



УДК 504.45.054-034

Биоиндикация ртутного загрязнения Братского водохранилища

М. В. Пастухов, В. И. Гребенщикова

Институт геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН, Иркутск
E-mail: mpast@igc.irk.ru

Аннотация. Обсуждаются результаты многолетних исследований ртутного загрязнения гидробионтов Братского водохранилища в период снижения техногенной эмиссии ртути (после остановки ртутного электролиза на комбинате «Усольехимпром» в 1998 г.). Исследованы закономерности биоаккумуляции и распределения ртути в планктоне и рыбах Братского водохранилища.

Ключевые слова: Братское водохранилище, ртуть, планктон, рыбы.

Введение

Ртутное загрязнение Братского водохранилища является одной из наиболее значительных проблем, связанных с техногенным загрязнением Приангарья и сопоставимо с наиболее «громкими» случаями подобного рода в мире [1]. Суммарное поступление ртути в водоем от основных источников загрязнения – комбинатов «Усольехимпром» и «Саянскхимпласт» превысило 76 т, из которых почти три четверти аккумулировано донными отложениями верхней части Братского водохранилища. Химпредприятия не имеют в настоящее время цехов ртутного электролиза, но загрязнение водохранилища продолжается за счет шламоотвалов, шламонакопителей, выпусков сточных вод, поверхностного стока, а также вторичного поступления ртути из донных осадков [2]. Проводимый Институтом геохимии СО РАН ежегодный биогеохимический мониторинг Братского водохранилища показал, что одними из наиболее чувствительных и объективных показателей ртутного загрязнения являются гидробионты различных трофических уровней. В данной работе, в качестве биоиндикаторов нами рассматриваются фито-, зоопланктон и рыбы различных трофических группировок, приводятся выявленные корреляционные зависимости накопления, особенности распределения и миграции ртути в группах и видах гидробионтов.

Материал и методы

Материалом для представленной работы послужили пробы планктона и рыб, собранные по всей акватории Братского водохранилища в

период снижения ртутной эмиссии, после прекращения ртутного электролиза на «Усольехимпром» в 1998 г. Для сравнительной характеристики собирались аналогичные пробы из Иркутского водохранилища (фоновый водоем). Общий объем проанализированного материала составил: 145 проб планктона (2002–2007 гг.) и более 3000 проб органов и тканей хищных и мирных рыб (1998–2007 гг.). Обработка проб фито-, зоопланктона и морфо-биологический анализ рыб проводились по общепринятым методикам. Параллельно с отбором планктона и рыб производились сборы проб воды и донных осадков для дальнейшего химического анализа. Ртуть в пробах определялась атомно-абсорбционным методом холодного пара на ртутном анализаторе РА-915+ (аналитики – Л. Д. Андрулайтис, О. С. Рязанцева).

Результаты и обсуждение

Планктон. Проведенный анализ обнаружил значительные отличия в уровне накопления ртути планктоном в различных частях водоема. Положительный «отклик» на спад ртутной эмиссии в водохранилище особенно заметен в его нижней и центральной частях, находящихся на значительном расстоянии от источников загрязнения. Однако этого пока нельзя сказать про верхнеангарскую и верхнеокинскую части водохранилища, где в донных отложениях аккумулировано большое количество ртути, а уровень загрязнения планктона остается по-прежнему высоким. Так в 2006 г. содержание этого ксенобиотика в планктоне верхней, наиболее загрязненной части водоема на разных станциях превышало фоновый уровень (средние значения по Иркутскому водохранилищу –

0,005 мг/кг) от 7 до 24 раз, в Окинской части – в 7–21 раз, центральной и нижней частях – в 4–9 раз. Многолетние исследования также показали значительные межгодовые колебания концентраций ртути в планктоне Братского водохранилища. В результате проведенных анализов нами были выявлены корреляционные зависимости между накоплением ртути планктонными организмами и гидролого-гидрохимическими условиями водоема, видовым составом и биомассой планктона. В данном сообщении мы приводим наиболее существенные из них:

- как и ожидалось, обнаружена ярко выраженная положительная зависимость содержания ртути в общем (фито-, зоо-) планктоне от ее содержания в водной среде ($r = 0,96, p < 0,001$);

- установлено, что содержание ртути в общем планктоне обратно пропорционально уровню воды в Братском водохранилище ($r = -0,99, p < 0,01$);

- найдена отрицательная корреляционная зависимость между биомассой планктона и концентрацией ртути в поверхностной воде ($r = -0,87, p < 0,001$). Установлено, что при увеличении биомассы планктона содержание ртути в воде снижается, это происходит вследствие ее аккумуляции и абсорбции планктонными организмами. Полученная зависимость еще раз подтверждает важнейшую роль планктона в очищении водных масс от токсических веществ;

- обнаружено, что увеличение биомассы планктона влечет за собой уменьшение концентраций ртути в планктонном сообществе ($r = -0,85, p < 0,001$). То есть, при возрастании биомассы ртуть распределяется на большее количество планктонных организмов, каждый из которых в итоге извлекает ее меньше из водной среды. Выявленная зависимость хорошо сочетается с результатами, полученными американскими учеными, исследовавшими влияние плотности фито- и зоопланктона на содержание ртути в трофических цепях озер США [4];

- как показали проведенные исследования, в тех пробах, где биомасса зоопланктона была высокой, были обнаружены повышенные концентрации ртути ($r = 0,82, p < 0,001$) и, наоборот, с преобладанием в пробах фитопланктона содержание ртути уменьшалось ($r = -0,82, p < 0,001$). Это объясняется более высоким трофическим уровнем зоопланктона, аккумулирующего ртуть как из воды, так и из объек-

тов питания (в частности фитопланктона и мелких беспозвоночных);

- с увеличением доли фильтраторов в биомассе зоопланктона, увеличивается и содержание ртути в общем планктоне ($r = 0,80, p < 0,001$), обратная зависимость наблюдается у хищного зоопланктона ($r = -0,78, p < 0,001$). По нашему мнению, связано это, в первую очередь, с особенностями питания различных групп зоопланктона – фильтраторы помимо употребления в пищу фитопланктона и детрита, часто заглатывают минеральную и органическую взвесь, сорбирующую на себе ртуть, в то время как хищный зоопланктон не фильтрует воду, а питается избирательно мелкими беспозвоночными;

- с увеличением биомассы диатомовых водорослей содержания ртути в планктоне снижались ($r = -0,74, p < 0,001$). У динофитовых водорослей была отмечена подобная зависимость, но с гораздо менее значимой корреляцией ($r = -0,51, p < 0,05$). Противоположная связь наблюдается у сине-зеленых водорослей – при их высокой биомассе, концентрации ртути в общем планктоне также были повышены ($r = -0,73, p < 0,001$).

Рыбы. Анализируя уровень накопления ртути рыбами Братского водохранилища за период 1998–2007 гг., следует отметить положительную тенденцию к его снижению, наблюдаемую в центральной и нижней частях водоема. Здесь, начиная с 2003 г., средние содержания ртути в мирных и хищных рыбах на всех исследуемых станциях не превышали уровень предельно допустимых концентраций (ПДК для мирных рыб – 0,3 мг/кг сырого веса, для хищных – 0,6 мг/кг). В верхней и окинской же частях водоема понижение концентраций ртути в представителях ихтиофауны протекает очень медленно, а уровень ртутного загрязнения на станциях, наиболее приближенных к источникам загрязнения, остается по-прежнему крайне высоким, в отдельных случаях многократно превышающим ПДК. Первостепенной причиной таких высоких концентраций ртути (1–4 мг/кг) в рыбах этих частей водохранилища является сильно загрязненные донные осадки, являющиеся источником вторичного загрязнения экосистемы водоема. Наибольшие концентрации ртути в мышцах и печени рыб зафиксированы в зонах седиментационных барьеров, где осаждается большая часть загрязненной тонкой взвеси, сорбирующей ртуть из водной среды. Отметим, что в этих же районах наблюдаются максимальные концентрации ртути и в

планктоне. В связи с этим, мы предполагаем, что загрязнение планктона зависит как от содержания ртути в воде, что очевидно, так и (более сложным образом) от содержания ртути и процессов трансформации ее форм в донных отложениях.

На рисунке приведены средние концентрации ртути в доминирующих видах рыб в верхней части Братского водохранилища – окуне и плотве, за период 1992–2007 гг.

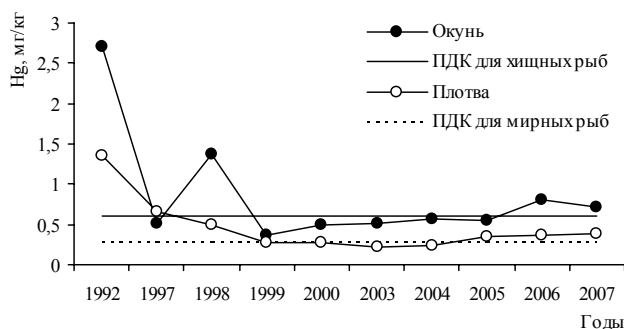


Рис. Межгодовые изменения среднего содержания ртути в мышцах окуня и плотвы верхней части Братского водохранилища. 1992 г. – данные по [3]

По уровню ртутного загрязнения рыб верхней части Братского водохранилища можно выстроить в следующий ряд в порядке убывания: окунь > сом > ерш > плотва > лещ > елец > карась.

Нами также были проанализированы 12 органов и тканей, а также пищевой комок у четырех представителей ихтиофауны верхней части Братского водохранилища – леща, плотвы, окуня и сома. У всех исследуемых видов рыб в печени отмечались более высокие концентрации ртути, чем в мышцах. Если соотношение печень/мышцы больше 1, а в нашем случае это именно так, то можно утверждать о поступлении значительного количества ртути в ближайший временной период, так как процессы метаболизма в печени идут значительно активней, чем в мышцах, тем самым, она быстрее освобождается от ртути по сравнению с мышечной тканью. В связи с этим, определение соотношения концентраций ртути в мышцах и печени рыб можно рекомендовать в качестве чувствительного биотеста ртутного загрязнения. Впервые в 2007 г. на содержание ртути была проанализирована кровь рыб верхней части Братского водохранилища. Результаты анализа показали высокое содержание ртути в крови у всех исследуемых видов рыб, сравнимое с ее концентрациями в мышцах и печени. Безусловно, это указывает на постоянный при-

ток ртути в организмы рыб. По мнению канадских ученых, ртуть легко замещает железо в элементах крови, образуя прочные химические связи, что в последствии может привести к различного рода патологическим нарушениям [5]. У всех видов рыб невысокие показатели ртутного загрязнения зарегистрированы в гонадах, чешуе и плавниках. В остальных органах и тканях у мирных и у хищных рыб накопление ртути происходит неодинаково. Так, у леща и плотвы высокие концентрации ртути зафиксированы в мозге, глазах, печени, почках, селезенке и в пищевом комке. Хищники – окунь и сом накапливают ртуть до высоких значений преимущественно в мышцах, печени и скелете, в то время как остальные органы загрязнены незначительно. Высокие концентрации ртути в мозге и глазах у мирных рыб, могут приводить к нарушениям ориентации в пространстве, ослаблению зрения и другим функциональным нарушениям. Существенные различия в накоплении ртути органами и тканями разных видов рыб обусловлены разными пищевыми объектами, физиологическими особенностями и условиями обитания.

Заключение

Таким образом, путем биоиндикации нами получены данные, которые свидетельствуют о серьезной проблеме ртутного загрязнения верхней части Братского водохранилища, даже спустя 9 лет после прекращения ртутного электролиза на предприятии «Усольехимпром». Комплексные исследования накопления ртути планктоном и рыбами водохранилища, изучение особенностей ее передачи по трофическим цепям, в зависимости от загрязнения абиотических компонентов и гидрохимических условий водной среды дают достоверную оценку ртутного загрязнения Братского водохранилища.

Литература

1. Антропогенная компонента и баланс ртути в экосистеме Братского водохранилища / П. В. Коваль [и др.] // ДАН. – 2003. – Т. 388, № 2. – С. 225–227.
2. Геоэкология: воздействие сосредоточенного источника ртутного загрязнения на компоненты природной среды Приангарья / П. В. Коваль [и др.] // Инженерная экология. – 2004. – № 6. – С. 18–45.
3. Уровни содержания и характер распределения ртути в абиотических и биотических компонентах Братского водохранилища / Г. А. Леонова

[и др.] // Биология внутренних вод. – 2006. – № 2. – С. 167–175.

4. Celia Y. Chen High Plankton Densities Reduce Mercury Biomagnification / Celia Y. Chen, Carol L. Folt // Environmental Science and Technology. – 2005. – Vol. 39, N 1. – P. 115–121.

5. Mercury in the Biogeochemical Cycle / Ed.: M. Lucotte [et al.] // Natural Environments and Hydroelectric Reservoirs of Northern Québec, Springer. – Verlag Berlin Heidelberg, 1999. – 334 p.

Bioindication of mercury contamination at Bratsk reservoir

M. V. Pastukhov, V. I. Grebenschikova

Institute of Geochemistry SB RAS, Irkutsk

Abstract. In the article there are considered results of long-term research on mercury contamination of hydrobionts at Bratsk reservoir at the period of decline in level of anthropogenic emission of mercury, which took place after cessation of mercury electrolysis at the complex «Usolyekhimprom», 1998. There are also studied patterns of mercury bioaccumulation and distribution in plankton and fish of the reservoir.

Key words: Bratsk reservoir, mercury, plankton, fish.

*Пастухов Михаил Владимирович
Институт геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1 а
научный сотрудник лаборатории «Проблемы
геохимического картирования и мониторинга»
тел. (395 2) 51–14–42, факс (395 2) 42–66–00
E-mail: mpast@igc.irk.ru*

*Pastukhov Mikhail Vladimirovitch
Institute of Geochemistry SB RAS
664033, Irkutsk, 1 a, Favorskogo St.
phone: (395 2) 51–14–42, fax: (395 2) 42–66–00
E-mail: mpast@igc.irk.ru*

*Гребеницкова Валентина Ивановна
Институт геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1 а
доктор геолого-минералогических наук,
старший научный сотрудник
зав. лабораторией «Проблемы
геохимического картирования и мониторинга»
тел. (395 2) 51–14–42, факс (395 2) 42–66–00
E-mail: vgreb@igc.irk.ru*

*Grebenschikova Valentina Ivanovna
Institute of Geochemistry SB RAS
D. Sc. in Geology, senior research scientist,
Head of Laboratory of Problems of Geochemical
Mapping and Monitoring
664033, Irkutsk, 1 a, Favorskogo St.
phone (395 2) 51–14–42, fax: (395 2) 42–66–00*