

DOI: 10.15593/2224-9400/2017.4.03

УДК: 628.35

**Л.С. Пан, О.И. Бахирева, М.А. Зелина, Е.А. Кочина**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь, Россия**МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЧИСТКИ  
СТОЧНЫХ ВОД ОТ АММОНИЙНОГО АЗОТА**

*В последние годы серьезную угрозу для водных объектов представляют процессы эвтрофикации. В результате избыточного поступления с водосборных площадей биогенных веществ происходит ухудшение качества природных вод, которое, как правило, сопровождается изменением состояния структуры экосистем водных объектов. Для решения этой сложной проблемы необходимо максимально снизить сброс в водные объекты биогенных веществ – соединений азота и фосфора. В данной работе рассмотрены методы удаления азота аммонийного в процессе биологической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод. При культивировании нитрифицирующих микроорганизмов посевным материалом являлись сточная вода реки Бабка Пермского края и почва, взятая из лесного массива поселка Кукуштан Пермского края. Выделены два вида нитрифицирующих бактерий, отличающихся по морфологическим признакам. Определена толерантность полученных микроорганизмов по отношению к катионам аммония дисконфузионным методом. Показано, что при концентрациях азота аммонийного 50 и 100 мг/л исследуемые виды микроорганизмов не испытывают угнетения. Полученные экспериментальным путем данные говорят о том, что микроорганизмы, выделенные из воды, обладают большей способностью потреблять аммонийный азот в данной среде, чем микроорганизмы, выделенные из почвы. В ходе работы был изучен механизм удаления аммонийного азота полученными микроорганизмами. Проведены испытания выделенных микроорганизмов для очистки сточной воды, взятой с ОАО «ОГК-4» филиала Яйвинской гидроэлектростанции. Показано, что в данных условиях степень очистки достигает 72,5 % аммонийного азота за 3 ч.*

**Ключевые слова:** азот аммонийный, нитрифицирующие микроорганизмы, механизм удаления азота, скорость роста микроорганизмов, степень очистки сточных вод.

**L.S. Pan, O.I. Bakhireva, M.A. Zelina, E.A. Kochina**

Perm national research Polytechnic University, Perm, Russia

## **MICROBIOLOGICAL METHOD OF WASTEWATER TREATMENT FROM AMMONIUM NITROGEN**

*In recent years, the eutrophication processes are a serious threat to water facilities. Excessive flow from the catchment areas of biogenic compounds is caused deterioration of quality of natural waters that usually is accompanied by a state change of the structure of the ecosystems of water facilities. For solving of this complex problem, minimization of discharges to water bodies of biogenic compounds – compounds of nitrogen and phosphorus, – should be achieved. In this work, the methods of removal of ammonium nitrogen in the process of biological purification of household waste water had been considered. In the cultivation of nitrifying microorganisms, the waste water of the river the Babka of the Perm region and the soil taken from the forest of the village Kukushtan, the Perm region had used as a sowing material. Two types of nitrifying bacteria, which differ in morphological characters, had been allocated. Tolerance of the obtained microorganisms towards the ammonium cations had defined by disco-diffusion method. It is shown that if concentrations of ammonium nitrogen are equal from 50 to 100 mg/l, investigated kinds of microorganisms do not experience oppression. Experimentally obtained data indicates that the microorganisms isolated from the water, have a greater ability to consume ammonium nitrogen from the environment than the microorganisms isolated from the soil. Mechanism of the removal of ammonium nitrogen by microorganisms had been studied. Tests had been conducted of isolated microorganisms to clean waste water, taken from OJSC "OGK-4" branch Yaivinskaya hydroelectric power. It is shown that under these conditions, the degree of purification reaches 72.5 percent of the ammonia nitrogen for 3 hours.*

**Keywords:** *ammonium nitrogen, nitrifying microorganisms, the mechanism of nitrogen removal, the growth rate of the microorganisms, the degree of wastewater treatment.*

Городские сточные воды являются одним из основных источников поступления биогенных элементов в водоемы. Несмотря на многочисленные отечественные разработки и успешную реализацию разноплановых систем и технологий очистки сточных вод, организацию масштабного отечественного и зарубежного производства современного и высокоэффективного оборудования, сбросы загрязняющих веществ в водоемы, а также попадание их в подземные воды со сточными водами продолжают и являются экологически небезопасными [1–5]. Водные

объекты большинства регионов России с учетом фактически неудовлетворительного состояния очистных сооружений больших и малых городов представляют угрозу здоровью и безопасности населения. В настоящее время ученые всего мира уделяют большое внимание разработке новых и усовершенствованию существующих методов очистки сточных вод, в том числе от биогенных элементов [6–8].

Метод биологической очистки сточных вод продолжает оставаться основным для очистки бытовых и близких к ним по составу производственных сточных вод. Традиционные технологии биологической очистки в аэротенках или на биофильтрах не обеспечивают предъявляемых к качеству очищенных сточных вод требований. Это вызывает необходимость введения дорогостоящих дополнительных стадий глубокой доочистки биологически очищенных сточных вод, стоимость которых составляет до 40 % или более стоимости всего комплекса очистных сооружений [9–14].

Для удаления аммонийного азота из сточных вод существует ряд способов, как физико-химических, так и биологических. Но все они или требуют больших материальных вложений и сложны в эксплуатации, или не обеспечивают глубокого удаления азота аммонийных солей.

В основе биологической очистки сточных вод лежит биохимическое окисление органических загрязнений микроорганизмами в аэробных или анаэробных условиях. Участвуя в конструктивном и метаболическом обмене живой клетки, органические вещества сточных вод претерпевают сложные химические и биологические превращения. В результате катаболизма происходит распад этих веществ с образованием более простых органических низкомолекулярных соединений, часть которых подвергается дальнейшему окислению до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  с выделением энергии или превращением в продукты метаболизма, а другая часть используется для биосинтеза в процессах анаболизма. Одним из главных процессов, проходящих в ходе биологической очистки, является нитрификация – двухстадийный процесс последовательного окисления аммонийного азота до нитритов, а затем нитритов – в нитраты.

Нитрификация с последующей денитрификацией – наиболее легкий и экономически доступный способ удаления неорганического азота из сточных вод.

Автотрофная нитрификация может осуществляться в любых аэрируемых сооружениях биологической очистки: в аэротенках, на биофильтрах и биодисках, в сооружениях с псевдоожиженным слоем.

Поступающие в водоемы азотсодержащие городские и промышленные сточные воды и поверхностный сток стимулируют рост прежде всего автотрофных нитрифицирующих бактерий.

Микроорганизмы, осуществляющие процесс нитрификации, относятся к хемолитоавтотрофам (источником энергии для них является окислительно-восстановительная реакция, донором электронов – неорганические соединения, источником углерода – углекислый газ) и являются облигатными аэробами (нуждаются в кислороде) [15–18].

В данной работе при культивировании нитрифицирующих микроорганизмов посевным материалом являлись почва, взятая из лесного массива поселка Кукуштан Пермского края (1), и сточная вода реки Бабка Пермского края (2). Культивирование проводили при перемешивании в среде Виноградского в течение семи дней. Выделены два вида нитрифицирующих бактерий, отличающихся по морфологическим признакам (табл. 1).

Таблица 1

Описание морфологии выделенных видов микроорганизмов

Признак	Микроорганизм № 1 (выделен из почвы)	Микроорганизм № 2 (выделен из воды)
Край	Волнистый	Гладкий
Структура	Волокнистая	Однородная
Профиль	Кратерообразный	Выпуклый
Форма	Ризоидная с валиком по краю	Овальная
Размер	Диаметр 8 мм	Диаметр 4×7 мм
Оптические свойства	Полупрозрачная	Блестящая
Цвет	Прозрачно-белый, пигмент не выделяется в среду	Молочно-белый, пигмент не выделяется в среду
Поверхность	Гладкая	Гладкая

Произведена проверка бактерицидно-бактериостатической устойчивости полученных культур к соли аммония ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) дискодиффузионным методом. Были проверены следующие концентрации: 50 и 100 мг/л.

Показано, что при концентрациях азота аммонийного до 100 мг/л исследуемые виды микроорганизмов не испытывают угнетения. В зоне угнетения выросли колонии испытываемого вида микроорганизмов. Это означает, что данные клетки устойчивы к ионам аммония в данном диапазоне концентраций.

Изучена способность выделенных из воды и из почвы нитрифицирующих микроорганизмов потреблять аммонийный азот. Эксперимент проводился в статических условиях в среде Виноградского, с двухкратным повторением. Исходная концентрация  $\text{NH}_4^+$  в растворе составляла 100 мг/л. Объем раствора 100 мл,  $\text{pH} = 3,6$ . Остаточную концентрацию  $\text{NH}_4^+$  в растворе определяли спектрофотометрическим методом с реактивом Несслера.

По полученным результатам построена зависимость концентрации аммонийного азота (рис. 1) в растворе от времени культивирования микроорганизмов.

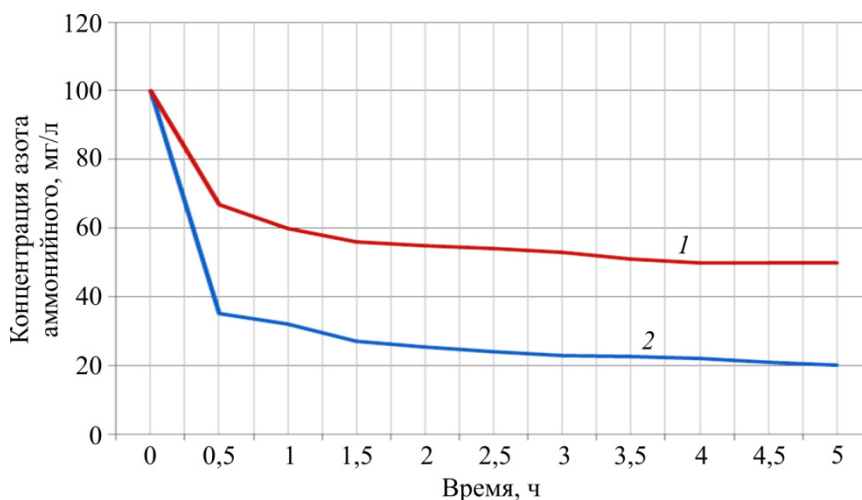


Рис. 1. Зависимость изменения концентрации аммонийного азота от времени культивирования микроорганизмов, выделенных из почвы (1) и из воды (2)

Представленная зависимость показывает, что концентрация азота аммонийного за 5 ч уменьшилась со 100 до 20 мг/л (для микроорганизмов, выделенных из воды) и до 40 мг/л (для микроорганизмов, выделенных из почвы).

Полученные экспериментальным путем данные говорят о том, что микроорганизмы, выделенные из воды, обладают большей способностью потреблять аммонийный азот в данной среде (80 %  $\text{NH}_4^+$ ), чем микроорганизмы, выделенные из почвы (40 %  $\text{NH}_4^+$ ). Поэтому в дальнейшем эксперименты проводились с микроорганизмами, выделенными из воды реки Бабка Пермского края.

Известно, что продуктами процесса нитрификации являются нитриты (по первой ступени процесса) и нитраты (по второй ступени). Для

изучения механизма поглощения ионов аммония выделенными микроорганизмами был проведен эксперимент в условиях модельной среды. Модельную среду готовили путем внесения 60 мг/л соли аммония  $\text{NH}_4\text{Cl}$  в водопроводную воду.

Условия проведения эксперимента: эксперимент проводили в статических условиях в среде Виноградского при температуре 29 °С, скорость оборотов мешалки – 160 об/мин и рН = 4,9. В эксперименте использовали микроорганизмы, обладающие большей способностью потреблять аммонийный азот (вид 2, выделенные из воды реки Бабка Пермского края). В ходе эксперимента в пробах анализировали концентрации азота аммонийного, нитрит-ионов и нитрат-ионов. Результаты эксперимента показаны в табл. 2.

Таблица 2

Изменение концентрации азота аммонийного, нитритов и нитратов в ходе культивирования микроорганизмов (данные приведены для двух повторений)

$t$ , ч	$\text{C}_{\text{NH}_4^+}$ , мг/л	$\text{C}_{\text{NH}_4^+}$ , моль/л· $10^{-3}$	$\text{C}_{\text{NO}_2^-}$ , мг/л	$\text{C}_{\text{NO}_2^-}$ , моль/л· $10^{-6}$	$\text{C}_{\text{NO}_3^-}$ , мг/л	$\text{C}_{\text{NO}_3^-}$ , моль/л· $10^{-3}$
0	60,1	3,44	0,013	0,28	3,3	3,4
	60,2	3,34	0,013	0,27	3,3	3,7
20	43	2,39	0,031	0,67	0,053	0,055
	39	2,17	0,030	0,66	0,053	0,06
24	39	2,16	0,063	1,37	3,8	0,061
	37	2,10	0,064	1,39	3,85	0,062
40	37	2,00	0,09	1,96	3,95	0,065
	36	2,06	0,093	2,02	4	0,064

Как следует из полученных данных, концентрация аммонийного азота понизилась в 1,7 раза за 40 ч культивирования микроорганизмов. При этом концентрация нитрит- и нитрат-ионов, выделенных в раствор, невелика. Отсюда следует, что нитрифицирующие микроорганизмы не только окисляют аммонийный азот с образованием нитритов или нитратов, но и поглощают его в процессе наращивания биомассы в качестве источника питания. Остаточное количество нитрит- и нитрат-ионов в растворе объясняется небольшим временем культивирования (для нитрификаторов необходимо от 5 до 10 сут) и неблагоприятными условиями для их роста.

Проверена аккумулирующая способность выделенных микроорганизмов по отношению к ионам аммония в условиях реальной сточ-

ной воды. В качестве объекта исследования была выбрана сточная вода ОАО «ОГК-4» филиала Яйвинской гидроэлектростанции. Состав данной воды: концентрация азота аммонийного – 40,13 мг/л, концентрация нитрит-ионов – 0,84 мг/л, концентрация нитрат-ионов – 3,03 мг/л.

Эксперимент проводили в статических условиях. Микроорганизмы культивировали в исследуемой среде при температуре 29 °С, скорость оборотов мешалки – 160 об/мин, pH = 5,8.

В ходе культивирования наблюдались следующие признаки роста культуры: появление кольца на стенках колбы, помутнение среды.

Результаты эксперимента показаны в табл. 3.

Таблица 3

Изменение оптической плотности культуральной жидкости, концентрации азота аммонийного, общей и удельной скорости роста микроорганизмов от времени их культивирования

$T$ , ч	$D$	$C_{NH_4^+}$ , мг/л	$v$	$\mu$
0	0,25	40	0	0
0,5	0,33	37	0,16	0,56
1	0,44	26	0,22	0,58
1,5	0,52	18	0,16	0,34
2	0,53	14	0,02	0,04
2,5	0,54	11	0,02	0,02
3	0,55	11	0,02	0,04
5	0,565	11	0,008	0,014
10	0,58	11	0,003	0,006
20	0,59	11	0,001	0,001
30	0,6	11	0,001	0,002
40	0,61	11	0,001	0,002
50	0,65	12	0,004	0,006

*Примечание:*  $D$  – оптическая плотность культуральной жидкости;  $C_{NH_4^+}$  – концентрация азота аммонийного;  $v$  – общая скорость роста микроорганизмов;  $\mu$  – удельная скорость роста микроорганизмов.

На основании полученных данных построена кривая роста микроорганизмов (рис. 2). На данном графике выделены следующие фазы роста микроорганизмов: фаза ускорения и экспоненциальная фаза роста (0–2,5 ч), фаза замедления роста (2,5–20 ч), стационарная фаза роста (20–50 ч). Рассчитана общая скорость роста  $v$  (см. табл. 3), ее максимальное и среднее значение. Максимальная скорость роста достигается в конце экспоненциальной фазы роста. Определена удельная скорость

роста  $\mu$  (см. табл. 3), ее максимальное и среднее значение. Степень очистки (СО) от ионов аммонийного азота исследуемого раствора рассчитываем по формуле

$$CO = \frac{C_0 - C_p}{C_0} \cdot 100 \%,$$

где  $C_0$  – исходная концентрация ионов аммонийного азота в растворе, мг/л;  $C_p$  – равновесная концентрация ионов аммонийного азота в очищаемом растворе, мг/л.

$$CO = \frac{40 - 11}{40} \cdot 100 \% = 72,5 \%$$

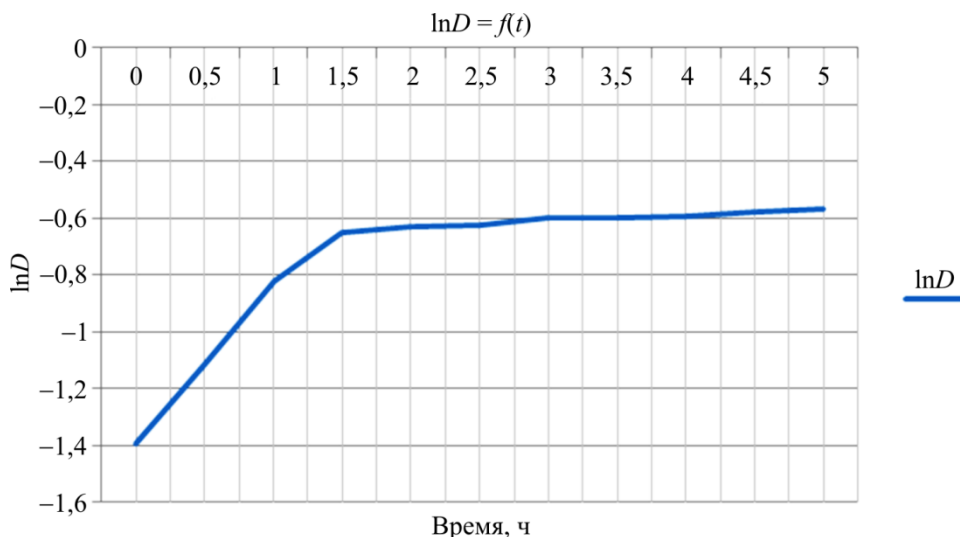


Рис. 2. Кривая роста микроорганизмов

Как видно из результатов эксперимента, выделенные микроорганизмы обладают высокой способностью потреблять аммонийный азот из реальной сточной воды. При этом остаточная концентрация аммонийного азота достигает 11 мг/л уже через 3 ч культивирования.

В результате проведенного исследования выделены два вида нитрифицирующих бактерий, отличающихся по морфологическим признакам. Определена толерантность полученных микроорганизмов по отношению к катионам аммония дисконффузионным методом. Показано, что при концентрациях азота аммонийного 50 и 100 мг/л исследуемые виды микроорганизмов не испытывают угнетения.



Полученные экспериментальным путем данные говорят о том, что микроорганизмы, выделенные из воды, обладают большей способностью потреблять аммонийный азот в данной среде (степень очистки составляет 80 %), чем микроорганизмы, выделенные из почвы (степень очистки равна 40 %).

В ходе работы был изучен механизм удаления аммонийного азота полученными микроорганизмами. В результате анализа полученных данных (изменение концентрация азота аммонийного, нитрит-ионов и нитрат-ионов в ходе культивирования) можно сделать вывод, что уменьшение концентрации аммонийного азота происходит не только за счет окисления его в нитрит- и нитрат-ионы, но и за счет потребления его в качестве питательного компонента в процессе наращивания биомассы.

Проведены испытания выделенных микроорганизмов в условиях сточной воды, взятой с ОАО «ОГК-4» филиала Яйвинской гидроэлектростанции. Показано, что в данных условиях удаляется 72,5 % аммонийного азота за 3 ч.

### **Список литературы**

1. Методы очистки городских сточных вод от биогенных элементов / Е.М. Крючихин, А.Н. Николаев, Н.А. Жильникова, Н.Ю. Большаков // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2006. – № 8. – URL: <http://c-o-k.ru/showtext/?from=online&id=1414> (дата обращения: 18.11.2011).
2. Колесников В.П., Вильсон Е.В. Современное развитие технологических процессов очистки сточных вод в комбинированных сооружениях / под ред. В.К. Гардеева-Гаврикова. – Ростов н/Д: Юг, 2005. – 212 с.
3. Ouyang C., Chuang S., Su J. Nitrogen and Phosphorus removal in a combined activated sludge – RCB process // Proc. Natl. Sci. Coun. ROC(A). – 1999. – Vol.23, №2. – P. 181–204.
4. Справочник по современным технологиям очистки природных и сточных вод и оборудованию / Отдел по Датскому сотрудничеству в области окружающей среды в Восточной Европе. – Копенгаген, 2001. – 253 с.
5. Скворцов Л.С., Коньгин А.А., Шматова А.А. Современные технологии очистки сточных вод и эколого-экономическая оценка их использования // Экология и промышленность России. – 2012. – № 5. – С. 4–8.

6. Методы глубокой очистки сточных вод от биогенных элементов [Электронный ресурс]. – URL: <http://stroy-spravka.ru/metody-glubokoi-ochistki-stochnykh-vod-ot-biogennykh-elementov> (дата обращения: 18.11.2011).

7. Способ очистки сточных вод от аммонийных солей, нитратов и нитритов: пат. 2322399 Рос. Федерация: МПК CO2F 101/16, CO2F 3/32 / Вайсман Я.И., Рудакова Л.В., Калинина Е.В. – № 2006123595/13; заявл. 03.07.2006; опубл. 20.04.2008, Бюл. № 11. – 5 с.

8. Hu Y., Zhao X., Zhao Y. Achieving high-rate autotrophic nitrogen removal via canon process in a modified single bed tidal flow constructed wetland // *Chemical Engineering Journal*. – 2014. – Vol. 237. – P. 329–335.

9. Дубовик О.С., Маркевич Р.М. Совершенствование биотехнологий удаления азота и фосфора из городских сточных вод // *Тр. БГТУ*. – 2016. – № 4. – С. 232–238.

10. Биотехнология очистки сточных вод с иммобилизацией активного ила и удаления азота / М.Г. Зубов, С.Ф. Бояренев, Г.М. Зубов, Ю.В. Митин // *Водоснабжение и санитарная техника*. – 2013. – Т. 8. – С. 72–75.

11. Черногорова А.Е., Сухарев Ю.И., Багриновцева Е.О. Бисорбционные явления на глауконите при нитрификации в процессе очистки сточных вод активным илом // *Известия Челябинского научного центра*. – 2000. – № 1. – С. 68–72.

12. Жмур Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками: моногр. – 3-е изд. – М.: АКВАРОС, 2003. – 507 с.

13. Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы / М. Хенце, П. Армозл, Р. Ля-Кур-Янсен, Э. Арван. – М.: Мир, 2004. – 480 с.

14. Швецов В.Н. Биологическая очистка сточных вод // *Водоснабжение и санитарная техника*. – 2009. – № 1. – С. 20–25.

15. Bitton G. *Wastewater Microbiology*. – Department of Environmental Sciences, University of Florida, Gainesville, Florida, 2005. – P. 213–225.

16. Cabello P., Roldan M., Moreno-Vivian C. Nitrate reduction and the nitrogen cycle in the archaea // *Microbiology*. – 2004. – № 150. – P. 3527–3546.

17. Бурнашова Е.Н., Мартынов М.С., Семенов С.Ю. Анаэробное окисление аммония в технологии очистки сточных вод // *Современные проблемы генетики, клеточной биологии и биотехнологии: материалы Междунар. конф.* – Томск, 2014. – С. 28–30.

18. Бурнашова Е.Н., Семенов С.Ю. Мартынов М.С. Микробиологические методы очистки сточных вод от соединений азота // Достижения науки и техники АПК. Животноводство и компроеизводство. – 2015. – Т. 29, № 2. – С. 49–52.

### References

1. Kruchihin E. M., Nikolaev A.N., Gilnikova N.A., Bolshakov N.Yu. Metody ochistky gorodskikh stochnykh vod ot biogenykh elementov [Methods of wastewater treatment from biogenic elements]. *Santekhnika, otoplenie, kondicionirovanie*. – St. Petersburg. 2006, № 8 G, available at: <http://c-o-k.ru/showtext/?from=online&id=1414> (accessed 18.11.2011).

2. Kolesnikov V.P., Vilson E.V. Sovremennoe razvitie tekhnologicheskikh processov ochistki stochnykh vod v kombinirovannykh sooruzheniyakh [Modern development technological processes of wastewater treatment in combined facilities]. *Edited by academician GKH RF V.K. Gardeeva-Gavrikova*, Rostov on Don, Yug, 2005, pp. 36-39.

3. Ouyang C., Chuang S., Su J. Nitrogen and Phosphorus removal in a combined activated sludge – RCB process. *Proc. Natl. Sci. Counc. ROC(A)*, 1999, vol. 23, no. 2, pp. 181-204.

4. Spravochnik po sovremennym tekhnologiyam ochistki prirodnykh i stochnykh vod i oborudovaniyu. [Handbook of modern technologies for natural and wastewater treatment and equipment]. *Otdel po Datskomu Sotrudnichestvu v Oblasti Okrugayushey Sredy v Vostochnoy Evrope*, 2001, pp. 78-82.

5. Skvorcov L.S., Konygin A.A., Shmatova A.A. Sovremennye tekhnologii ochistki stochnykh vod i ekologo-ekonomicheskaya ocenka ih ispolzovaniya. [Modern technologies of wastewater treatment and ecological and economic assessment of their use]. *Ekologiya i promyshlennost Rossii*, 2012, no5, pp. 4-8.

6. Metody glubokoy ochistki stochnykh vod ot biogenykh elementov [Methods of deep purification of sewage from biogenic elements] electronic resource, available at: <http://stroy-spravka.ru/metody-glubokoi-ochistki-stochnykh-vod-ot-biogenykh-elementov>

7. Vaysman Ya.I., Rudakov L.V., Kalinina E.V. Sposob ochistki stochnykh vod ot ammoniynykh soley, nitratov i nitritov [Method of wastewater treatment from ammonium salts, nitrates and nitrites]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2006123595/13 (2008).

8. Hu Y., Zhao X., Zhao Y. Achieving high-rate autotrophic nitrogen removal via canon process in a modified single bed tidal flow constructed wetland. *Chemical Engineering Journal*, 2014, vol. 237, pp.329-335.

9. Dubovik O.S., Markevich R.M. Sovershenstvovanie biotekhnologiy udaleniya azota i fosfora iz gorodskikh stochnykh vod [Perfection of biotechnologies for the removal of nitrogen and phosphorus from municipal wastewater]. *Trudy BGTU*, 2016, no 4, pp. 232-238.

10. Zubov M.G., Boyarenev S.F., Zubov G.M., Mitin Yu.V. Biotekhnologiya ochistki stochnykh vod s immobilizatsiey aktivnogo ila i udaleniya azota [Biotechnology of wastewater treatment with immobilization of active sludge and removal of nitrogen]. *Vodosnabgenie i sanitarnaya tekhnika*, 2013, vol. 8, pp.72-75.

11. Chernogorova A.E., Sukharev Yu.I., Bagrinovceva E.O. Biosorbtsionnye yavleniya na glaukonite pri nitrifikatsii v processe ochistki stochnykh vod aktivnym ilom [Biosorption phenomena in glauconite during nitrification in the process of wastewater treatment with active sludge]. *Izvestiya Chelyabinskogo nauchnogo centra*, 2000, no. 1, pp. 68-72.

12. Gmur N.S. Tekhnologicheskie i biokhimicheskie process ochistki stochnykh vod na soorugeniayah s aerotenkami: monografiya [Technological and biochemical processes of wastewater treatment in structures with aerotanks: monograph]. Moscow, AKVAROS, 2003, 507 p.

13. Hence M., Armoel P., Lya-Kur-Yansen R., Arvan E. Ochistka stochnykh vod. Biologicheskie i khimicheskie processy. [Wastewater treatment. Biological and chemical processes]. Moscow, Mir, 2004, 480 p.

14. Shvecov V.N. Biologicheskaya ochistka stochnykh vod [Water supply and sanitary engineering]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaia tekhnika*, 2009, no. 1, pp. 20-25.

15. Gabriel Bitton. Wastewater Microbiology. Department of Environmental Sciences, University of Florida, Gainesville, Florida, 2005, pp. 213-225

16. Cabello P., Roldan M., Moreno-Vivian C. Nitrate reduction and the nitrogen cycle in the archaea. *Microbiology*. 2004, no. 150, pp. 3527-3546.

17. Burnashova E.N., Martynov M.S., Semenov S.Yu. Anaerobnoe okislenie ammoniyaa v tekhnologii ochistki stochnykh vod [Anaerobic oxidation of ammonium in wastewater treatment technology]. *Sovremennye problem genetiki, kletchnoy biologii i biotekhnologii*. Tomsk, 2014, pp. 28-30.

18. Burnashova E.N., Semenov S.Yu. Martynov M.S. Mikrobiologicheskie metody ochistki stochnykh vod ot soedineniy azota

[Microbiological methods for wastewater treatment from nitrogen compounds]. *Dostigeniya nauki i tekhniki APK. Givotnovodstvo i komproizvodstvo*, 2015, vol. 29, no. 2, pp. 49-52.

Получено 31.10.2017

### **Об авторах**

**Пан Лариса Сергеевна** (Пермь, Россия) – кандидат химических наук, доцент кафедры химии и биотехнологии Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: vvv@purec.pstu.ac.ru).

**Бахирева Ольга Ивановна** (Пермь, Россия) – кандидат химических наук, доцент кафедры химии и биотехнологии Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: bahirevy@mail.ru).

**Зелина Марина Александровна** (Пермь, Россия) – студентка группы БТ-14-16 Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: marina7zelina9@mail.ru).

**Кочина Елизавета Александровна** (Пермь, Россия) – студентка группы БТ-15-16 Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: liza\_kochina.97@mail.ru).

### **About the authors**

**Larisa S. Pan** (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Chemical Sciences, Associate Professor, Department of Chemistry and Biotechnology, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., 614990, Perm, e-mail: vvv@purec.pstu.ac.ru).

**Olga I. Bakhireva** (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Chemical Sciences, Associate Professor, Department of Chemistry and Biotechnology, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., 614990, Perm, e-mail: bahirevy@mail.ru).

**Marina A. Zelina** (Perm, Russian Federation) – Student, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., 614990, Perm, e-mail: marina7zelina9@mail.ru).

**Elizaveta A. Kochina** (Perm, Russian Federation) – Student, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., 614990, Perm, e-mail: liza\_kochina.97@mail.ru).