

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ХАРАКТЕР ЗАГРЯЗНЕНИЯ РТУТЬЮ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

А.В. Богомолов¹, В.Ю. Филатов², М.С. Дьяков²,
Е.М. Ходяшева³, М.Б. Ходяшев³

E-mail: whitewing85@mail.ru

¹ «Горный институт Уральского отделения Российской академии наук» – филиал ФГБУН «Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», г. Пермь, Россия

² ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», г. Киров, Россия

³ ФГБУ «Уральский государственный научно-исследовательский институт региональных экологических проблем», г. Пермь, Россия

АННОТАЦИЯ: Исследовано влияние ртутьсодержащих донных отложений на загрязнение поверхностного водного объекта – р. Елховки, которая продолжительное время подвергалась воздействию предприятий Кирово-Чепецкого промышленного узла, проведена оценка возможности обеспечения нормативного качества воды в реке.

На основе данных, полученных в результате определения содержания ртути в пробах воды, донных отложениях и замера секундного стока воды в р. Елховке по длине водотока, выполнен расчет миграционных процессов ртути в системе вода – донные отложения. Установлено, что определяющая роль в формировании загрязнения принадлежит миграционным процессам, а донные отложения оказывают доминирующее влияние на загрязнение воды реки ртутью в концентрациях, превышающих ПДК_{рх}. Миграция ртути из донных отложений в русле р. Елховки в ближайшие годы не позволит обеспечить нормативное качество воды. Возможным вариантом решения данной проблемы может быть прокладка нового русла реки с последующей рекультивацией старого русла.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ртуть, вторичное загрязнение, донные отложения, гетерофазные неконсервативные поллютанты, самоочищение.

Вследствие специфичности физико-химических свойств ртуть является хорошим мигрантом в окружающей среде, накапливаясь и перераспределяясь, в зависимости от условий, в компонентах водных и наземных экосистем, в газовых и водных средах. В связи с этим ртуть может формировать отложенное загрязнение, т. е. загрязнение на определенное время законсервированное, не оказывающее значительного влияния на водный объект и

© Богомолов А.В., Филатов В.Ю., Дьяков М.С., Ходяшева Е.М., Ходяшев М.Б., 2020

его биоту. Однако при сочетании определенных физико-химических условий в водном объекте она может активно поступать в водные массы, негативно воздействуя на их качество.

Традиционно при оценке влияния загрязняющих ингредиентов на водные объекты принимается, что они химически устойчивы или, по крайней мере, неконсервативны. Для водотоков данное требование означает, что поток поллютантов постоянен или уменьшается по длине, т. е. считается что:

$$\frac{d}{dx} \left(\int_w (VC) dw \right) \leq 0 \text{ – консервативные вещества,}$$

где w – площадь сечения; V – скорость потока; C – концентрация поллютанта.

Однако в зонах высокой техногенной нагрузки в ряде случаев данное базовое требование не выполняется. Накопление техногенных поллютантов на водосборе, в донных отложениях создает особый класс источников загрязнения, которые могут рассматриваться как отложенное загрязнение. Такое «отложенное» загрязнение может иметь совершенно различные механизмы и быть представленным различными поллютантами. Так, в работе [1] рассматривается отложенное загрязнение, формируемое фильтрационными разгрузками и представленное аммонийным азотом.

В данной статье рассматриваются вопросы ртутного загрязнения поверхностного водного объекта. Ртуть является гетерофазно-неконсервативным поллютантом, способным активно мигрировать и накапливаться в отдельных звеньях системы вода – взвешенные наносы – донные отложения. При этом ртуть относится к токсикантам первого класса опасности для водных объектов как рыбохозяйственного, так и хозяйственно-бытового назначения.

Для консервативных поллютантов или подверженных процессам самоочистки при достижении их нормативного содержания на сбросе сточных вод принимается, что их содержание на всем протяжении водотока не будет превышать действующий норматив, а будет только снижаться. С гетерофазно-неконсервативными поллютантами ситуация, как показано в [2], принципиально другая, значительно более сложная. Содержание данных веществ в водном объекте определяется не только их поступлением со стоком, но и интенсивностью процессов взаимодействия в системе вода–взвешенные наносы–донные отложения. При этом содержание рассматриваемых поллютантов в донных отложениях определяется особенностью их поступления в водный объект в предшествующий период времени. В этом случае донные отложения играют роль накопителя, своеобразной геохимической памяти водного объекта.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рассмотрим данную ситуацию на конкретном водном объекте – р. Елховке. Река Елховка, впадающая в р. Просница и далее в Вятку, является

водным объектом, в котором наблюдается загрязнение воды за счет миграции ртути из донных отложений, загрязненных соединениями ртути вследствие экономической деятельности предприятий Кирово-Чепецкого промышленного узла.

Для исследования влияния донных отложений в 2018 г. проведено полевое обследование р. Елховки, в ходе которого было назначено 14 гидрометрических створов (рис. 1). Общая протяженность обследуемого участка реки составила около 8 км. Для каждого гидрометрического створа определены морфометрические и скоростные характеристики, проведен отбор проб воды и донных отложений в соответствии с ГОСТ 31861-2012 «Общие требования к отбору проб» [3]. В течение 2018 г. выполнено четыре комплекса работ по определению количественных и качественных характеристик воды и донных отложений р. Елховки в разные сезоны: период весеннего половодья, летней межени, осенних дождевых паводков.



Рис. 1. Расположение гидрометрических створов на р. Елховке.

Fig. 1. The location of the gauging sites on the Elkhovka River.

Местоположение гидрометрических створов на р. Елховке задано расстоянием от фонового створа № 1 (рис. 1), расположенного на границе техногенной территории. Перечень гидрометрических створов представлен в табл. 1.

Таблица 1. Расположение гидрометрических створов на р. Елховке
Table 1. The location of the gauging sites on the Elkhovka River

Номер створа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Расстояние по стрелю р. Елхов- ки от фонового створа, км	0	0,15	0,3	0,63	1,06	1,54	1,84	2,04	2,12	3,09	4,29	5,57	6,29	7,97

Отобранные пробы воды и донных отложений для химического анализа доставляли в аккредитованную лабораторию. Фильтрацию проб воды проводили с использованием фильтрующего модуля MERCK MILLIPORE (Германия) и мембранных фильтров с размером пор 0,45 мкм марок DURAN Group/25 710 5451 (Германия) и SUPELCO/Nylon 66 Membranes (США).

Измерение массовой концентрации общей и растворенной ртути в пробах природных, питьевых и сточных вод выполняли в соответствии с методикой ПНД Ф 14.1:2.4.271-2012 атомно-абсорбционным методом с зеемановской коррекцией неселективного поглощения на анализаторе ртути РА-915М [4]. Анализ донных отложений проводили в соответствии с методикой [5].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты анализа проб донных отложений, отобранных в разные сезоны года в гидрометрических створах на р. Елховке, представлены на рис. 2. По результатам выполненных анализов концентрация ртути в воде реки изменялась в пределах 0,00001–0,00077 мг/дм³ (рис. 3). Максимальные концентрации наблюдались в период весеннего половодья. При этом участок возрастания концентрации ртути в речной воде практически совпадал с участком максимального содержания ртути в донных отложениях, что может обуславливаться вымыванием ртути из осадков более кислыми талыми водами [6], а также поступлением ртутьсодержащих грунтовых вод. Необходимо также отметить, что в период отбора проб воды и донных отложений в августе 2018 г. отсутствовало поступление в р. Елховку ртутьсодержащих промышленных сточных вод.

Ртуть является ярко выраженным гетерофазно-неконсервативным поллютантом. В области невысоких концентраций их динамика вполне корректно описывается кинетическим уравнением первого порядка [2, 7]. На основе этой гипотезы для однородных потоков вводится понятие коэффициентов самоочищения и повторного загрязнения:

$$K \sim -1/T \ln(C_T/C_0), \quad (1)$$

где C_0 – концентрация поллютанта в начальный момент времени «0»;

C_T – концентрация в момент времени T .

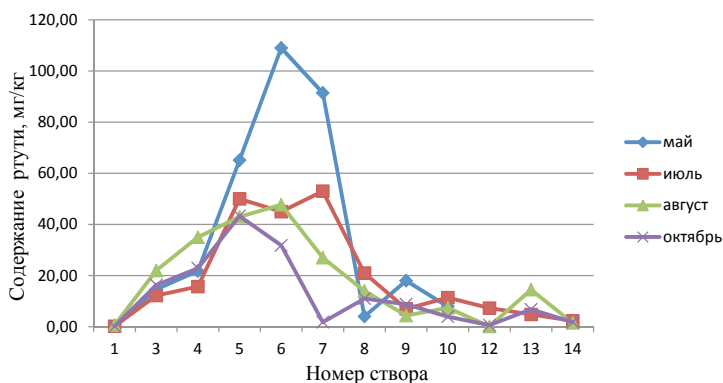


Рис. 2. Изменение содержания ртути в донных отложениях по длине р. Елховки.
Fig. 2. Changes in mercury content in bottom sediments along the length of the Elkhovka River.

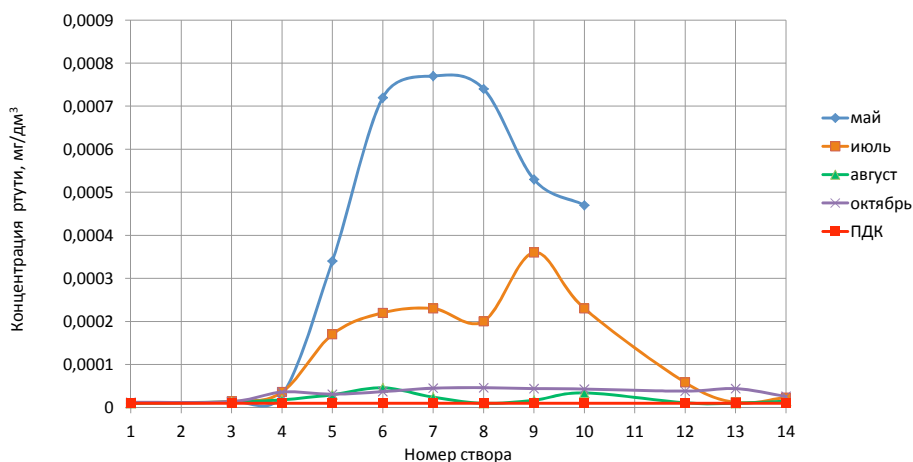


Рис. 3. Изменение концентраций ртути в воде р. Елховки по ее длине.
Fig. 3. Changes in mercury concentrations in the water along the length of the Elkhovka River.

При самоочищении коэффициент принимает положительное значение, а при повторном загрязнении – отрицательное.

В русловом водотоке, соответственно, оперируют не концентрациями, а потоками веществ: $q_c = q \cdot C$, при $T \sim L/V$, где L – расстояние между начальным и контрольным створами, V – средняя скорость течения.

Уравнение, аналогичное соотношению (1) для руслового потока, может быть записано, если рассматриваемый участок является беспроточным: $\frac{L}{q} \frac{\partial q}{\partial x} < \epsilon$, где ϵ – приемлемая погрешность расчетов, которая для представленных величин составляет 5–10 %.

Детальное описание моделей миграции гетерофазно-неконсервативных загрязнителей в рамках однородных потоков, когда

$$\frac{L}{M} \frac{\partial M}{\partial x} < \epsilon, \quad (2)$$

где L – протяженность расчетной области; M – обобщенная морфометрическая характеристика водотока, зависящая от величины смоченного периметра и величины гидравлического радиуса[2]. Величина гидравлического радиуса по створам приведена в табл. 2.

Таблица 2. Величина гидравлического радиуса
по гидрометрическим створам на р. Елховке
Table 1. The location of the gauging sites on the Elkhovka River

Номер створа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Гидравлический радиус в июле, м	0,09	0,05	0,07	0,09	0,15	0,11	0,12	0,10	0,09	–	0,18	0,25	0,35	0,09
Гидравлический радиус в октябре, м	0,05	0,10	0,11	0,15	0,16	0,15	0,14	0,12	0,08	0,14	0,17	0,23	0,31	0,05

Из материалов табл. 2 следует, что даже для одного створа морфометрические величины в разные по водности сезоны могут существенно варьироваться. Естественные водотоки на значительных расстояниях не отвечают в достаточной мере, критерию однородности (2), поэтому для них более корректны оценки на основе дискретной схемы:

$$\Delta q_{i,jHg} = (q_j C_{jHg} - q_i C_{iHg}), \quad (3)$$

характеризующей абсолютное изменение потока ртути (г/сек) на участке между створами j , i и относительное изменение потока ртути на этом участке:

$$\Delta q_{i,jHg} = (q_j C_{jHg} - q_i C_{iHg}) / q_i C_{iHg}. \quad (4)$$

Если данные коэффициенты больше нуля, то преобладают процессы повторного загрязнения, т. е. процессы миграции загрязнителей из донных отложений. При этом безразмерный коэффициент интенсивности потока загрязнителей $\Delta q_{i,jHg}$ характеризует во сколько раз на участке между i и j створами изменится поток загрязнителей. Абсолютное изменение потока ртути $\Delta q_{i,i+1,t}$ на участке между створами i , $i+1$ и относительное изменение потока ртути $\Delta q_{i,i+1,t} / q_{i,t}$ по длине р. Елховки представлены на рис. 4, 5.

Как следует из представленных на рис. 4, 5 результатов расчетов, в рассматриваемом водотоке на участке между створами 3–7 преобладали процессы поступления ртути из внешних источников, на участке между створами 8–10 – процессы самоочищения. Участок между створами 11–14 характеризуется чередованием процессов повторного загрязнения и самоочищения. При этом, как следует из рис. 4 и рис. 5, интенсивность выноса существен-

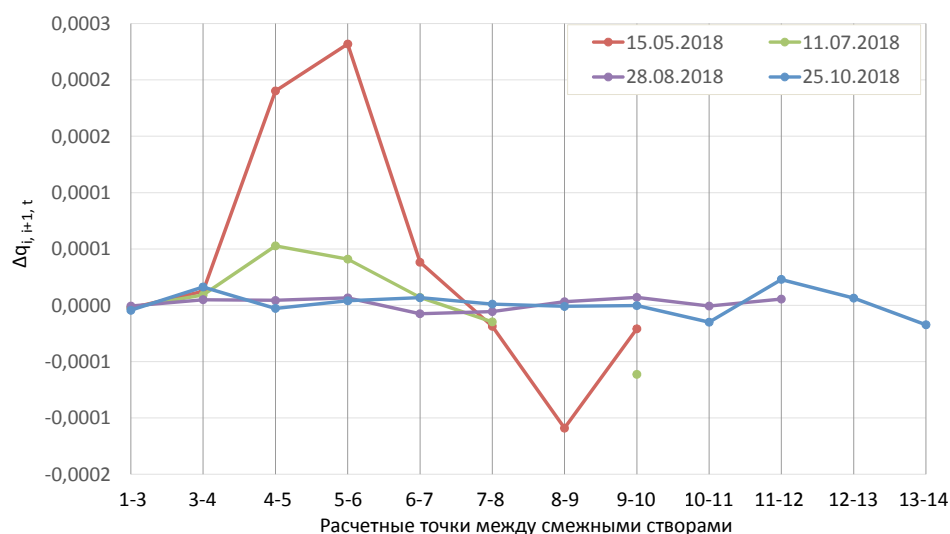


Рис. 4. Изменение потока ртути $\Delta q_{i,i+1,t}$ по длине р. Елховки в течение теплого периода.

Fig. 4. Changes in the mercury flow $\Delta q_{i,i+1,t}$ along the length of the Elkhovka River during the warm period.

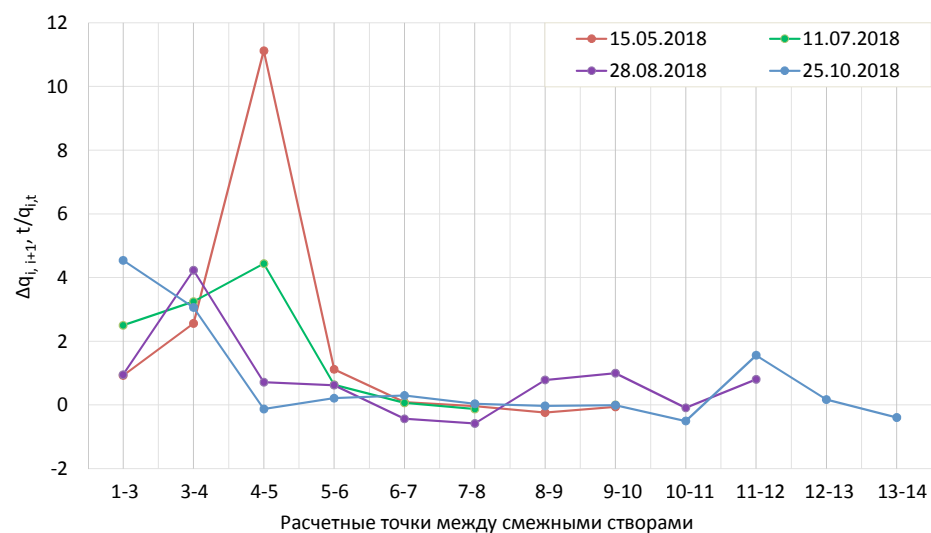


Рис. 5. Распределение относительных коэффициентов изменения потока ртути $\Delta q_{i,i+1,t} / q_{i,t}$ по длине р. Елховки в течение теплого периода.

Fig. 5. Distribution of relative coefficients of changes in the mercury flow $\Delta q_{i,i+1,t} / q_{i,t}$ along the length of the Elkhovka River during the warm period.

но однородна на участке водотока между створами 5–10. На участке между створами 4 и 5 наблюдались максимальные величины потока ртути. Для всего водотока в целом наиболее интенсивный вынос ртути из донных отложений отмечен непосредственно по окончанию весеннего периода, затем в течение теплого периода интенсивность повторного загрязнения снижалась. В августе – октябре отмечено влияние дождевых паводков, которые обуславливали пики потока ртути на участке 8–12 створов.

Если приемлемо допущение, что состояние как самого водотока, так и его донных отложений на участках между смежными створами однородно, то для этих участков можно оценить коэффициенты самоочищения или повторного загрязнения по соотношению для коэффициентов самоочищения и повторного загрязнения (1).

Наиболее высокие значения коэффициентов повторного загрязнения зафиксированы в верхнем течении р. Елховки на участке между створами 4 и 7 после прохождения паводка, когда наблюдается наиболее высокая загрязненность поверхностного слоя донных отложений. По мере промывания верхнего активного слоя донных отложений их величина существенно снижается. В конце теплого периода интенсивность процессов повторного загрязнения минимальна и даже отмечено на отдельных участках доминирование процессов самоочищения: величина коэффициента повторного загрязнения ниже нуля (рис. 6). Таким образом, проведенный анализ потоков ртути в р. Елховке показал, что определяющая роль в их формировании принадлежит миграционным процессам в системе вода – донные отложения, а донные отложения оказывают доминирующее влияние на загрязнение реки ртутью в концентрациях, превышающих ПДК_{рх}.

В среднем течении р. Елховка наиболее загрязнена. Мощность техногенных донных отложений (толщина слоя донных отложений) на этом участке составляет около 1–1,25 м. Сформировавшиеся накопления будут оказывать значимое воздействие на качество поверхностной природной воды р. Елховки минимум еще в течение 10 лет. Этот временной период обоснован результатами соотношения:

$$C_{\text{вод}} Q_{\text{ср}} \cdot 3,154 \cdot 10^7 = k \cdot \rho \cdot C_{\text{дно}} \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \Delta z \cdot B \cdot L,$$

где $C_{\text{вод}}$ – концентрация ртути в воде;

$Q_{\text{ср}}$ – величина среднегогодового расхода воды на участке, 0,25 м³/с;

k – коэффициент распределения ~100;

ρ – плотность донных отложений ~2,65 кг/м³;

$C_{\text{дно}}$ – концентрация ртути в донных отложениях;

ε – пористость донных отложений ~0,9;

Δz – величина слоя донных отложений, вовлеченного в миграционный процесс в системе вода – донные отложения.

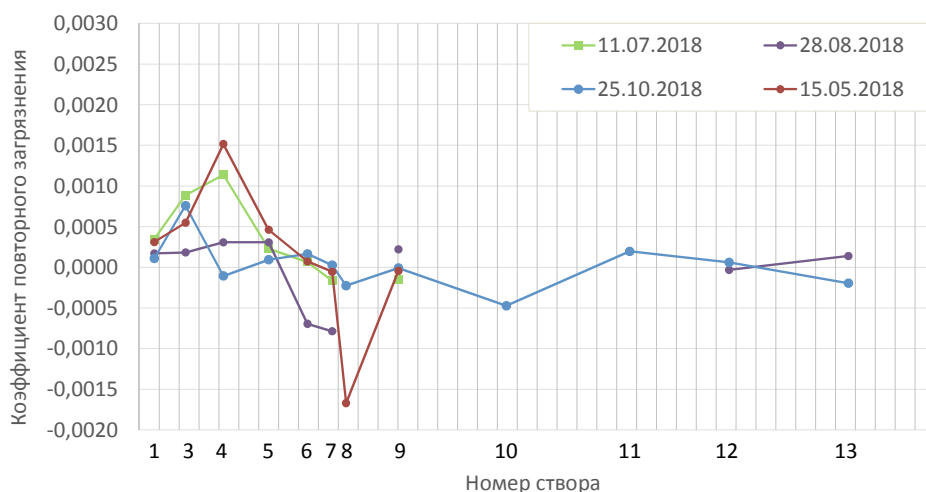


Рис. 6. Распределение коэффициента повторного загрязнения по длине р. Елховки в течение теплого периода.

Fig. 6. Distribution of the re-pollution coefficient along the length of the Elkhovka River during the warm period.

По результатам вычислений получается величина слоя донных отложений, вовлеченных в миграционный процесс в системе вода – донные отложения в р. Елховке около 0,06–0,1 м, т. е. для вовлечения слоя донных отложений мощностью около 1 м в процесс самоочищения понадобится более 10 лет.

Наличие повторного загрязнения воды р. Елховки ртутью вследствие ее выноса из донных отложений не позволяет обеспечить требуемое качество воды не только при условии соблюдения нормативного содержания растворенных форм ртути в поступающем в реку стоке, но даже при отсутствии поступления ртутьсодержащих сточных вод. Вместе с тем, удаление загрязненных донных отложений из р. Елховки не может рассматриваться в качестве допустимого мероприятия по очистке реки ввиду отсутствия отработанной технологии извлечения донных отложений без загрязнения водных масс. Более того, извлеченные из водного объекта техногенные донные отложения потребуют обезвреживания и захоронения на специальных полигонах по причине их повышенной токсичности.

В числе возможных мероприятий, которые позволят достичь нормативного качества воды в р. Елховке, может быть рассмотрена прокладка на участке максимального загрязнения нового русла и рекультивация старого. Реализация данного варианта позволит вывести из взаимодействия с водотоком загрязненные донные отложения, являющиеся основным источ-

ником загрязнения. Так будет обеспечено превалирование процессов самоочищения водного объекта. При этом основная сложность заключается в размещении нового участка русла в стесненных условиях активно освоенной техногенной территории.

Следует также отметить, что в условиях миграции ртути из донных отложений в русло для оценки состояния р. Елховки в целом требуется организация мониторинга в устье водного объекта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам натурных наблюдений и измерений получены величины концентраций ртути в воде и донных отложениях р. Елховки и изменения этих величин по длине водотока. Определяющая роль в формировании загрязнения принадлежит миграционным процессам в системе вода – донные отложения, а донные отложения оказывают доминирующее влияние на загрязнение воды р. Елховки ртутью в концентрациях, превышающих ПДК_{рх}.

Миграция ртути из донных отложений в русло р. Елховки в ближайшие годы не позволит обеспечить нормативное качество воды в водном объекте. Возможным вариантом решения данной проблемы может быть отведение вод реки в новое русло, либо установка водопроводящей галереи на наиболее загрязненном участке водотока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лепихин А.П., Ляхин Ю.С. Влияние «отложенных» загрязнений на формирование гидрохимического режима водных объектов (на примере промышленного комплекса г. Кирово-Чепецк) // Водное хозяйство России. 2011. № 3. С. 59–69.
2. Веницианов Е.В., Лепихин А.П. Физико-химические основы моделирования миграции и трансформации тяжелых металлов в природных водах. Екатеринбург: РосНИИВХ, 2002. 236 с.
3. ГОСТ 31861-2012 «Вода. Общие требования к отбору проб».
4. ПНД Ф 14.1:2.4.271-2012 (М 01-51-2012) Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации ртути в пробах природных, питьевых, минеральных, сточных вод атомно-абсорбционным методом с зеемановской коррекцией неселективного поглощения на анализаторе ртути РА-915М. М., 2012.
5. ПНД Ф 16.1:2.2.80-2013 (М 03-09-2013) Количественный химический анализ почв. Методика измерений массовой доли общей ртути в пробах почв, грунтов, в том числе тепличных, глин и донных отложений атомно-абсорбционным методом с использованием анализатора ртути РА-915М. М., 2013.
6. Лапердина Т.Г. Определение ртути в природных водах. Новосибирск: Изд-во «Наука», 2000. 222 с.
7. Справочник по гидрохимии / под ред. А.М. Никанорова. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 391 с.

Для цитирования: Богомолов А.В., Филатов В.Ю., Дьяков М.С., Ходяшева Е.М., Ходяшев М.Б., Особенности влияния техногенных донных отложений на характер загрязнения ртутью водных объектов // Водное хозяйство России. 2020. № 5. С. 94–106.

Сведения об авторах:

Богомолов Андрей Владимирович, канд. техн. наук, научный сотрудник, лаборатория проблем гидрологии суши, «Горный институт Уральского отделения Российской академии наук» – филиал ФГБУН «Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», Россия, 614007, г. Пермь, ул. Сибирская, д. 78 А; e-mail: whitewing85@mail.ru

Филатов Владимир Юрьевич, канд. хим. наук, доцент, кафедра промышленной и прикладной экологии, ФГБОУ ВО Вятский государственный университет, Россия, 610000, Приволжский федеральный округ, Кировская область, г. Киров, ул. Московская, д. 36; e-mail: vyfilatov@mail.ru

Дьяков Максим Сергеевич, канд. техн. наук, заместитель директора по научной работе, ФГБУ «Уральский государственный научно-исследовательский институт региональных экологических проблем», Россия, 614039, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 61 а; e-mail: dyakov@ecologyperm.ru

Ходяшева Елена Михайловна, младший научный сотрудник, отдел экологического менеджмента, ФГБУ «Уральский государственный научно-исследовательский институт региональных экологических проблем», Россия, 614039, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 61 а; e-mail: helena@ecologyperm.ru

Ходяшев Михаил Борисович, канд. хим. наук, заместитель директора по технологическому развитию, ФГБУ «Уральский государственный научно-исследовательский институт региональных экологических проблем», Россия, 614039, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 61 а; e-mail: hodyashevmb@ecologyperm.ru

**SPECIAL FEATURES OF THE TECHNOGENIC BOTTOM SEDIMENTS IMPACT
ON THE WATER BODIES MERCURY POLLUTION CHARACTER**

**Andrey V. Bogomolov¹, Vladimir Yu. Filatov²,
Maksim S. Dyakov², Elena M. Khodyasheva³, Michael B. Khodyashev³**

¹*Russian Academy of Sciences Ural Branch Institute of Mining, Perm, Russia*

²*Vyatka State University, Kirov, Russia*

³*ФГБУ «Ural State Research Institute of Regional Ecological Problems, Perm, Russia*

Abstract: The article studies the impact of mercury-containing bottom sediments on the pollution of the surface water body – the Elkhovka River, which for a long time was affected by the enterprises of the Kirovo-Chepetsk industrial hub, to assess the possibility of ensuring the standard water quality in the Elkhovka River.

Based on the data obtained as a result of determination of the mercury content in water samples, bottom sediments and measurements of the second-long water flow in the Elkhovka River along the watercourse length calculation of the mercury migration processes in the “water-bottom sediments” system has been carried out.

It has been established that the decisive role in the formation of pollution belongs to migration processes in the system «water – bottom sediments», and the bottom sediments themselves have a dominant effect on the pollution of the Elkhovka River with mercury in concentrations exceeding MPC in fishery water. Migration of mercury from bottom sediments in the Elkhovka river riverbed in the coming years will not allow to ensure the standard water quality (MPC in fishery water) in the water body. A possible solution to this problem may be the laying of a new river channel with subsequent reclamation of the old channel.

Key words: mercury, secondary pollution, hetero/phase non/conservative pollutant, self-cleaning.

About the authors:

Andrey V. Bogomolov., Candidate of Technical Sciences, Research Associate, Laboratory of Problems of Land Hydrology, Federal State Budgetary Institution of Science Perm Federal Research Center Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Branch Mining Institute, Sibirskaya st., 78A, Perm, 614007, Russia; e-mail: whitewing85@mail.ru

Vladimir Y. Filatov, Candidate of Chemical Sciences, Docent, Department of Industrial and Applied Ecology, ФГБОУ ВО Вятка State University, Moskovskaya st. 36, Kirov, Kirov region, Volga federal district, 610000, Russia

Maksim S. Dyakov., Candidate of Technical Sciences, Deputy Director for Research, Federal State Budgetary Institution Ural State Research Institute of Regional Environmental Problems, Komsomolsky Prospect, 61a, Perm, 614039, Russia; e-mail: dyakov@ecologyperm.ru

Elena M. Khodyasheva, Junior Researcher, The Department of environmental management, Federal State Budgetary Institution Ural State Research Institute of Regional Environmental Problems, Komsomolsky Prospect, 61a, Perm, 614039, Russia; e-mail: helena@ecologyperm.ru

Khodyashev Michael B., Candidate of Chemical Sciences, Deputy Director for Technological Development, Federal State Budgetary Institution Ural State Research Institute of Regional Environmental Problems, Komsomolsky Prospect, 61a, Perm, 614039, Russia; e-mail: hodyashevmb@ecologyperm.ru

For citation: A.V. Bogomolov, V.Y. Filatov, M.S. Dyakov, E.M. Khodyasheva, M.B. Khodyashev *Special Features of Technogenic Bottom Sediments Impact on the Water Bodies Mercury Pollution Character // Water Sector of Russia. 2020 No. 5. P. 94–106.*

REFERENCES

1. Lepikhin A.P., Liakhin Iu.S. Vliyanie «otlozhennykh» zagriazneniy na formirovaniye gid-rokhimicheskogo rezhima vodnykh ob'yektov (na primere promyshlennogo kompleksa g. Kirovo-Chepetsk) [Impact of the “delayed” pollution on formation of the water bodies hydro/chemical regime (the Kirovo-Chepetsk industrial complex as a study case)] // Vodnoe khoziaistvo Rossii. 2011. № 3. P. 59–69.
2. Venitsianov E.V., Lepikhin A.P. Fiziko-khimicheskie osnovy modelirovaniia migratsii i transformatsii tiazhelykh metallov v prirodnykh vodakh [Physical/chemical foundations of the heavy metals migration and transformation in natural waters]. Ekaterinburg: Izd-vo RosNIIVKh, 2002. 236 p.
3. GOST-318612012 «Voda. Obshchie trebovaniia k otboru prob» [Water. General requirements to sampling].
4. PND F 14.1:2.4.271-2012 (M 01-51-2012) Kolichestvennyi khimicheskii analiz vod. Metodika izmerenii massovoi kontsentratsii rtuti v probakh prirodnykh, pitevykh, mineralnykh, stochnykh vod atomno-absorbtsionnym metodom s zeemanovskoi korrektsiei neselektivnogo pogloshcheniia na analizatore rtuti RA-915M [Quantitative chemical

analysis of waters. Methods of measuring mercury mass concentration in samples of natural, drinking, mineral, and waste waters with atom/absorption with correction of the mercury non-selective absorption at RA-915M mercury analyzer]. M., 2012 g.

5. PND F 16.1:2.2.80-2013 (M 03-09-2013) *Kolichestvennyi khimicheskii analiz pochv. Metodika izmerenii massovoi doli obshchei rtuti v probakh pochv, gruntov, v tom chisle teplichnykh, glin i donnykh otlozhenii atomno-absorbtsionnym metodom s ispolzovaniem analizatora rtuti RA-915M* [Quantitative chemical analysis of soils. Methods of measurement of the mercury mass share in bottom sediments with atom/absorption with the use of RA-915M mercury analyzer] M., 2013 g.
6. *Laperdina T.G. Opredeleniye rtuti v prirodnykh vodakh* [Mercury Determination in Natural Waters]. Novosibirsk: Izd-vo Nauka, 2000. 222 p.
7. *Spravochnik po gidrokhimii* [Reference book on hydrochemistry]/ pod red. A.M. Nikanorova. L.: Gidrometeoizdat, 1989. 391 p.