

тории нацпарка «Нарочанский» можно использовать для выделения комплексов проантоцианидинов с различным спектром биологической активности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Bagchi D., Bagchi M., Stohs S. J., Das D. K., Ray S. D., Kuszynski C. A., Joshi S. S., Pruess H. G. Free radicals and grape seed proanthocyanidin extract: importance in human health and disease prevention. *Toxicology* 2000. Vol. 148(2–3), P. 187–197.

2. Haslam E. Natural polyphenols (vegetable tannins) as drugs: possible modes of action. *J. Nat. Prod* 1996. Vol. 59(2), P. 205–215.

3. Спрыгин В. Г., Кушнерова Н. Ф. Метод оценки и стандартизации олигомерных проантоцианидиновых комплексов, полученных из различных видов растительного сырья. *Хим.-фарм. журнал* 2002. Т. 36(3), С. 31–35.

4. Страх Я. Л., Игнатовец О. С. Изучение содержания фенольных соединений и флавоноидов различных популяций морошки приземистой *Rubus chamaemorus* L. // Вестник фонда фундаментальных исследований. Минск, 2020. № 4. С. 69–78.

5. Мальцева Е. М., Егорова Н. О., Егорова И. Н., Мухамадияров Р. А. Антиоксидантная и антирадикальная активность *in vitro* экстрактов травы *Sanguisorba officinalis* L., собранной в различные фазы развития // Медицина в Кузбассе. 2017. Т. 16, № 2. С. 32–38.

УДК 628.355

С. О. Лукашевич, маг.; О. В. Нестер, инж.;  
Р. М. Маркевич, канд. хим. наук, доц.  
(БГТУ, г. Минск)

#### **УДАЛЕНИЕ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА ПРИ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД ПИВОВАРЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ГРАНУЛИРОВАННЫМ АКТИВНЫМ ИЛОМ**

Сточные воды процесса пивоварения содержат главным образом органические загрязнения в высоких концентрациях. Для очистки таких сточных вод, как правило, успешно применяется анаэробная очистка. Несмотря на то, что использование анаэробных процессов позволяет промышленности обеспечивать эффективную и экономичную очистку сточных вод, все же существуют проблемы, связанные с неполным удалением соединений азота и фосфора, а очищенные сточные воды содержат остаточные загрязнения, которые требуют дополнительного удаления перед сбросом в окружающую среду. В таких

случаях целесообразно использовать комбинацию анаэробных и аэробных процессов [1].

Среди различных методов аэробной очистки использование аэробного гранулированного ила считается многообещающей и конкурентоспособной технологией. В течение последнего десятилетия доказана осуществимость данной технологии по отношению к очистке разнообразных промышленных сточных вод из-за малой занимаемой площади применяемого оборудования и высокой эффективности удаления питательных веществ [2]. Различные исследования показали, что аэробный гранулированный ил может успешно культивироваться на подпитке из сточных вод пивного производства и активно удалять соединения углерода и азота [2,3,4].

Гранулированных активный ил имеет хорошие седиментационные характеристики; наличие аэробной и анаэробной зон в грануле обеспечивает одновременное протекание в объеме одного биореактора различных биологических процессов; в гранулированном иле сконцентрировано большое количество микроорганизмов, и он способен выдерживать ударную нагрузку по загрязнениям и токсикантам; образование избыточной биомассы минимальное [5].

Целью работы являлось изучение процессов удаления соединений азота при использовании гранулированного активного ила. В качестве объекта исследования применялись модельные сточные воды пивного производства (на основе солодовой вытяжки), приближенные по составу к реальным. Гранулы активного ила получены в лабораторных условиях путем инкубирования флокулированного активного ила при чередовании высокой нагрузки и периода голодания.

В образцы сточных вод объемом 100 см<sup>3</sup> добавляли по 1,4 г гранул активного ила и инкубировали в шейкере-инкубаторе в условиях аэрации при рабочей частоте 140 мин<sup>-1</sup>. Установленная нагрузка на ил по органическим веществам составила 0,79 г ХПК на 1 г влажного активного ила. Параллельно инкубировалось два образца.

Через каждый час инкубирования отбирали пробы, в которых после фильтрования определяли ХПК и содержание азота аммонийного с реактивом Несслера (отслеживался процесс аммонификации). После замедления процесса снижения ХПК, начали фиксировать нитрификацию по изменению содержания азота нитратного. Показатель определялся в фильтрованных пробах каждый час колориметрическим методом с салициловой кислотой.

После накопления нитратов проводился процесс денитрификации. Для обеспечения аноксидных условий иловая смесь помещалась в колбу меньшего объема так, чтобы воздушное пространство над

жидкостью было минимальным. Перемешивание осуществлялось в шейкере-инкубаторе при рабочей частоте 90 мин<sup>-1</sup>, а также путем периодического встряхивания. Для создания условий протекания процесса денитрификации предварительно в иловую смесь вносился дополнительный органический субстрат (уксусная кислота в количестве 2,9–3,5 г НАс/г N по рекомендациям [6]). Количественно процесс денитрификации оценивался по изменению содержанию азота нитратного в отбираемых через каждый час пробах.

Изменение содержания азота нитратного в пробах в процессах нитрификации и денитрификации представлено на рисунке.

Процессы нитри- и денитрификации характеризовали таким показателем, как скорость нитрификации (денитрификации), которую определяли по формуле:

$$R_{N-NO_3} = \frac{C_{\text{кон(исх)}} - C_{\text{исх(кон)}}}{t},$$

где  $C_{\text{кон}}$  – конечное содержание азота нитратного в пробе, мг/дм<sup>3</sup>;  $C_{\text{исх}}$  – начальное содержание азота нитратного в пробе, мг/дм<sup>3</sup>;  $t$  – время нитрифицирования (денитрифицирования), ч.

Таким образом скорость нитрификации для обоих процессов при заданной нагрузке на активный ил составила:

$$R_{N-NO_3}^{\text{нитр.}} = \frac{15,79 - 3,63}{6} = 2,03 \text{ мг N}/(\text{дм}^3 \cdot \text{ч})$$

$$R_{N-NO_3}^{\text{денитр.}} = \frac{15,79 - 4,36}{4} = 2,86 \text{ мг N}/(\text{дм}^3 \cdot \text{ч})$$

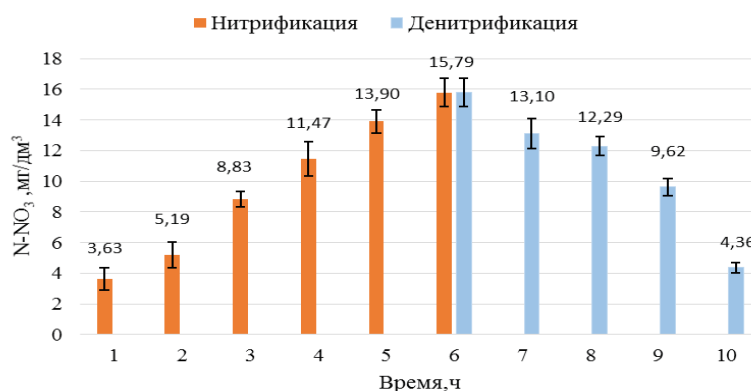


Рисунок – Изменение содержания азота нитратного

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что использование гранулированного активного ила в аэробных условиях является эффективным методом очистки сточных вод пивного производства.

## ЛИТЕРАТУРА

1. The treatment of brewery wastewater for reuse: State of the art / G. S. Simate [et. al.] // *Desalination*. – 2011. – Vol. 273. – P. 235–247;
2. Aerobic granulation with brewery wastewater in a sequencing batch reactor / S. Wang [et al.] // *Bioresource Technology*. – 2007. – Vol. 98, No 11. – P. 2142–2147;
3. Aerobic granular sludge treating anaerobically pretreated brewery wastewater at different loading rates / B. Alessandro [et al.] // *Water Science and Technology*. – IWA Publishing, 2020. – Vol.13. – 12 pp.;
4. Formation of aerobic granular sludge and the influence of the pH on sludge characteristics in a SBR fed with brewery/bottling plant wastewater / H. Stes [et al.] // *Water Science and Technology*. – IWA Publishing, 2018. Vol. 77, No 9. – 18 pp.;
5. Aerobic granular sludge: characterization, mechanism of granulation and application to wastewater treatment / D. Gao [et al.] // *Critical Reviews in Biotechnology*. – 2011. – Vol. 31. – P. 137–152.
6. Очистка сточных вод / М. Хенце [и др.]; пер. Т.П. Мосоловой, под ред. С.В. Калюжного. – М.: Издательство «Мир», 2006. – 468 с.

УДК 631.826:631.46

Д. С. Сергиевич, ассист.; О. С. Игнатовец, канд. биол. наук, доц.;  
А. Ф. Минаковский, канд. техн. наук, зав. кафедрой ТНВиОХТ;  
О. Б. Дормешкин, д-р техн. наук, проф.;  
В. И. Шатило, канд. техн. наук, доц. (БГТУ, г.Минск)

### **ОЦЕНКА АГРОХИМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИЙ**

Несмотря на то, что в почвах различные формы фосфора содержатся в достаточном количестве (содержание валового фосфора в дерново-подзолистых почвах составляет от 0,06 до 0,16 %), его содержание является лимитирующим фактором роста растений, поскольку преимущественно находится в труднодоступных для растений соединениях. Повышение доступности труднорастворимых фосфатов для растений может обеспечить биологическая фосфатмобилизация за счет почвенной микрофлоры, а также использование бактериальных удобрений на основе фосфатмобилизирующих бактерий [1].

Для культивирования микроорганизмов необходим источник углерода, в качестве которого наряду с другими органическими источниками может использоваться сапрпель – донные отложения пресноводных водоемов, ресурсы которого в Республике Беларусь достаточно высоки.