



УДК 628.35

**А. Л. ВАСИЛЬЕВ**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой водоснабжения, водоотведения, инженерной экологии и химии; **С. М. ГУСЕЙНОВА**, ст. преп. кафедры водоснабжения, водоотведения, инженерной экологии и химии

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ВОЗВРАТНЫХ ПОТОКОВ ПОСЛЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД**

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»  
Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.

Тел.: (831) 430-54-87; эл. почта: guseinova.sayad2011@yandex.ru

*Ключевые слова:* возвратные потоки, очистка сточных вод, загрязнение водных объектов, биологическая очистка, фильтрат, биогенные вещества, загрязнение азотом и фосфором, очистные сооружения.

---

*В статье рассматриваются методы обработки возвратных потоков, образующихся после основных этапов традиционной биологической очистки городских сточных вод, их эффективность, степень внедрения, а также приведены экспериментальные данные по оценке эффективности очистки возвратных вод от органических веществ с помощью озонирования.*

---

За последние десятилетия значительно возрос уровень антропогенного загрязнения водных объектов, что подтверждается официальными статистическими данными, а также ежегодными докладами профильных органов.

Одной из наиболее распространенных является проблема загрязнения водных объектов органическими веществами и такими биогенными элементами, как фосфор и азот, поступающими со сточными водами. Данные элементы являются неотъемлемой составной частью живых клеток, однако их высокое содержание в воде поверхностных водных объектов может привести к ускорению процесса эвтрофикации и продолжительному «цветению», что является губительным для многих гидробионтов и приводит к снижению качества воды в водоеме. В связи с этим вопросы обеспечения экологической безопасности в целом и обеспечения качества воды в частности приобретают всё более актуальный характер.

Наиболее распространенным методом очистки городских сточных вод является биологическая очистка, в процессе которой на станциях на определенных этапах образуются потоки, которые возвращаются в начало очистных сооружений без очистки. К возвратным потокам относятся иловая вода из уплотнителей и иловых площадок, аэробной и анаэробной стабилизации, фугат или фильтрат обезвоживания осадков сточных вод. Также возвратные воды принято называть внутриводоочистными сточными водами.

Возвратные потоки оказывают влияние на эффективность биологической очистки за счет высокой концентрации загрязняющих веществ. К примеру, на городских очистных сооружениях после возврата фильтрата перед первичными отстойниками наблюдается увеличение концентрации фосфатов в осветленной воде на 0,7-1 мг/л и более, что повышает нагрузку по фосфору на очистные сооружения на 10-20% [1]. Степень изученности проблемы очистки



внутриплощадочных сточных вод в отечественной научной среде характеризуется наличием исследовательских работ на данную тему, но практически полным отсутствием опыта масштабного внедрения предлагаемых методов на действующих очистных сооружениях канализации (далее – ОСК).

Данные обстоятельства определяют актуальность изучения существующих и разработки новых методов локальной очистки возвратных потоков от биогенных элементов с перспективой их внедрения на ОСК.

Традиционная биологическая очистка городских сточных вод позволяет удалять из воды содержащие биогенные элементы соединения, такие как, например, азот аммонийный, фосфаты и органические вещества, однако не всегда обеспечивает снижение их концентрации до установленных нормативных значений. Для повышения эффективности очистки сточных вод от соединений азота на некоторых модернизированных отечественных городских очистных сооружениях внедрена зона нитри-денитрификации, позволяющая эффективнее удалять азот аммонийный и нитраты из сточных вод за счет последовательных реакций окисления и восстановления. Данный метод может быть рассмотрен для локальной очистки от соединений азота возвратных потоков, характеризующихся высоким содержанием азота аммонийного, нитратов и требуемых для осуществления процесса гетеротрофной денитрификации органических веществ.

Однако на ОСК могут образовываться возвратные потоки с низким соотношением легкоокисляемых органических соединений к азоту, что затрудняет процесс нитри-денитрификации и обуславливает его неэффективность, а также необходимость добавления дополнительных источников углерода.

Отечественными авторами предложена технология симультанной нитри-денитрификации через нитрит, которая обеспечивает удаление до 75% азота из фильтрата, образующегося после обезвоживания осадка на ленточных сгустителях. Процесс одновременной нитри-денитрификации был апробирован на сливной воде с уплотнителей сброженного осадка без внесения дополнительного источника углерода, что обеспечивает эффективное удаление азота и снижение себестоимости очистки за счет отсутствия необходимости внесения дополнительных источников органических веществ [2].

Среди актуальных методов удаления азота можно выделить технологии, основанные на процессе анаммокс. В отличие от нитри-денитрификации данный процесс осуществляется бактериями анаммокс, протекает в анаэробных условиях и позволяет очищать сточные воды с низким содержанием органических веществ.

Около половины аммония в очищаемой воде окисляется в процессе биологической нитритации до нитрита в отдельном (первом) реакторе или в ходе совместного процесса, при этом вторая половина аммония окисляется образовавшимся нитритом с образованием молекулярного азота.

Процесс характеризуется низким энергопотреблением, малым образованием осадка и высокой энергоэффективностью. Процесс анаммокс позволяет исключить затраты на добавление органического вещества для гетеротрофной денитрификации и значительно уменьшить стоимость аэробной нитрификации [3].

Согласно информационно-техническому справочнику по наилучшим доступным технологиям (далее – НДТ) в области очистки сточных вод, удаление аммонийного азота в анаммокс-процессе отнесено к «перспективной технологии»,



обеспечивающей получение «экологического эффекта, не уступающего НДТ, при существенно меньших затратах» [4].

Технология уже применяется на десятках объектов за рубежом, однако не имеет широкого внедрения в отечественной практике. Необходимо отметить, что в России выполнен большой объем исследований возможности его применения для очистки высококонцентрированных по аммонии сточных вод, разработаны различные технологические схемы процесса, но отсутствие практики внедрения технологии более, чем на 2-х объектах ОСК не позволяет пока отнести ее к НДТ, несмотря на выполнение большинства других требуемых критериев.

Технология анаммокс может быть применена для удаления азота из высококонцентрированных по аммонии возвратных вод, например, фильтрата или фугата, образующихся после механического обезвоживания осадка.

В инженерно-технологическом центре АО «Мосводоканал» разработаны и смонтированы однореакторная и двухреакторная установки «Анаммокс», позволяющие осуществлять удаление из фильтрата ион-аммония в процессе частичной нитрификации-анаммокс. По данным авторов разработки эффективность технологии удаления аммония и органических соединений из возвратных вод обработки осадка достигает 90 % [5].

Среди методов удаления фосфора из сточных вод в качестве наиболее распространенных можно выделить биологическую очистку и физико-химическую. Ввиду ужесточения нормативов сброса с переходом на НДТ традиционная биологическая очистка, как правило, не обеспечивает снижение концентрации до нормативных значений на ОСК больших городов с высоким содержанием фосфатов в поступающей воде.

Физико-химический способ удаления фосфора базируется на применении реагентов (в основном солей Al, Fe, Ca и Mg) для химического осаждения фосфатов. Недостатками метода являются дополнительные затраты на реагенты и образование нерастворимого осадка в больших объемах.

Отечественными авторами предложены методы реагентного удаления фосфора с получением органоминерального удобрения высокого качества, что решает проблему образования осадка и позволяет использовать его вторично.

Реагентный метод может быть применен для очистки возвратных потоков от фосфатов: кристаллизация фосфатов из возвратных потоков сооружений обработки осадка с образованием струвита, согласно справочнику НДТ, отнесена к «перспективным технологиям», позволяющим получить сырье для производства удобрения. Данный метод применим только на возвратных потоках от обезвоживания сброженного осадка [4].

Примером использования реагентного метода с получением органоминерального азотно-фосфорного удобрения является работа отечественных авторов по очистке внутриплощадочных сточных вод с применением реагентов – солей магния или извести в комплексе с гидроксидом натрия. Метод позволяет эффективно удалять из возвратных потоков фосфор (более 80%) с получением высококачественного удобрения [6].

Известен способ обработки фугата, фильтрата и иловой воды с применением обожженного доломита, являющегося природным сорбентом и обеспечивающим эффективное удаление фосфатов (до 99,8%). Для повышения степени очистки предложено интенсифицировать процесс извлечения фосфатов с помощью ультразвуковой обработки или аэрация суспензии. Преимуществом данного



метода является применение материала природного происхождения и возможность использования содержащего фосфор отработанного обожженного доломита в качестве почвоулучшающей добавки [7].

Анализ существующих методов обработки возвратных потоков позволяет сделать вывод, что на данный момент не разработаны комплексные методы обработки, позволяющие удалить из возвратных потоков как органические и взвешенные вещества, так и соединения азота и фосфора. Также, несмотря на разработку новых перспективных методов очистки иловых вод, вопрос их практического внедрения остается актуальным.

На сегодняшний день для дезинфекции сточных вод, а также избирательной очистки промышленных стоков от нефтепродуктов, фенола и других загрязняющих веществ широко применяется озон, имеющий свойство окислять как органические, так и неорганические вещества. Так как фугат и фильтрат после механического обезвоживания осадка представляют из себя высококонцентрированные возвратные потоки, содержащие как органические, так и неорганические вещества, особый интерес представляет изучение возможности их удаления при помощи озонирования.

В рамках научно-исследовательской работы было изучено влияние озонирования на изменение качественных и количественных показателей фугата. Озонирование проводилось при дозе озона 40-60 мг/л в течение 15-20 минут.

Результаты проведенного опыта по основным исследуемым показателям представлены в таблице.

#### Результат количественного анализа фугата до и после озонирования

Показатель	До озонирования	После озонирования
ХПК, мг/дм <sup>3</sup>	1270	1068
БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	174	57,5
Фосфат-ион, мг/дм <sup>3</sup>	35,8	31
Ион-аммония, мг/дм <sup>3</sup>	340	441
Нитрат-ион, мг/дм <sup>3</sup>	49,5	39,7

Соотношение ХПК к БПК в исходном фугате указывает на наличие большого количества трудноокисляемых органических соединений. Как следует из результатов анализа, в процессе озонирования происходит снижение показателя БПК<sub>5</sub> на 67%, ХПК – на 16%. Учитывая возможную погрешность измерений, снижение содержания органических веществ в фугате после озонирования можно считать незначительным. Снижение содержания нитратов и фосфатов, а также увеличение концентрации ион-аммония также находится в пределах возможной погрешности измерений. Полученные результаты указывают на возможность применения озонирования только для частичного удаления из фугата органических веществ, а также обуславливают необходимость проведения дополнительных экспериментов с разными режимами применения озон-воздушной смеси для оценки эффективности метода. Окисление органических веществ в возвратных водах методом озонирования в перспективе может



позволить применять его в сочетании с другими методами для комплексной очистки высококонцентрированного фугата и фильтрата.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильев, А.Л. Анализ влияния возвратных потоков на эффективность биологической очистки сточных вод / А. Л. Васильев, С. М. Гусейнова, М. А. Патова. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2024. – № 3 (71). – С. 82–87.

2. Николаев Ю. А., Казакова Е. А., Харькина О. В., Дорофеев А. Г. Удаление азота из возвратных потоков сооружений обработки осадка путем нитри-денитрификации без дополнительного источника углерода // Водоснабжение и санитарная техника. – 2010. – № 10, ч. 1. – С. 60–64.

3. Аннамокс-бактерии в природе и экиобиотехнологии : коллективная монография / А. Н. Ножевникова, Ю. В. Литти, Е. А. Бочкова, Г. М. Зубов ; под общ. редакцией А. Н. Ножевниковой. – Москва : Университетская книга, 2017. – 280 с. : ил. – ISBN 978-5-98699-241-9. – Текст : непосредственный.

4. ИТС 10-2019. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов : утвержден Приказом Росстандарта от 12.12.2019 N 2981 : дата введения 2020-09-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/564068889?ysclid=m8igyk8sli332534046>. – Режим доступа: Техэксперт. – Текст : электронный.

5. Козлов М. Н., Каллистова А. Ю., Пименов Н. В., Кевбрина М. В. Биологическая очистка фильтрата ленточных сгустителей сброженного осадка в пилотной установке аноксидного окисления аммония и контроль ключевых микроорганизмов // Вода: химия и экология. – 2015. – № 1. – С. 22–29.

6. Матюшенко, Е. Н. Удаление фосфора из возвратных потоков площадки очистных сооружений канализации / Е. Н. Матюшенко. – Текст : непосредственный // Вода и экология: проблемы и решения. – 2019. – № 2 (78). – С. 40–49.

7. Сапон Егор Геннадьевич, Марцун Владимир Николаевич Очистка возвратных потоков очистных сооружений от фосфатов обожженным доломитом // Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. 2017. № 1 (193). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ochistka-vozvratnyh-potokov-ochistnyh-sooruzheniy-ot-fosfatov-obozhzhennym-dolomitom> (дата обращения: 11.02.2025).

**VASILEV Aleksey Lvovich, doctor of technical sciences, professor, holder of the chair of water supply, sewage, engineering ecology and chemistry; GUSEINOVA Sayad Mukhtarovna, senior teacher of the chair of water supply, sewage, engineering ecology and chemistry**

### ANALYSIS OF RETURN STREAM TREATMENT METHODS AFTER BIOLOGICAL TREATMENT OF URBAN WASTEWATER

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering

65, Iljinskaya str., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.

Tel.: +7 (831) 430-54-87; e-mail: guseinova.sayad2011@yandex.ru

*Key words:* return flows, wastewater treatment, pollution of water bodies, biological treatment, filtrate, nutrients, nitrogen and phosphorus pollution, sewage treatment plants.



*The article discusses the methods of treatment of return flows formed after the main stages of traditional biological treatment of urban wastewater, their effectiveness, adoption rate, and experimental data evaluating the effectiveness of treatment of return flows from organic substances using ozonation.*

## REFERENCES

1. Vasilev A. L., Guseynova S. M., Patova M. A. Analiz vliyaniya vozvratnykh potokov na effektivnost biologicheskoy ochistki stochnykh vod [Analysis of the influence of return flows on the efficiency of biological wastewater treatment]. *Privolzhskiy nauchny zhurnal* [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2024, № 3 (71), P. 82–87.

2. Nikolaev Yu. A., Kazakova E. A., Kharkina O. V., Dorofeev A. G. Udalenie azota iz vozvratnykh potokov sooruzheniy obrabotki osadka putem nitri-denitrifikatsii bez dopolnitelnogo istochnika ugleroda [Nitrogen removal from return flows of sludge treatment facilities by nitri-denitrification without an additional carbon source]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika* [Water Supply and Sanitary Engineering]. Moscow, 2010, № 10, ch. 1, P. 60–64.

3. Nozhevnikova A. N. Litti Yu. V., Bochkova E. A., Zubov G. M. Annamoks-bakterii v prirode i ekobiotekhnologii [Annamox bacteria in nature and ecobiotechnology]. *Kollektivnaya monografiya pod obshch. red. A. N. Nozhevnikovoy*. Moscow, Universitetskaya kniga, 2017, 280 p. il.

4. ITS 10-2019. Informacionno-tekhnicheskii spravochnik po nailuchshim dostupnykh tekhnologiyam. Ochistka stochnykh vod s ispolzovaniem centralizovannykh sistem vodootvedeniya poseleniy, gorodskikh okrugov [Reference book on the best available technologies. Wastewater treatment using centralised wastewater disposal systems of settlements, urban districts] :utv. Prikazom Rosstandarta ot 12.12.2019 N 2981 : 2020-09-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/564068889?ysclid=m8igyk8s1i332534046>.

5. Kozlov M. N., Kallistova A. Yu., Pimenov N. V., Kevbrina M. V. Biologicheskaya ochistka fil'trata lentochnykh sgustiteley sbrozhenного osadka v pilotnoy ustanovke anoksnogo okisleniya ammoniya i kontrol' klyuchevykh mikroorganizmov [Biological treatment of the filtrate of belt thickeners of fermented sludge in a pilot plant of anoxic oxidation of ammonium and control of key microorganisms]. *Voda: khimiya i ekologiya* [Water: Chemistry and Ecology]. Moscow, 2015, № 1, P. 22–29.

6. Matyushenko E. N. Udalenie fosfora iz vozvratnykh potokov ploshchadki ochistnykh sooruzheniy kanalizatsii [Removal of phosphorus from return flows of the sewage treatment plant site]. *Voda i ekologiya: problem i resheniya* [Water and ecology: problems and solutions]. 2019, № 2 (78), P. 40–49.

7. Sapon E. G., Martsul V. N. Ochistka vozvratnykh potokov ochistnykh sooruzheniy ot fosfatov obozhzhennym dolomitom [Purification of return flows of treatment facilities from phosphates with calcined dolomite]. *Trudy BGTU. Seriya 2: Khimicheskie tekhnologii, biotekhnologiya, geokologiya* [Proceedings of BSTU. Series 2: Chemical technologies, biotechnology, geoecology]. Minsk, 2017, № 1 (193). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ochistka-vozvratnyh-potokov-ochistnyh-sooruzheniy-ot-fosfatov-obozhzhennym-dolomitom> (accessed: 11.02.2025).

© А. Л. Васильев, С. М. Гусейнова, 2025

Получено: 21.02.2025 г.