров для биологической очистки сточных вод: пат. 007088 Евразийский МПК С 02 F 3/10 / Н. Е. Савицкий, В. Л. Лисицын, А. Г. Кравцов; заявитель ООО «Полимер». – № 007088; заявл 30.03.05, опублик. 30.06.06 // Реестр евразийских патентов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.eapo.org/ru/patents/reestr/patent.php>. – Дата доступа: 15.02.2013.
2. Жмур, Н. С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Н. С. Жмур. – М.: АКВАРОС, 2003. – 512 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. – Введ. 03.03.96. – М.: ООО «Акварос», 1996. – 60 с.
4. Фауна аэротенков: атлас / А. А. Айсаев [и др.]; отв. ред. Л. А. Кутикова. – Л.: Наука, 1984. – 264 с.
5. Fossner, W. A user-friendly guide to the ciliates (Protozoa, Ciliophora) commonly used by hydrobiologists as bioindicators in river, lakes, and waste waters, with notes on their ecology / W. Fossner, G. Berger // Freshwater biology. – 1996. – Vol. 35, No. 2. – P. 375–482.

Поступила 28.02.2013