

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 574.5(476.7)+628.3(476.7)

**БУЛЬСКАЯ
Инна Валерьевна**

**БИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА
КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА
С УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ
(НА ПРИМЕРЕ Г. БРЕСТА)**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук
по специальности 03.02.08 – экология

Минск, 2018

Научная работа выполнена в УО «Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина».

Научный руководитель – **Волчек Александр Александрович**,
доктор географических наук, профессор,
декан факультета инженерных систем и
экологии
УО «Брестский государственный
технический университет».

Официальные оппоненты: **Власов Борис Павлович**,
доктор географических наук, профессор,
заведующий НИЛ озераведения
Белорусского государственного университета

Михальчук Николай Васильевич,
кандидат биологических наук, доцент,
директор ГНУ «Полесский аграрно-
экологический институт НАН Беларуси»

Оппонирующая организация – учреждение образования «Гомельский
государственный университет
имени Франциска Скорины»

Защита состоится 24 апреля 2018 г. в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.01.22 при Белорусском государственном университете по адресу: 220030, г. Минск, ул. Ленинградская, 8, юридический факультет, ауд. 407.

Телефон ученого секретаря: +375(17)209-55-58; e-mail: nlysukha@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского государственного университета.

Автореферат разослан « » марта 2018 года.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций,
кандидат технических наук



Н. А. Лысухо

ВВЕДЕНИЕ

Измененный гидрологический режим урбанизированных территорий приводит к смещению естественного баланса в сторону образования поверхностного стока, в несколько раз количественно превосходящего поверхностный сток в естественных ландшафтах. Оценки изменения качества воды и экологического состояния водотоков городских территорий, выполненные за рубежом, свидетельствуют о недостаточной изученности и даже противоречивости выводов о преобладающей роли промышленных, бытовых сбросов и ливневых стоков в загрязнении малых и средних рек на городских и пригородных территориях. К тому же в научной литературе чрезвычайно мало внимания уделялось изучению поверхностного стока на урбанизированных территориях от снеготаяния. В Беларуси проблема загрязнения поверхностного стока практически не изучалась с 1980-х годов. Среди исследований, проведенных за последнее время, следует отметить работы Е. П. Овчаровой (2006), А. Б. Невзоровой (2011). Недостаточное внимание в Беларуси уделяется также изучению влияния автотранспорта на экосистемы, прежде всего водные. В научной литературе имеются данные, свидетельствующие об ухудшении состояния водных экосистем в пределах городских территорий (А. А. Волчек, 2001; Т. В. Макаренко, 2011; Н. В. Суйкова, 2012).

Исследования влияния поверхностного стока с урбанизированных территорий на окружающую среду, как правило, ограничиваются разовыми тестами токсичности стока или оценками по разнообразным шкалам, не дающими представления о его влиянии ни на качество воды в водоприемнике, ни на биоту водоприемника. При этом исследования влияния на живые организмы представлены единичными работами (Z. Polkowska, 2001, 2002), во многих из которых исследуется не непосредственное влияние стока на живые организмы, а влияние загрязненной урбанизированной среды (А. М. Christensen, 2006; К. Karlsson, 2010; Т. М. Михеева, 2009; Т. В. Макаренко, 2013). Таким образом, вопрос о влиянии поверхностного стока с урбанизированных территорий на экосистему водоприемников на данный момент не в полной мере изучен.

В Брестском Полесье основной водной артерией является р. Мухавец – самый большой приток р. Западный Буг в Беларуси и важный фактор социально-экономического развития региона. На берегах этой типичной для юга страны реки расположены гг. Пружаны, Кобрин, Жабинка и Брест. Дальнейшее развитие региона во многом зависит от состояния экосистемы бассейна р. Мухавец, поэтому актуальной задачей является комплексное его изучение. Речной сток – это важнейшая переменная, влияющая на физические,

химические и экологические процессы в Балтийском море, особенно в южной части территории водосбора. С учетом прогнозов по изменению климата в регионе Балтийского моря (повышение средней температуры, увеличение количества осадков в зимний период, увеличение числа и частоты опасных погодных явлений, включая эпизоды выпадения экстремальных количеств осадков) улучшение качества речного стока выходит на первый план в защите экосистемы всего водосбора Балтики.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами). Диссертационное исследование выполнялось в рамках ГПНИ «Природно-ресурсный потенциал» 2011–2015 гг., задание 1.16 «Оценка природно-хозяйственного потенциала и разработка направленной экологической реабилитации нарушенных и деградированных земель в западной части Полесья на основе рационального использования неопасных отходов» (№ ГР 20114203) и НИР «Оценка влияния стока с урбанизированной территории на качество реки-водоприемника на примере г. Бреста» (№ ГР 20140434) по гранту Министерства образования Республики Беларусь.

Цель исследования: оценить загрязненность поверхностного стока с урбанизированных территорий на примере г. Бреста и его влияние на отдельные компоненты экосистемы реки-водоприемника.

Задачи исследования:

- установить состав поверхностного стока с территории города Бреста и выявить экологически значимые загрязнители в нем;
- методом биотестирования оценить влияние поверхностного стока с урбанизированных территорий на стандартные тест-объекты (люминесцентные бактерии и проростки высших растений);
- оценить влияние поверхностного стока с урбанизированных территорий на высшую водную растительность.

Научная новизна работы состоит в том, что впервые на примере г. Бреста выделены экологически значимые загрязнители поверхностного стока с урбанизированных территорий, не входящие в перечень показателей регулярного мониторинга, проводимого природоохранными службами Республики Беларусь. Установлена токсичность экологически значимых загрязнителей поверхностного стока с территории г. Бреста для стандартных тест-объектов и высшей водной растительности. Разработан алгоритм мониторинга нагрузки на реку-водоприемник при сбросе поверхностного стока с городских территорий, включающий применение методов биотестирования и биоиндикации.

Положения, выносимые на защиту:

1. Сезонная динамика гидрохимических показателей поверхностного стока с урбанизированных территорий (в качестве модельной выступала территория г. Бреста) выражается в повышенном содержании в поверхностном стоке в зимний (с ноября по март) период по сравнению с летним (с апреля по октябрь) периодом компонентов, не входящих в перечень регулярного мониторинга, поступающих в основном за счет применения песчано-солевых противогололедных смесей. Среди компонентов поверхностного стока установлены экологически значимые загрязнители (хлорид- и фосфат ионы, цинк и медь), содержание которых в 5 и более раз выше предусмотренного санитарно-гигиеническими нормативами.

2. Репрезентативным методом оценки токсичности поверхностного стока с урбанизированных территорий является метод биотестирования с использованием проростков ежи сборной и клевера лугового, результаты которого коррелируют с результатами более трудоемкого и дорогостоящего стандартного метода биотестирования с использованием люминесцирующих бактерий – рекомбинантного штамма кишечной палочки XL-1 Blue.

3. Поверхностный сток характеризуется высоким уровнем негативного воздействия на высшую водную растительность реки-водоприемника, что подтверждается биотестированием с использованием ряски малой (снижение коэффициента роста в конце срока экспозиции составляет 85–146 % от контроля) и оценкой состояния сообществ макрофитов (снижение коэффициента видового богатства до 64 %, продуктивности до 87 %).

Личный вклад соискателя ученой степени. Соискателем при консультативной помощи научного руководителя разработана схема проведения исследования, выполнены полевые, лабораторные работы. Соискателем лично выполнен отбор и подготовка проб поверхностного стока, анализ проб по физико-химическим показателям, опыты по биотестированию, детальное маршрутное обследование 4 участков р. Мухавец, статистическая обработка полученных данных и представление результатов. Соискателем сформулированы выводы и положения, выносимые на защиту.

Автор выражает благодарность А. П. Колбасу, Н. Ю. Колбас, М. М. Дашкевичу, Г. Игнатавичусу, В. Кальциене, В. Валскису.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов. Основные результаты диссертации апробированы на 14 конференциях: 13-я Международная научная конференция «Сахаровские чтения 2013 года: экологические проблемы XXI века» (Минск, 2013); International 7th Study Conference on BALTEX (Borgholm, Sweden, 2013);

International Water Association 5th Eastern European “Young and Senior Water Professionals” Conference (Kiev, Ukraine, 2013); IV Международная научно-практическая конференция «Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания» (Брест, БрГТУ, 2013); II Международная научно-практическая конференция «Мониторинг окружающей среды» (Брест, 2013); Межвузовская научно-методическая конференция «Менделеевские чтения – 2013» (Брест, 2013); Международная научно-практическая конференция «Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания» (Брест, 2014); 14-я международная научная конференция «Сахаровские чтения – 2014: экологические проблемы 21 века» (Минск, 2014); Международная научно-практическая конференция «Менделеевские чтения – 2014» (Брест, 2014); IWA 6th Eastern European Young Water Professional Conference “East meets West” (Istanbul, Turkey, 2014); Second international conference «Climate change – the environmental and socio-economic response in the southern Baltic region» (Szczecin, Poland, 2014); 15-я Международная научная конференция «Сахаровские чтения 2015 года: экологические проблемы XXI века» (Минск, 2015); Международная научная конференция «WaterLand-2016» (Каунас, Литва, 2016). Стендовый доклад представлен на International symposium Ecohydrology, Biotechnology & Engineering: Towards the Harmony between Biogeosphere and Society on the basis of Long Term Ecosystem Research (2013, Lodz, Poland). Имеется 3 акта внедрения: 2 в учебный процесс и 1 в производство.

Опубликование результатов диссертации. По результатам диссертации опубликовано 26 работ: 5 научных статей в научных журналах, включенных в Перечень научных изданий для опубликования результатов диссертационных исследований (3,7 печатных листа), 3 статьи в иностранных и 1 в белорусском рецензируемом журнале, 12 в сборниках материалов конференций, 3 в сборниках научных трудов, 2 в сборниках тезисов докладов (общий объем публикаций – 13 печатных листов).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из перечня сокращений, введения, общей характеристики работы, 6 глав с краткими выводами, заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем диссертации – 147 страниц (основной текст – 101 страница), в том числе 26 иллюстраций на 18 страницах, 9 таблиц на 5 страницах, приложения на 26 страницах. Библиографический список включает 207 наименований (из них 102 на иностранном языке) на 17 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Обзор литературы по теме исследования

Анализ литературы по теме исследования показал, что формирование поверхностного стока на урбанизированных территориях (ПСУТ) представляет собой сложный многостадийный процесс, подверженный влиянию большого числа факторов. ПСУТ аккумулирует множество опасных контаминантов, характерных для урбанизированных территорий (P. Göbel, 2007). Изучение ПСУТ является актуальной задачей для Беларуси, т.к. региональные особенности (географическое положение, особенности обустройства территории и способов хозяйствования) существенно влияют как на качественный, так и на количественный состав ПСУТ.

При изучении качества ПСУТ важно не только изучить состав для определения спектра загрязнителей и выделения из них экологически значимых, но также установить токсичность стока для живых организмов и определить влияние стока на компоненты экосистемы, в которую он поступает. Это обусловлено тем, что, с одной стороны, исходя из данных о составе и количестве загрязнителей, невозможно определить степень токсичности среды, а с другой стороны, влияние даже токсичного стока на водоприемник во многом зависит как от степени разбавления, так и от исходного качества воды. На основе анализа литературы для исследования качества ПСУТ в г. Бресте были выбраны показатели, типичные для ПСУТ (тяжелые металлы, нефтепродукты, взвешенные вещества, PO_4^{3-} и Cl^- (V. M. Tsihrintzis, 2001)) а также представляющие наибольшую угрозу для качества воды в водоприемнике – р. Мухавец (соединения азота и PO_4^{3-} , некоторые металлы (Состояние окружающей среды Республики Беларусь, 2010)).

Степень влияния ПСУТ на водоприемник определяет выбор методов очистки. Для определения соответствующей степени очистки стока очевидной является необходимость дополнения традиционных физико-химических методов исследования стоков биотестированием.

Материалы и методы исследования

Первым этапом оценки качества ПСУТ являлся физико-химический анализ состава вод стока. На втором этапе исследования для оценки влияния ПСУТ на живые организмы выполнено биотестирование стока с использованием стандартных тест-объектов: рекомбинантного штамма люминесцентных бактерий кишечной палочки (*Escherichia coli*) XL-1 Blue, несущего плазмиду pSLlux с геном-промотором luxCDABE *Photorhabdus luminescens*; семян высших растений трех семейств – Злаковые *Poaceae* Barnhart (5 видов: ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.), сорго зерновое

(*Sorghum bicolor* L. Moench.), тимофеевка луговая (*Phleum pratense* L.), овсяница тростниковая (*Festuca arundinacea* Schreb.) и фестулолиум (*Festulolium*); Бобовые *Fabaceae* Lindl. (2 вида: люпин узколистный (*Lupinus angustifolius* L.), клевер луговой (*Trifolium pratense* L.)); Крестоцветные *Brassicaceae* Burnett (1 вид: кресс-салат (*Lepidium sativum* L.)). Завершающий этап оценки качества ПСУТ – изучение воздействия стока на водные организмы – ряску малую (*Lemna minor* L.) – в лабораторных опытах, а также сообщества высшей водной растительности в полевых условиях.

Для оценки состава поверхностного стока с территории г. Бреста пробы проанализированы стандартными методами на содержание в них взвешенных веществ (гравиметрическим методом), нефтепродуктов (флуориметрическим методом), хлорид-ионов (аргентометрическим методом), фосфат- и нитрат-ионов, ионов аммония (все три фотометрическим методом), тяжелых металлов – Pb, Cd, Cu, Mn, Zn, Fe, Ni, Co, Cr (методом атомной абсорбционной спектроскопии); измерен уровень pH (В. И. Алешка [и др.], 1997). Те же методы применены для анализа атмосферных осадков, стоков с крыш и проезжей части дорог, водной вытяжки из песчано-солевой смеси.

В эксперименте с бактериями использовалась замороженная культура кишечной палочки, которая хранилась при температуре $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Непосредственно перед проведением теста на токсичность культуру постепенно приводили к комнатной температуре. Регистрация свечения бактерий начиналась после прибавления 100 мкл суспензии бактерий к 900 мкл пробы стока (опыт) или 0,9 %-ного раствора NaCl в дистиллированной воде (контроль). Интенсивность свечения бактерий, подвергнутых воздействию проб стока, сравнивалась с интенсивностью свечения в контрольной пробе – 0,9 %-ном растворе NaCl (А. Leedjärv [et al.], 2006; А. Ivask [et al.], 2009).

Для проведения эксперимента с семенами высших растений использовались чашки Петри. Фильтровальная бумага соответствующего диаметра укладывалась на дно чашек, затем в каждую чашку приливалось по 5 мл исследуемого раствора (воды ПСУТ или контроль – дистиллированной воды) и равномерно распределялись семена тест-культуры в количестве 30 штук. Все варианты закладывались в четырех повторностях. По истечении срока экспозиции определялись показатели жизнеспособности семян – всхожесть и сила роста, измерялась длина корней и стеблей проростков. Сила роста семян определялась путем подсчета количества нормально развитых проростков (Н. С. Ratsch, 1983; В. И. Карпин [и др.], 2012).

Культура ряски малой до основного эксперимента выдерживалась в лаборатории в модифицированном питательном растворе Огланда

(Hoagland, D. R., 1938). Колонии, отобранные методом случайных выборок, имеющие 2–4 хорошо сформировавшихся листеца, помещались по 30 штук в конические колбы, содержащие по 150 мл воды поверхностного стока или отстоявшейся водопроводной воды в качестве контроля. Все опыты выполнялись в четырех повторностях (ISO, 2005; L. Marchand [et al.], 2010). Для установления фитотоксичности водных проб определялись морфометрические (коэффициент роста и прирост в процентах (W. Drost, 2007)) и биохимические показатели – содержание фотосинтетических пигментов (хлорофиллов *a* и *b*, каротиноидов) трехволновым методом в спиртовой вытяжке и активность каталазы методом титрования в водной вытяжке по А. Н. Баху и А. И. Опарину (Х. Н. Починок, 1976; Ю. Б. Филипович, [и др.], 1975; A. Kolbas [et al.], 2014).

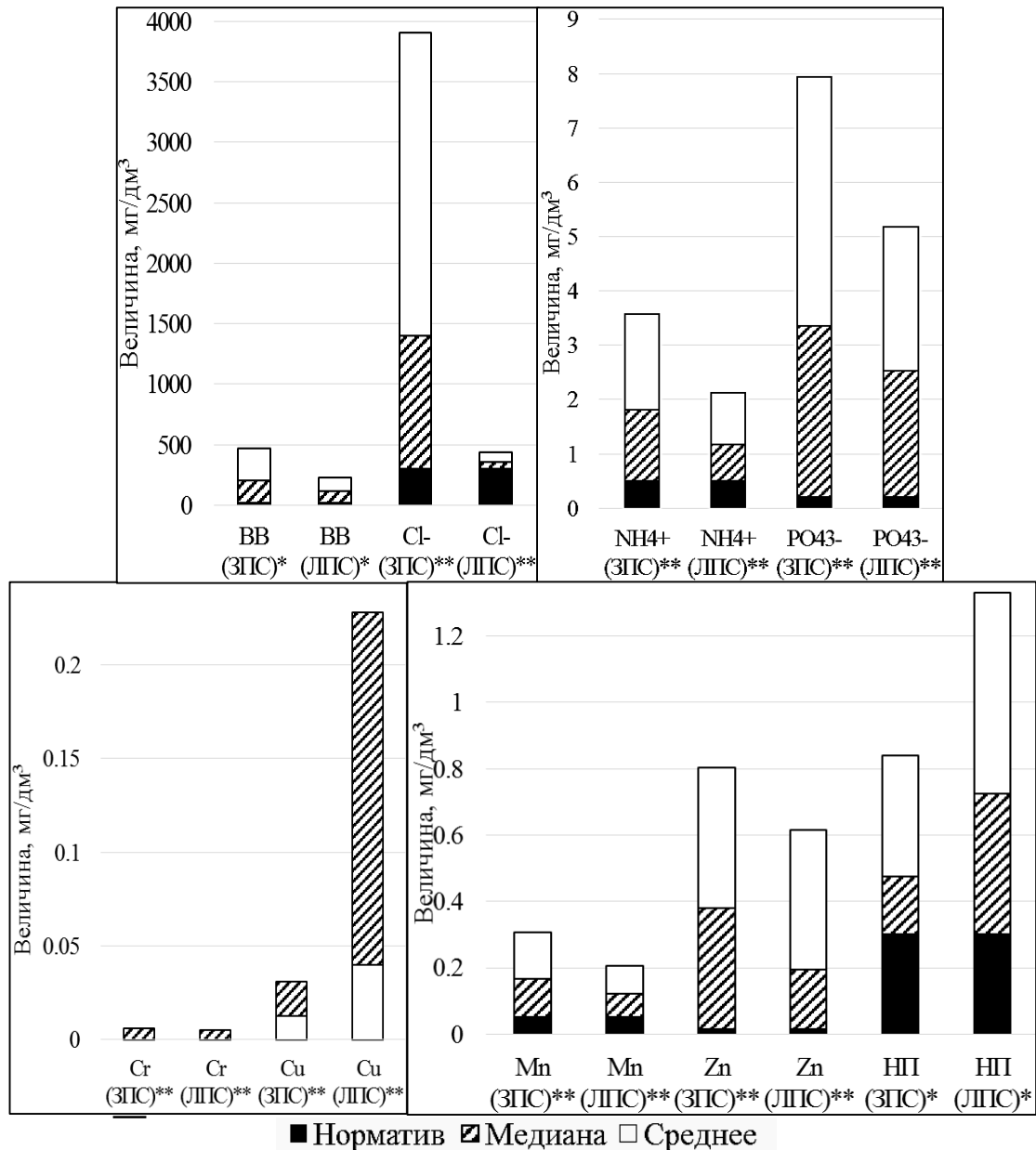
Для оценки антропогенной нагрузки на р. Мухавец осуществлено детальное маршрутное обследование четырех стационаров (размер пробных площадок 50×2 м), где согласно стандартной методике (А. П. Садчиков, 2004; В. М. Катанская, 1981) выполнено описание фитоценозов прибрежно-водной растительности и проведена оценка продуктивности экосистемы (по сухой массе надземных частей макрофитов) на четырех учетных площадках размером 1×1 м для каждого участка. Стационары распределены следующим образом: стационар 1 выше по течению реки, чем первый коллектор, осуществляющий сброс ПСУТ; стационары 2, 3 и 4: на территории города, каждый на 500 м ниже одного или нескольких магистральных коллекторов, отводящих поверхностный сток с территории города. Для количественной оценки применялись коэффициенты Жаккара (1908), Сёренсена (1948) и Маргалёфа (1992) (А. П. Садчиков, 2004; Ю. Н. Нешатаев, 2003; Р. Маргалёф, 1992).

Загрязненность поверхностного стока с территории г. Бреста

Исследование состава ПСУТ с территории г. Бреста показало, что в нем обнаруживается широкий спектр загрязняющих веществ. Содержание многих компонентов превышает санитарно-гигиенические нормативы (рисунок 1).

К экологически значимым загрязнителям ПСУТ отнесены компоненты, содержание которых существенно превышает предельно допустимые концентрации (ПДК) для рыбохозяйственных водоемов и не регламентируется допустимыми концентрациями (ДК) для ПСУТ: хлорид-ионы (общее среднее содержание в ПСУТ холодного (зимнего) периода (ЗПС) превышает ПДК – в 8 раз); фосфат-ионы (общая средняя концентрация в ПСУТ превышает ПДК в 23 раза для ЗПС, в 13 раз для ПСУТ теплого (летнего) периода (ЛПС)), что указывает на существенный вклад ПСУТ в загрязнение р. Мухавец фосфатами; Zn и Cu (Zn: общее среднее содержание

превышает ПДК в 26 раз для ЗПС и ЛПС; Cu: общее среднее значение превышает ПДК в 5 раз для ЗПС и в 47 раз для ЛПС).



* – допустимые концентрации для поверхностного стока с городских территорий;

** – предельно допустимые концентрации для рыбохозяйственных водоемов;

BB – взвешенные вещества, НП – нефтепродукты.

Рисунок 1. – Результаты анализа состава поверхностного стока с территории г. Бреста и санитарно-гигиенические нормативы

Среди показателей, регламентируемых санитарно-гигиеническими нормативами для ПСУТ, ДК существенно превышают: взвешенные вещества (общее среднее содержание превышает ДК в 13 раз для ЗПС, в 6 раз для ЛПС); нефтепродукты (общее среднее значение превышает ДК в 3 раза для ЛПС).

Состав ПСУТ характеризуется сезонной динамикой, которая выражается в повышенном содержании в ЗПС ряда компонентов по сравнению с ЛПС, что объясняется, в первую очередь, применением в зимний период песчано-солевых противогололедных смесей (рисунок 2).

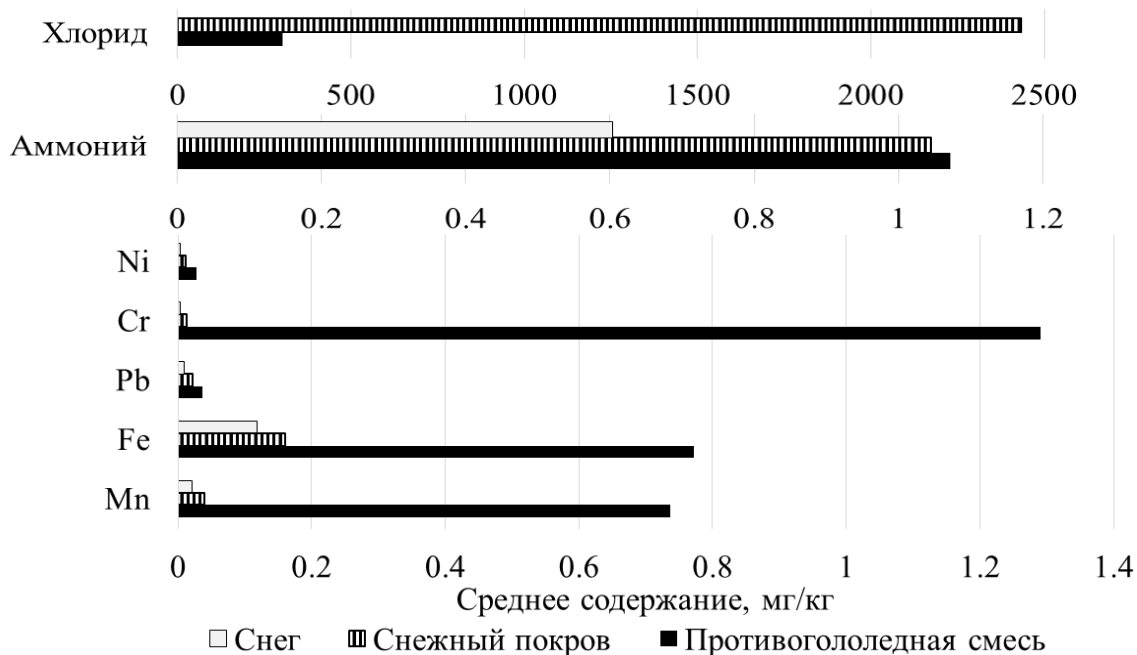


Рисунок 2. – Результаты анализа песчано-солевых противогололедных смесей и снежного покрова с территории г. Бреста

Результаты исследования источников загрязнения поверхностного стока с территории г. Бреста приведены на рисунке 3.



Рисунок 3. – Источники загрязнения поверхностного стока

Широкий спектр выявленных поллютантов и значительное превышение санитарно-гигиенических нормативов доказывает, что ПСУТ не должен сбрасываться в водоприемники без предварительной очистки. Расчет валового выноса исследованных компонентов по сезонам и за год приведен в таблице.

Таблица. – Вынос компонентов поверхностного стока с территории г. Бреста

Период	Вынос компонентов, т									
	ВВ	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	НП	Zn	Cu	Fe	Mn
ЛПС	376	255	15,55	3,18	8,91	2,04	1,41	0,631	0,992	0,286
ЗПС	2059	19373	43,86	13,60	35,57	2,82	3,28	0,142	1,65	1,078
За год	2435	19628	59,41	16,78	44,48	4,86	4,686	0,773	2,644	1,364

Оценка качества поверхностного стока методом биотестирования

Результаты биотестирования на стандартных тест-объектах показывают негативное влияние ПСУТ на жизнедеятельность живых организмов.

Исследование влияния ПСУТ на люминесцентные бактерии рекомбинантного штамма кишечной палочки выявило значительную токсичность ПСУТ (57 % протестированных проб были признаны токсичными после 5 минут экспозиции (биолюминесценция снизилась на 20 % и более по сравнению с контролем; рисунок 4). Анализ главных компонент выявил обратную корреляцию снижения относительной биолюминесценции с содержанием таких компонентов как, Zn и Cu, положительную корреляцию с содержанием Cl⁻ и PO₄³⁻. Биолюминесценция у бактерий является функцией биферментной системы (NADH: FMN-оксидоредуктазы и люциферазы), поэтому наблюдаемое в исследовании снижение биолюминесценции может указывать, что ПСУТ выступает повреждающим фактором для кишечной палочки XL-1 Blue.

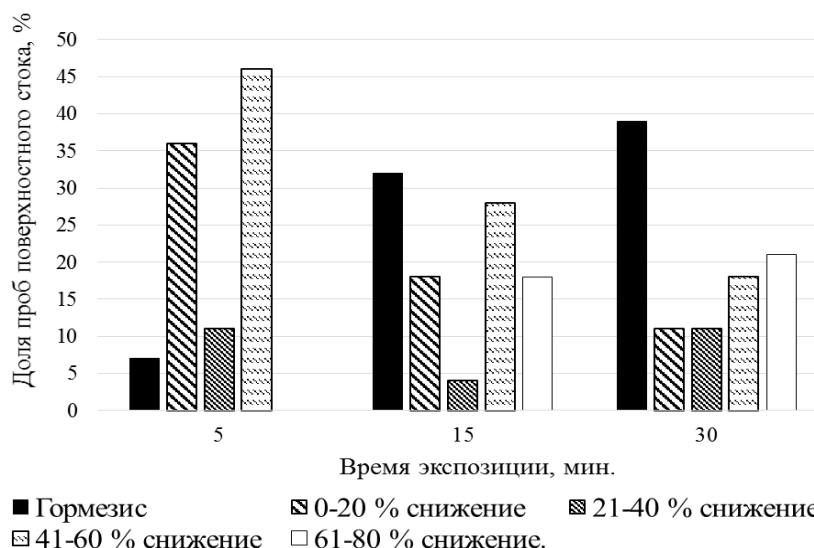
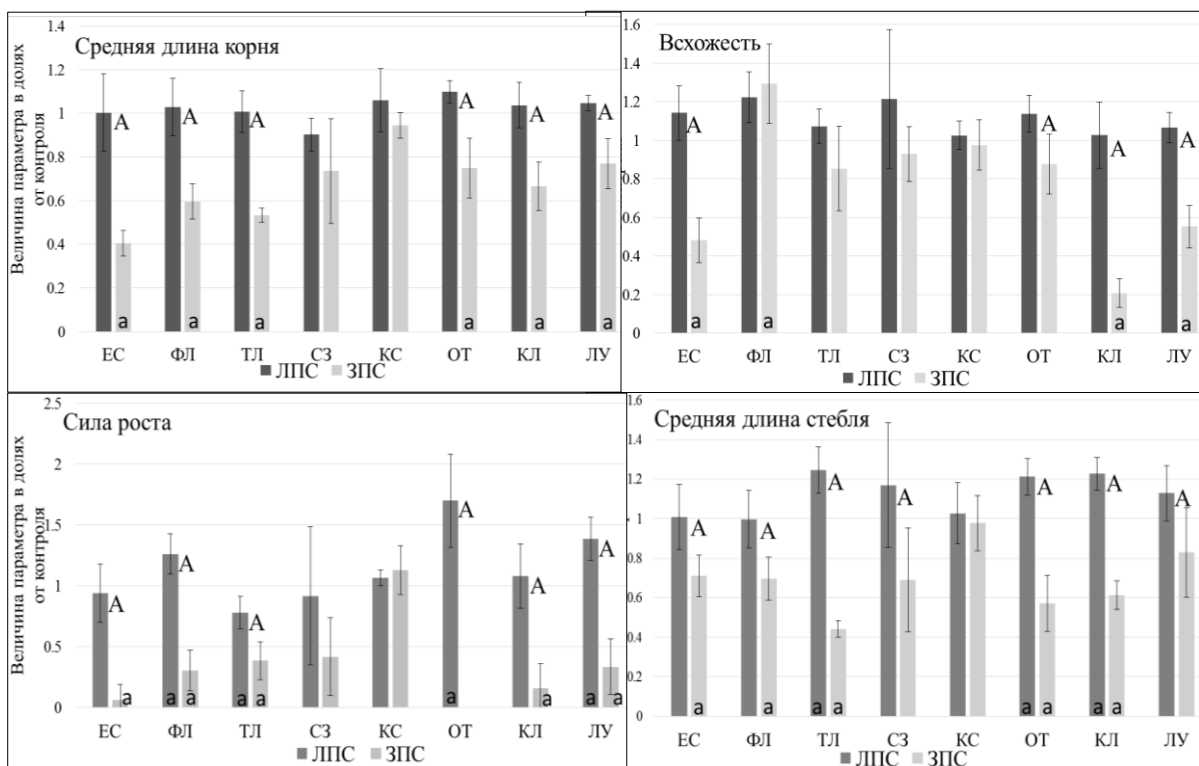


Рисунок 4. – Распределение относительной люминесценции кишечной палочки rSLlux в пробах поверхностного стока по времени экспозиции

В исследовании методом оценки всхожести семян высших растений установлено, что в условиях эксперимента чувствительность к компонентам ПСУТ видоспецифична. Скрининг видов позволил выделить наиболее

чувствительные: ежа сборная и клевер луговой (зафиксировано по 4 параметра, для которых статистически достоверны отличия между опытом и контролем, а также между сезонными вариантами в опыте (рисунок 5)), данные виды рекомендованы в качестве объектов для фитотестирования ПСУТ и других категорий сточных вод. ЗПС оказал более выраженное негативное действие на чувствительные виды, чем ЛПС. Наиболее информативными параметрами были сила роста и средняя длина корней: наблюдалось снижение в зимнем и летнем поверхностном стоке по сравнению с контролем средней длины корня (на 59 и 33 % соответственно) и числа нормальных проростков (на 94 и 84 %).



(ежа сборная – ЕС, фестулолиум – ФЛ, сорго зерновое – СЗ, овсяница тростниковая – ОТ, тимopheевка луговая – ТЛ, люпин узколистный – ЛУ, клевер луговой – КЛ, кресс-салат – КС);

А – различия между параметрами в ЛПС и ЗПС статистически достоверны;
а – различия между параметрами в ПСУТ и контролем статистически достоверны.

Рисунок 5. – Изменение тест-параметров относительно контроля у проростков растений исследованных видов

Анализ главных компонент выявил обратную зависимость для большинства тест-параметров относительно таких составляющих поверхностного стока, как СГ и PO_4^{3-} , а среди металлов – Co и Cd , в меньшей степени – Zn и Mn . В то же время выявлена положительная связь между содержанием NH_4^+ , нефтепродуктов, ионов Cu и тест-параметрами. Наблюдаемое угнетение роста и развития растений доказывает негативное воздействие стока на организменном уровне.

Влияние поверхностного стока с урбанизированных территорий на высшую водную растительность

Результаты эксперимента с ряской малой свидетельствуют о значительном влиянии физико-химических свойств компонентов ПСУТ на тест-объект, что выражалось на клеточном уровне в изменении активности каталазы и содержания хлорофиллов *a* и *b* и каротиноидов; на организменном уровне в угнетении роста и повышении гибели растений (относительное снижение коэффициента роста в опытах с ЗПС составляло 85–146 % по сравнению с контролем; рисунок 6). Активность каталазы для ряски малой показала тенденцию к возрастанию по сравнению с контролем в пробах ЗПС и ЛПС. Увеличение содержания хлорофилла *a* и снижение содержания хлорофилла *b* является приспособительной реакцией макрофита к действию засоления и свидетельствует о нарушении нормального процесса биосинтеза фотосинтетических пигментов. Биохимические параметры в наибольшей степени отражают чувствительность биотеста (статистически значимые отклонения от контроля выявлены во всех протестированных пробах ПСУТ), вместе с тем характеризуются большей амплитудой колебаний значений. Изменения исследованных биохимических параметров показывают, что ПСУТ является повреждающим фактором на клеточном уровне. На организменном уровне (по оценке морфологических параметров) негативное влияние оказывает только ЗПС.

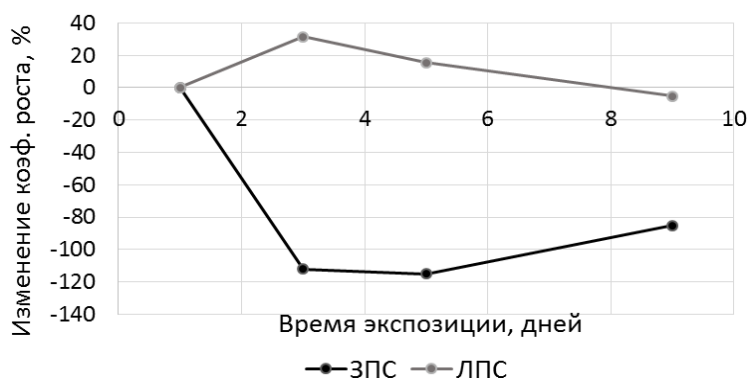
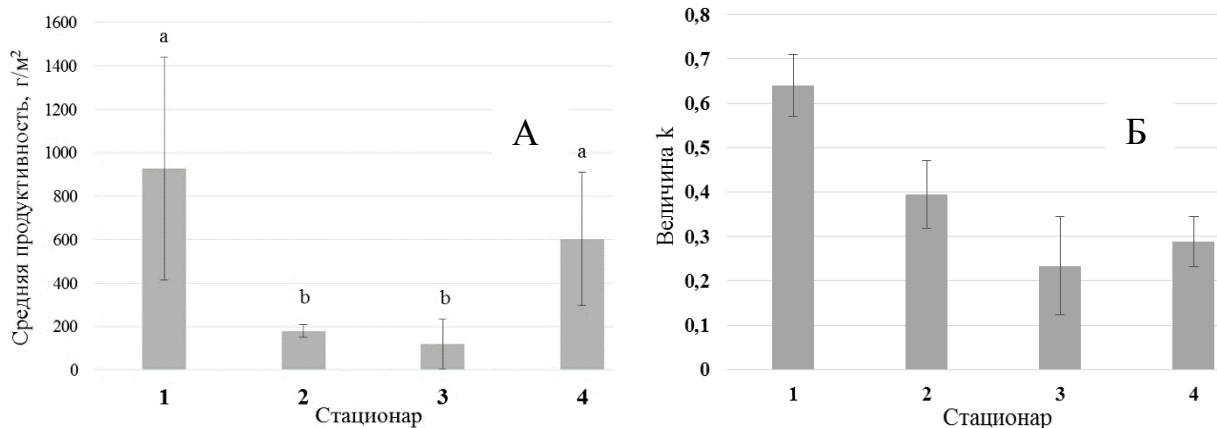


Рисунок 6. – Относительный прирост ряски малой в пробах ЗПС и ЛПС

Анализ главных компонент и коэффициентов корреляции выявил статистически достоверную положительную связь ($R_p = 0,61$) коэффициента роста с содержанием в стоке нефтепродуктов, Zn, Fe, Ni, отрицательную связь – с содержанием Cl⁻, Cd, Cu и Mn. Установлена отрицательная корреляция между коэффициентом роста и содержанием хлорофилла *b* в биомассе ряски.

На биогеоценотическом уровне негативное влияние ПСУТ выявлено в исследовании сообществ макрофитов р. Мухавец. По течению реки в пределах территории г. Бреста зафиксировано снижение коэффициента видового богатства и продуктивности водных и прибрежных фитоценозов (рисунок 7).



Буквы a, b указывают на наличие статистически значимых отличий

Рисунок 7. – Средняя продуктивность (А) и видовое богатство по коэффициенту Маргалефа (Б) биоценозов на исследованных участках р. Мухавец на территории г. Бреста

Проведенная оценка показала существенные различия в экологическом состоянии сообществ между участками реки на территории города и контрольным стационаром – участком выше города по течению. Снижение видового богатства по коэффициенту Маргалефа составляло 38–64 %, снижение продуктивности (по сухой массе надземных частей макрофитов) – 35–87 %. Основными причинами данных изменений следует считать загрязнение речных вод на территории города, в первую очередь за счет ПСУТ, также антропогенное изменение речного русла. Результаты исследования доказывают, что антропогенная нагрузка на р. Мухавец на территории г. Бреста может выступать лимитирующим фактором развития сообществ макрофитов.

Научные основы мероприятий по минимизации последствий негативного влияния поверхностного стока с урбанизированных территорий на реку-водоприемник

Доказана возможность использования метода оценки сообществ макрофитов в биомониторинговых исследованиях водных объектов в урбоэкосистемах. Выявленные методами биотестирования негативные реакции живых организмов являются доказательством потенциальной токсичности ПСУТ для биоты и его способности вызвать серьезные нарушения в экосистеме.

На основе результатов физико-химического и биологического мониторинга предложен алгоритм мониторинга антропогенной нагрузки на реку-водоприемник, включающий физико-химический и биологический мониторинг поверхностного стока и мониторинг экологического состояния водоприемника. Предлагаемый алгоритм может значительно повысить эффективность менеджмента ПСУТ и водных ресурсов на городской территории в целом. Включение биологических методов в стандартную схему мониторинга позволит

количественно оценить степень влияния стока на живые организмы (биотестирование) и отдельные элементы экосистемы (биоиндикация) при отсутствии нормативных величин для ряда компонентов стока, а также является важным источником данных для разработки современных нормативов содержания загрязнителей в ПСУТ.

Первым этапом предлагаемого алгоритма мониторинга является традиционный физико-химический анализ. В результате проведенного исследования состава ПСУТ на территории г. Бреста доказано, что, кроме регулируемых ТКП 06-08-2012 показателей (рН, содержания взвешенных веществ, нефтепродуктов), в схему регулярного мониторинга должны быть включены показатели содержания Cl^- и PO_4^{3-} , Cu и Zn . Это позволит отслеживать динамику выноса наиболее опасных загрязнителей с городской территории с ПСУТ, а благодаря использованию схемы расположения коллекторов также определить водосборные территории, характеризующиеся аккумуляцией наибольшего количества опасных поллютантов. Вторым этапом алгоритма является применение биологического мониторинга ПСУТ, а именно биотестирования стока при помощи метода оценки всхожести семян. Этот метод позволяет оценить влияние токсикантов на организменном уровне, характеризуется экспрессностью, простотой обработки и интерпретации результатов, экономичностью, не требует сложного оборудования или большого лабораторного пространства. Третьим этапом предлагаемого алгоритма является мониторинг экологического состояния водоприемника на урбанизированной территории по сообществам макрофитов. Различные участки реки могут существенно отличаться скоростью течения, шириной русла, степенью антропогенной трансформации берега и нагрузкой от отводимых стоков, поэтому важно не только определить степень опасности ПСУТ, но также выделить участки реки, где негативное влияние сброса ПСУТ является максимальным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. В поверхностном стоке с территории г. Бреста установлено наличие широкого спектра загрязнителей, не регламентированных санитарно-гигиеническими нормативами для поверхностного стока с урбанизированных территорий. Для поверхностного стока характерна сезонная динамика, которая выражается в том, что степень загрязненности стока в зимний период (с ноября по март, когда основным фактором его формирования является таяние снега) значительно выше, чем в летний период (с апреля по октябрь, когда основным фактором формирования стока выступает выпадение дождя), в первую очередь за счет применения в зимний период песчано-солевых противогололедных

смесей. Так, среднее содержание хлорид-ионов в поверхностном стоке зимнего периода в 33 раза выше, чем в стоке летнего периода; взвешенных веществ – в 2,4 раза. Среди других источников загрязнения поверхностного стока с урбанизированных территорий выявлены осаждение с атмосферными осадками, смыв с поверхности крыш и смыв с дорожного полотна (в летний период).

Экологически значимыми загрязнителями поверхностного стока с урбанизированных территорий предложено считать компоненты, содержание которых существенно (в 5 и более раз) превышает предельно допустимые концентрации для рыбохозяйственных водоемов независимо от сезона: хлорид-ионы, фосфат-ионы, цинк и медь. Среди показателей, регламентируемых санитарно-гигиеническими нормативами, допустимые концентрации существенно превышают содержание взвешенных веществ и нефтепродуктов [3; 6–8; 10–16; 18; 24].

2. Методом биотестирования на стандартных тест-объектах (светящихся бактериях *Escherichia coli* рекомбинантного штамма XL-1 Blue, проростках высших растений – 4 видах злаковых (Poaceae), 2 видах бобовых (Fabaceae)) доказано негативное влияние на них компонентов поверхностного стока.

Наблюдалось значительное снижение биолюминесценции бактерий (57 % всех протестированных проб признаны токсичными) и угнетение роста и развития проростков семян высших растений (у чувствительных видов – ежи сборной (*Dactylis glomerata* L.) и клевера лугового (*Trifolium pratense* L.) – установлено снижение в зимнем поверхностном стоке по сравнению с контролем средней длины корня (на 59 и 33 % соответственно) и числа нормальных проростков (на 94 и 84 %)). Полученные результаты свидетельствуют о негативном влиянии компонентов стока на живые организмы. Выявлены статистически достоверные связи данных показателей с содержанием экологически значимых загрязнителей [1; 5; 22; 25; 26].

3. Влияние поверхностного стока с урбанизированных территорий на высшую водную растительность проявлялось следующим образом:

3.1. Методом биотестирования с использованием растений ряски малой (*Lemna minor* L.) показано статистически значимое изменение содержания фотосинтетических пигментов и активности каталазы (повышение активности каталазы на 24 и 28 % в сравнении с контролем под влиянием компонентов зимнего и летнего стока соответственно; увеличение отношения хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* на 11 и 21 % в зимнем и летнем стоке соответственно), что позволяет говорить о наличии окислительного стресса и нарушении нормальной работы фотосинтетического аппарата. Также отмечено отсутствие прироста по сравнению с контролем у ряски малой в среде зимнего стока, влияние которого выражено сильнее, чем летнего (отличия от контроля статистически значимы

только по биохимическим показателям – содержанию фотосинтетических пигментов и активности каталазы) [2; 21].

3.2. Методом биоиндикации по показателям состояния сообществ макрофитов р. Мухавец показано, что по течению реки в пределах территории г. Бреста зафиксировано снижение видового богатства (на 38–64 % при оценке с использованием коэффициента Маргалёфа) и продуктивности прибрежных фитоценозов (на 35–87 % по средней величине сухой массы) по сравнению с контрольным участком. Проведенная оценка выявила существенные различия в структуре фитоценозов между участками реки на территории города (наибольшее сходство в видовом составе составляет 50 %, наименьшее – 27 %) [4; 26].

Рекомендации по практическому использованию результатов

На основе результатов физико-химического и биологического мониторинга предложен алгоритм мониторинга антропогенной нагрузки на реку-водоприемник, включающий физико-химический и биологический мониторинг поверхностного стока и мониторинг антропогенной нагрузки на реку-водоприемник по сообществам макрофитов. Включение биологических методов в мониторинг позволяет количественно оценить степень влияния стока на живые организмы (биотестирование) и отдельные компоненты экосистемы (биоиндикация) при отсутствии нормативных величин для ряда компонентов стока, а также является важным источником данных для разработки современных нормативов (акт о внедрении результатов исследования в производстве Брестской областной лаборатории аналитического контроля Республиканского центра аналитического контроля «Интегральная оценка экологического состояния водотоков на урбанизированной территории с применением высших растений» от 01.12.2015 г.) [5; 17; 21; 26].

Для предотвращения снижения качества вод водоприемника необходимым является расширение перечня нормативно-регулируемых показателей для поверхностного стока и включение в него экологически значимых загрязнителей.

Разработанный в ходе диссертационного исследования алгоритм может быть применен для мониторинга качества поверхностного стока с урбанизированных территорий. Научные результаты работы могут быть использованы при разработке нормативной документации, проектировании, благоустройстве и строительстве населенных пунктов, а также в учебном процессе вузов (акты о внедрении результатов исследования в учебный процесс Учреждения образования «Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина» «Определение содержания аммиака и ионов аммония (суммарно) в пробах природных и сточных вод» от 11.06.2013 г., «Определение качества природных и сточных вод химическими и физико-химическими методами» от 15.10.2014 г.) [4; 5; 9; 19; 20; 23].

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

*Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК для опубликования
результатов диссертационного исследования*

1. Бульская, И. В. Влияние некоторых компонентов поверхностного стока на развитие растений на примере люпина узколистного и гороха посевного / И. В. Бульская, А. А. Волчек // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5. Хімія. Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2013. – № 2. – С. 43–47.

2. Бульская, И. В. Оценка состояния поверхностного стока в г. Бресте с использованием ряски малой / И. В. Бульская, А. П. Колбас, Д. С. Дылюк // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5. Хімія. Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2014. – № 2. – С. 16–24.

3. Бульская, И. В. Источники загрязнения поверхностного стока с урбанизированных территорий некоторыми ионами и нефтепродуктами / И. В. Бульская, А. П. Колбас, А. А. Волчек // Экол. вест. – 2015. – № 2 (32). – С. 28–33.

4. Оценка экологического состояния реки Мухавец в городе Бресте / И. В. Бульская, А. П. Колбас, А. В. Кузьмицкий, С. В. Зеркаль // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5. Хімія. Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2015. – № 2. – С. 21–29.

5. Бульская, И. В. Исследование растительных тест-объектов для оценки токсичности городских поверхностных стоков (на примере г. Бреста) / И. В. Бульская, А. П. Колбас, Д. С. Дылюк // Вес. Нац. Акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2016. – № 2. – С. 101–107.

Статьи в иностранных периодических научных изданиях

6. Бульская, И. В. Содержание тяжелых металлов в поверхностном стоке с урбанизированных территорий на примере г. Бреста, Республика Беларусь / И. В. Бульская, А. А. Волчек, М. М. Дашкевич // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2013. – № 12 (72). – С. 4–6.

7. Bulskaya, I. Inorganic constituents in surface runoff from urbanised areas in winter: the case study of the city of Brest, Belarus / I. Bulskaya, A. Volchek // Oceanologia. – 2014. – № 56 (2). – P. 373–383.

8. Bulskaya, I. Pollution of surface runoff from the territory of Brest, Belarus / I. Bulskaya, A. Volchek // Water Science & Technology: Water Supply. – 2015. – № 15.2. – P. 256–262.

Статьи в периодических научных изданиях

9. Волчек, А. А. Сток с урбанизированных территорий и его очистка / А. А. Волчек, И. В. Бульская // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. Сер. Водохозяйств. строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2013. – № 2 (80). – С. 88–92.

Публикации в сборниках материалов научных конференций

10. Волчек, А. А. Влияние ливневых сточных вод на загрязнение водоемов Брестской области / А. А. Волчек, И. В. Бульская // Природнае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця : зб. навук. прац / Палескі аграрна-экалагічны ін-т НАН Беларусі ; рэдкал.: М. В. Міхальчук [і інш.]. – Брест : Альтернатива, 2012. – С. 29–31.

11. Волчек, А. А. Содержание взвешенных веществ в снеге и ливневом стоке г. Бреста / А. А. Волчек, И. В. Бульская // Менделеевские чтения – 2013 : сб. материалов межвуз. науч.-метод. конф., Брест, 26 февр. 2013 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; под общ. ред. Н. С. Ступень. – Брест, 2013. – С. 12–15.

12. Бульская, И. В. Неорганические примеси в поверхностном стоке и снеге г. Бреста / И. В. Бульская, А. А. Волчек // Сахаровские чтения 2013 года: экологические проблемы XXI века : материалы 13-й междунар. науч. конф., Минск, 16–17 мая 2013 г. / МГЭУ им. А. Д. Сахарова ; под ред. С. П. Кундаса, С. С. Поздняка, Н. А. Лысухо. – Минск, 2013. – С. 268–269.

13. Bulskaya, I. Urban snow and snowmelt runoff inorganic pollution and its impact on the receiving river in the city of Brest, Belarus / I. Bulskaya, A. Volchek // 7th Study Conference on BALTEX., Borgholm, 10–14 June 2013 : Conference Proceedings / International BALTEX Secretariat ; ed. by M. Reckermann and S. Köppen. – Germany, 2013. – P. 129.

14. Bulskaya, I. Inorganic Constituents in Snow and Surface Runoff from Urbanized Area in Winter: the Case Study of the City of Brest, Belarus / I. Bulskaya, A. Volchek // IWA 5th Eastern European “Yong and Senior Water Professionals” Conference : Proceedings. Part 1 (English version), Kiev, 26–28 of June, 2013. – Kiev, 2013. – P. 391–397.

15. Волчек, А. А. Актуальные вопросы загрязнения поверхностного стока с городской территории на примере г. Бреста / А. А. Волчек, И. В. Бульская // IV Международная научно-практическая конференция «Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания» : сб. материалов, Брест, 25–27 сент. 2013 г. / Брест. гос. техн. ун-т ; под ред. А. А. Волчека [и др.]. – Брест, 2013. – С. 20–22.

16. Волчек, А. А. Неорганические примеси в поверхностном стоке с урбанизированных территорий на примере г. Бреста / А. А. Волчек, И. В. Бульская // Мониторинг окружающей среды : сб. материалов II Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 25–27 сент. 2013 г. в 2 ч. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; редкол.: И. В. Абрамова [и др.]. – Брест : БрГУ, 2013. – Ч. 1. – С. 86–87.

17. Бульская, И. В. Использование методов фитоиндикации для оценки состояния поверхностных вод на примере г. Бреста / И. В. Бульская, А. П. Колбас, Д. С. Дылюк // Менделеевские чтения 2014 : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. по химии и хим. образованию, Брест, 28 февр. 2014 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; редкол.: Н. С. Ступень [и др.]. – Брест : БрГУ, 2014. – С. 16–19.

18. Bulskaya, I. Pollution of the Surface Runoff from the Territory of Brest, Belarus / I. Bulskaya, A. Volchek // Proceedings of the IWA 6th Eastern European Young Water Professional Conference “East meets West”, Istanbul, Turkey, 28–30 May, 2014. – 2014. – P. 62–69.

19. Bulskaya, I. Influence of climate change on urban surface runoff pollution in the City of Brest, Belarus / I. Bulskaya, A. Volchek // Proceedings of the 2nd International Conference on Climate Change – the Environmental and Socio-economic Response in the Southern Baltic Region, Szczecin, Poland, 12–15 May, 2014. – 2014. – P. 45–47.

20. Волчек, А. А. Возможности применения биоремедиации для очистки поверхностного стока с урбанизированных территорий / А. А. Волчек, И. В. Бульская // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания : науч. ст. Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 23–25 апр. 2014 г. : в 4 ч. / Брест. гос. техн. ун-т; под ред. А. А. Волчека [и др.]. – Брест, 2014. – Ч. III. – С. 23–27.

21. Бульская, И. В. Загрязненность и токсичность поверхностного стока с урбанизированных территорий на примере г. Бреста / И. В. Бульская, А. А. Волчек, М. М. Дашкевич // Сахаровские чтения 2014 года: экологические проблемы XXI века : материалы 14-й междунар. науч. конф., г. Минск, 29–30 мая 2014 г. / под ред. В. И. Дуная, С. С. Позняка, Н. А. Лысухо. – Минск : МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2014. – С. 229.

22. Бульская, И. В. Влияние поверхностного стока с урбанизированных территорий на экосистему реки-водоприемника / И. В. Бульская, В. Калциене, А. А. Волчек // Сахаровские чтения 2015 года: экологические проблемы XXI века : материалы 15-й междунар. науч. конф., 21–22 мая 2015 г., Минск / под ред. С. С. Позняка, Н. А. Лысухо. – Минск, 2015. – С. 237–238.

23. Impact of urban surface runoff on the receiving river / I. V. Bulskaya [et al.] // Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти: матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф. Київ, Україна, 28–30 жовтня 2015 р. – Київ: НТУУ «КПІ», 2015. – С. 11–13.

Публикации в сборниках тезисов докладов научных конференций

24. Bulskaya, I. Comparison of summer and winter surface runoff inorganic pollution in city of Brest, Belarus / I. Bulskaya, A. Volchak // Ecohydrology, Biotechnology & Engineering: Towards the Harmony between Biogeosphere and Society on the basis of Long Term Ecosystem Research: Book of Abstracts, Lodz, 16–22 of September, 2013. – 2013. – P. 135.

25. Bulskaya, I. Influence of surface runoff from urban territory on the ecosystem of the receiving river / I. Bulskaya // International Baltic Earth secretariat publication: International advanced PhD course on Impact of climate change on the marine environment with special focus on the role of changing extremes: book of abstracts, Askö Laboratory, Trosa, Sweden, 24–30 August, 2015. – Geesthacht, Germany, 2015. – No. 6. – P. 9–10.

26. Implementing biomonitoring for the assessment of urban surface runoff impact on receiving river / I. V. Bulskaya [et al.] // Book of abstracts 1st International Scientific Conference WaterLand-2016, Lithuania, 6–12 June, 2016. – Aleksandras Stulginski University, 2016. – P. 10–12.

Рэзюмэ*Бульская Іна Валер'еўна***Біяэкалагічная ацэнка якасці паверхневага сцёку з урбанізаваных тэрыторый (на прыкладзе г. Брэста)**

Ключавыя словы: паверхневы сцёк, забруджванне, урбаэкасістэма, таксічнасць.

Мэта даследавання – ацэнка забруджанасці паверхневага сцёку з урбанізаваных тэрыторый (ПСУТ) на прыкладзе г. Брэста і яго ўплыву на асобныя кампаненты экасістэмы ракі-водапрыёмніка.

Метады даследавання. Для аналізу складу ПСУТ выкарыстаны метады ААС, фотаметрыі, гравіметрыі і цітрыметрыі, для ацэнкі ўплыву на жывыя істоты і экасістэму метады біятэсціравання і даследавання супольнасцей макрафітаў.

Атрыманыя вынікі і іх навізна. Паказана сезонная дынаміка ПСУТ: ступень забруджанасці ў зімовы перыяд значна вышэйшая, чым у летні перыяд, у першую чаргу за кошт прымянення пясчана-солевых процігалалёдных сумесей. Сярод іншых крыніц забруджвання выяўлены асаджэнне з атмасфернымі ападкамі і змыў з паверхні дахаў і аўтамабільных дарог. Упершыню на прыкладзе г. Брэста вылучаны экалагічна значныя забруджвальнікі – хларыд- і фасфат-іоны, раствараныя цынк і медзь, бо змест іх істотна перавышае гранічна дапушчальныя канцэнтрацыі. Высветлена таксічнасць ПСУТ з тэрыторыі г. Брэста для стандартных тэст-аб'ектаў і вышэйшай воднай расліннасці. Значнае інгібіраванне свячэння люмінесцэнтных бактэрыі і марфалагічных параметраў праросткаў вышэйшых раслін адлюстроўваюць негатыўны ўплыў ПСУТ на жывыя істоты ў эксперыментах па біятэсціраванню. Уплыў ПСУТ на водныя расліны вывучаны з дапамогай біятэсціравання з раскай малай (*Lemna minor* L.) і даследаваннем супольнасцей макрафітаў ракі-водапрыёмніка. Паказаны значны ўплыў ПСУТ на біяхімічныя паказчыкі *L. minor*. Наяўнасць істотнага антрапагеннага прэсінгу, у першую чаргу за кошт забруджванняў, якія паходзяць з паверхневага сцёку, была адзначаны пры вывучэнні супольнасцей макрафітаў. Атрыманыя вынікі адлюстроўваюць значны ўплыў ПСУТ на экасістэму ракі-водапрыёмніка.

Галіны прымянення. Прапанаваны алгарытм маніторынгу антрапагеннай нагрузкі на раку-водапрыёмнік, які ўключае фізіка-хімічны, біялагічны маніторынг паверхневага сцёку, маніторынг супольнасцяў макрафітаў. Навуковыя вынікі працы могуць быць выкарыстаны пры распрацоўцы нарматыўнай дакументацыі, праектаванні і добраўпарадкаванні населеных пунктаў, а таксама навучальным працэсе ВНУ.

Резюме

Бульская Инна Валерьевна

Биоэкологическая оценка качества поверхностного стока с урбанизированных территорий (на примере г. Бреста)

Ключевые слова: поверхностный сток, урбозкосистема, загрязнение, токсичность.

Цель исследования – оценка загрязненности поверхностного стока с урбанизированных территорий (ПСУТ) на примере г. Бреста и его влияния на отдельные компоненты экосистемы реки-водоприемника.

Методы исследования. Для анализа состава ПСУТ использованы методы ААС, фотометрии, гравиметрии и титриметрии, для оценки влияния на живые организмы и экосистему – биотестирования и изучения сообществ макрофитов.

Полученные результаты и их новизна. Показана сезонная динамика ПСУТ: загрязненность в зимний период значительно выше, чем в летний, в первую очередь за счет применения песчано-солевых противогололедных смесей. Среди других источников загрязнения выявлены осаждение с атмосферными осадками, смыв с поверхности крыш и автомобильных дорог. Впервые на примере г. Бреста выделены экологически значимые загрязнители – хлорид- и фосфат-ионы, растворенные цинк и медь (их содержание существенно превышает предельно допустимые концентрации). Установлена токсичность ПСУТ с территории г. Бреста для стандартных тест-объектов и высшей водной растительности. Значительное ингибирование свечения люминесцентных бактерий и морфологических параметров проростков высших растений в экспериментах по биотестированию отражают негативное влияние ПСУТ на живые организмы. Влияние ПСУТ на макрофиты изучено с помощью биотестирования с ряской малой (*Lemna minor* L.) и исследованием сообществ макрофитов реки-водоприемника. Показано значительное влияние ПСУТ на биохимические показатели *L. minor*. Наличие существенного антропогенного прессинга, в первую очередь за счет загрязнений, происходящих из поверхностного стока, отмечены при изучении сообществ макрофитов. Полученные результаты отражают существенное влияние ПСУТ на экосистему реки-водоприемника.

Области применения. Предложен алгоритм мониторинга антропогенной нагрузки на реку-водоприемник, включающий физико-химический и биологический мониторинг поверхностного стока и мониторинг сообществ макрофитов. Научные результаты работы могут быть использованы при разработке нормативной документации, проектировании и благоустройстве населенных пунктов, а также в учебном процессе вузов.

Resume

Bulskaya Ina

Bioecological evaluation of the quality of the surface runoff from urban territories (case study of the city of Brest)

Key words: surface runoff, urban environment, pollution, toxicity.

The aim of the work was to estimate the pollution of the surface runoff from urban territories (SRUT) in the city of Brest and its impact on particular components of the receiving river ecosystem.

Methods. AAS, photometry, gravimetric and titration methods were used for SRUT analysis, bioassay and the study of the macrophyte communities to estimate influence on living organisms and ecosystem.

Obtained results and their novelty. Seasonal dynamics of SRUT was shown: the degree of contamination in winter was significantly higher than in summer period, primarily due to the use of sand and salt deicing composites. Among other identified sources of pollution there were atmospheric precipitation and wash-off from the rooftops and road surfaces. For the first time in the case study of the city of Brest environmentally significant pollutants were determined – chloride and phosphate ions, dissolved zinc and copper, because their content had significantly exceeded maximum permissible concentrations. Toxicity of the SRUT from the territory of Brest for standard test objects and higher water plants was established. Significant inhibition of luminescent bacteria luminescence and morphological parameters of germinated seeds of higher plants reflected the negative impact of SRUT on living organisms during bioassay. The impact of SRUT on water plants was assessed using biotest with duckweed (*Lemna minor* L.) and the study of the macrophyte communities of the receiving river. Significant impact of SRUT on the biochemical parameters of *L. minor* was proved. The presence of strong anthropogenic pressure, primarily due to pollution from surface runoff was identified in the study of macrophyte communities. Results showed significant impact of SRUT on the ecosystem of the receiving river.

Application. The algorithm of anthropogenic pressure monitoring on the receiving river was proposed, including chemical and biological monitoring of the SRUT and monitoring of macrophyte communities. Scientific results of the work can be used for standards development, projecting and improvement of the populated area, as well as in educational process.