

УДК 577.1

## БИОТИЧЕСКАЯ АККУМУЛЯЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ МАКРОЗООБЕНТОСОМ НИЖНЕГО ИРТЫША

Чемагин А.А.

*Тобольская комплексная научная станция УрО РАН, Тобольск, Россия (626150, Тюменская область, г. Тобольск, ул. Академика Юрия Осипова, 15), e-mail: chemagin@pochta.ru*

Изучен химический состав, рассчитаны коэффициенты биотической аккумуляции тяжелых металлов и других макро- и микроэлементов у различных групп макрозообентоса в бассейне Нижнего Иртыша: хирономиды, олигохеты, двустворчатые моллюски личинки ручейников, стрекоз и поденок. Установлено, что по увеличению концентрации тяжелых металлов в организмах представителей макрозообентоса можно расположить следующим образом: двустворчатые моллюски, личинки стрекоз, олигохеты, личинки поденок, личинки хирономид, личинки ручейников. Установлена высокая коррелятивная связь между химическим составом донных отложений и организмами бентоса (хирономиды, ручейники, поденки, стрекозы, олигохеты). Двустворчатые моллюски, имеющие жесткую кальциевую раковину, значительно отличаются по химическому составу от донных отложений. Наличие раковины позволяет моллюскам непосредственно не контактировать телу с донными отложениями, позволяя значительно понизить аккумуляцию различных веществ, включая тяжелые металлы.

Ключевые слова: донные отложения, Нижний Иртыш, макрозообентос, тяжелые металлы, биоаккумуляция

## BIOTIC ACCUMULATION HEAVY METALS BY MACROZOOBENTHOS OF THE LOWER IRTYSH

Chemagin A.A.

*Tobolsk Complex Scientific Station UD RAS, Tobolsk, Russia (626150, Tyumen Region, Tobolsk, imeni Akademika Yuriya Osipova street, 15), e-mail: chemagin@pochta.ru*

Was studied chemical composition were calculated coefficients biotic accumulation of heavy metals and other macro- and microelements in different groups of macrozoobenthos in the basin of the Lower Irtysh: chironomids, oligochaetes, bivalves caddis fly larvae, dragonflies and mayflies. Is established that increasing the concentration of heavy metals in organisms of representatives of macrozoobenthos can be arranged as follows: bivalves, dragonfly larvae, oligochaetes, larvae of mayflies, chironomids larvae, caddis fly larvae. Established high correlative connection between the chemical composition of the bottom sediments and benthic organisms (chironomids, caddisflies, mayflies, dragonflies, oligochaetes. Bivalves having a hard calcium shell differ significantly in chemical composition from the bottom sediments. Presence of the shell allows mollusks are not directly in contact with to his body with bottom sediments, allowing to significantly reduce the accumulation of various substances, including heavy metals.

Keywords: bottom sediments, Lower Irtysh, macrozoobenthos, heavy metals, bioaccumulation

Постоянное загрязнение донных отложений р. Иртыш специфическими токсическими веществами: нефтепродуктами и тяжелыми металлами связано с эксплуатацией речного флота, транспортировкой нефтепродуктов, выносом поллютантов с пойменных площадей, где ведется хозяйственная деятельность различных предприятий, а также сбросом загрязненных сточных вод на водосборной территории реки Иртыш. Подверженность водной экосистемы Иртыша такому воздействию несет большую опасность путем поступления токсикантов в организм кормовых объектов, далее по трофическому пути в организм рыб, а затем и в человека. В связи с этим целью исследования было изучить накопление тяжелых металлов и других микро- и макроэлементов в организмах макрозообентоса.

**Материал и методика.** Для определения содержания ионов тяжелых металлов (ТМ) и мышьяка в донных отложениях (ДО) и организмах макрозообентоса использовали атомно-эмиссионный метод с индуктивно связанной плазмой на спектрометре Optima 7000 DV.

Для ионов ТМ и микроэлементов был рассчитан [5] коэффициент биотической аккумуляции (**КБА**) веществ в гидробионтах  $C_{\text{гидробионт}}$  по отношению к концентрации тех же веществ в донных отложениях  $C_{\text{до}}$ :

$$\text{КБА} = C_{\text{гидробионт}} / C_{\text{до}}$$

**Результаты и их обсуждение.** Существует несколько систем отнесения химических элементов к ТМ:

1. При атомной массой более 50 к ним относят V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Cd и др. [6;7]

2. По другой классификации ТМ - это металлы с плотностью более 8 г/см<sup>3</sup> (Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Co, Sb, Sn, Bi, Hg) [4].

3. В других работах к ТМ отнесены Pb, Hg, Cd, As, [1].

4. По данным Европейской Экономической Комиссией ООН, оценивающей загрязнение атмосферы европейских стран к ТМ причислены Zn, As, Se и Sb. [7].

В 2012-2013 гг в составе макрозообентоса были определены беспозвоночные 4 типов, 4 классов, 12 семейств, 20 родов, 24 видов. 12 видов хирономид (из 9 родов), 3 вида ручейников (из 3 родов), по одному виду поденок, веснянок, стрекоз и мокрецов). Кроме того были отмечены двустворчатые моллюски (2 вида из 1 рода: *Sphaerium*), 2 вида олигохет (из 2 родов), 1 вид пиявок и нематоды.

К природным макрокомпонентам воды ДО поверхностных водных объектов относятся К, Na, Са, Mg. Для среднего и нижнего течения Оби и Иртыша также Fe, Mn и Al.

Накопление организмами макрозообентоса как макро- так и микрокомпонентов зависит от их содержания в ДО. Так, максимальное количество в ДО в районе исследований содержится Са, Mg, К, Fe и Al (до 16000 мг/кг), несколько меньше (от 20 до 400 мг/кг) Mn, Cr, Na, Pb, Sr, Si, Zn и менее всего (от от десятых долей до 14 мг/кг) - Cd, Co, Cu, Mo, Ni, а также As, Sb, Se.

Максимум калия обнаружен у поденок, хирономид и ручейников, минимум - у моллюсков. В то же время содержание Na максимально у моллюсков и минимально у личинок стрекоз и ручейников. Содержание Fe и Al колеблется в широких пределах – от 879 и 360 мг/кг – у моллюсков, до 8165 и 4454 мг/кг у ручейников (рисунок).

Таким образом, максимальное количество Са и Na содержат моллюски, Mg – хирономиды, Fe и Al – ручейники и К – поденки.

К строительным металлам относятся также Si и Sr. Si определяется у всех групп – от 33,6 мг/кг у моллюсков до 327,4 мг/кг – у поденок.

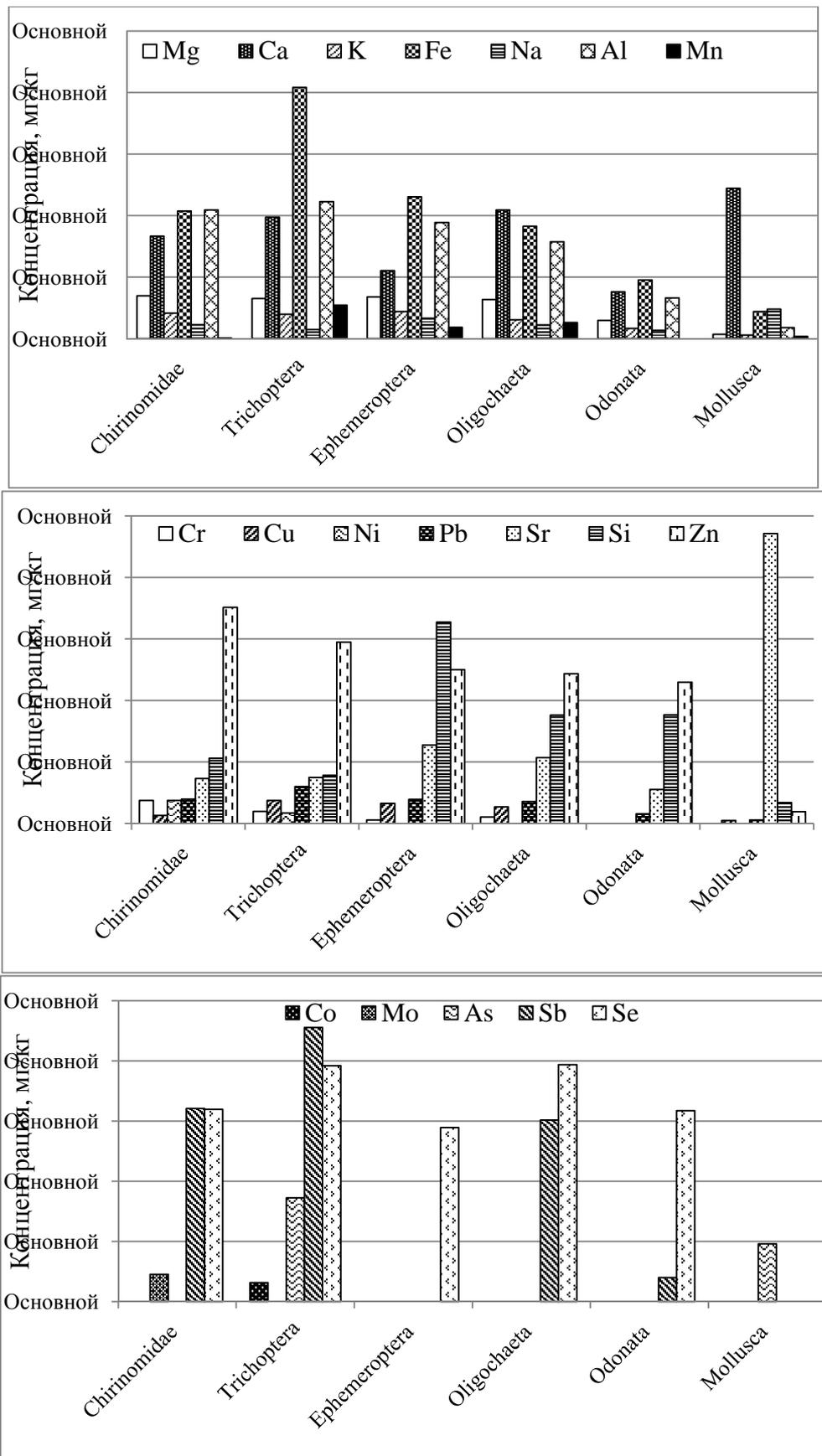
Наибольшее содержание Sr, в 5-9 раз больше чем у остальных животных, обнаружено у моллюсков. Sr обычно сопутствует Ca, как и в данном случае. Из микроэлементов (ТМ) больше всего обнаруживается Zn у всех групп бентонтов – от 18,9 мг/кг у моллюсков до 351 мг/кг – у хирономид.

Известно, что Zn, Cu, Fe, Mo являются важнейшими эссенциальными металлами, входящими в состав большого числа ферментов, катализирующих многие окислительно-восстановительные биохимические реакции, в том числе антиоксидантной системы. Физиологическая роль цинка связана с более чем 300 белками, в том числе ферментами и гормонами, играющими важнейшую роль в питании, развитии и росте организмов. По важности для живых организмов Zn стоит на втором месте после Fe [9].

Коэффициент биотической аккумуляции беспозвоночными Zn из ДО (КБА) как и содержание колебались в узких пределах от 41,71 и 10,87 у личинок стрекоз до 63,83 и 16,64 – у хирономид, за исключение моллюсков, у которых КБА – не превышало 1 (0,9). То есть содержание цинка в тканях моллюска было таким же, как в ДО. Более низкая вариабельность концентрации Zn подтверждена и другими исследователями [3].

На порядок меньше обнаруживалось в организмах бентоса Cu, столь же необходимого для них, как и Zn. Диапазон концентраций Cu – от 4,75 мг/кг у моллюсков до 32,2 мг/кг – у ручейников, соответственно КБА – от 0,68 до 5,31.

Из организмов макрозообентоса ручейники были единственными организмами, накапливающими Co – 1,57 мг/кг, причем значение его КБА составило 0,35, что означает достаточно низкую степень его аккумуляции в организме этих беспозвоночных.



Концентрация макро- и микроэлементов в различных группах макрозообентоса  
Нижнего Иртыша, 2012-2013 гг.

Наличие Со при исследовании состава ручейников, объясняется возможным наличием частиц грунта в домиках ручейников. As был обнаружен только в двустворчатых моллюсках - 4,8 мг/кг и личинках ручейников - 8,63 мг/кг. Вместе с тем коэффициенты их биотической аккумуляции из ДО для этих организмов немногим превышали 1,6 и 2,9 соответственно, что, в свою очередь, свидетельствует также о небольшой степени их накопления в тканях этих животных. Известно, что As участвует в окислительных процессах, в синтезе некоторых ферментов, аминокислот, катализирует обмен азота и фосфора, совместно с Со стимулируют кроветворение.

Sb обнаруживалась у всех групп бентонтов за исключением моллюсков и поденок, концентрация этого элемента варьировала от 2 мг/кг у личинок стрекоз до 22,78 мг/кг – у ручейников. Концентрация Sb и ее КБА (0,22) в личинках стрекоз была в 7-11 раз меньше по сравнению с другими животными: 1,64 у олигохет и 2,64 – у ручейников. В то же время соединения Sb и As обладают общетоксическим действием.

Из всех исследуемых групп макрозообентоса Мо был обнаружен только у личинок хирономид (2,27 мг/кг), КБА составил 13,49, при этом его концентрация в ДО составляет лишь десятые доли мг. Мо катализирует работу ферментов, обеспечивающих тканевое дыхание, при этом, известно, что соединения этого элемента малотоксичны.

Известно, что Pb является канцерогеном и тератогеном, его соединения очень токсичны. Они оказывают значительное влияние на картину крови и нервную систему, в результате может наступать падение гемоглобина (анемия) и дисфункция нервной системы, вызывающая нарушение работы органов и тканей. Концентрация этого токсиканта в организмах макрозообентоса значительно менялась – от 5,65 мг/кг у моллюсков до 59,79 - у личинок ручейников, в то же время КБА составил от 0,12 до 1,27 соответственно. Варьирование концентрации Se у бентонтов было невысоким - от 14,46 мг/кг у поденок до 19,7 – у олигохет. Вместе с тем, Se не обнаруживался у моллюсков.

Наиболее токсичными для живых организмов являются соединения Cr, концентрация которого в организмах макрозообентоса заметно различалась – от 5,71 мг/кг у поденок до 37,11 – у хирономид, в то же время КБА для Cr составило 0,27-1,58, что также свидетельствует о низкой степени накопления этого элемента.

**Заключение.** Таким образом, по увеличению концентрации ТМ в организмах, представителей макрозообентоса можно расположить следующим образом: двустворчатые моллюски, личинки стрекоз→олигохеты→личинки поденок→личинки хирономид→личинки ручейников. По данным [8] многолетняя динамика накопления ТМ в организме бентофагов на примере бычка - песочника в Каспийском море свидетельствует о зависимости концентрации ТМ в теле рыб с концентрациями ТМ в донных отложениях, что в свою

очередь показывает трофический путь переноса ТМ через макрозообентос, при этом в донных отложениях ряд убывания имеет вид Pb>Zn>Cu>Cd, а в бычках Zn>Pb>Cu>Cd, для гольянов из р.Печора [2] ряд имеет вид Cu>Zn>Al>Mg>Pb>Cd, по другим данным в условиях дельты р.Волги (Махлун и др., 2012) для моллюсков *Viviparus viviparus* и *Unio pictorum* в теле и раковине и для речного рака Zn>Cu>Ni>Co. Закономерность ряда убывания концентраций рассматриваемых автором [8] ТМ в ДО и организмах макрозообентоса в условиях нижнего Иртыша имеет противоположную картину: для ДО - Pb>Zn>Cu>Cd, для макрозообентоса - Zn>Pb>Cu. Общая закономерность ряда убывания всех микроэлементов, включая ТМ в макрозообентосе и ДО нижнего Иртыша имеет вид: Fe>Ca>Al>Mg>K>Na>Mn>Zn>Sr>Si>Pb>Ni>Cu>Cr>Se>Sb>As>Mo>Co и Al>Fe>Ca>Mg>K>Mn>Na>Pb>Si>Sr>Zn>Cr>Ni>Se>Sb>Cu>Co>As>Mo>Cd соответственно.

Установлена коррелятивная связь между химическим составом ДО и организмами бентоса: хирономиды - 0,93, ручейники - 0,86, поденки - 0,94, стрекозы - 0,83, олигохеты - 0,81, моллюски - 0,18. Высокая степень корреляции химического состава ДО, в том числе и ТМ с химическим составом поденок, ручейников, хирономид, олигохет и личинок стрекоз свидетельствует о зависимости химического состава бентофауны от химического состава ДО, за исключением моллюсков, имеющих жесткую кальциевую раковину. Наличие такой раковины позволяет моллюску непосредственно не контактировать телу с ДО, позволяя значительно понизить аккумуляцию различных веществ, включая ТМ.

### Список литературы

1. Лапенко Л.А. Метод атомно-абсорбционной спектрофотометрии в фоновом мониторинге тяжелых металлов / Л.А. Лапенко, М.Г. Виленский // Мониторинг фонового загрязнения природной среды. - Л.: Гидрометеиздат, 1986. - Вып.3. - С.216.
2. Мазур В.В. Химико-экологическая оценка состояния водотоков по результатам анализа содержания металлов в рыбах / В.В. Мазур // Вестник Томского государственного университета. Биология. - 2012.- №3.- С.178-185.
3. Петкевич Н.С. Содержание меди в генеративной ткани черноморской мидии и вариабельность этого показателя в зависимости от пола и стадии зрелости гонад / Н. С. Петкевич, Л. Л. Смирнова // Экология моря.- 2005 - (68). - С. 63-67.
4. Реймерс Н.Ф. Азбука природы. Микроэнциклопедия биосферы./ Н.Ф.Реймерс. - М.: "Знание", 1980. – 208 с.
5. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений /под ред. В.А. Абакумова. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 240 с.

6. Сайт Института биологии Карельского научного центра РАН. – [Электронный ресурс] – <http://biology.krc.karelia.ru> (дата обращения 1.05.2014).
7. Сайт Петрозаводского государственного университета - [Электронный ресурс] – <http://www.petrso.ru> (дата обращения 1.07.2014).
8. Чуйко Е.В. Влияние содержания тяжелых металлов в донных отложениях на их биоаккумуляцию в ихтиофауне / Е.В. Чуйко // Астраханский вестник экологического образования. – 2013 - № 3 (25). - С.139-144.
9. Bury N. R. Nutritive metal uptake in teleost fish / N. R. Bury, P.A. Walker, C.N. Glover //J. Exp. Biol. 2003. - Vol. 206, № 1. - pp. 11-23.

**Рецензенты:**

Харитонцев Б.С., д.б.н., профессор кафедры Биологии и МПБ Филиала ФГБОУ ВПО ТюмГУ в г. Тобольске, г. Тобольск;

Ильминских Н.Г., д.б.н., профессор, зав. лабораторией растений и животных в зоне рискованного земледелия ТКНС УрО РАН, г. Тобольск.