

**О.С. Дубовик<sup>1</sup>, ведущий инженер-технолог**  
**И.А. Гребенчикова<sup>2</sup>, кандидат технических наук, доцент**  
**Р.М. Маркевич<sup>2</sup>, кандидат технических наук, доцент**

<sup>1</sup>Унитарное предприятие «Минскводоканал», г. Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Белорусский государственный  
технологический университет», г. Минск, Беларусь

## **УДАЛЕНИЕ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА И ФОСФОРА ПО ТЕХНОЛОГИИ КАСКАДНОЙ ДЕНИТРИФИКАЦИИ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

Биологическая очистка сточных вод, предусматривающая удаление соединений азота и фосфора, – эффективный, но очень сложный технологический процесс. В очистных сооружениях должно протекать четыре взаимосвязанных, но требующих различных условий процесса: окисление органических веществ; окисление азота аммонийного до нитритов и нитратов; восстановление нитратов и нитритов до молекулярного азота, сопровождающееся окислением органических веществ; накопление в клетках бактерий полифосфатов вследствие поглощения ими ортофосфатов.

Для обеспечения сбалансированного течения всех процессов существенную роль играют контроль состава поступающих сточных вод, соблюдение режимов функционирования всех стадий очистки, анализ активного ила.

Для биореакторов, функционирующих по технологии каскадной денитрификации, с октября 2018 г. по август 2019 г. проводился анализ показателей поступающих сточных вод и динамики изменения этих показателей по стадиям очистки, оценка интенсивности протекания нитри-, денитрификации и биологической дефосфотации, а также гидробиологический анализ активного ила.

Полученные данные позволили выявить проблемы удаления соединений азота и фосфора из сточных вод по технологии каскадной денитрификации и наметить пути их решения.

Поступающие сточные воды по уровню загрязнений (показатели БПК<sub>5</sub>, ХПК, содержание взвешенных веществ, азота аммонийного и фосфора фосфатного) существенно отличаются в утреннее и дневное время, наблюдается увеличение этих показателей в рабочие дни. Отношение БПК<sub>5</sub>/ХПК сточных вод, поступающих на биологическую стадию очистки, составляет 34,7 %, при этом корреляция между пико-

выми значениями показателей БПК<sub>5</sub> и ХПК отсутствует. Среднемесячные значения показателя ХПК сточных вод, поступающих на очистные сооружения, в течение рассмотренного периода находились в определенных, достаточно узких, пределах, максимальные отклонения от средних за рассматриваемый период значений находились на уровне 10 %. Самый нестабильный состав сточных вод зафиксирован в декабре: среднее значение составляло 591,1 мг/дм<sup>3</sup>, максимальное – 923,0 мг/дм<sup>3</sup>, минимальное – 264 мг/дм<sup>3</sup>. В то же время значения показателя БПК<sub>5</sub> подвержены существенным колебаниям: например, в феврале и июне максимальные и минимальные значения различались более чем в 3,5 раза.

Отмеченные факторы являются свидетельством высокой доли производственных сточных вод, залповых поступлений трудноокисляемых загрязнений, а широкий диапазон значений БПК<sub>5</sub> указывает на эпизодическое поступление легкоокисляемых соединений с производственными сточными водами.

Стоит отметить, что легкоокисляемые органические соединения, содержание которых характеризуется показателем БПК<sub>5</sub>, имеющим значение около 150 мг/дм<sup>3</sup> и ниже (март, июнь, июль), легко утилизируются микробиотой активного ила. Значение показателя ХПК после биологической очистки находилось в пределах 24–32 мг/дм<sup>3</sup> с октября по апрель и на уровне 40 мг/дм<sup>3</sup> в мае – июле. Таким образом, значительная часть биологически не окисляемых загрязнений сорбируется хлопками активного ила, имеющими развитую поверхность, и удаляется с избыточным илом. Наряду с этим определенная часть соединений может быть окислена химически при достаточном количестве растворенного кислорода и снижении нагрузки при введении в эксплуатацию четвертой секции аэротенков.

Степень удаления азота аммонийного при первичном отстаивании достаточно стабильна, среднее значение составляет около 10 %, наименьшее – в ноябре и июле, наибольшее – в июне и августе. На стадии биологической очистки за рассмотренный период средняя степень удаления азота аммонийного составляет 87,7 %, с октября по январь этот показатель оставался достаточно стабильным. Начиная с февраля удаление азота аммонийного стало ухудшаться, наименьшие результаты наблюдались в мае и июне (81,0 и 80,7 % соответственно). Содержание азота общего на стадии первичного отстаивания снижается в среднем на 13 %, на стадии биологической очистки – на 81,7 %, что является удовлетворительным для очистных сооружений с глубоким удалением азота и фосфора.

Отношение  $BPK_5/N_{\text{общ}}$  в сточных водах, поступающих на стадию биологической очистки, которое характеризует возможность протекания процессов нитрификации и денитрификации, колеблется в интервале от 2,1 до 3,1, среднее значение – 2,6. Величина этого отношения благоприятна для нитрификации (нитрификационный потенциал должен находиться в пределах 0,5–6,5), но является неудовлетворительной для денитрификации (денитрификационный потенциал должен быть не менее 3,5).

В этой связи обращает на себя внимание тот факт, что на стадии первичного отстаивания удаляется 33–37 % легкоокисляемых органических веществ: практически за весь период наблюдений среднее значение  $BPK_5$  сточных вод в приемной камере находилось в пределах 200–250 мг/дм<sup>3</sup> (за исключением ноября и декабря), а после первичного отстаивания это значение составляло около 150 мг/дм<sup>3</sup>. Поскольку это, как правило, растворенные вещества, такая высокая степень их удаления может быть связана с тем, что они вовлекаются в коагуляционные процессы при наличии в производственных сточных водах примесей, обладающих коагуляционными свойствами. Это заключение подтверждается тем фактом, что средняя степень удаления взвешенных веществ при первичном отстаивании составляет в среднем 50–60 % при одном функционирующем первичном отстойнике.

При средней степени удаления фосфора фосфатного на стадии первичного отстаивания, равной 12 %, в июне и августе наблюдалось значительное увеличение этого показателя (22,1 и 26,1 % соответственно). На стадии биологической очистки содержание фосфора фосфатного уменьшается в среднем на 60 %. Удаление соединений фосфора обеспечивается только с избыточным активным илом при удовлетворительном приросте.

За период исследований в биоценозе отмечены значительные колебания количества организмов различных видов и соотношения основных индикаторных групп. В активном иле выявлены вспышки численности организмов низших трофических уровней, связанные, возможно, с изменением уровня загрязненности сточных вод и их состава при поступлении сточных вод промышленных предприятий. Не выявлено однозначной корреляции между поступлением со сточными водами ионов тяжелых металлов, нефтепродуктов, СПАВ в повышенной концентрации и колебаниями численности простейших и многоклеточных организмов, поскольку поступление данных компонентов, а также общий уровень загрязненности сточных вод нестабильны, и факторы, оказывающие негативное влияние на биологические процессы, накладываются друг на друга.

Иловая суспензия на протяжении всего периода включала мелкие и средние рыхлые хлопья ила при малом количестве крупных и хорошо скомпонованных, имела неудовлетворительные седиментационные характеристики. В составе хлопьев постоянно наблюдалось большое количество нитчатых организмов преимущественно одного вида. Это позволяет говорить о хроническом нитчатом вспухании в биоценозе активного ила, развивающемся в условиях поступления на станцию значительной доли производственных сточных вод.

Невысокое значение БПК, поступающих на биологическую очистку вод, в большей степени способствует развитию нитчатых организмов, обладающих развитой удельной поверхностью и быстрее утилизирующих поступающие органические вещества, чем флокулообразующие бактерии. Кроме того, условия процесса нитри-денитрификации (в частности, рекомендуемая низкая нагрузка на ил (0,07–0,09 кг/(кг·сут)) по сравнению с требуемой в случае удаления только органических соединений (0,25–0,50 кг/(кг·сут)) направлены на развитие в биоценозе бактерий, отвечающих за удаление соединений азота и отличающихся низкой скоростью роста. По этим причинам для исследуемой иловой суспензии характерны низкий прирост свободной бактериальной биомассы и развитие нитчатых бактерий, которые по морфологическим характеристикам не подходят для питания обычных бактериофагов (кругоресничных, брюхоресничных, свободноплавающих инфузорий, коловраток), т. е. возникает ситуация недостатка бактериального питания для простейших и многоклеточных организмов, что приводит к жесткой конкуренции за субстрат и, как результат, к резким колебаниям численности организмов индикаторных групп.

Таким образом, для стабильности биологических процессов, в том числе эффективного удаления соединений азота и фосфора, необходимо соблюдение ряда условий: высокий уровень аэрации и снижение нагрузки путем введения в эксплуатацию четвертой секции аэротенков; уменьшение в общем потоке доли производственных сточных вод, обеспечивающих систематическое поступление трудноокисляемых соединений и эпизодическое залповое поступление легкоокисляемых органических веществ; организация промышленными предприятиями локальной очистки сточных вод перед сбросом их в городскую канализационную сеть. Стабильное обеспечение благоприятного для биологической очистки отношения БПК<sub>5</sub>/ХПК важно для формирования развитого биоценоза активного ила с высоким деструкционным потенциалом, предупреждения массового развития нитчатых форм бактерий и ухудшения седиментационной способности активного ила.