

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» / Russian journal of resources, conservation and recycling <http://resources.today>

2015, Том 2, №3 / 2015, Vol 2, No 3 <http://resources.today/issues/vol2-no3.html>

URL статьи: <http://resources.today/PDF/01RRO315.pdf>

DOI: 10.15862/01RRO315 (<http://dx.doi.org/10.15862/01RRO315>)

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Биргер Е.В., Иванов В.А., Лебедев В.В. Оценка параметров биофильтра с затопленной загрузкой на доочистку биологически очищенных хозяйственно-бытовых сточных вод от аммонийного азота и БПК // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» Том 2, №3 (2015) <http://resources.today/PDF/01RRO315.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**For citation:**

Birger E.V., Ivanov V.A., Lebedev V.V. [Parameter estimation of the biofilter with flooded loading additional cleaning biologically purified household wastewater from ammonium nitrogen and BOD] Russian journal of resources, conservation and recycling, 2015, Vol. 2, no. 3. Available at: <http://resources.today/PDF/01RRO315.pdf> (In Russ.)

**УДК 628.3**

**Биргер Евгений Владимирович**

НОУ ВПО «Институт мировой экономики и информатизации», Россия, Москва  
Декан факультета «Информатизации и экологии»  
Кандидат экономических наук  
E-mail: [info@iup.ru](mailto:info@iup.ru)

**Иванов Владимир Александрович**

ФГБОУ ВПО «Российский государственный университет туризма и сервиса», Россия, Москва  
Профессор кафедры «Сервисного инжиниринга»  
Доктор технических наук  
E-mail: [vaivanow@rambler.ru](mailto:vaivanow@rambler.ru)

**Лебедев Владимир Владимирович**

ФГБОУ ВПО «Российский государственный университет туризма и сервиса», Россия, Москва  
Доцент кафедры «Сервисного инжиниринга»  
Кандидат технических наук  
E-mail: [voval\\_matr@mail.ru](mailto:voval_matr@mail.ru)

## **Оценка параметров биофильтра с затопленной загрузкой на доочистку биологически очищенных хозяйственно-бытовых сточных вод от аммонийного азота и БПК**

**Аннотация.** Создание эффективных устройств для глубокой биологической доочистки сточных вод стало актуальной задачей в связи с ужесточением экологических требований к качеству очистки сточных вод. Потребность введения новых нормативов продиктована новыми данными относительно отрицательного воздействия возрастающих объемов сточных вод прежде всего на природные аквасистемы. Применявшиеся и применяемые по сей день традиционные системы биологической очистки сточных вод активным илов в аэротенках и вторичных отстойниках не способны обеспечить новые требования к качеству очистки. Биологической очистке в затопленных загрузках находят все большее применение на практике, хотя до настоящего времени, отсутствуют в достаточном объеме данные по результатам экспериментальных и теоретических исследований процессов, протекающих в биопленках затопленных загрузок. Это обстоятельство вызывает определенные затруднения при оценке рабочих параметров процессов очистки в фильтротенке. С другой стороны, имеется достаточно данных для анализа аналогичных процессов в биофильтрах других типов.

Как следует из результатов многочисленных исследований, процессы в биопленках различных биофильтров в целом подчиняются общим закономерностям. Поэтому для оценки параметров фильтротенка были использованы данные по диффузионно-кинетическим характеристикам биопленок, работающих по биоконверсии определенных типов загрязняющих веществ в биофильтрах других типов.

**Ключевые слова:** биологическая очистка; биофильтр; диффузионно-кинетическая характеристика; фильтротенк

### Введение

Процессы биологической очистки в затопленных загрузках находят все большее применение на практике. В то же время, отсутствуют в достаточном объеме данные по результатам экспериментальных и теоретических исследований процессов, протекающих в биопленках затопленных загрузок. Это обстоятельство вызывает определенные затруднения при оценке рабочих параметров процессов очистки в фильтротенке. С другой стороны, имеется достаточно данных для анализа аналогичных процессов в биофильтрах других типов. Как следует из результатов многочисленных исследований, процессы в биопленках различных биофильтров в целом подчиняются общим закономерностям. Поэтому для оценки параметров фильтротенка были использованы данные по диффузионно-кинетическим характеристикам биопленок, работающих по биоконверсии определенных типов загрязняющих веществ в биофильтрах других типов.

Особый интерес в биологической очистке в затопленных загрузках представляет доочистка сточных вод от азота. Азот в сточных водах содержится в составе органических загрязнений и в форме аммонийных солей [1]. Трансформация азота в процессе аэробной биологической очистки идет по двум направлениям: часть азота включается в состав биомассы микрофлоры активного ила и биопленки, другая часть азота, в основном в аммонийной форме, окисляется до нитратов в процессах нитрификации. Гетеротрофные бактерии активного ила или биопленки конкурируют с нитрифицирующими микробами за источники кислорода и азота. Поскольку при наличии достаточных количеств органического углерода в сточных водах (высокие значения БПК) гетеротрофные бактерии растут в несколько раз быстрее, они вытесняют нитрифицирующие микробы в области, где имеет место дефицит источников органического углерода [2]. Нитрифицирующие бактерии, напротив, относятся к автотрофным микроорганизмам, которые используют в качестве источников углерода карбонат – анионы, а в качестве источников азота – аммоний. Поэтому удаление аммонийных форм азота из сточных вод происходит путем преобразования их нитрифицирующими бактериями в нитратные формы. Полное удаление азота из сточных вод возможно только в процессах денитрификации. Оценка параметров биофильтра на доочистку сточных от аммонийных форм азота основана на вышеизложенных представлениях.

### Обсуждение результатов

Расчет параметров нитрифицирующей загрузки фильтротенка представляет собой достаточно сложный процесс [3]. Исходные требования к составу сточных вод, поступающих на доочистку, а также – сточных вод, прошедших доочистку, сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Состав сточных вод перед доочисткой и после доочистки

№ п/п	Показатель	Перед доочисткой	После доочистки	Эффективность очистки, %
1	БПКп, мг/л	20	3	85
2	Взвешенные вещества, мг/л	15	3	80
3	Общий азот, мг/л	67,7	0,4	99,4

Расход сточных вод, поступающих на доочистку, составляет 100 м<sup>3</sup>/сут.

Как показывает теория, конкуренция между нитрифицирующими бактериями и гетеротрофами в биопленке за лимитирующую скорость роста субстрат – растворенный кислород происходит при соблюдении условия [1]:

$$C_{\text{БПК}} > 5 \cdot C_{\text{O}_2},$$

где:  $C_{\text{O}_2}$  – концентрация растворенного кислорода;

$C_{\text{БПК}}$  – концентрация обобщенного органического загрязнения в единицах БПК, мг/л.

Обычно в аэрируемых сооружениях принимают концентрацию растворенного кислорода равную 2 мг/л. Поэтому в зоне доочистки, где концентрация БПК будет находиться в диапазоне от 10 до 20 мг/л, нитрификация будет подавлена, и будет происходить, в основном, биоконверсия органических загрязнений. В зоне, где БПК снизится до значений, меньших 10 мг/л, будут происходить параллельно оба процесса: окисление аммонийного азота и органического вещества, причем по мере снижения концентрации последнего будет все более превалировать процесс нитрификации. Изменить условия в пользу процесса нитрификации можно путем увеличения концентрации растворенного кислорода. Однако это сопряжено с известными техническими трудностями и дополнительными расходами. Поэтому целесообразность проведения подобных мероприятий предстоит еще оценить.

Удельная скорость потребления растворенного органического субстрата гетеротрофами биопленки оценивается на уровне [4]:

$$K_{\text{БИ}}^{\text{ОВ}} = 250 \text{ кг БПК на } 1 \text{ м}^3 \text{ биомассы биопленки в сутки.}$$

Если принять толщину биопленки равной не более  $\delta=0,001$  м, и предположить полную проницаемость биопленки для диффузии субстрата и кислорода, т.е. отсутствие диффузионных ограничений, то ферментативная реакция утилизации органического вещества в биопленке имеет первый порядок, и удельная скорость изъятия органических загрязнений биопленкой из сточных, отнесенная к единице поверхности биопленки может быть оценена по формуле:

$$r_{\text{БИ}}^{\text{ОВ}} = K_{\text{БИ}}^{\text{ОВ}} \cdot \delta = 250 \cdot 10^{-3} \cdot 0,001 = 250 \text{ г БПК на } 1 \text{ м}^2 \text{ поверхности биопленки в сутки.}$$

С другой стороны, согласно эмпирическим данным [5] при концентрации растворенного кислорода в воде, равной 2 мг/л, удельная скорость изъятия аммонийного азота поверхностью нитрифицирующей биопленки будет равна:

$$r_{\text{БИ}}^{\text{АМ}} = 1,6 \text{ Г (NH}_4\text{-N) на } 1 \text{ м}^2 \text{ поверхности биопленки в сутки,}$$

где (NH<sub>4</sub>-N) – обозначает массу азота, содержащегося в аммонийной форме.

Отношение скоростей рассматриваемых процессов будет равно:

$$r_{\text{БИ}}^{\text{ОВ}} / r_{\text{БИ}}^{\text{АМ}} = 156,3$$

Таким образом, скорость утилизации органических загрязнений в биопленке более чем в 150 раз превосходит скорость изъятия аммонийных форм азота. Поэтому процессы окисления органического вещества завершатся быстро в первых, по ходу движения потока очищаемой сточной воды, слоях затопленной загрузки, и не будут определять порядок значений требуемого объема загрузки. Расчет требуемого объема затопленной нитрифицирующей загрузки фильтротенка выполним, используя полученную при принятой концентрации растворенного кислорода удельную скорость изъятия аммонийного азота из очищаемой сточной воды биопленкой [6]. Будем считать, что указанный в техническом задании общий азот относится к аммонийным формам. Определим площадь биопленки, необходимую для изъятия и нитрификации азота [7]:

$$F_{\text{БП}} = \frac{Q \cdot (C_{\text{NH}_4}^0 - C_{\text{NH}_4}^t)}{r_{\text{БП}}^{\text{AM}}} = \frac{100 \cdot (67,7 - 0,4)}{1,6} = 4206,25 \text{ М}^2,$$

где:  $Q=100 \text{ м}^3/\text{сут.}$  – расход сточных вод;

$C_{\text{NH}_4}^0 = 67,7 \text{ мг/л}$  – начальная концентрация аммонийного азота в сточной воде (на входе в нитрифицирующую загрузку);

$C_{\text{NH}_4}^t = 0,4 \text{ мг/л}$  – конечная концентрация аммонийного азота в сточной воде (на выходе из нитрифицирующей загрузки), которая устанавливается в соответствии с требованиями СанПиН к содержанию аммония в очищенных сточных водах;

$r_{\text{БП}}^{\text{AM}} = 1,6 \text{ г (NH}_4\text{-N)/(м}^2\text{·сут.)}$  – удельная скорость изъятия аммонийного азота поверхностью биопленки, определенная для принятого значения концентрации растворенного кислорода в сточной воде  $C_{\text{O}_2} = 2 \text{ мг/л}$ .

Объем нитрифицирующей затопленной загрузки, которая служит в качестве неподвижного носителя для прикрепленной биомассы – биопленки, определим, используя эмпирические данные для средних значений удельных поверхностей для типовых материалов, используемых в качестве загрузок в биофильтрах [8]

$$V_3 = \frac{F_{\text{БП}}}{\omega} = \frac{4206,25}{200} = 21,1 \text{ М}^3,$$

где  $\omega=200 \text{ м}^2/\text{м}^3$  – удельная (отнесенная к единице объема загрузки) поверхность, на которой может закрепляться биопленка.

Количество кислорода, необходимое стехиометрически для осуществления реакции нитрификации, составляет  $\nu_{\text{O}_2} = 4,6 \text{ г O}_2$  на  $1 \text{ г}$  окисленного  $(\text{NH}_4\text{-N})$ . Определим стехиометрически необходимый для проведения нитрификации расход воздуха (при нормальных физических условиях), представляющий собой источник кислорода, для аэрации сточных вод:

$$V_{\text{air}} = V_{\mu} \cdot \frac{Q \cdot (C_{\text{NH}_4}^0 - C_{\text{NH}_4}^t) \cdot \nu_{\text{O}_2}}{0,21 \cdot M_{\text{O}_2}} \cdot 10^{-3} = 22,4 \cdot \frac{100 \cdot (67,7 - 0,4) \cdot 4,6}{0,21 \cdot 32} \cdot 10^{-3} = 103,2 \text{ М}^3/\text{сут.},$$

где:  $\nu_{\text{O}_2} = 4,6 \text{ г O}_2/\text{г(NH}_4\text{-N)}$  – стехиометрический коэффициент потребления кислорода;

$0,21$  – мольная доля кислорода в воздухе;

$V_{\mu}=22,4 \text{ м}^3/\text{моль}$  – объем занимаемый одним молем газа при нормальных физических условиях;

$M_{O_2} = 32$  г/моль – молекулярная масса кислорода.

### Заключение

При расчетах параметров в аэрируемых сооружениях принимают концентрацию растворенного кислорода равную 2 мг/л, что позволяет в зоне доочистки, где концентрация БПК будет находиться в диапазоне от 10 до 20 мг/л, нитрификация будет подавлена. Обусловленная этим биоконверсия органических загрязнений в зоне, где БПК снизится до значений, меньших 10 мг/л, будут происходить параллельно для процессов: окисление аммонийного азота и органического вещества, причем по мере снижения концентрации последнего будет все более превалировать процесс нитрификации; изменить условия в пользу процесса нитрификации можно путем увеличения концентрации растворенного кислорода. Однако это сопряжено с известными техническими трудностями и дополнительными расходами, поэтому целесообразность проведения подобных мероприятий предстоит оценить для каждого конкретного случая.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Хенце М., Армоэс П., Ля-Кур-Янсен Й., Арван Э. Очистка сточных вод. Биологические химические процессы. – М.: Мир, 2006.
2. Иванов, В.А., Комаров, Н.М., Крымская, Е.Я., Панова, М.В. Водные ресурсы России, модели метода их сохранения и вызовы проекта. [Электронный ресурс]: <http://publ.naukovedenie.ru> Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» №6 (19). Выпуск 6, ноябрь – декабрь 2013(дата обращения: 05.03.2014).
3. Иванов В.А., Есипов В.Е. Инновации в проведении экологической экспертизы. Инновации в предпринимательстве. 2011. №2 (3).
4. С.В. Яковлев, Ю.В. Воронов. Водоотведение и очистка сточных вод. Учебник для вузов. Изд-ство: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006.
5. С.Я. Яковлев, Я.И. Карелин, Ю.М. Ласков, Ю.В. Воронов. Водоотводящие системы промышленных предприятий. – М.: Стройиздат, 1990.
6. Наружные сети и сооружения канализации. СНиП 2.03.04-85.
7. С.М. Колобанов, С.К. Ершов, М.Е. Кигель. Проектирование очистных сооружений канализации. – Киев: Будівельник, 1977.
8. Лебедев В.В., Тыгер Л.М., Губанов Н.Н. Исследования нестационарных периодических процессов аэробной очистки сточных вод ЖКХ активным илом в циклотенках // Материалы Всероссийской заочной научно-практической конференции «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОНОМИКИ И УПРАВЛЕНИЯ В СФЕРЕ ТУРИЗМА И СЕРВИСА», проведенной в ФГБОУ ВПО «РГУТиС» 4 марта 2013 года). Сервис в России и за рубежом. 2014. Т. 8. №4 (51). С. 117-129.

**Birger Evgeniy Vladimirovich**

Institute of world economy and informatization, Russia, Moscow  
E-mail: info@iup.ru

**Ivanov Vladimir Aleksandrovich**

Russian state university of tourism and service, Russia, Moscow  
E-mail: vaivanow@rambler.ru

**Lebedev Vladimir Vladimirovich**

Russian state university of tourism and service, Russia, Moscow  
E-mail: voval\_matr@mail.ru

## **Parameter estimation of the biofilter with flooded loading additional cleaning biologically purified household wastewater from ammonium nitrogen and BOD**

**Abstract.** Creating effective devices for deep biological purification of wastewater has become an urgent task, with stricter environmental requirements to the quality of wastewater treatment. The need for the introduction of new regulations dictated by the new data concerning the negative impact of increasing volumes of wastewater primarily on natural aquatic systems. Applied and used to this day, traditional systems of biological wastewater treatment active silts in aeration tanks and secondary ponds are not able to provide new requirements for the quality of cleaning. Bioremediation in flooded loadings are increasingly applying in practice, although to date, there are no adequate data on the results of experimental and theoretical research on processes taking place in bioplenkah flooded weekly. This fact causes some difficulty in assessing the operating parameters of the treatment processes in fil'trotenke. On the other hand, there is enough data to analyze similar processes in other types of biofilters. As can be seen from the results of numerous studies, processes in bioplenkah various biofilters in General will be subject to the general laws. So for fil'trotenka measurements were used for diffusion-kinetic characteristics of biofilms, working on bioconversion of certain types of pollutants in biofilters of other types.

**Keywords:** biological treatment; biofilter; diffusion-kinetic characteristic; fil'trotenk



## REFERENCES

1. Khentse M., Armoes P., Lya-Kur-Yansen Y., Arvan E. Ochistka stochnykh vod. Biologicheskie khimicheskie protsessy. – M.: Mir, 2006.
2. Ivanov, V.A., Komarov, N.M., Krymskaya, E.Ya., Panova, M.V. Vodnye resursy Rossii, modeli metoda ikh sokhraneniya i vyzovy proekta. [Elektronnyy resurs]: <http://publ.naukovedenie.ru> Internet-zhurnal «NAUKOVEDENIE» №6 (19). Vypusk 6, noyabr' – dekabr' 2013(data obrashcheniya: 05.03.2014).
3. Ivanov V.A., Esipov V.E. Innovatsii v provedenii ekologicheskoy ekspertizy. Innovatsii v predprinimatel'stve. 2011. №2 (3).
4. S.V. Yakovlev, Yu.V. Voronov. Vodootvedenie i ochistka stochnykh vod. Uchebnik dlya vuzov. Izd-stvo: Izdatel'stvo Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov, 2006.
5. S.Ya. Yakovlev, Ya.I. Karelin, Yu.M. Laskov, Yu.V. Voronov. Vodootvodyashchie sistemy promyshlennykh predpriyatiy. – M.: Stroyizdat, 1990.
6. Naruzhnye seti i sooruzheniya kanalizatsii. SNiP 2.03.04-85.
7. S.M. Kolobanov, S.K. Ershov, M.E. Kigel'. Proektirovanie ochistnykh sooruzheniy kanalizatsii. – Kiev: Budivel'nik, 1977.
8. Lebedev V.V., Tyger L.M., Gubanov N.N. Issledovaniya nestatsionarnykh periodicheskikh protsessov aerobnoy ochistki stochnykh vod ZhKKh aktivnym ilom v tsiklotenkakh // Materialy Vserossiyskoy zaachnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «AKTUAL'NYE PROBLEMY EKONOMIKI I UPRAVLENIYa V SFERE TURIZMA I SERVISA», provedennoy v FGBOU VPO «RGUTiS» 4 marta 2013 goda). Servis v Rossii i za rubezhom. 2014. T. 8. №4 (51). S. 117-129.