

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ
05.02.22 – Организация производства

УДК 656.71:628.3

DOI: 10.26467/2079-0619-2020-23-3-73-82

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСШЕЙ ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ДООЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД АЭРОПОРТОВ

Н.Е. НИКОЛАЙКИНА¹, Н.И. НИКОЛАЙКИН²

¹ *Московский политехнический университет, г. Москва, Россия*

² *Московский государственный технический университет гражданской авиации,
г. Москва, Россия*

Показано, что при росте авиаперевозок необходимо повышать эффективность очистки ливневых и талых сточных вод с территории аэропортов и прочих авиапредприятий. Предлагается для защиты окружающей среды от сбросов загрязнений аэропортов в природные водоёмы использовать высшую водную растительность. Для дополнительной стадии финальной очистки предлагается применить водный гиацинт – эйхорнию. Дается обоснование выбора растения, описаны его основные характеристики и механизм извлечения загрязнений из водной среды в процессе метаболизма. Приводится методика экспериментов по определению эффективности биологической очистки сточных вод в условиях Центральной полосы России на примере Подмосковья. Даны результаты измерения концентраций взвешенных веществ и нефтепродуктов в воде до и после очистки в прудах-отстойниках. Показана эффективность биологической очистки. Отмечена возможность использования водного гиацинта и для очистки отдельных поверхностных водоёмов. Для круглогодичного использования растений на открытых очистных сооружениях рекомендовано применять защитные конструкции (укрытия), тогда в защищённых условиях процессы метаболизма могут протекать в корневище, стеблях и листьях растения даже в осенне-зимний период. Предложено отработанную биомассу в коммерческих целях утилизировать как добавку к корму скота при соблюдении определенных условий, которые сформулированы. Приведен алгоритм сохранения саженцев в холодный период года и последующей высадки их в водоёмы весной. Применение способа биологической доочистки водным гиацинтом экономически целесообразно, однако требуется соблюдать необычные меры экологической безопасности, которые предложены. Подчеркнута целесообразность дальнейших перспективных работ по созданию специализированных экосистем с участием высшей водной растительности, для природоподобной комплексной очистки отдельных видов сточных вод.

Ключевые слова: аэропорт, защита окружающей среды, сточные воды, взвешенные вещества, нефтепродукты, биологическая очистка, водный гиацинт, утилизация биомассы.

ВВЕДЕНИЕ

К числу основных задач современного мирового сообщества относится защита окружающей среды от загрязнения, её сохранение в состоянии, привычном для проживания людей. В XX в. положения о необходимости обеспечения защиты биосферы при ускорении научно-технического прогресса были зафиксированы в целом ряде международных документов, в частности, в Приложении 16¹ к Чикагской конвенции о международной гражданской авиации. Одним из важнейших направлений работ по уменьшению экологической опасности антропогенной деятельности является усиление контроля водных стоков организаций и предприятий всех видов народного хозяйства, включая транспорт и объекты инфраструктуры поселений.

Водоснабжение подмосковных аэропортов преимущественно происходит из артезианских скважин. Общий объем водопотребления современного крупного аэропорта превышает

¹ Приложения 1-18 к Конвенции о Международной Гражданской Авиации (Чикагской Конвенции 1944 года) [Электронный ресурс] // Склад законов. URL: <http://www.bpl.ru/asmapp/convMGA.htm> (дата обращения 05.02.2020).

1,5 млн.м³/год (в среднем более 4,5 тыс. м³/сут.) или на уровне 40 м³/тыс.пасс. в среднем². Важнейшей характеристикой эффективности работ [1] по защите водных объектов от антропогенного загрязнения в процессе деятельности аэропортов является величина удельного количества загрязняющих веществ, сбрасываемых в водоемы, отнесенная к числу пассажиров, обслуженных за год. В аэропорту Шереметьево³ в 2018 г. этот показатель снизился до 4 кг/тыс. пасс.

Очистка сточных вод, традиционно отличающихся большим объемом, является технически сложной задачей и требует постоянного совершенствования как технологий, так и оборудования для их реализации [2]. Наиболее общими видами стоков являются воды, прошедшие загрязненные территории, а именно ливневые, поливочные и талые воды.

Снег, счищаемый с мест стоянки авиатехники, дорог, рулежных дорожек, взлётно-посадочных полос и других площадей аэропорта, представляет собой источник негативного воздействия на почву и гидросферу экосистем на территориях, занимаемых объектами ГА. В снеге содержатся многочисленные химические соединения, прежде всего остатки пролитых нефтепродуктов, противогололёдные реагенты и прочее. Со сточными водами аэропортов, аэродромов и им подобных авиатранспортных объектов гражданской авиации (ГА) в природные водоемы попадает значительное количество нефтепродуктов и взвешенных веществ.

С увеличением объема авиаперевозок, применения на воздушном транспорте горючесмазочных материалов и продуктов химической переработки естественным образом усугубляется необходимость повышения суммарной эффективности очистки поверхностного сброса. Для недопущения загрязнения и засорения природных водных объектов традиционные методы очистки [3] на существующих системах водоотведения дополняют достаточно редкими видами. Так, в частности, все шире разрабатывают и применяют биологические методы. Наряду с традиционными способами [4, 5] извлечения загрязнений из газовой фазы, которые постоянно совершенствуются [6], создают [7] и изучают аппаратное оформление процессов биофильтрации воздуха от легколетучих соединений. Растет интерес к биоутилизации газообразных и жидкостных отходов [8]. К числу таких относится способ очистки водных сред с помощью ботанических средств, заключающийся в применении культур высшей водной растительности.

В литературе есть сведения о примерах использования некоторых видов высшей водной растительности [9] для доочистки сточных вод перед сбросом их в водоемы.

Проблема повышения эффективности очистки сточных вод аэропортов и им подобных авиапредприятий, а также задача снижения негативного экологического воздействия на водные экосистемы территории места авиационного происшествя являются предметом дальнейшего рассмотрения. Целесообразно оценить перспективность использования высшей водной растительности для защиты среды, окружающей авиапредприятия, от загрязнения.

МЕТОДЫ И МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выбор культуры высшей водной растительности определялся тем, насколько они способны к быстрому размножению, росту, поглощению всех биогенов и соединений из водной среды. Целенаправленный поиск подходящего ботанического объекта привел к выбору культуры, наиболее подходящей для доочистки стоков в прудах-отстойниках [2, 10].

Для экспериментальной проверки пригодности метода биологической доочистки в условиях Центральной полосы России на примере Подмосковья было выбрано однолетнее плавающее растение, относящееся к семейству понтедериевых, а именно водный гиацинт рода эйхорния (*Eichornia speciosa*) [11], родина которого – тропические районы Америки.

По физическим свойствам эйхорния относится к роду полупогруженных растений. Она быстро размножается (до 500 побегов в месяц) на плаву, а также в стационарном состоянии; её

² Экологический отчет акционерного общества «Международный аэропорт Шереметьево» за 2018 год [Электронный ресурс] // Акционерное общество «Международный аэропорт Шереметьево» URL: <https://www.svo.aero/bitrix/upload/sprint.editor/522/52262be2901d127ddd66971e7f52f720.pdf> (дата обращения 02.02.2020).

³ Там же.

высота (надводная часть вместе с развитой корневой системой) достигает одного метра, побеги длиной до 2 метров.

Растение ядовито, состоит из двух основных частей. Надводная часть – это соцветия и листья, а подводная - нитевидная корневая система. Цветки растения недолговечны, время их жизни 1 – 2 дня. После цветения цветоножка изгибается и цветок полностью погружается в воду.

Подводная часть эйхорнии представляет собой сгусток опущенных ресничек, между которыми и происходит начальная (механическая) стадия процесса очистки воды. Известно [11], что вокруг этих растений образуются избирательные микробиоценозы, включающие как бактерии и водоросли, так макробеспозвоночные и простейшие организмы. Это ускоряет активную биодеструкцию, обеспечивает поглощение минеральных и органических веществ (загрязнителей водной среды), которые далее используются растениями для их питания в процессе пластического обмена с окружающей водной средой. В результате эйхорния «вбирает в себя» практически все опасные загрязнения, в том числе и такие, как инсектициды, фенолы, соединения никеля, кадмия и т.п.

В странах с тёплым климатом (при умеренном климате - в тёплые периоды) эти растения применяют на сооружениях очистки поверхностных и хозяйственно-бытовых сточных вод. Используется также и как аквариумное растение. Выросшие растения пригодны для удобрения полей, могут использоваться на корм скоту и для производства биогаза.

В ходе экспериментов водный гиацинт высаживался с плотностью рассады 6-10 шт/м² площади водного зеркала секции бассейна, отведенной для культивирования растений. Вносимая культура не должна занимать более 12% площади поверхности очищаемого водоема. Температура окружающей среды должна находиться в диапазоне от +15 до +35 °С.

После завершения процесса очистки производится химическая экспертиза состава отработанной биомассы, прежде всего для выявления уровня насыщенности токсинами. При подтверждении соответствия требованиям стандартов⁴, санитарных норм и правил⁵ отработанная водная культура собирается с поверхности водоёма для коммерческого использования или хранения, не соответствующая – подвергается утилизации.

Для анализа загрязненности проб воды до и после очистки использовались традиционные лабораторные методы исследования, анализа и определения концентрации загрязняющих веществ в сточных водах. Измерение химического состава осуществлялось в условиях аккредитованной лаборатории аналитического контроля. Отбор проб производился ежемесячно с мая по октябрь в рамках «Графика контроля эффективности работы очистных сооружений и качества сточных вод».

Отбор проб согласно требованиям стандартов⁶ осуществлялся с небольшой глубины цилиндром из нержавеющей стали. Вода переливалась в двухлитровые стеклянные бутылки, пробы в контейнерах с аккумуляторами холода (при $t = 5 \pm 3^\circ\text{C}$) в течение не более часа транспортировали в специализированную лабораторию аналитического контроля для измерений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальные результаты и практический опыт, полученные в Московском политехническом университете (Мосполитехе) [12], а также на многочисленных очистных сооружениях для поверхностных сточных вод в Московском регионе, свидетельствуют о следующем.

⁴ ГОСТ 31653-2012. Корма. Метод иммуноферментного определения микротоксинов. М.: Стандартинформ, 2012. 12 с. [Электронный ресурс] // Интернет и право. URL: <https://www.internet-law.ru/gosts/gost/52326/> (дата обращения 05.02.2020).

⁵ СанПиН 2.1.7.573-96. Гигиенические требования к использованию сточных вод и осадков для орошения и удобрения. М.: ИИЦ Минздрава России, 1997. 54 с. [Электронный ресурс] // Библиотека нормативной документации. URL: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293825/4293825376.htm> (дата обращения 05.02.2020).

⁶ ГОСТ 31861-2012 Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Стандартинформ, 2013. 36 с. [Электронный ресурс] // Интернет и право. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/52710/> (дата обращения 05.02.2020).

При росте и вегетации эйхорния образует на водной поверхности обширные, при этом локальные заросли. В средней полосе (в условиях Москвы и Подмосковья) при благоприятных погодных условиях и соблюдении регламента культивирования растение способно к вегетативному размножению с увеличением биомассы в 20 ... 40 раз. Вегетация протекает активно при температуре от +17 С⁰ и выше, её скорость растёт пропорционально с окружающей температурой, а также зависит от освещенности и обеспеченности кислородом. При наращивании зеленой массы растение в процессе метаболизма активно извлекает необходимые для вегетации многочисленные растворенные вещества. Играя роль биологического фильтра, культура наиболее активно извлекает из водной среды продукты разрушения нефтепродуктов, фенолов, соединения азота, фосфора.

Окислительные процессы в водной среде ускоряются стимуляторами, активное выделение которых происходит при росте и развитии корневой системы водного гиацинта. Окислительно-восстановительные реакции протекают с участием веществ, «загрязняющих» воду, в том числе углеводородные соединения разлагаются. В частности, это приводит к выделению азота и кислорода в чистом виде. Азот поглощается растением, а кислород в зоне корней используется аэробными бактериями, которые тоже участвуют в биологической очистке воды.

Примеры контрольных проб загрязненности сточной воды, взятых в 2018 г. по стандартным методикам^{7,8} до и после бассейна ботанической доочистки с использованием водного гиацинта эйхорния, представлены в табл. 1.

Выполненный анализ этих и подобных данных демонстрирует существенное снижение содержания взвешенных веществ и нефтепродуктов в воде на выходе. Концентрации снижаются даже ниже самых жестких значений ПДК, а именно ПДК для водных объектов рыбохозяйственного назначения⁹.

Таблица 1
Table 1

Содержание загрязняющих веществ в сточной воде до и после бассейна с высшей водной растительностью
Pollutant content in wastewater before and after the higher water vegetation basin

Дата отбора проб, месяц	Концентрация загрязняющих веществ, мг/дм ³			
	взвешенные вещества		нефтепродукты	
	ВХОД	ВЫХОД	ВХОД	ВЫХОД
Июнь	26,50	18,40	0,45	0,38
Июль	23,10	15,30	0,54	0,35
Август	22,00	19,30	1,25	0,31
Сентябрь	15,60	11,50	0,34	0,15
Октябрь	11,30	9,80	0,13	0,09

Повышение эффективности очистки при использовании на завершающем этапе ботанического способа, как показано в табл. 2, подтверждается результатами работы на нескольких

⁷ ПНД Ф 14.1:2:4.254-09. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовых концентраций взвешенных и прокаленных взвешенных веществ в пробах питьевых, природных и сточных вод гравиметрическим методом. М.: Росгидромет, 2017. 12 с.

⁸ ПНД Ф 14.1:2:4.128-98. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природных, питьевых и сточных вод флуориметрическим методом на анализаторе жидкости "Флюорат-02" (М 01-05-2012). Москва, 1998 (Издание 2012 года). 25 с.

⁹ Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (с изменениями на 12 октября 2018 года). Приказ Минсельхоза России от 12.10.2018 г. N 454. [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201902280022> (дата обращения 05.02.2020).

объектах защиты водного бассейна Подмосквья, проведенных сотрудниками специализированной лаборатории ГУП «Мосводосток» и студентами Мосполитеха в рамках учебного процесса по направлению подготовки «Техносферная безопасность».

Таблица 2
Table 2

Содержание загрязняющих веществ в сточной воде до и после доочистки высшей водной растительностью на ряде природоохранных объектов
Pollutant content in wastewater before and after the final purification by higher water vegetation at a number of environmentally protected sites

Очистные сооружения, №	Концентрация загрязняющих веществ, мг/дм ³			
	взвешенные вещества		нефтепродукты	
	ВХОД	ВЫХОД	ВХОД	ВЫХОД
№ 1	20,87	12,07	0,53	0,29
№ 2	17,51	11,27	0,61	0,37
№ 3	14,73	10,15	0,42	0,21
№ 4	15,98	10,47	0,36	0,23

Проведенные расчёты подтверждают, что при применении на прудах-отстойниках системы доочистки стоков водным гиацинтом объём обязательных экологических платежей за загрязнение водных объектов уменьшится более чем вдвое.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Водный гиацинт эйхорния обладает быстрым ростом и размножением, способностью поглощать практически все биогенные элементы и их соединения. Это растение можно применять практически в любых водоемах-отстойниках.

При высадке новых растений на всей площади пруда каждые несколько суток, учете объемов проходящих стоков и динамики поглощения элементов растением превышение норм содержания токсических веществ в массе эйхорнии не происходит. Удаётся удерживать концентрацию загрязнений в биомассе на уровне до 45% допустимой. При соблюдении изложенных ограничений за сезон можно собирать до тысячи тонн зеленой массы с гектара поверхности пруда-отстойника.

Отработанную биомассу эйхорнии целесообразно (в коммерческих целях) использовать, например, в качестве добавки к корму скота. Однако такое применение возможно исключительно при содержании в биомассе остаточных количеств пестицидов, нитратов, нитритов, масляной кислоты, микротоксинов и т.д. ниже их предельно допустимых значений, регламентированных требованиями¹⁰. Коммерческое использование выросшей эйхорнии допустимо только после химической экспертизы на соответствие требованиям¹¹.

Доочистка с использованием высшей водной растительности (в наибольшей степени водного гиацинта эйхорнии) применима не только для стоков, но эффективна и для отдельных водоёмов. Использование биологической очистки незначительно изменяет естественный пейзаж на территории, прилегающей к водоему.

¹⁰ ГОСТ 31653-2012. Корма. Метод иммуноферментного определения микротоксинов. М.: Стандартинформ, 2012. 12 с. [Электронный ресурс] // Интернет и право. URL: <https://www.internet-law.ru/gosts/gost/52326/> (дата обращения 05.02.2020).

¹¹ СанПиН 2.1.7.573-96. Гигиенические требования к использованию сточных вод и осадков для орошения и удобрения. М.: ИИЦ Минздрава России, 1997. 54 с. [Электронный ресурс] // Библиотека нормативной документации. URL: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293825/4293825376.htm> (дата обращения 05.02.2020).

Водному гиацинту эйхорнии характерно активное зарастание поверхности водоема. Способность приспосабливаться к широкому диапазону изменений факторов окружающей среды и высокая скорость разрастания этого растения вызывают достаточно быстрое изменение водных экосистем, которые «перерождаются» в сторону (с позиции человека) улучшения. Вегетация происходит в пределах безморозного периода, за счёт этого возможен контроль и частичное регулирование разрастания.

Перед холодным периодом года часть растений, как посадочный материал, необходимо передать на хранение в помещение с высокой влажностью и постоянной положительной температурой +16 ... +20 °С. В этих условиях саженцы выживают, но вегетация сильно заторможена. Перед последующей высадкой эйхорнии в пруд целесообразно (в зависимости от загрязнения водоёма) провести обработку саженцев иммунным раствором, регулирующим вегетацию культуры.

Экспериментальные и внедренческие мероприятия последних десятилетий продемонстрировали высокую эффективность применения высшей водной растительности для доочистки многих стоков, среди которых стоки предприятий и организаций нефтепереработки и загрязненный нефтепродуктами поверхностный сток населенных мест.

Безусловно, применение эйхорнии связано с некоторыми необычными проблемами в части необходимости соблюдать меры экологической безопасности, а именно:

- недопустима преднамеренная или случайная интродукция растений в природные водоёмы;
- важно не допустить существования растения без строгого контроля удельной численности растений на поверхности водоёма, возможна эвтрофикация водной экосистемы;
- строгой регламентации требует процесс утилизации отработанного биологического материала. Так, при использовании эйхорнии в качестве корма скоту важно выполнение всех требований к процессу измельчения зеленой массы, необходим надзор специализированных служб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из приведенного выше следуют выводы.

1. Показано, что водный гиацинт (*Eichhornia crassipes*) как представитель высшей водной растительности характеризуется эффективным вегетативным размножением в средней полосе России при благоприятных погодных условиях
2. Растение эйхорния (на примере условий Подмосковья) пригодно для решения задачи доочистки сброса поверхностных сточных вод.
3. Применение водного гиацинта для доочистки ливневых стоков позволяет снизить содержания загрязняющих веществ: по взвешенным веществам в 1,3–1,9 раз и по нефтепродуктам в 1,3–2,5 раза, что снижает негативную нагрузку на окружающую среду, уменьшает величину платежей за экологическое воздействие.
4. При применении защитных конструкций на открытых очистных сооружениях улучшаются условия адаптации и вегетационных процессов водной растительности. В таких условиях процесс гидробиотической очистки может протекать круглогодично, потому что в защищённых условиях процессы метаболизма могут протекать в корневище, стеблях и листьях растения даже в осенне-зимний период.
5. Применение данного способа доочистки экономически целесообразно.

Таким образом, метод доочистки с использованием водного гиацинта, как составной элемент комплексной очистки ливневых сточных вод, позволяет снизить экологическую нагрузку на окружающую среду. Метод рекомендуется как при обычной работе водоочистных систем аэропортов и им подобных предприятий и организаций гражданской авиации, так и в

случае авиационных происшествий [13] в рамках мер по организации защиты соответствующей территории для устранения негативных экологических последствий [14].

Применение биологической очистки воды с использованием растительных культур высшей водной растительности отличается от многих иных способов тем, что в ходе его реализации не продуцируются вторичные загрязнения. Это является значительным экологическим преимуществом рассмотренного метода и позволяет отнести его к числу «экологически рациональных».

Применение гидрботанического способа доочистки при совместной очистке поверхностных и хозяйственных стоков в перспективе позволит приблизиться к решению задачи создания систем замкнутого оборотного водоснабжения [1] предприятий.

В перспективе целесообразно провести работы по изучению возможности создания специализированных экосистем с участием высшей водной растительности (подобных экосистемам болот), которые смогут осуществлять природоподобную комплексную очистку, ориентированную на большинство отдельных видов сточных вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Родионов А.И.** Технологические процессы экологической безопасности / А.И. Родионов, В.Н. Клушин, В.Г. Систер. 5-е изд. испр. и доп. М.: Юрайт, 2019. 283 с.
2. **Родионов А.И.** Охрана окружающей среды: процессы и аппараты защиты гидросферы / А.И. Родионов, В.Н. Клушин, В.Г. Систер. 5-е изд. испр. и доп. М.: Юрайт, 2019. 283 с.
3. **Сергиенко Л.И.** Защита водных источников от загрязнения сточными водами на примере г. Волжского Волгоградской области / Л.И. Сергиенко, С.В. Паринов, С.П. Никонорова // Экология урбанизированных территорий. 2019. № 2. С. 6–10. DOI: 10.24411/1816-1863-2019-12006
4. **Бочавер К.З., Клушин В.Н.** О доступных эколого-технологических возможностях снижения эмиссии углекислого газа в атмосферу // Экологический вестник России. 2017. № 8. С. 38–43.
5. **Zubakhin N.P.** Purification of coke-plant waste by carbon adsorbents / N.P. Zubakhin, V.N. Klushin, K.G. Starostin, A.V. Nistratov // Coke and Chemistry. 2015. Vol. 58, no. 2. Pp. 75–78. DOI: <https://doi.org/10.3103/S1068364X15020088>
6. **Клушин В.Н.** Новый агент защиты окружающей среды на нефтепромыслах / В.Н. Клушин, А.А. Карташов, А.В. Нистратов, А.В. Колесников, С.М. Мисакова // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2017. № 3. С. 48–50.
7. **Mitin A., Nikolaykina, N., Pushnov A.** Aerodynamic resistance of a biofilter with a packing of pine cones // Journal of Environmental Engineering and Landscape Management. 2015. Vol. 23, № 2. Pp. 138–146. DOI: <https://doi.org/10.3846/16486897.2015.1009912>
8. **Смирнов В.Н., Винаров А.Ю.** Биoutilизация газовых и жидкостных отходов лакокрасочных производств // Биотехнологии в комплексном развитии регионов: сборник трудов международной НПК. Москва, 15-17 марта 2016 г. Закрытое акционерное общество "Экспо-биохим-технологии". Москва, 2016. С. 19.
9. **Кручинин Н.А.** Ботанический метод очистки воды водоёмов от гептила / Н.А. Кручинин, Г.М. Николаева, И.И. Глухарев, О.В. Долинина [Электронный ресурс] // СИП РИА. 2013. URL: <http://www.sipria.ru/tir/geptbot.html> (дата обращения 02.04.2020).
10. **Пупырев Е.И.** Комплексные решения в системах ливневой канализации // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13, № 5 (116). С. 651–659. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.5.651-659
11. **Шанцер И.А.** Растения средней полосы Европейской России. 5-е изд. испр. и доп. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2017. 464 с.

12. Кулагина А.А., Николайкина Н.Е. Исследование процесса доочистки сточных вод водным гиацинтом эйхорния // Исследования в области естественных и технических наук: междисциплинарный диалог и интеграция: в сборнике научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. Белгород, 27 декабря 2018 г. Белгород: Общество с ограниченной ответственностью «Агентство перспективных научных исследований», 2019. С. 37–39.

13. Николайкин Н.И., Старков Е.Ю. Модель эколого-экономического воздействия авиационных происшествий // Предпринимательство. 2016. № 7. С. 38.

14. Николайкин Н.И., Старков Е.Ю. Уменьшение экологических последствий от воздействия авиационных происшествий // Научный Вестник МГТУ ГА. 2016. № 225 (3). С. 129–136.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Николайкина Наталья Евгеньевна, кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой химии и биотехнологий Московского политехнического университета, nikols_153@mail.ru.

Николайкин Николай Иванович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры безопасности полётов и жизнедеятельности МГТУ ГА, nikols_n@mail.ru.

THE USE OF HIGHER AQUATIC VEGETATION FOR AIRPORTS WASTEWATER FINAL PURIFICATION

Natalia E. Nikolaykina¹, Nikolay I. Nikolaykin²

¹ *Moscow Polytechnical University, Moscow, Russia*

² *Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia*

ABSTRACT

It has been shown that with air transportation rise it is necessary to increase the efficiency of storm and wastewater purification from the territory of the airports and other air enterprises. It is suggested to use higher aquatic vegetation to protect the environment from airborne pollutants into natural water reservoirs. For further step of final cleanup it is proposed to use aquatic hyacinth – *Eichornia*. The rationalization for the plant selection is provided, its essential characteristics and the way for extracting pollutants out of the aquatic environment during the metabolism process are described. The technique of experiments on determining the effectiveness of biological wastewater purification within the conditions of the central part of the country is discussed in terms of Moscow region. The measurement results of suspended materials and petrochemicals concentrations in water before and after purification in sediment ponds are presented. The effectiveness of biological purification is shown. The possibility of using water hyacinth for purification of some superficial water reservoirs is also outlined. It is recommended all the year round to use protecting constructions (covers) in open purification plants, then under protected conditions metabolism processes can proceed in the rhizome, stems and foliage of the vegetation even in the autumn-winter period. It is proposed to recycle the used biomass for commercial purposes as a livestock fodder additive under the certain conditions that have been defined. The algorithm of preserving seedlings in the cold season and their subsequent planting in water reservoirs in spring is discussed. It is economically feasible to use biological final purification by aquatic hyacinth but observing the unusual environmental safety measures that have been formulated is required. Practicability of further prospective work on producing specialized ecosystems involving higher aquatic vegetation for nature-like integrated purification of certain types of wastewater was underlined.

Key words: airport, environmental protection, wastewater, suspended materials, petrochemicals, biological purification, aquatic hyacinth, biomass recycling.

REFERENCES

1. **Rodionov, A.I., Klushin, V.N. and Sister, V.G.** (2019). *Tekhnologicheskiye protsessy ekologicheskoy bezopasnosti* [Technological processes of environmental safety]. Moscow: Yurayt, 283 p. (in Russian)
2. **Rodionov, A.I., Klushin, V.N. and Sister, V.G.** (2019). *Okhrana okruzhayushchey sredy: protsessy i apparaty zashchity gidrosfery* [Environmental protection: hydrosphere protection processes and devices]. Moscow: Yurayt, 283 p. (in Russian)
3. **Sergiyenko, L.I., Parinov, S.V. and Nikonorova, S.P.** (2019). *Protection of water sources from contamination by sewage: a case study of the town of Volzhky of the Volgograd Region*. Social and Scientific Journal «ECOLOGY OF URBAN AREAS», no. 2, pp. 6–10. DOI: 10.24411/1816-1863-2019-12006. (in Russian)
4. **Bochaver, K.Z. and Klushin, V.N.** (2017). *O dostupnykh ekologo-tekhnologicheskikh vozmozhnostyakh snizheniya emissii uglekislogo gaza v atmosferu* [On the available environmental and technological opportunities to reduce carbon dioxide atmosphere emissions]. *Ekologicheskii vestnik Rossii*, no. 8, pp. 38–43. (in Russian)
5. **Zubakhin, N.P., Klushin, V.N., Starostin, K.G. and Nistratov, A.V.** (2015). *Purification of coke-plant waste by carbon adsorbents*. *Coke and Chemistry*, vol. 58, no. 2, pp. 75–78. DOI: <https://doi.org/10.3103/S1068364X15020088> (in Russian)
6. **Klushin, V.N., Kartashov, A.A., Nistratov, A.V., Kolesnikov, A.V. and Misakova, S.M.** (2017). *New environmental protection agent on oil fields*. *Neftepererabotka i neftekhimiya*. *Nauchno-tekhnicheskkiye dostizheniya i peredovoy opyt*, no 3, pp. 48–50. (in Russian)
7. **Mitin, A., Nikolajkina, N. and Pushnov, A.** (2015). *Aerodynamic resistance of a biofilter with a packing of pine cones*. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, vol. 23, no. 2, pp. 138–146. DOI: <https://doi.org/10.3846/16486897.2015.1009912>. (in Russian)
8. **Smirnov, V.N. and Vinarov, A.Yu.** (2016). *Bio-utilization gas and liquid waste paint and varnish manufacture*. *Biotekhnologii v kompleksnom razvitii regionov: sbornik trudov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Biotechnologies in the complex development of regions: proceedings of the international scientifically-practical conference], pp. 19. (in Russian)
9. **Kruchinin, N.A., Nikolaeva, G.M., Gluxarev, I.I. and Dolinina, O.V.** (2013) *Botanicheskii metod ochistki vody vodoyemov ot geptila* [Botanical method of heptyl water purification for reservoirs]. Available at: <http://www.sipria.ru/tir/geptbot.html> (accessed 02.04.2020). (in Russian)
10. **Pupyrev, E.I.** (2018). *Integrated solutions in storm sewer systems*. *Vestnik MGSU*, vol. 13, no. 5 (116), pp. 651–659. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.5.651-659. (in Russian)
11. **Shantser, I.A.** (2017). *Rasteniya sredney polosy Evropeyskoy Rossii* [Plants of the European Russia middle strip]. 5th ed., ispravlennoye i dopolnennoye. Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 464 p. (in Russian)
12. **Kulagina, A.A. and Nikolajkina, N.E.** (2019). *Issledovaniye protsessa doochistki stochnykh vod vodnym giatsintom eykhorniya* [Investigation of the wastewater treatment process with aqueous hyacinth Eichornia]. *Issledovaniya v oblasti yestestvennykh i tekhnicheskikh nauk: mezhdistsiplinarnyy dialog i integratsiya: v sbornike nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Studies in the fields of natural and technical science: interdisciplinary dialog and integration in the proceedings collection of the International scientifically-practical conference], pp. 37–39. (in Russian)
13. **Nikolaykin, N.I. and Starkov, E.Yu.** (2016). *Model ekologo-ekonomicheskogo vozdeystviya aviatsionnykh proisshestviy* [Environmental Accident Impact Model]. *Predprinimatelstvo*, no. 7, p. 38. (in Russian)
14. **Nikolaykin, N.I. and Starkov, E.Yu.** (2016). *Ecological consequences reduction from aviation accidents impacts*. *Civil Aviation High Technologies*, no. 225 (3), pp. 129–136. (in Russian)

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Natalia E. Nikolaykina, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, The Head of Chemistry and Biotechnologies Chair, Moscow Polytechnic University, nikols_153@mail.ru.

Nikolay I. Nikolaykin, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, the Professor of Flight and Life Safety Chair, Moscow State Technical University of Civil Aviation, nikols_n@mail.ru.

Поступила в редакцию 08.04.2020
Принята в печать 21.05.2020

Received 08.04.2020
Accepted for publication 21.05.2020