

И.А. Гребенчикова, канд. техн. наук, доц.;
Р.М. Маркевич, канд. хим. наук, доц.;
М.В. Рымовская, канд. техн. наук, доц.;
О.В. Нестер, инж.; А.А. Масехнович, асп. (БГТУ, г. Минск);
Л.Д. Русак, нач. участка ЛОС
(ОАО «Слонимский картонно-бумажный завод «Альбертин»)

АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ ПРИКРЕПЛЕННОГО И СВОБОДНОПЛАВАЮЩЕГО АКТИВНОГО ИЛА В ПРОЦЕССЕ ЗАПУСКА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

На ОАО «Слонимский картонно-бумажный завод «Альбертин» предусмотрена двухступенчатая биологическая очистка производственных сточных вод с применением биопленочных реакторов с подвижным слоем носителя (Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)), в качестве которого используют структурированные полимерные кольца. Согласно принятой технологии первая ступень очистки (MBBR-1) должна обеспечивать устойчивость биосистемы к высоким нагрузкам, колебаниям входных параметров и другим неблагоприятным факторам, и здесь функционирует главным образом биомасса, удерживаемая носителем. На второй ступени (MBBR-2) реализуется технология IFAS-MBBR, когда в биореакторе развивается как прикрепленная, сглаживающая залповые поступления сточных вод, так и свободноплавающая биомасса, активно осуществляющая биологическую очистку. На стадии запуска очистных сооружений должны быть созданы условия для наращивания на носителе оптимального для данной нагрузки количества биомассы, а также формирования свободноплавающего активного ила (АИ).

Целью исследования являлся анализ формирования прикрепленного и свободноплавающего активного ила в процессе запуска сооружений биологической очистки сточных вод.

Объектом исследования являлись иловые смеси, отобранные на разных стадиях очистки, а также элементы носителей биомассы из биореакторов первой и второй ступеней.

Пробы предоставлялись с января по май 2022 г. В пробах определяли концентрации АИ по объему и по массе (доза ила), иловый индекс [1]. Гидробиологический анализ АИ включал визуальное исследование ила и оценку состояния хлопка, определение видового состава биоценоза, классификацию организмов АИ по индикаторным группам, выявление характерных особенностей биоценоза [1, 2].

На протяжении всего периода исследований отмечалось негативное влияние перегрузки АИ по органическим веществам, свиде-

тельством чего являлся неприятный, часто гнилостный запах иловых смесей как из МВВВ-1, так и из МВВВ-2. В то же время перенаправление всего потока циркуляционного ила только в МВВВ-2 и, как следствие, снижение нагрузки на ил привело к тому, что в данном биореакторе гнилостный запах сменился на землистый, характерный для здорового АИ очистных сооружений.

Показано, что наличие в иловых суспензиях обоих биореакторов большого количества не связанных с хлопками ила мелких включений, зооглейных образований, нитчатых бактерий с чрезвычайно тонкими нитями приводило к значительным проблемам при их фильтрации.

Из-за худшей структуры хлопков и более высокого содержания взвешенной бактериальной массы отмечена более высокая мутность иловой воды из МВВВ-1 в сравнении с таковой из МВВВ-2. В структуре хлопков ила, а также в суспензии постоянно присутствовали кристаллы неорганических веществ, в связи с чем выявлена высокая зольность иловой массы.

Биоценоз АИ, находящегося в свободном состоянии, отличался небольшим видовым разнообразием простейших и многоклеточных организмов (за период исследований всего встречено около 15–17 видов). В пробах иловой суспензии в разное время выявлены мелкие жгутиконосцы и амёбы (род не определен), свободноплавающие инфузории (*Trochilia minuta*, *Dexiotricha* sp., *Paramecium* sp., *Trachelophyllum pusillum* и др.), сосущие инфузории (*Tokophrya* sp.), кругоресничные инфузории (*Opercularia* sp., *Opercularia microdiscum*, *Vorticella* sp. (предположительно *V. microstoma*), *Carchesium* sp., *Zoothamnium* sp. и др.), а также многоклеточные организмы – коловратки *Rotaria* sp., нематоды. Практически все виды, присутствовавшие в биоценозе, устойчивы к высокой загрязненности среды, недостатку кислорода. В ряде проб отмечены низкое видовое разнообразие и невысокая численность организмов-фильтраторов (кругоресничных инфузорий, коловраток, свободноплавающих инфузорий), что способствовало массовому развитию бактерий, не связанных с хлопками ила.

В иле постоянно встречались 3–4 вида нитчатых бактерий, отмечено хроническое нитчатое вспухание, вызываемое двумя из них. Периодически фиксировалось зооглейное вспухание ила, вызываемое бактериями, образующими сильно разветвленные структуры (рис. 1).

Установлено, что существенные колебания значений показателей БПК₅, ХПК поступающих на очистку сточных вод, изменение количества вносимых биогенных элементов в виде мочевины и диаммонийфосфата, степени рециркуляции иловой смеси, перенаправление потоков циркулирующего ила и т. п. приводили к нестабильности

биоценоза АИ и пребыванию его в состоянии хронического стресса, что негативно сказывалось на его количественном и качественном составе, вплоть до временного исчезновения большинства видов.

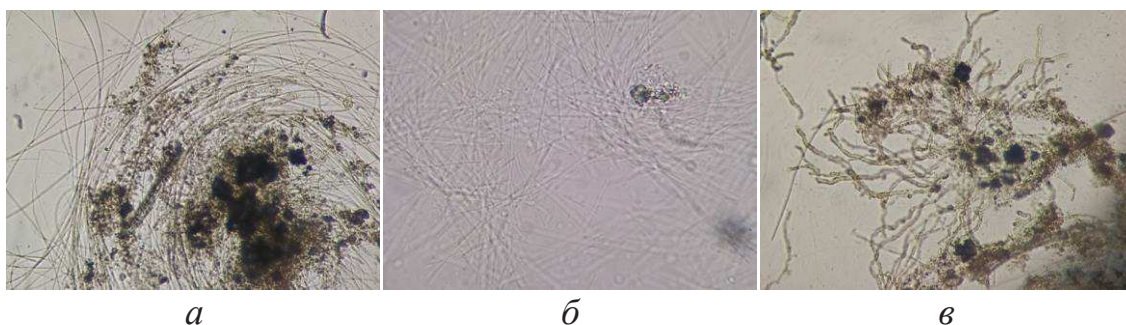


Рисунок 1 – Нитчатые бактерии (*а, б*) и зооглеи (*в*) в АИ (*а, в* – $\times 100$, *б* – $\times 400$)

Доза свободноплавающего ила по массе за весь период наблюдений имела стойкую тенденцию к уменьшению (с 4,8 до 2,0 г/дм³) в МВВР-1 и оставалась более стабильной в МВВР-2 (в среднем около 4,0 г/дм³). Значения илового индекса для обоих биореакторов возрастали в период с января по март и достигли величин 380–415 см³/г. Однако к апрелю–маю иловый индекс значительно снизился (до 60–125 см³/г), что для МВВР-1 можно связать со снижением дозы ила, а для МВВР-2 – с ростом минерализации биомассы при достаточно высокой дозе ила (4,0–5,1 г/дм³).

Биомасса, извлеченная из носителя (рис. 2, *а*), имела достаточно рыхлую структуру, больше сходную с хлопками ила высокого возраста, чем с биопленкой (как правило, значительно более плотной и сложно диспергируемой).

Биоценоз, формирующийся на носителе, по составу организмов был идентичен таковому в объеме иловой смеси. Образованию агломератов прикрепленной биомассы в большой степени способствовали нитчатые бактерии за счет формирования «каркаса» для бактериальных скоплений (рис. 2, *б*). Подобная роль отмечена также для стеблей кругоресничных инфузорий (рис. 2, *в*).

Биомасса на носителе в основном находилась в пустотах его элементов и достаточно легко извлекалась оттуда при механическом воздействии. В то же время на внешней стороне элементов носителя биомасса практически отсутствовала, что связано с ее удалением при контакте элементов носителя друг с другом (ударами и трением) под воздействием потоков жидкости и воздуха (рис. 3).

На носителе отмечено значительное количество минеральных отложений, прочно связанных с его поверхностью. Неорганические соединения входили также в структуру агломератов биомассы, что приводило к росту ее зольности. Всего на носителе, включая биомассу и неорганические вещества, в МВВР-1 удерживалось в среднем

0,65 г/г, что в 2,6 раза больше, чем в МВВР-2 (среднее значение 0,25 г/г). Однако носитель в МВВР-1 удерживал гораздо больше неорганических веществ и меньше биомассы, что снижало его вклад в биохимические процессы очистки сточных вод.

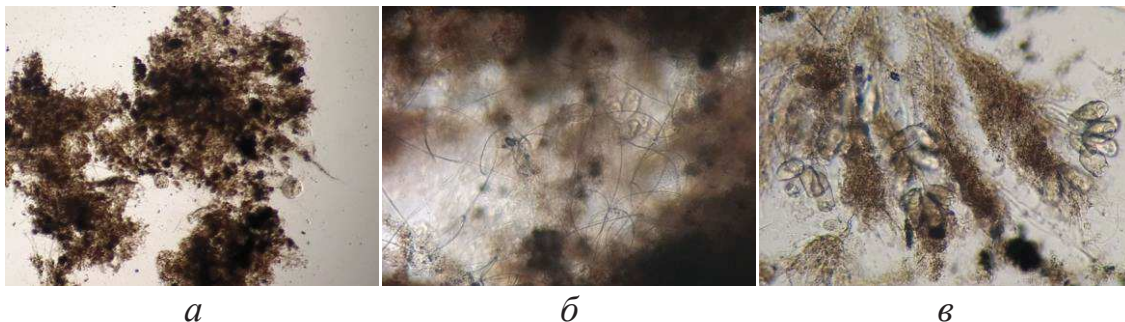


Рисунок 2 – Биомасса, снятая с элементов носителя МВВР-1 (а); нитчатые бактерии, МВВР-2 (б) и стебли кругоресничных инфузорий, МВВР-1 (в) в структуре прикрепленной биомассы, ×100

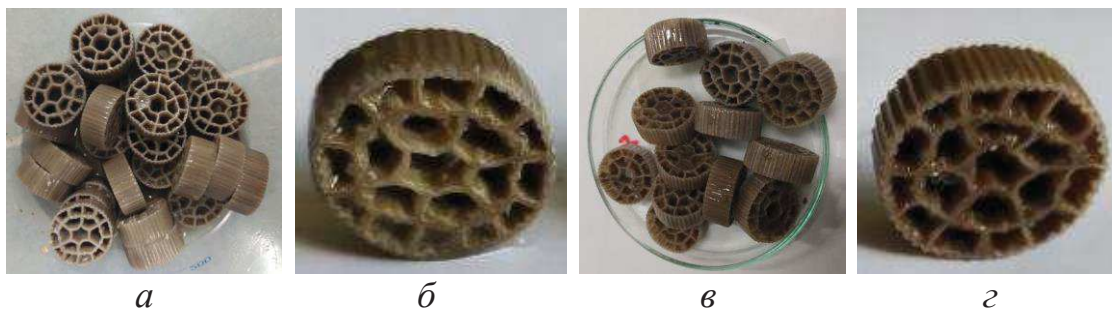


Рисунок 3 – Элементы носителя с биопленкой: а, б – МВВР-1; в, г – МВВР-2

На основании анализа полученных результатов можно сделать заключение, что для формирования эффективно функционирующих биоценозов свободноплавающего и прикрепленного АИ необходимы сглаживание резких колебаний нагрузки на ил, более равномерное внесение биогенной подпитки, выявление и по возможности устранение источника высокой минерализации иловой массы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маркевич, Р. М. Методическое руководство по контролю процесса биологической очистки сточных вод: учеб.-метод. пособие для студентов спец. 1-57 01 03 «Биоэкология» / Р. М. Маркевич [и др.]. – Минск: БГТУ, 2009. – 161 с.

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