

**МИГРАЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СИСТЕМЕ
«БЕРЕГОВОЙ ГРУНТ – ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ – РАСТЕНИЯ»
РЕКИ ХОДЦА В ПЕРИОД ЛЕТНЕЙ МЕЖЕНИ 2019 ГОДА****Ж. С. Макаханюк¹, В. М. Зубкова¹, Л. А. Розумная²**¹ *Российский государственный социальный университет,
Москва, Российская Федерация*² *Всероссийский научно-исследовательский институт ирригационного рыбоводства,
Московская область, пос. им. Воровского, Российская Федерация*

Цель работы – определение характера распределения и характера связей между содержанием загрязнителей в береговом грунте, донных отложениях и высшей водной растительности малой реки Ходца. Приведены данные лабораторных исследований, основанные на результатах полевых работ по отбору проб, по концентрациям токсикантов (кадмий, свинец, железо, азот аммонийный и нефтепродукты) в депонирующих средах, а также в растениях *Carex aquatilis* малой реки Ходца. Данный вид растения является лимитирующим на всем протяжении реки из-за низкой интенсивности биологического поглощения. Исследования проведены в период летней межени 2019 г. на участке реки от истока (гор. окр. Электросталь) до устья реки в районе г. Павловский Посад. Во всех изучаемых объектах обнаружены повышенные концентрации железа. В береговом грунте и донных отложениях в значительно большей степени проявляется загрязнение тяжелыми металлами в истоке и промежуточной точке. Нефтепродукты и аммонийный азот распределены в пространстве неравномерно. Проведен корреляционный анализ полученных экспериментальных данных о компонентах окружающей среды исследуемой территории (р. Ходца). В целом наибольшие значения результатов измерений наблюдаются в верховье малой реки Ходца, на территории промышленного города Электросталь. Полученные данные о миграции тяжелых металлов в системе «береговой грунт – донные отложения – высшая водная растительность» малой реки Ходца могут быть успешно использованы в качестве индикаторов системы экологического мониторинга и послужить основой для организации дальнейших исследований, а также для разработки стратегии рационального природопользования и охраны окружающей среды Московской области.

Ключевые слова: береговой грунт, донные отложения, загрязнение, концентрация, макрофиты, токсиканты, *Carex aquatilis*, биологическое поглощение.

Для цитирования: Макаханюк Ж. С., Зубкова В. М., Розумная Л. А. Миграция тяжелых металлов в системе «береговой грунт – донные отложения – растения» реки Ходца в период летней межени 2019 года // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2020. № 2. С. 67–74. DOI: 10.24143/2073-5529-2020-2-67-74.

Введение

Наличие большого количества промышленных предприятий и интенсификация сельского хозяйства приводят к истощению и деградации компонентов окружающей среды, в том числе рек (смыв почвенных горизонтов, обмеление, зарастание, загрязнение и пр.). При этом возникает проблема, связанная с миграцией и круговоротом антропогенно привнесенных веществ, воздействием их на живые организмы.

К наиболее опасным загрязняющим веществам относят тяжелые металлы (ТМ), нефтепродукты, азотистые соединения. Находясь в биологическом круговороте, попадая в системы «почва – растение», «почва – растение – человек», загрязнители воздействуют напрямую или опосредованно на здоровье людей, вызывают генетические изменения. Они обладают мутагенным, канцерогенным и тератогенным действиями.

Природные и техногенные потоки поступают в первую очередь в каскадные системы низких порядков – в малые реки длиной до 100 км. К числу таких рек принадлежит река Ходца, относящаяся к Окскому бассейновому округу и берущая свое начало в окрестностях города Электросталь, в котором располагаются такие предприятия, как МУП «Производственно-техническое предприятие городского хозяйства», ОАО «Металлургический завод “Электросталь”» и ОАО «Электростальский завод тяжелого машиностроения» [1].

Объем сточных вод, ежегодно поступающих в реку от предприятий г. Электросталь, составляет более 4 146,94 тыс. м³ [2]. Поступление основных загрязнителей в реку Ходца может происходить также с ливневыми (Pb, Cd) и канализационными (Cd) стоками, а также в результате атмосферных выбросов.

Водоемы служат коллекторами всех видов загрязнений, большая часть которых аккумулируется в донных отложениях [3]. В городских реках донные отложения сформированы поступлением веществ, образующихся при эрозии верхнего горизонта культивируемых почв (20–45 %), речных берегов (18–33 %), прибордюрных отложений автомагистралей (19–22 %), невозделываемых почв (4–7 %), а также при сбросах сточных вод (до 18 %).

Донные отложения могут служить потенциальным источником вторичного загрязнения вод, что связано с замедленным водообменом, осаждением на дне взвесей природного и антропогенного происхождения, а также отмерших особей планктона и макрофитов, разложение которых приводит к поступлению в воду продуктов деструкции органических веществ, при этом некоторые образующиеся вещества довольно токсичны [4].

В последние годы особое внимание обращают на то, что большая роль в формировании и восстановлении качества природных вод принадлежит макрофитам. При этом изучение химического состава водных растений, являющихся мощным аккумулятором загрязнителей, позволяет выявить наиболее контрастные техногенные биогеохимические аномалии, образующиеся при загрязнении донных отложений.

Основной целью наших исследований явилось определение характера распределения и характера связей между содержанием загрязнителей в береговом грунте, донных отложениях и высшей водной растительности малой реки Ходца.

Материалы и методы исследований

Работа выполнена на основе результатов полевого отбора проб берегового грунта, донных отложений, растений *Carex aquatilis* (наиболее распространенных на всем протяжении реки), проводившегося в летнюю межень в июне 2019 г. по ГОСТ 17.1.3.07-82 «Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков».

С учетом строения береговой линии нами было установлено три створа: в истоке (55° 48' 35" с. ш., 38° 28' 49" в. д.), в промежуточной точке (55° 40' 00" с. ш., 38° 50' 00" в. д.) и в устье (55° 46' 28" с. ш., 38° 38' 37" в. д.) (рис. 1).

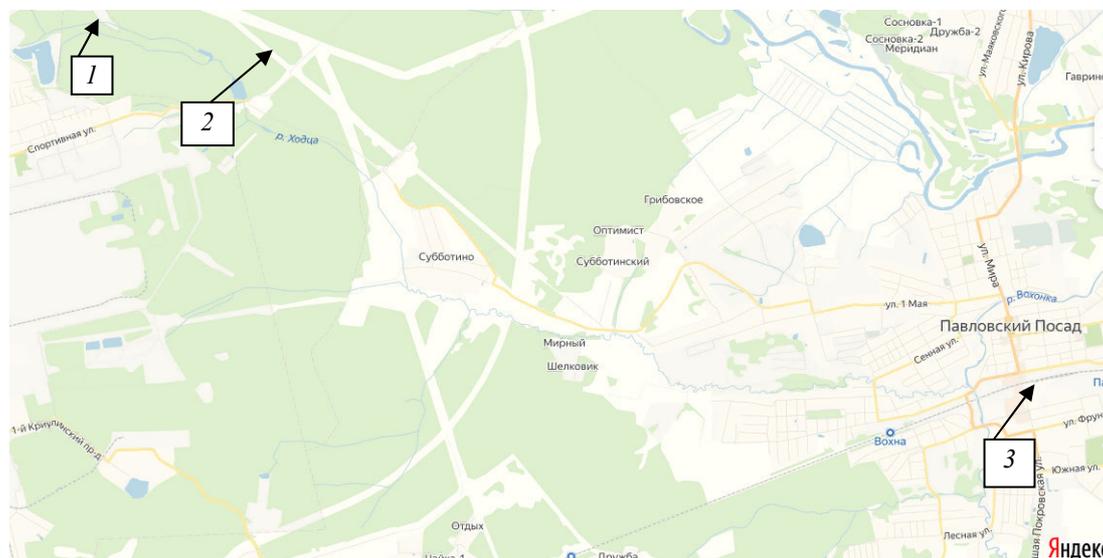


Рис. 1. Местоположение точек отбора проб берегового грунта, донных отложений и растительности: 1 – исток; 2 – промежуточная точка; 3 – устье (г. Павловский Посад)

Химический анализ образцов на содержание приоритетных загрязнителей для р. Ходца [3, 5] проведен в аккредитованных испытательных лабораториях филиала Федерального бюджетного учреждения здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в Московской области» и в «Центре сертификации и экологического мониторинга агрохимической службы «Московский»».

Содержание свинца (Pb), кадмия (Cd), железа (Fe) в донных отложениях и береговом грунте определяли атомно-абсорбционным методом на приборе «Спектр 5-4» (М-МВИ-80-2008); аммонийного азота – фотоколориметрическим методом на приборе КФК-3-01-«ЗОМЗ» (ГОСТ 27753.8-88); нефтепродуктов – флуориметрическим методом с использованием анализатора жидкости «Флюорат-02-3М» (ПНД Ф 16.1.21-98) [6].

В стеблях и корнях растений концентрации Pb, Cd выявляли согласно ГОСТ 30692-00 атомно-абсорбционным методом, Fe – фотоколориметрическим методом (ГОСТ 27998-88) [6].

Для установления характера связи между содержанием загрязнителей в изучаемых компонентах проведен корреляционный анализ.

Результаты исследования и их обсуждение

Береговой грунт и донные отложения являются депонирующими средами, поэтому их химический состав отражает долгопериодные закономерности загрязнения. В связи с этим исследование особенностей распределения ТМ и нефтепродуктов в береговом грунте и донных отложениях является актуальной задачей в условиях увеличения антропогенной нагрузки на экосистемы.

Как следует из результатов исследований, по сравнению с береговым грунтом донные отложения малой реки Ходца в значительно большей степени загрязнены тяжелыми металлами в истоке и промежуточной точке (табл. 1).

Таблица 1

Содержание загрязнителей в донных отложениях и береговом грунте реки Ходца в летнюю межень 2019 г.

Загрязнитель	Исток	Промежуточная точка	Устье
	мг/кг		
Cd	$2,29 \pm 0,16^*$ $0,46 \pm 0,03$	$0,45 \pm 0,03$ $0,23 \pm 0,02$	$0,03 \pm 0,002$ $0,05 \pm 0,003$
Pb	$6,28 \pm 0,44$ $0,02 \pm 0,001$	$5,11 \pm 0,36$ $1,22 \pm 0,08$	$0,78 \pm 0,05$ $0,58 \pm 0,04$
Fe	$5\,159 \pm 361,1$ $902 \pm 63,14$	$1\,374 \pm 96,18$ $790 \pm 55,3$	$577,0 \pm 40,39$ $263 \pm 18,41$
Азот аммонийный	$71,1 \pm 4,98$ $13,1 \pm 0,92$	$11,4 \pm 0,80$ $8,88 \pm 0,62$	$8,30 \pm 0,59$ $13,8 \pm 0,97$
Нефтепродукты	$1\,550 \pm 108,5$ $185 \pm 12,95$	$38,7 \pm 2,70$ $48,7 \pm 3,40$	$5 \pm 0,35$ $5 \pm 0,35$

*В числителе – донные отложения, в знаменателе – береговой грунт.

Так, в истоке содержание кадмия и железа превышает их содержание в береговом грунте в 5 раз и более, а свинца – в 314 раз. В дальнейшем по всей протяженности реки разница в содержании загрязнителей резко уменьшается. Превышение содержания изучаемых элементов в промежуточной точке составляет: Cd – 2,0; Pb – 4,2; железо – 1,7 раза соответственно. В устье содержание кадмия в донных отложениях составляет всего 60 % от содержания в береговом грунте, а железа и свинца превышает в 2,2 и 1,3 раза соответственно.

Для каждого химического элемента существует свой средний уровень концентрации в различных компонентах окружающей среды. При превышении этого уровня в деятельности организмов появляются заметные нарушения. Эти геохимические аномалии связаны, в первую очередь, с техногенными факторами.

Таким образом, сравнивая между собой верховье реки с ее низовьем по значениям абсолютных величин ТМ в береговом грунте и донных отложениях, можно отметить более высокую концентрацию их в верховье реки Ходца.

Неравномерность распределения в пространстве отмечена также для таких загрязнителей, как нефтепродукты и аммонийный азот. В настоящее время нефтяное загрязнение приобрело хронический характер и достигло масштабов, при которых нарушается естественный круговорот веществ и энергии, подрывается экологическое равновесие, наносится огромный ущерб природным экосистемам. Водные объекты суши можно отнести к числу объектов, в наибольшей степени страдающих от нефтяного загрязнения [7]. Процессы, обеспечивающие трансформацию

нефтяного загрязнения в водной среде и определяющие способность экосистем к самоочищению в условиях антропогенного воздействия, в проведенном исследовании имели такую же направленность, как и процессы, связанные с самоочищением донных отложений от ТМ. Результаты исследований свидетельствуют о том, что в донных отложениях истока ассимилируется основная часть хронического загрязнения, поступающего с водосбора (см. табл. 1). В этой точке отмечено превышение концентрации нефтепродуктов в 8,4 раза по сравнению с концентрацией их в береговом грунте. На основе градации, разработанной В. С. Хомичем [8], состояние донных отложений по содержанию нефтепродуктов в истоке можно охарактеризовать как «сильнозагрязненное».

Максимальные значения аммонийного азота – как в береговом грунте, так и в донных отложениях – отмечены также в истоке, при этом предельно допустимые концентрации (ПДК) были превышены более чем в 7 раз, что говорит о довольно свежем загрязнении. Содержание аммонийного азота в донных отложениях превышало его содержание в береговом грунте более чем в 5 раз. На расстоянии 2,9 км от истока превышение ПДК по аммонийному азоту в донных отложениях сохранялось (в 1,1 раза).

Наибольшее количество ТМ, нефтепродуктов и аммонийного азота в истоке реки, скорее всего, свидетельствует о наличии загрязненных сточных вод, отводимых с ОАО «Машиностроительный завод», ОАО «Металлургический завод “Электросталь”» и др. (рис. 2–5).

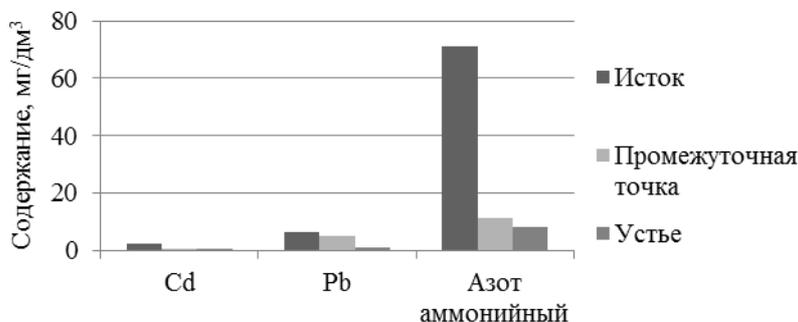


Рис. 2. Содержание тяжелых металлов и азота аммонийного в донных отложениях

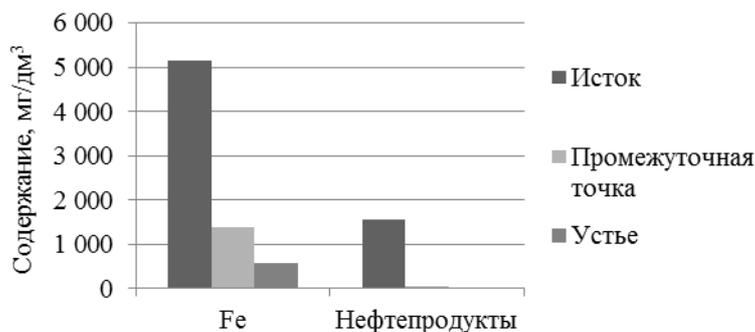


Рис. 3. Содержание железа и нефтепродуктов в донных отложениях

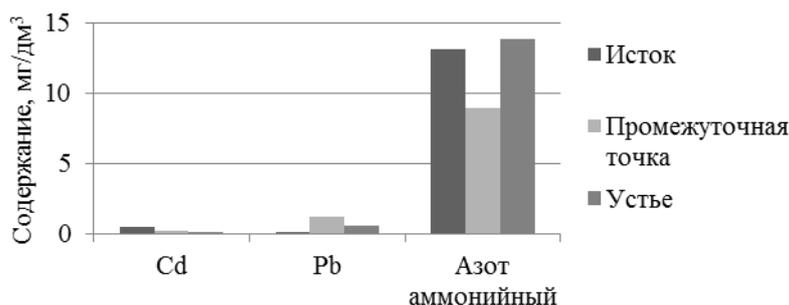


Рис. 4. Содержание тяжелых металлов и азота аммонийного в береговом грунте

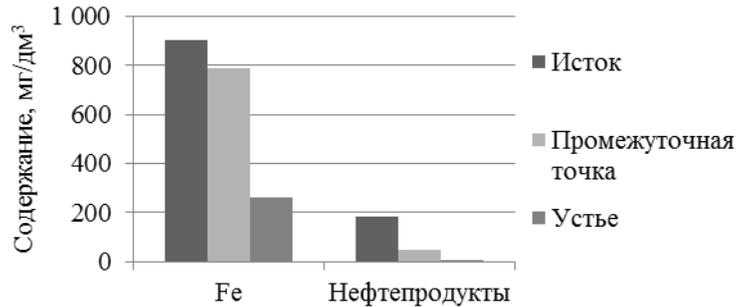


Рис. 5. Содержание железа и нефтепродуктов в береговом грунте

Высшие водные растения – неотъемлемые компоненты водной экосистемы – могут накапливать химические элементы, в том числе ТМ, и удерживать их практически в течение всего вегетационного периода, до своего отмирания и разложения, исключая их из круговорота в водоеме [9].

Результаты наших исследований свидетельствуют о различии в интенсивности накопления ТМ растениями *Carex aquatilis*, отобранными на разных участках р. Ходца (табл. 2).

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в растениях *Carex aquatilis*

Элемент	Исток		Промежуточная точка		Устье	
	стебли	корни	стебли	корни	стебли	корни
	мг/кг					
Cd	0,178 ± 0,01	1,24 ± 0,09	0,061 ± 0,004	1,24 ± 0,09	0,038 ± 0,04	0,903 ± 0,06
Pb	0,59 ± 0,04	2,36 ± 0,16	0,46 ± 0,03	1,45 ± 0,10	0,36 ± 0,02	0,78 ± 0,05
Fe	341,0 ± 238,0	39 800,0 ± 278,6	302,0 ± 21,14	33 785,0 ± 2 364,0	106,0 ± 7,42	26 570,0 ± 1 859,0

Так, содержание кадмия в стеблях на всем протяжении р. Ходца варьировало более чем в 4 раза; свинца – более чем в 1,6; железа – в 3,2 раза (табл. 2).

Необходимо отметить акропетальный характер распределения ТМ в растениях. Так, корни растений накапливали Cd в 7,0–23,8; Pb – 2,2–4,0; Fe в 112,0–250,7 раза больше по сравнению со стеблями, что свидетельствует о наличии у растений физиолого-биохимических барьеров, препятствующих накоплению загрязнителей в надземных органах. Это, очевидно, и позволяет выжить растениям *Carex aquatilis* при экстремальной концентрации загрязнителей в водоеме.

Другие водные растения, судя по литературным данным, имеют гораздо большие коэффициенты биологического поглощения, что может приводить к их гибели в случае избыточной концентрации ТМ в воде и донных отложениях [10].

В корнях концентрации Pb и Fe варьировали в широких пределах, на что оказывала влияние концентрация их в среде.

Интенсивность поглощения элементов органами *Carex aquatilis* изменялась в зависимости от вида элемента (табл. 3).

Таблица 3

Коэффициенты биологического поглощения тяжелых металлов *Carex aquatilis*

Органы растений	Исток	Промежуточная точка	Устье
Стебли	$\frac{Fe}{0,66} > \frac{Pb}{0,09} > \frac{Cd}{0,08}$	$\frac{Fe}{0,22} > \frac{Cd}{0,13} > \frac{Pb}{0,09}$	$\frac{Cd}{1,27} > \frac{Pb}{0,46} > \frac{Fe}{0,18}$
Корни	$\frac{Fe}{7,71} > \frac{Cd}{0,54} > \frac{Pb}{0,37}$	$\frac{Fe}{24,59} > \frac{Cd}{2,75} > \frac{Pb}{0,28}$	$\frac{Fe}{46,04} > \frac{Cd}{4,13} > \frac{Pb}{1}$

По способности проникать в стебли выделялись Fe и Cd; в корни – Fe.

Стебли характеризовались довольно низкими коэффициентами биологического поглощения по сравнению с корнями. Однако поведение каждого ТМ в растениях следует рассматривать по отдельности, с учетом условий местообитания. Так, по кадмию отмечена накопительная спо-

способность в устье реки у стеблей, а в промежуточной точке и устье – у корней. По отношению к железу во всех точках отбора зафиксирована накопительная способность у корней.

Статистический анализ результатов исследований позволил выявить тесную взаимосвязь между содержанием таких загрязнителей, как Cd, Fe и азот аммонийный, в береговом грунте и донных отложениях (0,96; 0,75 и 0,98 соответственно), а также очень сильную и сильную связи между содержанием Cd и Fe в депонирующих средах и стеблях и корнях растений (табл. 4).

Таблица 4

Коэффициенты корреляции между содержанием тяжелых металлов в депонирующих средах и растениях

Элемент	Береговой грунт		Донные отложения	
	стебли	корни	стебли	корни
Cd	1	0,83	1	0,64
Pb	-0,53	-0,54	0,92	0,92
Fe	1	0,95	0,75	0,92

Химический состав растений отражает элементный состав среды обитания, в связи с чем содержание изучаемых элементов в большей степени должно коррелировать с составом донных отложений. Кроме того, для отдельных элементов важным является состояние равновесия в системе «твердая фаза – раствор», определяющее сорбционные процессы, характер и направленность которых зависит от свойств и состава берегового грунта и донных отложений.

Заключение

В результате проведенных исследований выявлены неравномерности в распределении загрязнителей в изучаемых створах, отмечена тенденция к более высокой концентрации их в верховье р. Ходца; выявлена тесная взаимосвязь между береговым грунтом и донными отложениями в содержании Cd, Fe и азота аммонийного; установлен акропетальный характер распределения тяжелых металлов в растениях и очень сильная и сильная связи между содержанием Cd и Fe в депонирующих средах и растениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Электросталь*. Официальный сайт городского округа. URL: <http://electrostal.ru/> (дата обращения: 6.10.19).
2. *Схема водоснабжения и водоотведения городского округа Электросталь Московской области на период до 2030 года*. М.: РусЭнергоСервис, 2016. 91 с.
3. *Макаханюк Ж. С., Зубкова В. М., Лебедева М. В.* Оценка качества воды реки Ходца в районе г. Электросталь в период половодья // *Экология речных бассейнов*: тр. 9-й Междунар. науч.-практ. конф. (Суздаль, 5–8 сентября 2018 г.). Владимир: Аркаим, 2018. С. 392–397.
4. *Уваров А. Г.* Оценка степени загрязнения тяжелыми металлами реки Москвы и возможность использования макрофитов рода *Potamogeton* для бимониторинга тяжелых металлов в реке // *Изв. Самар. науч. центра РАН*. 2015. Т. 17. № 6. С. 150–158.
5. *Зубкова В. М., Розумная Л. А., Макаханюк Ж. С.* Оценка качества воды малой реки Ходца в периоды весеннего половодья и летне-осенней межени // *Современная наука. Сер.: Естественные и технические науки. Общая биология*. 2019. № 6. С. 9–14.
6. *ГОСТ 27998-88*. Корма растительные. Методы определения железа. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. 10 с.
7. *Даувальтер В. А., Каишулин Н. А., Сандимиров С. С.* Тенденции изменений химического состава донных отложений пресноводных субарктических и арктических водоемов под влиянием природных и антропогенных факторов // *Тр. Кольс. науч. центра РАН*. 2012. № 1. С. 55–87.
8. *Хомич В. С.* Загрязнение почв нефтепродуктами в Беларуси // *Природные ресурсы*. 2005. № 2. С. 43–53.
9. *Касимов Н. С.* Экогеохимия ландшафтов. М.: ИП Филимонов Н. В., 2013. 208 с.
10. *Макарова О. А.* Оценка накопления меди, цинка, марганца, кадмия и свинца в системе «почва – растение» пойменной части реки Иртыш (на примере г. Омска) // *Естественные и технические науки*. 2009. № 3 (41). С. 110–117.

Статья поступила в редакцию 06.02.2020

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Макаханиук Жанна Сергеевна – Россия, 129226, Москва; Российский государственный социальный университет; аспирант кафедры экологии и техносферной безопасности; Nanochka16@mail.ru.

Зубкова Валентина Михайловна – Россия, 129226, Москва; Российский государственный социальный университет; д-р биол. наук, профессор; профессор кафедры экологии и техносферной безопасности; vmzubkova@yandex.ru.

Розумная Любовь Анатольевна – Россия, 142460, Московская область, Ногинский район, пос. им. Воровского; Всероссийский научно-исследовательский институт ирригационного рыбоводства; канд. биол. наук, доцент; старший научный сотрудник; rozumnaya65@mail.ru.



MIGRATION OF HEAVY METALS IN SYSTEM
OF COASTAL SOIL – BOTTOM SEDIMENTS – PLANTS
OF THE KHODTSA RIVER DURING SUMMER MEAN WATER IN 2019

Zh. S. Makakhaniuk¹, V. M. Zubkova¹, L. A. Rozumnaya²

¹ Russian State Social University,
Moscow, Russian Federation

² All-Russian Scientific Research Institute of Irrigational Fish Breeding,
Moscow region, Vorovskiy village, Russian Federation

Abstract. The article describes the purpose of the work, which is determining the distribution and relationships between the composition of pollutants in coastal soil, bottom sediments and higher aquatic vegetation in the small river Khodtsa. There have been presented the data of the laboratory research based on the results of the field work on selecting samples, on concentration of toxicants (cadmium, lead, iron, nitrogen, ammonium and petroleum products) in deposit media, as well as in *Carex aquatilis* plants of the small river Hodza. This plant species is limiting throughout the river due to the low intensity of biological absorption. The studies were carried out during the summer low water season in 2019 on the river section from the source (Elektrostal city) to the river mouth in the area of Pavlovsky Posad. In all the studied objects there have been found increased concentrations of iron. In the coastal ground and bottom sediments the pollution with heavy metals is manifested to a much greater extent: at the source and intermediate point. Petroleum products and ammonia nitrogen are distributed unevenly in space. A correlation analysis of the experimental data obtained in the components of the environment of the studied territory (the Khodtsa river) was performed. In general, the highest measurement results are observed in the upper reaches of the small river Khodtsa in the industrial city of Elektrostal. The obtained data on the heavy metals migration in the system “coastal ground – bottom sediments – higher aquatic vegetation” of the small river Khodtsa can be successfully used as indicators an environmental monitoring system and serve as the basis for organizing further research, as well as for developing a strategy for environmental management and environmental protection in the Moscow Region.

Key words: coastal soil, bottom sediments, pollution, concentration, macrophytes, toxicants, *Carex aquatilis*, biological absorption.

For citation: Makakhaniuk Zh. S., Zubkova V. M., Rozumnaya L. A. Migration of heavy metals in system of coastal soil – bottom sediments – plants of the Khodtsa river during summer mean water in 2019. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry.* 2020;2:67-74. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-5529-2020-2-67-74.

REFERENCES

1. *Elektrostal'* [Elektrostal']. Ofitsial'nyi sait gorodskogo okruga. Available at: <http://electrostal.ru/> (accessed: 6.10.19).

2. *Skhema vodosnabzheniia i vodootvedeniia gorodskogo okruga Elektrostal' Moskovskoi oblasti na period do 2030 goda* [Water supply and sanitation scheme for the Elektrostal' urban district of the Moscow Region for period until 2030]. Moscow, RusEnergyServis Publ., 2016. 91 p.
3. Makakhaniuk Zh. S., Zubkova V. M., Lebedeva M. V. Otsenka kachestva vody reki Khodtsa v raione g. Elektrostal' v period polovod'ia [Water quality assessment of the Khodtsa River in Elektrostal area during flood period]. *Ekologiya rechnykh basseinov: trudy 9-i Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Suzdal', 5–8 sentiabria 2018 g.)*. Vladimir, Arkaim Publ., 2018. Pp. 392-397.
4. Uvarov A. G. Otsenka stepeni zagriazneniia tiazhelymi metallami reki Moskvy i vozmozhnost' ispol'zovaniia makrofitov roda Potamogeton dlia bimonitoringa tiazhelykh metallov v reke [Assessment of level of heavy metal pollution in the Moscow river and possibility of using macrophytes of Potamogeton genus for bimonitoring heavy metals in river]. *Izvestiia Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2015, vol. 17, no. 6, pp. 150-158.
5. Zubkova V. M., Rozumnaia L. A., Makakhaniuk Zh. S. Otsenka kachestva vody maloi reki Khodtsa v periody vesennego polovod'ia i letne-osennei mezheni [Assessment of water quality of small river Hodz during periods of spring flood and summer-autumn mean water]. *Sovremennaia nauka. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki. Obshchaia biologiya*, 2019, no. 6, pp. 9-14.
6. GOST 27998-88. *Korma rastitel'nye. Metody opredeleniia zheleza* [GOST 27998-88. Vegetable feed. Methods for determining iron]. Moscow, IPK Izd-vo standartov, 2002. 10 p.
7. Dauval'ter V. A., Kashulin N. A., Sandimirov S. S. Tendentsii izmenenii khimicheskogo sostava donnykh otlozhenii presnovodnykh subarkticheskikh i arkticheskikh vodoemov pod vlianiem prirodnykh i antropogennykh faktorov [Changes in chemical composition of bottom sediments of freshwater subarctic and arctic water bodies under influence of natural and anthropogenic factors]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN*, 2012, no. 1, pp. 55-87.
8. Khomich V. S. Zagriaznenie pochv nefteproduktami v Belarusi [Oil pollution in Belarus]. *Prirodnye resursy*, 2005, no. 2, pp. 43-53.
9. Kasimov N. S. *Ekogeokhimiia landshaftov* [Ecogeochemistry of landscapes]. Moscow, IP Filimonov N. V., 2013. 208 p.
10. Makarova O. A. Otsenka nakopleniia medi, tsinka, margantsa, kadmiia i svintsya v sisteme «pochva – rastenie» poimennoi chasti reki Irtysh (na primere g. Omska) [Assessment of accumulation of copper, zinc, manganese, cadmium and lead in soil-plant system of floodplain of the Irtysh River (for example, Omsk)]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*, 2009, no. 3 (41), pp. 110-117.

The article submitted to the editors 06.02.2020

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Makakhaniuk Zhanna Sergeevna – Russia, 129226, Moscow; Russian State Social University; Postgraduate Student of the Department of Ecology and Technosphere Safety; Nanochka16@mail.ru.

Zubkova Valentina Mikhailovna – Russia, 129226, Moscow; Russian State Social University; Doctor of Biology, Professor; Professor of the Department of Ecology and Technosphere Safety; vmzubkova@yandex.ru.

Rozumnaya Lyubov Anatolyevna – Russia, 142460, Moscow Region, Noginsky District, Vorovskiy village; All-Russian Scientific Research Institute of Irrigational Fish Breeding; Candidate of Biology, Assistant Professor; Senior Researcher; rozumnaya65@mail.ru.

