

УДК 628.316

Н.А. Кольчурина, В.В. Солнцев, В.И. ШуваловЗАО «Проектно-конструкторское предприятие Адсорбер»,
Пермь, Россия**Е.А. Фарберова**Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия**ДЕНИТРИФИКАЦИЯ СТОЧНОЙ ВОДЫ**

Работа посвящена изучению процесса денитрификации сточных вод станции КОС. Для этой цели были выращены денитрифицирующие бактерии. Через 7 дней за счет жизнедеятельности бактерий концентрация нитрат-ионов снизилась почти в 1000 раз. С целью ускорения развития денитрифицирующих бактерий использован активатор-препарат Микропан R.N., содержащий гетеротрофы. Отмечено, что применение биоактиватора позволяет ускорить процесс денитрификации. В качестве среды для «выращивания» и развития бактерий применялась природная почва. При выращивании бактерий на активном иле показатели денитрификации несколько ухудшаются. При определении зависимости скорости протекания процесса денитрификации от времени установлено, что время денитрификации сточной воды до норм ПДК в статических условиях составляет не менее 1 ч. Технология биологической денитрификации реализована в существующем аэротенке КОС, где была выделена зона денитрификации. Выполнялся контроль качества работы всей станции по следующим местам отбора: исходная вода, иловая смесь зоны денитрификации, иловая смесь аэробной зоны, очищенная вода. Фиксировались концентрация растворенного кислорода, окислительно-восстановительный потенциал, водородный показатель (pH), концентрации ила по объему и массе, иловый индекс, ХПК, мутность и концентрации нитрит- и нитрат-ионов. После испытаний в течение 6 месяцев установлено, что основным ограничивающим фактором для эффективного удаления азота является растворенный кислород. Для снижения концентрации растворенного кислорода целесообразно увеличить габариты всего аэротенка, что даст возможность

расширить размеры зоны денитрификации. Необходимо также обеспечить выбор дополнительного источника органического углерода.

Ключевые слова: денитрификация, бактерии, аэротенк, активный ил, биоактиватор, сточная вода.

N.A. Kolchurina, V.V. Solntsev, V.I. Shuvalov

JSC "Engineering company Transorb", Perm, Russian Federation

E.A. Farberova

Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russian Federation

DENITRIFICATION OF WASTEWATER

The work is devoted to studying the denitrification of wastewater station CBS. For this purpose, the bacteria were grown denitifikatsionny. After 7 days at the expense of the life of bacteria concentration of nitrate ions decreased by almost 1,000 times. In order to accelerate the development of denitrifying bacteria used in the activator-drug Mikropan RN, comprising heterotrophs. It is noted that the use of bioactivator can accelerate the process of denitrification. As the environment for "growing" and the development of natural soil bacteria was used. If we draw growing bacteria on the activated sludge, denitrification several indicators worsen. In determining the dependence of the rate of the denitrification process from the time determined that while the waste water denitrification to MACs in static conditions is not less than 1 hour. Biological denitrification technology is implemented in the existing aeration basin, where there was a zone of denitrifikatsii. Performs quality control of the entire plant according to the following sampling points: the raw water, sludge mixture zone denitrification sludge mixture aerobic zone, purified water. A fixed concentration of dissolved oxygen, redox potential, the pH value (pH), concentration of the sludge volume and weight, sludge index, COD, turbidity and the concentration of nitrite and nitrate ions. After the test for 6 months it found that the main limiting factor for the efficient removal of nitrogen is dissolved oxygen. To reduce the concentration of dissolved oxygen is expedient increase in the size of all of the aeration tank, which will enable to expand the dimensions of the denitrification zone. It is also necessary to provide an additional selection organic carbon source.

Keywords: denitrification, bacteria, aeration tank, activated sludge, bioactivator, waste water.

Прямая (микробиологическая) денитрификация осуществляется денитрифицирующими бактериями и происходит в анаэробных условиях в результате их нитратного дыхания, когда микроорганизмы используют для окисления органического вещества не свободный молекулярный кислород, а при его отсутствии связанный кислород нитратов или нитритов [1–7].

Для удаления окисленных форм азота из оборота системы используются анаэробные и бескислородные процессы. В этих процессах участвуют бактерии *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Bacillus* и др. Для дыхания эти бактерии используют кислород, содержащийся в нитратах, и освобождают азот, который выходит из системы в форме газа [8–10]. Для ускорения процесса денитрификации концентрация растворенного кислорода должна быть не более 0,2 мг/дм³.

Контроль процесса денитрификации основан на измерении содержания растворенного кислорода и окислительно-восстановительного потенциала.

Необходимые окислительно-восстановительные условия зоны – величина окислительно-восстановительного потенциала (Eh) в пределах от +50 до –50 мВ.

Для определения возможности применения технологии денитрификации на станции КОС в лаборатории ЗАО «ПКП Адсорбер» был выполнен ряд исследовательских работ по «выращиванию» и развитию денитрифицирующих бактерий.

Исследования проводились в статическом режиме.

В опыте № 1 изучалась эффективность процесса денитрификации при обеспечении:

- нитратной формы азота в среде;
- элементов питания для денитрифицирующих бактерий;
- исходной среды для «выращивания» и развития денитрифицирующих бактерий;
- анаэробных условий;
- рН среды – 7,0–7,4; температура – 19–21 °С.

Определено, что после завершения опыта (7 дней) наблюдалось появление пузырьков газов (СО₂ и N₂) и изменение цвета среды. Количественный химический анализ показал снижение концентрации нитрат-ионов с 1230 до 1,3 мг/дм³.

С целью интенсификации развития денитрифицирующих бактерий (уменьшения времени «выращивания» и развития бактериальной

среды) был применен препарат Микропан R.N. производства компании Eurovix. Препарат содержит в своем составе бактерии гетеротрофы (микроорганизмы, питающиеся органическими веществами). Применяется в очистных сооружениях в блоке денитрификации (опыт № 2).

Доза биоактиватора Микропан R.N. в опыте № 2 составила 5 мг/дм³.

Все остальные условия проведения опыта № 2 остались аналогичны условиям проведения опыта № 1.

Установлено, что применение биоактиватора позволяет ускорить процесс денитрификации. Время, необходимое для развития денитрифицирующих бактерий и полного снижения концентрации нитрат-ионов с 1315 до 1,0 мг/дм³, сократилось в 1,5 раза и составило 5 дней.

В качестве среды для «выращивания» и развития бактерий в опытах № 1, 2 применялась природная почва, в последующих опытах (№ 3, 4) – активный ил, доставленный с действующей станции КОС. Питание денитрифицирующих бактерий осуществлялось специально приготовленной питательной смесью.

Остальные условия проведения опытов № 3, 4 были аналогичны опытам № 1, 2 (без Микропана R.N. и с Микропаном R.N.)

Было достигнуто снижение концентрации нитрат-ионов с 1212 до 1,4 мг/дм³ (опыт № 3) и с 1230 до 1,8 мг/дм³ (опыт № 4).

В следующем эксперименте определена зависимость скорости протекания процесса денитрификации (снижение концентрации нитрат-иона) от времени. В качестве активного ила применялся подготовленный денитрифицирующий ил (доза ила по объему составила 10 % или 100 см³/дм³). Питание бактерий-денитрификаторов осуществлялось сточной водой, «богатой» нитратами (отфильтрованная иловая смесь аэротенка КОС). Результаты опыта представлены на рисунке. Как видно из полученных данных, время денитрификации сточной воды до норм ПДК в статических условиях составляет не менее 1 ч.

Для реализации технологии биологической денитрификации с учетом лабораторных исследований на станции КОС была организована зона денитрификации в существующем аэротенке. Денитрификатор организован в первой аэробной зоне (занимает 1/4 часть аэротенка) непосредственно после приемного отсека, куда подается исходная сточная вода и рециркулируемая иловая смесь. Перемешивание актив-

ного ила в денитрификаторе производится с помощью насоса. Испытания проводились в течение 6 месяцев.

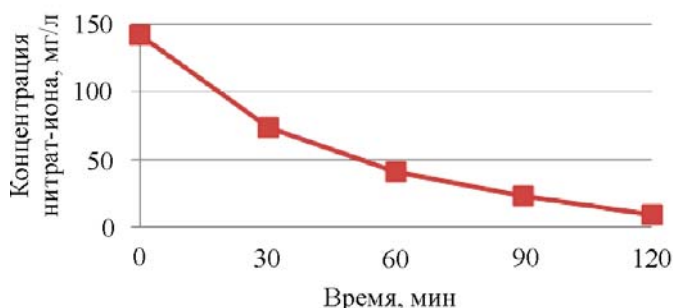


Рис. Зависимость скорости денитрификации от времени

Для оценки эффективности процесса денитрификации с периодичностью 1–2 раза в неделю выполнялся контроль качества работы всей станции по следующим точкам отбора: исходная вода, иловая смесь зоны денитрификации, иловая смесь аэробной зоны, очищенная вода.

Контроль выполнялся по следующим показателям:

- концентрация растворенного кислорода,
- окислительно-восстановительный потенциал,
- водородный показатель (pH),
- температура,
- концентрации ила по объему и массе,
- иловый индекс,
- солесодержание,
- ХПК,
- мутность,
- концентрации ионов аммония, нитрит-, нитрат- и фосфат-ионов.

Результаты исследований представлены в таблице.

На начальном этапе развития денитрифицирующих бактерий наметилась положительная динамика по основным показателям процесса восстановления: снижение концентрации растворенного кислорода до требуемой величины (не более $0,2 \text{ мг/дм}^3$) и окислительно-восстановительного потенциала до 50 мВ.

Среднемесячные результаты работы станции КОС (2014 г.)

Месяц	Место отбора	Т, °С	pH	ОВП, мВ	Раств. кислород, мг/дм ³	Мутность, ЕМФ	Азот аммонийный	Нитриты	Нитраты	Фосфаты (по фосфору)		Общая минерализация	ХПК, мгО ₂ /дм ³	Доза ила по объему, см ³ /дм ³	Иловый индекс, см ³ /г
Июль	Исходная вода	—	7,4	160	—	39,6	39	0,3	2,9	1,44	—	440	93,3	—	—
	Зона денитрификации (иловая смесь)	18,2	7,4	160	1,3	—	0,7	1,5	138	1,29	—	—	22	400	64,6
	Аэробная зона (иловая смесь)	18,3	7,4	190	1,1	—	1,1	1,5	113	1,17	—	—	7,6	450	67,2
Август	Очищенная вода	—	7,6	—	—	0,6	1,2	0,07	118	0,57	—	359	13,5	—	—
	Исходная вода	—	7,7	—	—	20,3	28,9	1,7	52	1,23	—	500	80,2	—	—
	Зона денитрификации (иловая смесь)	22,6	7,2	120	0,7	—	2	3,7	200	2,32	—	415	—	174	64,8
	Аэробная зона (иловая смесь)	22,7	7,2	160	1,7	—	1,3	4,5	230	2,25	—	410	—	202	67,3
Сентябрь	Очищенная вода	—	7,5	—	—	0,6	0,1	1	125	2,29	—	408	20,8	—	—
	Исходная вода	—	7,3	—	—	20,5	34	0,1	14	1,66	—	515	42,3	—	—
	Зона денитрификации (иловая смесь)	23,3	6,9	200	0,9	—	1,7	3,2	200	1,5	—	440	21,2	150	65,2
	Аэробная зона (иловая смесь)	23,4	6,9	210	0,7	—	1,6	4,4	195	1,69	—	440	32	125	65,7
Декабрь	Очищенная вода	—	6,9	—	—	<0,5	0,2	0,7	100	1,47	—	430	<5	—	—
	Исходная вода	—	7,7	—	—	8,4	20	0,6	10	0,66	—	390	30,8	—	—
	Зона денитрификации (иловая смесь)	—	7,8	—	—	—	3,5	2,9	175	1,06	—	450	—	50	—
	Аэробная зона (иловая смесь)	—	7,8	—	—	—	2	3,2	170	1,11	—	450	—	<50	—
	Очищенная вода	—	8	—	—	<0,5	1,2	2,1	160	1,02	—	465	5,6	—	—

Однако с конца второго месяца испытаний наблюдалось повышение концентрации растворенного кислорода в зоне денитрификации. Анализ работы станции показал, что растворенный кислород в данную зону поступает с исходной сточной водой из резервуара-усреднителя и с иловой смесью рециркулирующей из аэробных зон. Необходимо отметить, что при концентрации растворенного кислорода выше указанной границы ($0,2 \text{ мг/дм}^3$) бактерии перестают усваивать кислород нитратов.

Заключение

Основным ограничивающим фактором для эффективного удаления азота является растворенный кислород. Результаты лабораторных исследований, полученные в статических условиях, показывают, что время, необходимое для протекания процесса, а следовательно, и параметры зоны денитрификации (1/4 часть аэротенка) требуют адаптации к динамическим условиям работы станции КОС.

С учетом этого необходимо увеличить размеры зоны денитрификации. Для снижения концентрации растворенного кислорода целесообразно увеличить габариты всего аэротенка и выбрать дополнительный источник органического углерода, например такие, как уксусная кислота, ацетон, этанол, метанол.

Список литературы

1. Жмур Н.С. Интенсификация процессов удаления соединений азота и фосфора из сточных вод. – М.: АКВАРОС, 2001. – 94 с.
2. Жмур Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод. – М.: АКВАРОС, 2003. – 512 с.
3. Мешенгиссер Ю.М. Ретехнологизация сооружений очистки сточных вод. – М.: Вокруг цвета, 2012. – 211 с.
4. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод. – М.: Изд-во АСВ, 2002. – 704 с.
5. Разумовский Э.С., Залетова Н.А. Удаление биогенных элементов из городских сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. – 1991. – № 6. – С. 28–30.
6. Существующие методы контроля работы очистных сооружений канализации / Г.Т. Амбросова, В.А. Гвоздев, О.М. Меркель, Т.А. Бойко // Изв. вузов. Строительство. – 2003. – № 2. – С. 86–90.
7. Технология удаления азота и фосфора в процессах очистки сточных вод / Б.Г. Мишуков, Е.А. Соловьева, В.А. Керов, Л.Н. Зверева. – СПб., 2008. – 144 с.

8. Технологии биологического удаления азота и фосфора на станциях аэрации / Б.В. Васильев, Б.Г. Мишуков, И.И. Иваненко, Е.А. Соловьева // Водоснабжение и санитарная техника. – 2001. – № 5, ч. 1. – С. 22–25.

9. Яковлев С.В., Карюхина Т.А. Биохимические процессы в очистке сточных вод. – М.: Стройиздат, 1980. – 200 с.

10. Голубовская Э.К. Биологические основы очистки воды. – М.: Высшая школа, 1978. – 268 с.

References

1. Zhmur N.S. Intensifikatsiya protsessov udaleniya soedinenij azota i fosfora iz stochnykh vod [Intensification of removing nitrogen and phosphorus from wastewater]. Moscow: AKVAROS, 2001. 94 p.

2. Zhmur N.S. Tekhnologicheskie i biokhimicheskie protsessy ochistki stochnykh vod [Technological and biochemical processes of wastewater treatment]. Moscow: AKVAROS, 2003. 512 p.

3. Meshengisser Ju.M. Retehtnologizatsiya sooruzhenij ochistki stochnykh vod [Retehtnologizatsiya wastewater treatment plants]. Moscow: Vokrug tsveta, 2012. 211 p.

4. Jakovlev S.V., Voronov Ju.V. Vodootvedenie i ochistka stochnykh vod [Sewage and wastewater treatment]. Moscow: ASV, 2002. 704 p.

5. Razumovskij E.S., Zaletova H.A. Uдалenie biogennykh elementov iz gorodskikh stochnykh vod [Removal of nutrients from municipal wastewater]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*, 1991, no. 6, pp. 28–30.

6. Ambrosova G.T., Gvozdev V.A., Merkel' O.M., Bojko T.A. Sushchestvuyushchie metody kontrolya raboty ochistnykh sooruzhenij kanalizatsii [Existing methods of monitoring the work of sewage treatment facilities]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*, 2003, no. 2, pp. 86–90.

7. Mishukov B.G., Solov'eva E.A., Kerov V.A., Zvereva L.N. Tekhnologiya udaleniya azota i fosfora v protsessakh ochistki stochnykh vod [Technology for the removal of nitrogen and phosphorus in wastewater treatment processes]. Saint Petersburg, 2008. 144 p.

8. Vasilev B.V., Mishukov B.G., Ivanenko I.I., Solov'eva E.A. Tekhnologii biologicheskogo udaleniya azota i fosfora na stantsiyakh aeratsii [Technology for biological removal of nitrogen and phosphorus in the aeration stations]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*, 2001, no. 5, part 1, pp. 22–25.

9. Jakovlev S.V., Karyukhina T.A. Biokhimicheskie protsessy v ochistke stochnykh vod [Biochemical processes in wastewater treatment]. Moscow: Strojizdat, 1980. 200 p.

10. Golubovskaya E.K. Biologicheskie osnovy ochistki vody [The biological basis for water purification]. Moscow: Vysshaya shkola, 1978. 268 p.

Получено 13.08.2015

Об авторах

Кольчурина Наталья Александровна (Пермь, Россия) – ведущий инженер-технолог ЗАО «Проектно-конструкторское предприятие Адсорбер» (614107, г. Пермь, ул. Левченко, 1; e-mail: ads@adsorber.ru).

Солнцев Владислав Васильевич (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заместитель генерального директора по НИОКР ЗАО «Проектно-конструкторское предприятие Адсорбер» (614107, г. Пермь, ул. Левченко, 1; e-mail: solntcev@adsorber.ru).

Шувалов Владимир Иванович (Пермь, Россия) – технический директор ЗАО «Проектно-конструкторское предприятие Адсорбер» (614107, г. Пермь, ул. Левченко, 1; e-mail: ads@adsorber.ru).

Фарберова Елена Абрамовна (Пермь, Россия) – кандидат химических наук, доцент кафедры химии и биотехнологии Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: elenafarb@gmail.com).

About the authors

Nataliya A. Kolchurina (Perm, Russian Federation) – Leading engineer-technologist of JSC “Engineering company Transorb” (1, Levchenko str., 614107, Perm, Russian Federation; e-mail: ads@adsorber.ru)

Vladislav V. Solntsev (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Deputy General Director for R & d JSC “Engineering company Transorb” (1, Levchenko str., 614107, Perm, Russian Federation; e-mail: solntcev@adsorber.ru)

Vladimir I. Shuvalov (Perm, Russian Federation) – Technical Director of JSC “Engineering company Transorb” (1, Levchenko str., 614107, Perm, Russian Federation; e-mail: ads@adsorber.ru)

Elena A. Farberova (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Chemical Sciences, Associate Professor of Chemistry and Biotechnology, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., 614990, Perm, Russian Federation; e-mail: elenafarb@gmail.com).