

МОНИТОРИНГ состояния ВОДНОГО ОБЪЕКТА как ИСТОЧНИКА ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ в свете ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА

Изучена пространственно-временная и сезонная динамика форм миграций тяжелых металлов по акватории Увдовского водохранилища, как основного источника питьевой воды г. Иваново (снабжается 80% населения города). Исследованы корреляционные зависимости между процессами комплексообразования ионов железа и меди и формами миграции преобладающих металлов, загрязняющих рассматриваемый водный объект. Оценен потенциальный экологический риск от загрязняющих соединений металлов на основе значения коэффициента токсичности (Tr^i), учитывающего токсичность каждого металла и биопродуктивность водоема (BPI).

Введение

В соответствии с данными Государственного доклада [1] анализ качества поверхностных вод суши по бассейнам крупных рек показывает, что водные объекты на территории страны продолжают испытывать серьезную антропогенную нагрузку, выражающуюся в увеличении поступления в них загрязненных сточных вод из различных источников. На Волжский бассейн приходится более трети сброса сточных вод в России. Несмотря на высокую обеспеченность региона очистными сооружениями, эффективность их работы крайне низка. По результатам комплексной оценки качество поверхностных вод бассейна Волги варьируется от «слабо загрязненной» до «очень загрязненной».

Качество водной среды оценивается по содержанию приоритетных контаминантов,

С.А. Царева*,
кандидат химических наук, доцент кафедры коммерции, товароведения и экспертизы, ФГБОУ ВПО Российский государственный торговый-экономический университет, Ивановский филиал

в том числе по содержанию соединений тяжелых металлов (ТМ). Загрязнение ТМ наиболее опасно и в большинстве случаев определяется путем сопоставления величин валового их содержания в воде с соответствующими показателями — предельно-допустимыми концентрациями (ПДК) [2–5]. Такая оценка не всегда дает возможности получить надежную и объективную информацию об экологическом состоянии водоема и о негативном влиянии на здоровье человека. Причина этого обусловлена тем, что различные формы одного и того же металла по-разному влияют на жизнедеятельность водных организмов, стимулируя, либо угнетая ее, а токсичность водной среды в большинстве случаев не имеет прямой однозначной связи с общей концентрацией металлов [6]. Поэтому актуальным является экологический мониторинг водных объектов в свете изучения форм нахождения и процессов трансформации ТМ в поверхностных слоях воды и в сопредельных с водой средах.

Целью настоящей работы является исследование форм нахождения и процессов трансформации ТМ в поверхностных слоях воды одного из региональных водных объектов и в сопредельных с водой средах, а также оценка потенциального экологического риска от загрязняющих соединений металлов.

Материалы и методы исследования

Объектом исследований выбрано Увдовское водохранилище, относящееся к поверхностным водам бассейна Волги и являющееся основным источником водоснабжения г. Иваново (80% потребности воды). При исследовании экологического состояния Увдовского водохранилища (рис. 1) была выбрана группа приоритетных металлов, в число которых включены Cu, Zn, Ni, Pb, Hg, Cr, Cd, Fe. Мониторинговые исследования проводились в течение четырех лет

*Адрес для корреспонденции: zarew@rambler.ru



Рис. 1. Схематический план Уводьского водохранилища.

Районы отбора проб воды:

1. «Плотина»
2. «Красоткинский плесс»
3. «д. Микшино»
4. «Канал»
5. «У д. Малинники-Иванцево»
6. «д. Рожново»
7. «У залива Кувшин»
8. «д. Иванково»

с 1995 по 1998 годы (далее по тексту годы I–V). Эта группа металлов выбрана не случайно, тому послужил ряд обстоятельств [7]:

- ♦ рассматриваемые металлы различаются между собой химическими свойствами, что сказывается на их поведении в водной среде;
- ♦ данные металлы относятся к r- и d-элементам, которые особо склонны к процессам комплексообразования и гидролиза, а именно эти процессы являются доминирующими над другими процессами и конкурирующими между собой в закрытых водоемах.

- ♦ Металлы, участвующие в процессах комплексообразования и гидролиза можно разделить на следующие группы [2, 7]:

- ♦ металлы, образующие комплексные соединения преимущественно за счет координации с атомами кислорода в лигандах (Fe, Mn, Pb);

- ♦ металлы, образующие координационную связь в основном с атомами азота в лигандах (Cu, Zn, Ni, Co);

- ♦ многовалентные металлы, обладающие сильно выраженными кислотными свойствами, находящиеся в водных растворах в виде кислородсодержащих анионов (Mo^{6+} , Cr^{6+}).

Металлы, входящие в состав указанных групп, проявляют различную способность к адсорбции на взвешенных частицах. Так элементы первой группы мигрируют в водоемах в основном во взвешенном состоянии — Fe, Mn, Pb; для элементов третьей группы — Mo, Cr — наоборот, характерно преобладание растворенных форм. Металлы второй группы (Cu, Zn, Ni, Co) занимают промежуточное положение [3].

Экспериментальные исследования форм миграции металлов меди, никеля, цинка, хрома, свинца и марганца в поверхностных водах Уводьского водохранилища проводили по схеме, отраженной на рис. 2, в которой учтены химические свойства различных форм нахождения ТМ в водоеме. Выделение металлов проводили по стандартизированным методикам [8]. При аналитическом исследовании форм миграции металлов в водоеме были обнаружены взвешенные и растворенные части последних, причем взвешенная часть металлов представлена в виде комплексов и органоминеральных взвесей, а растворенная часть находится в виде свободных и гидратированных ионов, а также устойчивых органических комплексов. После разделения металлов на вышеуказанные формы и их обработки соответствующими растворами анализ вытяжек проводили методом атомно-абсорбционной спектроскопии [8].

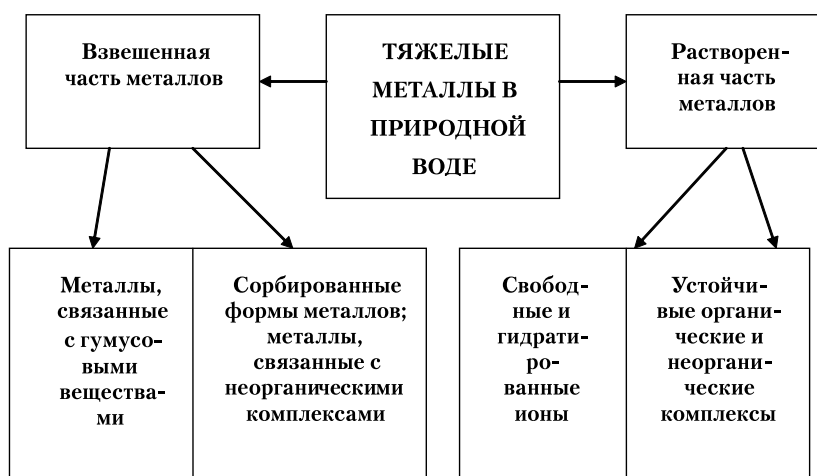
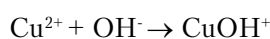
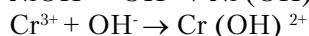
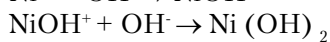
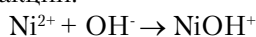


Рис. 2. Схема определения форм миграции ТМ в поверхностных водах Уводьского водохранилища.

Результаты и их обсуждение

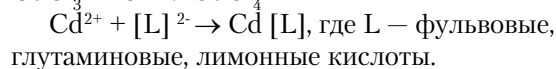
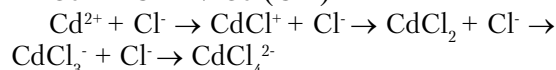
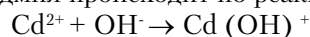
Втабл. 1 приведены данные о концентрации ТМ, находящихся в разных формах в поверхностном слое воды Увودьского водохранилища.

Измерения показывают, что Cu, Zn, Ni, Cr, Cd, Pb, Hg мигрируют преимущественно в растворенной форме (61,9–88%). В абсолютном выражении содержание Cu составляет 14,27 мг/л, что превышает ПДК для рыбохозяйственных водоемов в 14 раз. Минимальная доля растворенной формы Fe составляет 26% валового содержания. Катионная форма, представленная главным образом свободными катионами и гидроксоформами, с учетом высокого значения окислительно-восстановительного потенциала для поверхностных слоев воды [9] составляет для Cu, Ni и Cr ~ 50%, для Cd 36%, для остальных металлов 6–16%. Отметим, что для жизни водных организмов и человека наиболее опасна именно катионная форма данного элемента, причем для одного из наиболее токсичных элементов, а именно Hg, катионная форма составляет всего 6% валового содержания. Образование свободных катионов и гидроксоформ при значениях pH, характерных для данного объекта исследований $7 < \text{pH} < 9$, происходит в результате реакций:



Ю. В. Царев,
кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной экологии, ФГБОУ ВПО Ивановский государственный химико-технологический университет

Согласно [9] кадмий в основном существует в виде Cd^+ (30–80% валового содержания), CdCl^+ (1–5% валового содержания), CdL (4–50%). Образование указанных форм кадмия происходит по реакциям:



Сопоставление экспериментальных результатов с опубликованными данными для бассейна Волги [10, 11] показывает, что концентрации металлов в ионной форме в воде Увудьского водохранилища не превышают таковых в Волге (за исключением Cu, концентрация которого в ионной форме в среднем в 8 раз выше, чем в воде Куйбышевского водохранилища. К примеру, в Цимлянском водохранилище установлен ряд по способности металлов мигрировать в форме ионов как $\text{Zn} > \text{Cd} > \text{Mn} > \text{Fe} > \text{Pb} > \text{Cu}$ [12].

Исходя из выше приведенного ряда заключили, что Zn и Cd относятся к наиболее токсичным металлам. Для нашего объекта исследований можно привести подобный ряд: $\text{Cr} > \text{Ni} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Cd} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Fe} > \text{Hg}$. Следовательно, для экосистемы Увудьского водохранилища наиболее токсичными металлами являются Cr, Ni, Cu, Pb.

Весомым вкладом в регулировании миграции металлов в водоеме обладает процесс комплексообразования, что согласуется с результатами исследований [13]. При относительном постоянстве общего содержания металлов наблюдается довольно существенное различие в содержании катионных и свя-

Таблица 1

Формы миграции ТМ в поверхностных водах Увудьского водохранилища (мкг/л /% к общему содержанию)

| Металл | Общее (валовое) сод-е, мкг/л | Сод-е растворенных форм, мкг/л /% от общего содержания | Сод-е катионной формы в составе раствора, мкг/л /% от общего содержания | Сод-е взв. формы, мкг/л /% от общего содержания | Сод-е в составе гумуса (взв.), мкг/л /% от общего содержания | ПДК _{р.х.} мкг/л |
|--------|------------------------------|--|---|---|--|---------------------------|
| Медь | 19,900 | 14,270/71,7 | 8,500/43 | 5,63/28,3 | 4,840/24,3 | 1,0 |
| Цинк | 23,800 | 15,710/66,0 | 3,200/13 | 8,09/34,0 | 1,850/7,7 | 10,0 |
| Никель | 16,700 | 11,510/68,9 | 8,000/48 | 5,19/31,1 | 0,740/4,4 | 10,0 |
| Хром | 26,500 | 18,260/68,7 | 14,000/53 | 8,24/31,3 | 3,290/12,4 | 20,0 |
| Кадмий | 0,560 | 0,410/73,7 | 0,200/36 | 0,15/26,3 | 0,060/10,7 | 5,0 |
| Свинец | 5,000 | 3,090/61,9 | 2,500/50 | 1,91/38,1 | 0,950/19,0 | 100,0 |
| Ртуть | 0,067 | 0,059/88,0 | 0,004/6 | 0,008/12,0 | 0,002/2,9 | 0,1 |
| Железо | 186,000 | 48,360/26,0 | 25,000/13 | 137,64/74,0 | 83,470/44,8 | 100,0 |

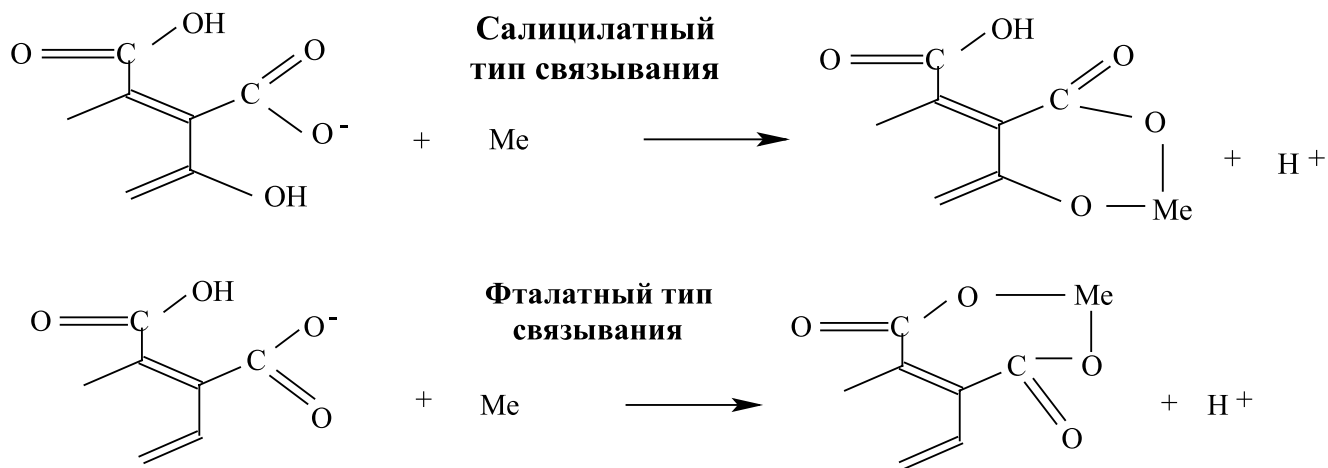


Рис. 3. Химизм связывания ТМ с ФК [7].

занных форм металлов. Так, например, Fe практически полностью находится в связанном виде (87% от содержания растворенных форм), в то время как Cu, Ni, Cr, Cd, Pb представлены и связанными, и свободными (катионными) формами. Как отмечалось в [10] до 80% растворенных органических веществ в природных водах представлены фульвокислотами (ФК). Из последнего следует, что в водном растворе имеет место конкурентное связывание основного лиганда ФК многими металлами.

Связь металлов с ФК осуществляется по фталатному и салицилатному типу [7]:

Вклад каждого из них может быть оценен на основании значений констант устойчивости и равновесных концентраций ионов металлов:

$$C_{\text{ФК}} = [\text{Ф}] + [M_1\text{Ф}] + [M_2\text{Ф}] + \dots = [\text{Ф}] \cdot \{1 + \beta_1 \cdot [M_1] + \beta_2 \cdot [M_2] + \dots\} = [\text{Ф}] \cdot \beta_1 + \beta_1 \cdot C_{M1} + \beta_2 \cdot C_{M2} + \dots \beta,$$

где $[\text{Ф}]$ — концентрация свободных фульват-ионов; $[M_1\text{Ф}]$, $[M_2\text{Ф}]$ — концентрации комплексов металлов $[M_1]$, $[M_2]$ и т.д. с фульват-ионами; β_1 , β_2 — константы устойчивости комплексов $[M_1\text{Ф}]$, $[M_2\text{Ф}]$ и т.д.

Однако для приближенной оценки вклада каждого металла в закомплексованность органического вещества, можно равновесные концентрации $[M_i]$ заменить общей концен-

трацией C_{M_i} [14]. Отметим, что константы устойчивости приняты из разных работ [15–18] и не всегда для одинаковых условий. Тем не менее, использованные константы устойчивости отражают порядок комплексообразования и могут быть использованы для качественной оценки процессов в системе.

Из этого приближенного расчета следует, что ионы железа должны быть полностью закомплексованы, что соответствует данным химического анализа воды (табл. 1). Аналогичная картина наблюдается и для ионов меди. Таким образом, приближенная оценка показала, что самыми устойчивыми комплексами являются фульватные комплексы Fe и Cu. Кроме того, можно констатировать, что формы миграции металлов находятся в определенной зависимости от процессов комплексообразования ионов железа.

Отмеченный факт проиллюстрирован прослеживанием зависимости концентрации различных металлов от концентраций связанных Fe и Cu. Оценку влияния связанного железа и связанной меди на содержание остальных металлов произведена по коэффициенту корреляции, рассчитанному с помощью программного пакета «MicroCalc Origin» Version 8.0.

Из представленных данных наблюдается отчетливая корреляция между concentra-

Таблица 2

Константы устойчивости комплексов металлов и концентрации металлов в природной воде

| Металл | β | $C \cdot 10^{-6}$, моль/л | $C \cdot \beta$ |
|--------|-------------------|----------------------------|----------------------|
| Fe | $2 \cdot 10^{11}$ | 3,3 | $6,6 \cdot 10^5$ |
| Ni | $1,5 \cdot 10^7$ | 0,28 | 4,2 |
| Cu | $5 \cdot 10^8$ | 0,31 | $1,55 \cdot 10^2$ |
| Zn | $2 \cdot 10^2$ | 0,37 | $0,74 \cdot 10^{-4}$ |

Таблица 3

Значение коэффициентов корреляции влияния связанного железа и связанной меди на содержание превалирующих металлов

| Fe | | Cu | |
|--------|-------------------------------------|--------|-------------------------------------|
| Металл | Значение коэффициента корреляции, r | Металл | Значение коэффициента корреляции, r |
| Zn | -0,47 | Zn | 0,29 |
| Cu | 0,14 | Fe | 0,14 |
| Cr | 0,94 | Cr | 0,37 |
| Pb | 0,80 | Pb | 0,53 |
| Ni | -0,59 | Ni | -0,73 |
| Hg | -0,53 | Hg | -0,79 |
| Cd | -0,29 | Cd | -0,70 |

циями связанного Fe и связанных Cr и Pb. Отмеченный факт объясняется стремлением коэффициента корреляции для указанных металлов к единице. Зависимость концентраций связанного железа от концентрации связанных Ni и Hg имеет тенденцию обратного хода, т.е. при увеличении концентрации связанной формы железа концентрация связанного Ni и Hg уменьшается, что характерно для конкурентно протекающих реакций типа лигандного обмена. Корреляция между концентрацией связанного железа и концентраций связанных Cu, Zn, Cd показывает, что прямая связь между этими элементами либо отсутствует (значение r незначительно), либо слабо выражена.

Изучение влияния связанной Cu на содержание в водоеме остальных металлов (табл. 3) показало, что выявляется зависимость между концентрацией связанной Cu и связанного Cd (значение r = 0,703). Менее отчетливая прямая зависимость наблюдается между содержанием связанной меди и связанного Pb (значение r = 0,53). Зависимость содержания связанной Cu и связанных Ni и Hg имеет тенденцию обратного хода (значение r, соответственно, -0,73 и -0,788), т.е. при увеличении концентрации связанной формы меди концентрации связанных Ni и Hg уменьшается. Отмеченный факт аналогичен зависимости концентрации связанного Fe и концентраций связанных Ni и Hg. Для остальных металлов указанная зависимость не проявляется.

Таким образом, мы попытались изучить влияние связанного железа и связанной меди на содержание остальных металлов. Отмечена прямая зависимость связанного железа и связанного Cr и Pb, а также связан-

Ключевые слова:

Экологический мониторинг, формы миграции тяжелых металлов, потенциальный экологический риск

ной Cu и связанного Cd. Наблюдается обратная зависимость концентраций связанных железа и меди от концентраций Ni и Hg.

Данные табл. 1 отражают и тот факт, что гумусовые соединения взвешенной природы играют решающую роль в процессах миграции металлов в водоеме. Последнее объяснимо тем, что гумусовые вещества взвешенной природы составляют большую часть взвесей. В остальные периоды натурных наблюдений мы ограничились в исследовании форм миграции металлов на взвешенной и растворенной части металлов.

Сопоставление натурных наблюдений с опубликованными данными исследований форм миграции металлов в фоновых условиях [4, 5, 9] позволяет сделать заключение о том, что Cu, Zn, Hg, Cd, Ni как в фоновых водотоках, так и в воде Увельского водохранилища мигрируют преимущественно в растворенной форме (соответственно, 72, 66, 88, 74, 69% валового содержания). Для остальных металлов подобное сходство не наблюдается. Благоприятные тенденции для водных экосистем, связанные с уменьшением во времени доли растворенной формы в воде, наблюдаются только для Zn, Cr, Cd и Hg. Для остальных элементов четко выраженное снижение растворенных форм отсутствует.

Общая особенность, характерная для межфазового распределения всех металлов, состоит во влиянии временного фактора. В периоды межсезонных водообменов (ранняя весна) увеличивается доля металлов, связанных с растворенными веществами. Более детальный анализ межфазового распределения металлов по акватории водоема целесообразно проводить с учетом влияния физико-химических условий водной среды.

Имеется довольно много публикаций в отечественной научной литературе, посвященных описанию загрязнения вод ТМ, однако отсутствуют интегральные показатели, характеризующие комплексное загрязнение водоема соединениями металлов.

Хорошо известным является факт, что чувствительность организмов к токсичным веществам варьирует в зависимости от химических и биологических показателей [19–21]. Одним из главных параметров является биологическая продуктивность водоема [22]. Все металлы связаны со степенью биопродуктивности следующим образом: негативное действие токсичных металлов увеличивается с уменьшением биопродуктивности в порядке $Hg > Cd > Co > Pb > Ni > Cu > Zn$, наибольший эффект отмечен для Hg [23]. Биопродуктивность водоема нами определялась по предложенной в [22, 23] зависимости биопродуктивности водоема от содержания общего фосфора в воде, который используется как показатель трофического уровня водоема.

Нормативное значение ВРІ принимали равным 5 [22, 23]. Потенциальный экологический риск (E_r^i) подсчитывался, как произведение коэффициента токсичности и коэффициента загрязнения (C_r^i) какой-либо части водной экосистемы. Значения индекса эколо-

гического риска (RI) определялись как сумма E_r^i для отдельных металлов. Коэффициент загрязнения водной поверхности (C_r^i) определялся, как отношение концентрации загрязняющего вещества в воде к фоновой концентрации данного вещества в водоеме.

Нас интересовала оценка потенциально-го экологического риска и индекса экологического риска за весь период исследований для различных форм миграции металлов в Уводьском водохранилище. Для прогнозирования состояния его экосистемы использовалась следующая классификация индекса экологического риска RI:

- $RI < 150$ – низкий экологический риск;
- $150 \leq RI < 300$ – умеренный экологический риск;
- $300 \leq RI < 600$ – значительный экологический риск;
- $RI \geq 600$ – высокий экологический риск.

Табл. 4 включает результаты расчета потенциального экологического риска и индекса экологического риска от воздействия металлов, находящихся в растворенной и взвешенной формах. Самую серьезную опасность для экосистемы водоема создает кадмий, находящийся в растворенной форме поскольку значение потенциального

Таблица 4

Данные расчета потенциального экологического риска (E_r^i) и индекса экологического риска (RI) воздействия металлов различных форм миграции

| Металл | Форма миграции | I год | | II год | | III год | | IV год | |
|--------|----------------|---------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| | | E_r^i | % | E_r^i | % | E_r^i | % | E_r^i | % |
| Цинк | Растворенная | 0,3 | 0,1 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,2 |
| | Взвешенная | 0,1 | 0,3 | 0,3 | 1,5 | 0,7 | 0,2 | 0,3 | 0,1 |
| Никель | Растворенная | 11,0 | 1,9 | 18,0 | 17,3 | 8,4 | 6,7 | 7,3 | 6,0 |
| | Взвешенная | 2,6 | 6,5 | 3,0 | 15,5 | 3,2 | 0,8 | 3,3 | 1,4 |
| Медь | Растворенная | 4,3 | 0,8 | 2,2 | 2,1 | 1,5 | 1,2 | 2,7 | 2,2 |
| | Взвешенная | 2,3 | 5,8 | 1,4 | 7,3 | 0,8 | 0,2 | 2,3 | 1,0 |
| Свинец | Растворенная | 40,0 | 7,2 | 7,9 | 7,6 | 12,6 | 10,1 | 15,5 | 12,6 |
| | Взвешенная | 4,8 | 12,0 | 3,6 | 18,7 | 4,6 | 1,2 | 2,6 | 1,1 |
| Кадмий | Растворенная | 493,0* | 90,0 | 61,0 | 58,7 | 52,0 | 41,5 | 92,4 | 75,3 |
| | Взвешенная | 30,0 | 75,0 | 11,0 | 57,0 | 13,2 | 3,5 | 33,0 | 14,2 |
| Ртуть | Растворенная | - | 0 | 14,5 | 14,0 | 50,5 | 40,2 | 4,5 | 3,7 |
| | Взвешенная | - | 0 | 0,0 | 0,0 | 360,0 | 94,1 | 191,7 | 82,2 |
| RI | Растворенная | 548,6 | 100 | 103,9 | 100 | 125,4 | 100 | 122,7 | 100 |
| | Взвешенная | 39,8 | 100 | 19,3 | 100 | 382,5 | 100 | 233,2 | 100 |

*Примечание: жирным шрифтом выделены максимальные значения риска для взвешенных и растворенных форм.

экологического риска (Er_{Cd}^i) для полученных данных исследований достигает 493 (вклад в индекс экологического риска 90%), а для ртути, связанной со взвешенными веществами значение (Er_{Hg}^i) потенциального экологического риска достигает 360,0 (вклад в индекс 94,1%). Загрязнение Увдского водохранилища соединениями металлов может быть сопряжено значительным количеством патологий у гидробионтов. Последнее объяснимо высоким значением индекса экологического риска (RI) (данная величина составляет, соответственно, в I, II, III, IV годах исследований по результатам воздействия растворенных форм металлов — 548,6; 103,9; 125,4; 122,7; в результате воздействия взвешенных форм — 39,8; 19,3; 382,5; 233,2).

Таким образом, по расчетным параметрам можно оценить степень преобладающего воздействия растворенных или находящихся во взвешенном состоянии ТМ в различных временных периодах. Степень воздействия металлов, находящихся в растворенной форме на экосистему Увдского водохранилища такова, что в течение всего периода исследований характерен низкий экологический риск, за исключением I года (значения индекса экологического риска $300 < RI < 600$). Металлы, находящиеся во взвешенной форме, менее токсичны для водной экосистемы, поскольку значение индекса экологического риска меньше 150. В I и II годах для экосистемы водохранилища при воздействии металлов, связанных со взвешенными веществами, характерен низкий экологический риск.

После закрытия канала Волга-Увд в III году исследований степень воздействия металлов, находящихся во взвешенной форме, увеличилась до возможного возникновения умеренного экологического риска ($RI = 233,2$) и значительного экологического риска ($RI = 382,5$). Прогнозируя качественное состояние водоема на основе научного анализа расчетных параметров, заключим, что в экосистемах Увдского водохранилища может возникнуть умеренный экологический риск для гидробионтов. Только в случае проявления аномалий по загрязнению водоема соединениями металлов возможны возникновения значительного и высокого экологического риска патологий у гидробионтов.

Заключение

Таким образом, при аналитическом исследовании форм миграции металлов в водоеме были обнаружены взвешенные и рас-

творенные части последних, причем взвешенная часть металлов представлена в виде комплексов и органоминеральных взвесей, а растворенная часть находится в виде свободных и гидратированных ионов, а также устойчивых органических комплексов.

Измерения показывают, что соединения Cu, Zn, Ni, Cr, Cd, Pb, Hg мигрируют преимущественно в растворенной форме (61,9—88%). В абсолютном выражении содержание Cu составляет 14,27 мг/л, что превышает ПДК для рыбохозяйственных водоемов в 14 раз. Минимальная доля растворенной формы Fe составляет 26% валового содержания. Катионная форма для поверхностных слоев воды составляет для Cu, Ni и Cr ~ 50%, для Cd 36%, для остальных металлов 6—16%.

Приближенная оценка показала, что самыми устойчивыми комплексами являются фульватные комплексы Fe и Cu. Кроме того, можно констатировать, что формы миграции металлов находятся в определенной зависимости от процессов комплексообразования ионов железа. Наблюдается отчетливая корреляция между концентрациями связанного Fe и связанных Cr и Pb.

Для выявления потенциального экологического риска, создаваемого загрязняющими соединениями металлов для гидробионтов, определялись значения коэффициента токсичности (Tr^i), учитывающего токсичность каждого металла и биопродуктивность водоема (BPI). Самую серьезную опасность для экосистемы водоема создает кадмий, находящийся в растворенной форме поскольку значение потенциального экологического риска (Er_{Cd}^i) для полученных данных исследований достигает 493 (вклад в индекс экологического риска 90%), а для ртути, связанной со взвешенными веществами значение (Er_{Hg}^i) потенциального экологического риска достигает 360,0 (вклад в индекс экологического риска 94,1%).

Литература

1. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Российской Федерации в 2010 году. Сайт Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации URL: <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID=128153>
2. Линник П. Н. Формы существования, основные закономерности превращений и биологическая роль соединений тяжелых металлов в природных водах / П. Н. Линник, Б. И. Набиванец, Л. П. Брагинский // Водные ресурсы. 1987. № 5. С. 84—95.

3. Линник П. Н. Формы нахождения и основные закономерности миграции приоритетных тяжелых металлов в поверхностных водах суши (на примере водоемов и водотоков Украинской ССР): Дис... д-ра. хим. наук. Киев, 1990. 480 с.
4. Царева С. А. Антропогенное влияние на Увдовское водохранилище и проблемы подготовки питьевой воды для г. Иваново / С. А. Царева, Ю. В. Царев, В. И. Гриневиц // Инженерная экология, 2000. № 6. С. 47–58.
5. Царева С. А. Формы нахождения металлов в воде и донных отложениях / С. А. Царева, В. И. Гриневиц, В. В. Костров, Т. А. Чеснокова // Водные ресурсы. 1999. Т. 26. № 1. С. 62–66.
6. Вилигур К. С. О содержании микроэлементов в водах рек Латвийской ССР / К. С. Вилигур, В. И. Муравский // Гидрохим. материалы. 1978. Т. 71. С. 21–25.
7. Мур Дж. В., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах / Дж. В. Мур, С. Рамамурти. М.: Мир. 1987. 234 с.
8. УМИ-87 Унифицированные методы исследования качества вод. Часть 1, кн. 2, 3. Методы химического анализа вод. М.: СЭВ. 1987. 127 с.
9. Линник П. Н. Формы миграции металлов в поверхностных водах. Линник П. Н., Набиванец Б. И. Л.: Гидрометеиздат. 1986. 284 с.
10. Веницианов Е. В. Сезонные изменения форм нахождения тяжелых металлов в водах и донных отложениях Куйбышевского водохранилища / Е. В. Веницианов, Е. Ю. Ершова, А. Г. Кочарян, Е. П. Серенькая // Водные ресурсы. 2005. Т. 30. № 1. С. 443–451.
11. Долотов А. В. Оценка загрязнения тяжелыми металлами водоемов питьевого назначения (на примере Увдовского водохранилища) / А. В. Долотов, М. В. Гапеева // Экология человека. 2009. № 1. С. 15–19.
12. Голубова Н. В. Тяжелые металлы в Цимлянском водохранилище. Дис... канд. минерал. наук. Ростов-на-Дону. 1995. 177 с.
13. Линник П. Н. Комплексообразующая способность природных вод и методы ее определения. Гидрохимические материалы. Том VI. Мониторинг, самоочищение и математическое моделирование качества воды водных объектов. Л.: Гидрометеиздат. 1989. С. 78–101.
14. Прокофьев А. К. Химические формы Hg, Cd и Zn в природных водных средах. // Успехи химии. 1991 Т 1., Вып. 1. С. 54–84.
15. Гончарова Т. О. Изучение форм существования и закономерностей распределения Ni в водных объектах: Автореф. дисс... канд. хим. наук. Ростов-на-Дону: ГХИ, 1980. 20 с.
16. Инцкервели Л. Н. Исследование и определение форм железа в природных водах. Автореф. ... дисс. канд. хим. наук. М.: ГЕОХИ. 1975. 31 с.
17. Schnitzer M. Organo-metallic interactions in soils; 5. Stability constants of Cu⁺⁺, Fe⁺⁺ and Zn⁺⁺. Fulvic acid complexes / Schnitzer M., Sckinner S. I. M. // Soil Sci. 1966. V. 102. № 6. P. 361–365.
18. Schnitzer M. Stability constants of Pb⁺⁺, Ni⁺⁺, Mn⁺⁺, Co⁺, Ca⁺ and Mg⁺. Fulvic acid complexes / Schnitzer M., Sckinner S. I. M. // Soil Sci. 1967. V. 103. № 4. P. 247–252.
19. Никаноров А. М. Биомониторинг металлов в пресноводных экосистемах. / А. М. Никаноров, А. В. Жулидов Л.: Гидрометеиздат. 1991. 246 с.
20. Кашулин Н. А. Реакция сиговых рыб на загрязнение субарктических водоемов тяжелыми металлами: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. М. 1984. 25 с.
21. Комаровский В. Я. Ртуть и другие тяжелые металлы в водной среде: миграции, накопления, токсичность для гидробионтов (обзор) / В. Я. Комаровский, Л. Р. Полищук // Гидробиологический журнал. 1981. Т. XVIII. № 5. С. 71–79.
22. Hakanson L. The quantitative impact of pH bioproduction and Hg-contamination on the Hg-content in fish (pike) // Environ. Poll. Ser. B. 1980. V. 1 (4), P. 285–304.
23. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control a sedimentological approach // Water Res. 1980. V. 14. P. 975–1001.



S. A. Tsareva, Yu. V. Tsarev

CONDITION MONITORING OF A WATER BODY AS WATER CONSUMPTION SOURCE FOR ENVIRONMENTAL RISK ASSESSMENT

Spatial-temporal and seasonal dynamics of heavy metal migration forms in the Uvod'skoe reservoir wish is basic water consumption source of Ivanovo town. Correlation dependences were investigated between processes of iron and cuprum complexation and migration forms of dominating metals polluting the water body. Potential environmental risk was estimated based on toxic coefficient which takes into account each metal toxicity and reservoir bioproductivity.

Key words: environmental monitoring, migration forms of heavy metals, potential environmental risks