

**А.Н. Михеев¹, С.М. Маджд², Е.И. Семенова³
Т.И. Дмитруха²**

АДАПТАЦИЯ ГИДРОФИТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

¹Институт клеточной биологии и генетической инженерии
НАН Украины, г. Киев;

²Национальный авиационный университет, г. Киев;

³Национальный университет пищевых технологий, г. Киев, Украина
madzhd@i.ua

Показана возможность использования гидрофитного инженерного сооружения закрытого типа для восстановления качества сточной воды предприятий по эксплуатации и ремонту авиационной техники. Представлены результаты изучения сезонной динамики показателей качества сточных вод по основным лимитирующим параметрам, предъявляемым предприятиям гражданской авиации, на входе и выходе гидрофитного сооружения.

Ключевые слова: высшие водные растения, гидрофитная система, микроорганизмы-деструкторы, очистка воды, сточные воды.

Введение. Обеспечение качества водной среды является одной из важнейших проблем человечества, что вполне объяснимо, если учесть характер и масштабы антропогенного влияния на природные водоемы.

Работа авиапредприятий сопровождается значительным загрязнением водоемов производственными и хозяйственно-бытовыми сточными водами, которые содержат химические, физические и биологические загрязняющие вещества [1].

Существенное влияние на количественные и качественные показатели водных объектов оказывают сточные воды с территории аэропортов: предангарной и доводной площадок, складов топливо-смазочных материалов, площадок для мойки. Состав сточных вод разнообразен (даже для одного и того же производства изменяется в широком диапазоне) и тесно связан с видами производственной деятельности, типом

© О.Н. Михеев, С.М. Маджд, Е.И. Семенова, Т.И. Дмитруха, 2015

исходного сырья и разных дополнительных продуктов, которые применяются в технологическом процессе, а также зависит от хода этого процесса, вида и совершенства производственной аппаратуры [2]. Поверхностные сточные воды с территорий транспортных предприятий содержат жидкие остатки моющих, дезинфицирующих, антиобледенительных реагентов; растворы, используемые в металлообработке; нефтепродукты; отработанные электролиты аккумуляторных батарей и продукты разрушения шин [3].

Поверхностные водоемы, находящиеся в зоне авиационных производств и эксплуатации, испытывают интенсивное влияние последних, вызывающее существенное изменение их гидрогеологических, гидрохимических и гидробиологических режимов. В таких водоемах может наблюдаться выпадение отдельных звеньев трофических цепей, изменение морфологических и функциональных параметров компонентов биоценоза, нарушение взаимосвязей между организмами разных трофических уровней.

Для очистки поверхностных, хозяйственно-бытовых, производственных сточных вод во многих странах широко используют гидрофитные сооружения ("биоплато"), которые позволяют улучшить экологическое состояние водных экосистем, существенно уменьшая поступление в водоемы остаточных концентраций загрязняющих веществ.

Гидрофитные сооружения сочетают основные элементы доочистки сточных вод с использованием высших водных растений (ВВР) и иммобилизованной на инертном субстрате микрофлоры [4 – 6].

При очистке поверхностных и сточных вод ВВР играют важную роль в процессах седиментации, ассимиляции, аккумуляции и транспортировке разнообразных загрязняющих веществ. Согласно некоторым прогнозам системы очистки с использованием биоценоза макрофитов могут функционировать без замены инертного субстрата (щебня) около 50 лет [4, 8 – 10].

Цель данной работы – адаптировать существующие разработки гидрофитных инженерных сооружений для доочистки сточных вод предприятий по эксплуатации и ремонту авиационной техники.

Методика эксперимента. В течение 2002 – 2013 гг. были исследованы пробы поверхностных, придонных вод и донных отложений природных водоемов, в которые сбрасываются сточные воды предприятий гражданской авиации. Отбор проб сточных вод осуществляли в соот-

ветствии с КНД 211.1.0.009-94 [11]. Исследование образцов воды проводили по основным гидрохимическим показателям, а также определяли уровень их токсичности.

Биотестирование проб для определения токсичности осуществляли с помощью стандартизированного тестового объекта *Daphnia magna* согласно КНД 211.1.4.054-97 [12]. Пробы считались токсичными, если в течение 48 ч фиксировали гибель 25% организмов, а остро токсичными – 50%.

Среди ВВР, которые наиболее пригодны для использования в гидрофитном сооружении, изучали рогоз узколистый (*Typha angustifolia L.*), тростник обыкновенный (*Phragmites communis (L.) Trin.*), аир болотный (*Acorus calamus L.*), а среди микроорганизмов-деструкторов – бактерии родов *Pseudomonas*, *Bacillus*.

На квадратном метре гидрофитного сооружения, при образовании 12,8 кг воздушно-сухой массы камыша обыкновенного, использовали за счет некорневой подпитки ~ 250 – 320 г азота и 130 – 150 г фосфора.

Повышение эффективности очистки было достигнуто при внесении в прикорневую зону растений биопрепарата "Эконадин" (бактериальный препарат на основе авирулентных нефтеокисляющих бактерий) с микроорганизмами-деструкторами и утеплением гидрофитного сооружения синтетическим волокнистым материалом "Спрут", что позволило в течение всего года поддерживать необходимый уровень биологических процессов и получать достаточно очищенные обратные воды.

Хотя, по данным [10], низкие температуры в зимний период снижают эффективность работы гидрофитного сооружения по показателю уровня извлечения общего азота, использование термоизолирующего слоя (толщиной 5 – 10 см) замедляло снижение эффективности гидрофитного сооружения, а качество воды отвечало требованиям сброса сточных вод в водоем, при этом влияние фосфатов на показатели БПК, ХПК и фосфору не наблюдали.

Результаты и их обсуждение. Полученные данные гидрохимических и токсикологических исследований свидетельствуют о высокой степени загрязнения поверхностных водоемов и наличии токсического влияния, что указывает на необходимость разработки мероприятий для обеспечения экологической безопасности поверхностных водоемов в зоне влияния авиапредприятий. Одним из таких возможных мероприятий является адаптация гидрофитного инженерного сооружения закрытого типа, которое разработано Институтом гидробиологии НАН Украины и Научно-инженерным центром "Потенціал-4".

Опираясь на опыт ведущих специалистов разных стран, нами были проведены исследования на лабораторном варианте гидрофитной системы, что позволило разработать инженерное гидрофитное сооружение закрытого типа для доочистки сточных вод авиапредприятий (рис. 1).

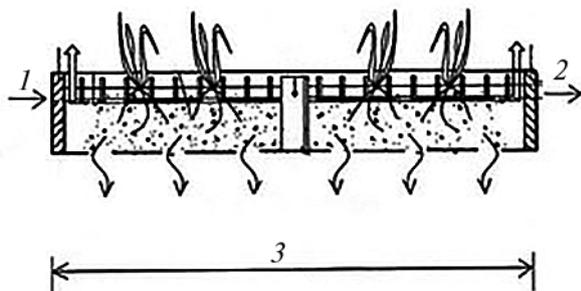


Рис. 1. Схема гидрофитной системы закрытого типа для доочистки сточных вод (разрез): 1 – место подачи сточных вод; 2 – место выхода очищенной воды; 3 – карта (емкость) с герметичным дном.

Гидрофитное инженерное сооружение состоит из двух герметичных карт – площадок (со стенками высотой 1 – 1,2 м), в которых расположен субстрат (щебень с диаметром гранул 50 – 80 мм), теплоизолирующее покрытие из синтетического нетканого материала "Спрут", изготовленное из химически инертного и экологически безопасного полиэфирного волокна; дренажной системы – перфорированные пластиковые трубы, расположенные в верхней и нижней частях карт; распределительных и контрольных колодцев – пластиковых емкостей для распределения сточной воды, которая подается на доочистку и отбор проб для оценки ее качества; высших водных растений (Рогоз узколистый, Камыш обыкновенный) и микрофлоры (бактерии родов *Pseudomonas*, *Bacillus*).

Кондиционирование сточных вод и восстановление их биологической полноценности в качестве среды обитания гидробионтов и источника водоснабжения осуществлялось в результате жизнедеятельности ВВР, биоценоза иммобилизованных микроорганизмов-деструкторов, которые находятся как на инертном субстрате (щебень), так и на поверхности корневой системы растений.

В результате проведенных исследований установлена возможность эффективного использования гидрофитного инженерного сооружения "Биоплато" для кондиционирования сточных вод авиапредприятий (таблица).

Усредненные показатели эффективности гидрофитного инженерного сооружения закрытого типа

| Показатель | Сезонная динамика качества сточных вод на входе и выходе из гидрофитного сооружения | | | | | | | | | | | |
|--|---|--------------------------|-----------|-------------------------|--------------------------|-----------|-------------------------|--------------------------|-----------|-------------------------|--------------------------|-----------|
| | Апрель – май | | | Июнь – август | | | Сентябрь – октябрь | | | | | |
| | Вход | Выход | % очистки | Вход | Выход | % очистки | Вход | Выход | % очистки | Вход | Выход | % очистки |
| pH | 8,03 | 7,57 | 5,7 | 8,55 | 7,83 | 8,4 | 7,57 | 6,93 | 8,4 | 6,93 | 8,4 | 8,4 |
| E _h , мВ | 96 | 113 | 17,7 | 52 | 86 | 65,3 | 66 | 123 | 86,3 | 123 | 86,3 | 86,3 |
| БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³ | 4,2 | 3,5 | 16,6 | 7,8 | 4,7 | 39,7 | 3,7 | 2,6 | 29,7 | 2,6 | 29,7 | 29,7 |
| ХПК, мгО/дм ³ | 34,2 | 26,8 | 21,6 | 25,5 | 18,4 | 27,8 | 18,1 | 14,4 | 20,7 | 14,4 | 20,7 | 20,7 |
| NH ₄ , мгN/дм ³ | 0,43 | 0,31 | 27,9 | 2,6 | 0,6 | 76,9 | 1,79 | 0,52 | 70,9 | 0,52 | 70,9 | 70,9 |
| NO ₂ , мгN/дм ³ | 0,057 | 0,012 | 78,9 | 0,086 | 0,036 | 58,1 | 0,039 | 0,016 | 58,9 | 0,016 | 58,9 | 58,9 |
| NO ₃ , мгN/дм ³ | 3,51 | 2,88 | 17,9 | 4,14 | 2,93 | 29,2 | 5,5 | 4,1 | 25,4 | 4,1 | 25,4 | 25,4 |
| PO ₄ ³⁻ , мгP/дм ³ | 2,16 | 1,9 | 32,0 | 1,26 | 0,78 | 38,1 | 1,89 | 1,2 | 36,5 | 1,2 | 36,5 | 36,5 |
| СПАВ, мг/дм ³ | 1,5 | 0,5 | 66,0 | 1,7 | 0,5 | 69,0 | 1,8 | 0,5 | 72,0 | 0,5 | 72,0 | 72,0 |
| Cu ²⁺ , мг/дм ³ | 1,5 | 0,1 | 91,0 | 1,2 | 0,08 | 88,0 | 1,1 | 0,08 | 88,0 | 0,08 | 88,0 | 88,0 |
| Zn ²⁺ , мг/дм ³ | 1,1 | 0,05 | 95,0 | 0,9 | 0,06 | 94,0 | 1,2 | 0,1 | 86,0 | 0,1 | 86,0 | 86,0 |
| C _Н ^у , мг/дм ³ | 1,5 | 0,3 | 80,0 | 1,8 | 0,3 | 84,0 | 1,7 | 0,3 | 82,0 | 0,3 | 82,0 | 82,0 |
| Токсичность (<i>Daphnia magna</i>) | Хроническая токсичность | Токсичность от-сутствует | - | Хроническая токсичность | Токсичность от-сутствует | - | Хроническая токсичность | Токсичность от-сутствует | - | Хроническая токсичность | Токсичность от-сутствует | - |
| Коли-индекс | 3500 | 300 | 90,5 | 4000 | 300 | 92,5 | 4500 | 400 | 90,0 | 400 | 90,0 | 90,0 |

Как видно из полученных данных, искусственно созданный биоценоз из ВВР и микроорганизмов-деструкторов способен эффективно восстанавливать качество сточных вод. В частности, наблюдается высокая степень очистки сточных вод от минеральных и органических веществ. Показатели БПК₅, минерального азота (NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N) и нефтепродуктов, которые превышали ПДК_{рыбохоз} сточных вод авиапредприятий, в гидрофитном сооружении уменьшались соответственно на 16,6 – 39,7; 27,9 – 76,9; 58,1 – 78,9; 17,9 – 29,2 и 80,0 – 82,0%.

Необходимо отдельно отметить способность биоценоза водных организмов гидрофитного сооружения существенно снижать коли-индекс (рис. 2.).

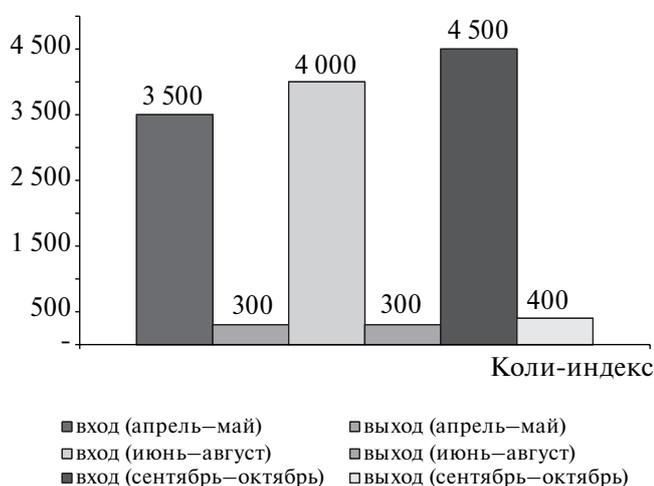


Рис. 2. Сезонная динамика коли-индекса сточной воды на выходе из "Биоплато".

Таким образом, использование в инженерных гидрофитных сооружениях искусственно созданного биоценоза, основным звеном которого является ВВР и микроорганизмы-деструкторы, дает возможность решить проблему получения чистой воды вблизи объектов гражданской авиации, качество которой соответствует санитарно-гигиеническим нормативам.

Выводы. Показана возможность использования гидрофитного инженерного сооружения закрытого типа для восстановления качества сточной воды предприятий гражданской авиации. При работе гидрофитного сооружения был зафиксирован высокий уровень очистки сточных вод от минеральных и органических веществ. В частности,

отмечена способность биоценоза водных организмов гидрофитного сооружения очищать сточную воду от патогенных бактерий.

Среди ВВР, наиболее пригодных для использования в гидрофитном сооружении, необходимо отметить рогоз узколистый (*Typha angustifolia* L.), тростник обыкновенный (*Phragmites communis* (L.) Trin.), аир болотный (*Acorus calamus* L.), а среди микроорганизмов-деструкторов – бактерии родов *Pseudomonas*, *Bacillus*.

Гидрофитное инженерное сооружение закрытого типа может быть высокоэффективным при следующих входных показателях качества сточных вод: взвешенные вещества – не более 40 мг/дм³; ХПК – 100 – 150 мгО/дм³; БПК₅ – 25 – 30 мг О₂/дм³; аммоний солевой – 25 – 30 мг/дм³; нитриты – 1,5 – 2,0 мг/дм³; нитраты – 44,5 – 43,5 мг/дм³; нефтепродукты – 1,5 – 3,0 мг/ дм³; коли-индекс – 9000. Прохождение вод такого состава через гидрофитное сооружение позволило уменьшить их загрязнение в процентном соотношении: БПК₅ – 16,6 – 39,7; ХПК – 20,7 – 27,8; NH₄⁺-N – 27,9 – 76,9; NO₂⁻-N – 58,1 – 78,9; NO₃⁻-N – 17,9 – 29,2; P-PO₄³⁻ – 32,0 – 38,1; нефтепродукты – 80,0 – 84,0.

Резюме. Показано можливість використання гідрофітної інженерної споруди закритого типу для відновлення якості стічної води підприємств з експлуатації і ремонту авіаційної техніки. Представлені результати вивчення сезонної динаміки показників якості стічних вод за основними лімітуючими параметрами, що пред'являються підприємствам цивільної авіації, на вході і виході з гідрофітної споруди.

A.N. Mikhyeyev, S.M. Madzhd, E.I. Semenova, T.I. Dmitrucha

ADAPTATION OF HYDROPHITIC SYSTEM FOR CLEANING OF EFFLUENTS OF ENTERPRISES OF CIVIL AVIATION

Summary

The applicability of the closed-type hydrophitic engineering construction is shown for waste water reclamation at the facilities of peration and repair of aircraft equipment. Presented the study results for seasonal dynamics of indices of waste water quality by the basic limiting parameters required for the inflow and outflow waters of the hydrophitic construction at the enterprises of civil aviation.

Список использованной литературы

- [1] Франчук Г. М. Екологія: авіація і космос. – К.: НАУ, 2005. – 450 с.
- [2] Адушкин В. В., Козлов С. И., Петров Р. М. Экологические проблемы и риски воздействий ракетно-космической техники на природную окружающую среду. – М.: Анкил, 2000. – 640 с.
- [3] Craig R. F. // Spon Press. – 2002. – 6. – P. 486.
- [4] Rickuth R. // Landschaft und Stadt. – 1994. – N16. – С. 145 – 153.
- [5] Brix H. // J. Water Sci. and Technol. – 1998. – N22. – P. 65 – 72.
- [6] Wolverton B., Duffer W. J. // Environ. Qual. – 1998. – 12. – P. 236 – 242.
- [7] Крот Ю.Г. // Гидробиол. журн. – 2005. – 42, №1. – С. 47 – 61.
- [8] Mann C.J., Wetzel R.G. // Biogeochem. – 2000. – 48. – P. 307 – 322.
- [9] Оксюк О. П., Олейник Г.Н. // Гидротехника и мелиорация. – 1990. – №8. – С.66–70.
- [10] Олейник Г. Н., Якушин В.М. // Гидробиол. журн. – 1995. – 21, №1. – С. 20 – 27.
- [11] КНД 211.1.0.009-94. Гідросфера. Відбір проб для визначення складу та властивостей стічних та технологічних вод. – К., 1994. – 84 с.
- [12] КНД 211.1.4.054-97. Методика визначення гострої токсичності води на ракоподібних *Daphnia magna* Straus. – К., 1997. – 92 с.

Поступила в редакцию 20.11.2014 г.