

УДК 577.4(571.51)

В.А. Колесников, Н.Б. Бойченко

СОДЕРЖАНИЕ СОЕДИНЕНИЙ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДЕ, ОРГАНАХ И ТКАНЯХ РЫБ РЕКИ ЧУЛЫМ АЧИНСКОГО РАЙОНА КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

В статье представлены данные об эколого-токсикологическом состоянии водных объектов Красноярского края, а также освещена проблема проведения мониторинга при антропогенном загрязнении тяжелыми металлами водной среды и гидробионтов Красноярского края.

Ключевые слова: водная среда, гидробионты, свинец, кадмий, ртуть, мышьяк, медь, цинк, хром.

V.A. Kolesnikov, N.B. Boichenko

HEAVY METAL COMPOUND AVAILABILITY IN WATER, FISH ORGANS AND TISSUES IN CHULYM RIVER IN THE KRASNOYARSK REGION ACHINSK AREA

Data on ecological and toxicological condition of the Krasnoyarsk region water bodies are given; the issue of conducting the monitoring in case of water environment and hydrobiont anthropogenic pollution by the heavy metals in Krasnoyarsk region is covered.

Key words: water environment, hydrobionts, lead, cadmium, mercury, arsenic, copper, zink, chrome.

Стремительные темпы развития промышленного производства, транспорта; индустриализация, ускорение научно-технического прогресса, химизация различных отраслей народного хозяйства неразрывно связаны с расширением круга используемых химических веществ, что приводит к техногенному загрязнению окружающей среды [3], в том числе соединениями тяжелых металлов, а именно свинца, кадмия, ртути, мышьяка, меди, цинка, хрома и других токсических элементов. Это ведет к загрязнению ими атмосферного воздуха, воды, почвы, следовательно, и продуктов питания [2].

Особую опасность представляют тяжелые металлы, такие как свинец, кадмий, ртуть, медь, цинк и др., поскольку способны образовывать нерастворимые соединения и накапливаться в пищевых цепях водных и наземных экосистем, долгое время находиться в почве и водоемах [3].

Накопление тяжелых металлов в окружающей среде может происходить вследствие природных и антропогенных процессов [5].

Предельно допустимые уровни их в биологических объектах и продуктах нормируются СанПиН 2.3.2.1078-01 от 2002 года [3].

В последние годы тяжелые металлы являются одними из основных промышленных загрязнителей окружающей среды. Учитывая, что, по данным ВОЗ, а также по результатам исследований, 20% заболеваний обусловлено неблагоприятным состоянием окружающей среды [1], уже предложен термин «экологически обусловленные заболевания» [4].

В настоящее время в научной литературе крайне недостаточно информации об экологическом состоянии водоемов в отношении содержания солей тяжелых металлов в рыбе (как одном из распространенных продуктов в рационе человека и животных) и воде. Эти сведения необходимы для достоверной оценки безопасности водных объектов.

Данная исследовательская работа посвящена оценке экологической обстановки водоемов Красноярского края и изучению динамики токсикоэлементов в объектах гидросферы и гидробионтах данных водоемов.

В 2011–2012 гг. были проведены исследования реки Чулым Ачинского района по содержанию соединений тяжелых металлов в воде и рыбе (окунь) данной речной экосистемы.

Цель исследования. Оценить экологическое состояние р.Чулым Ачинского района по фактическому содержанию металлов-токсикантов на период проведения исследований.

Задачи исследования:

1. Определить уровень содержания солей тяжелых металлов в воде, органах и тканях рыб р.Чулым Ачинского района.

2. Проследить сезонную динамику распределения солей тяжелых металлов в воде, органах и тканях рыб данного объекта исследований.

Объекты и методы исследования. Пробы органов и тканей отбирались от рыб (вид – окунь, возраст – 1–1,5 года) водоема в количестве 10 образцов в разное время года. Для исследования также была взята вода из реки в количестве 10 образцов по 1 литру.

Определение соединений тяжелых металлов проводилось в химико-токсикологическом отделе КГБУ «Крайветлаборатория» методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии. Для предварительной обработки проб использовался метод сухого озоления с последующим определением токсикоэлемента в водном растворе на атомно-абсорбционном анализаторе «Solaar-S».

Содержание ртути в исследуемых образцах определяли методом абсорбции холодного пара. Для предварительной обработки проб использовался метод мокрого озоления с последующим определением токсикоэлемента в водном растворе на ртутном анализаторе УКР-1МЦ.

Определение мышьяка проводили колориметрическим методом путем отгонки мышьяковистого водорода в поглощающий раствор диэтилдитиокарбамат серебра. Подготовка проб осуществлялась методом сухого озоления.

Результаты исследований. Результаты фактического содержания и динамики распределения токсикоэлементов в зависимости от времени года в исследуемых образцах представлены в таблице.

Как видно из графиков на рисунке 1, наибольшее количество соединений свинца обнаружено в печени, коже и костях, наименьшие уровни токсикоэлемента отмечены в жабрах и мышцах рыб. Наибольшее количество свинца в печени – 0,370 мг/кг, коже – 0,290 мг/кг и костях – 0,231 мг/кг обнаружено весной; в мышцах – 0,179 мг/кг и жабрах – 0,135 мг/кг – осенью ($r = 0,447$). Наименьшее количество свинца в печени – 0,301 мг/кг, мышцах – 0,100 мг/кг и костях – 0,138 мг/кг определили в летний период, в коже – осенью – 0,230 мг/кг; в жабрах – весной – 0,104 мг/кг.

Наибольшая связь в накоплении соединений свинца отмечена между жабрами и кожей – $r = 0,471$, жабрами и мышцами – $r = 0,447$, костями и печенью – $r = 0,441$. Связь отрицательна между накоплением свинца в костях и жабрах – $r = -0,642$, в костях и коже – $r = -0,144$, коже и мышечной ткани – $r = -0,120$.

Как видно на рисунке 2, наибольшее количество соединений кадмия обнаружено в печени и костях, наименьшее содержание токсикоэлемента отмечено в остальных органах и тканях рыб. Наибольшее количество солей кадмия в жабрах определили осенью и зимой – 0,012 мг/кг, в остальных органах – весной. Наименьшее количество кадмия в жабрах выделили весной и летом – 0,011 мг/кг, в остальных органах и тканях – летом.

Наибольшая связь в накоплении соединений кадмия отмечена между костями и кожей – $r = 0,406$; костями и жабрами – $r = 0,437$; кожей и мышцами – $r = 0,733$. Отрицательная связь отмечена между накоплением металла в костях и мышцах – $r = -0,130$; жабрах и коже – $r = -0,171$; жабрах и мышцах – $r = -0,048$; мышцах и печени – $r = -0,035$.

Фактическое содержание токсикоэлементов в органах и тканях рыб в воде р. Чулым в зависимости от времени года, (мг/кг)

Проба	Токсико-элемент	Кости	Жабры	Кожа	Мышцы	Печень	Вода
1	2	3	4	5	6	7	8
2011 г. зима	Свинец	0,200±0,086 P<0,05	0,121±0,060 P<0,05	0,270±0,110 P<0,05	0,178±0,079 P<0,05	0,330±0,130 P<0,05	0,0011±0,00028 3,93 P<0,01
	Кадмий	0,018±0,008 P>0,1	0,012±0,008 P>0,1	0,010±0,008 P>0,1	0,011±0,008 P>0,1	0,048±0,023 P<0,05	0,0005±0,00013 P<0,01
	Медь	0,909±0,440 P<0,05	1,00±0,480 P<0,05	0,712±0,370 P>0,1	0,844±0,400 P<0,05	0,705±0,370 P>0,1	0,012±0,003 P<0,001
	Цинк	11,12±3,50 P<0,01	14,57±4,40 P<0,01	14,04±4,20 P<0,01	12,72±4,00 P<0,01	13,11±4,00 P<0,01	0,1100±0,0275 P<0,001
	Мышьяк	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,025
	Хром	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,01
	Ртуть	0,0035±0,0007 P<0,001	0,0023±0,0005 P<0,001	0,002±0,0004 P<0,001	0,002±0,0004 P<0,001	0,0045±0,0009 P<0,001	Менее 0,005

Окончание табл.

1	2	3	4	5	6	7	8
2011 г. весна	Свинец	0,231±0,095 P<0,05	0,104±0,054 P>0,1	0,290±0,110 P<0,05	0,155±0,073 P<0,05	0,370±0,140 P<0,05	0,0014±0,00035 P<0,001
	Кадмий	0,020±0,012 P>0,1	0,011±0,008 P>0,1	0,011±0,008 P>0,1	0,017±0,012 P>0,1	0,051±0,023 P<0,05	0,0008±0,0002 P<0,001
	Медь	1,443±0,570 P<0,05	1,200±0,530 P<0,05	0,760±0,400 P>0,1	0,697±0,370 P>0,1	0,900±0,440 P<0,05	0,021±0,005 P<0,001
	Цинк	23,41±6,10 P<0,01	25,10±6,60 P<0,01	24,34±6,40 P<0,01	25,74±6,80 P<0,01	21,91±5,90 P<0,01	0,180±0,045 P<0,001
	Мышьяк	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,025
	Хром	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,01
	Ртуть	0,0040±0,0008 P<0,001	0,0020±0,0004 P<0,001	0,0030±0,0006 P<0,001	0,0014±0,00028 P<0,001	0,0051±0,0010 P<0,001	0,0002±0,00005 P<0,001
2011 г. лето	Свинец	0,138±0,067 P<0,05	0,111±0,057 P<0,05	0,250±0,100 P<0,05	0,100±0,054 P>0,1	0,301±0,120 P<0,05	Менее 0,001
	Кадмий	0,010±0,008 P>0,1	0,011±0,008 P>0,1	Менее 0,01	Менее 0,01	0,028±0,016 P>0,1	Менее 0,0005
	Медь	1,092±0,500 P<0,05	0,901±0,440 P<0,05	0,664±0,370 P>0,1	0,858±0,440 P<0,05	0,845±0,440 P>0,1	0,008±0,002 P<0,001
	Цинк	12,05±3,70 P<0,01	12,56±4,00 P<0,01	11,90±3,70 P<0,01	13,49±4,20 P<0,01	12,50±4,00 P<0,01	0,087±0,022 P<0,001
	Мышьяк	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,005
	Хром	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,005
	Ртуть	Менее 0,00125	Менее 0,00125	Менее 0,00125	Менее 0,00125	Менее 0,00125	Менее 0,0005
2011 г. осень	Свинец	0,170±0,076 P<0,05	0,135±0,063 P<0,05	0,230±0,095 P<0,05	0,179±0,079 P<0,05	0,336±0,130 P<0,05	Менее 0,001
	Кадмий	0,015±0,012 P>0,1	0,012±0,008 P>0,1	Менее 0,01	0,013±0,008 P>0,1	0,031±0,016 P>0,1	0,0005±0,00013 P<0,01
	Медь	1,20±0,53 P<0,05	0,92±0,44 P<0,05	0,70±0,37 P>0,1	0,88±0,44 P<0,05	0,80±0,40 P<0,05	0,008±0,002 P<0,001
	Цинк	15,66±4,60 P<0,01	13,05±4,00 P<0,01	17,00±4,80 P<0,01	17,14±4,80 P<0,01	15,46±4,60 P<0,01	0,090±0,023 P<0,01
	Мышьяк	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,01
	Хром	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,1	Менее 0,01
	Ртуть	Менее 0,001	Менее 0,001	Менее 0,001	Менее 0,001	Менее 0,001	Менее 0,005

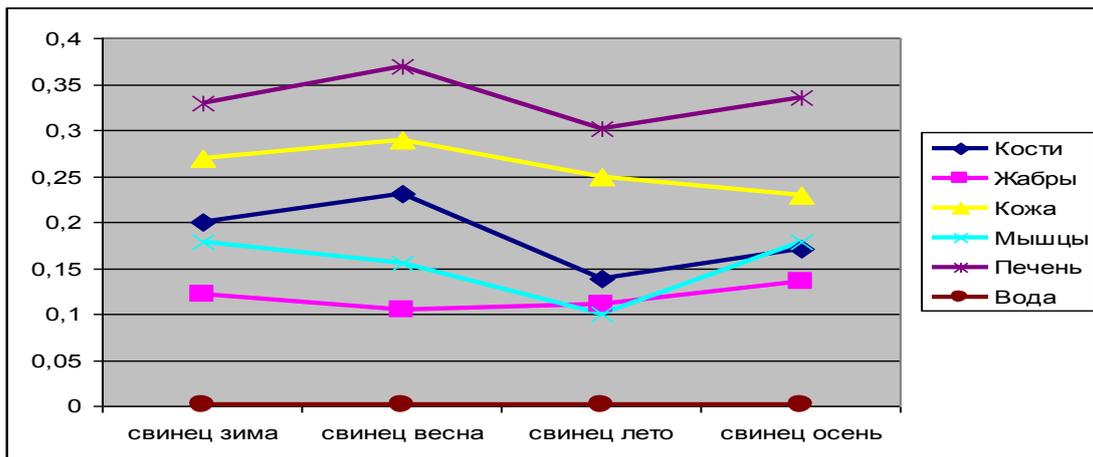


Рис. 1. Динамика распределения солей свинца в различных органах рыб реки Чулым г. Ачинска в зависимости от сезонов года, 2011 год

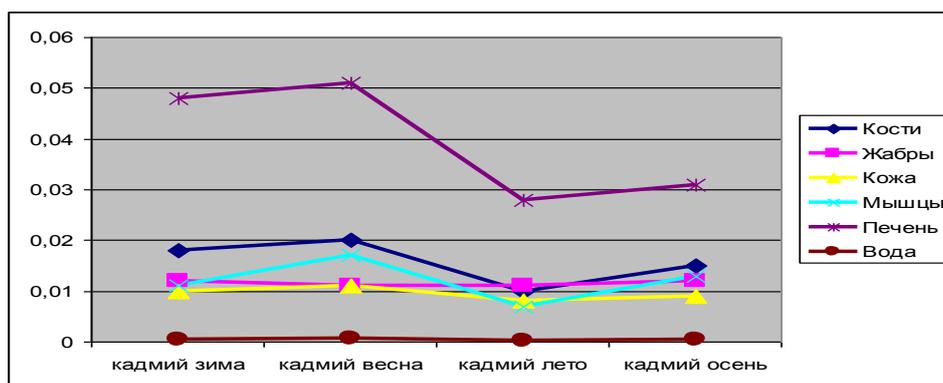


Рис. 2. Динамика распределения солей кадмия в различных органах рыб реки Чулым г. Ачинска в зависимости от сезонов года, 2011 год

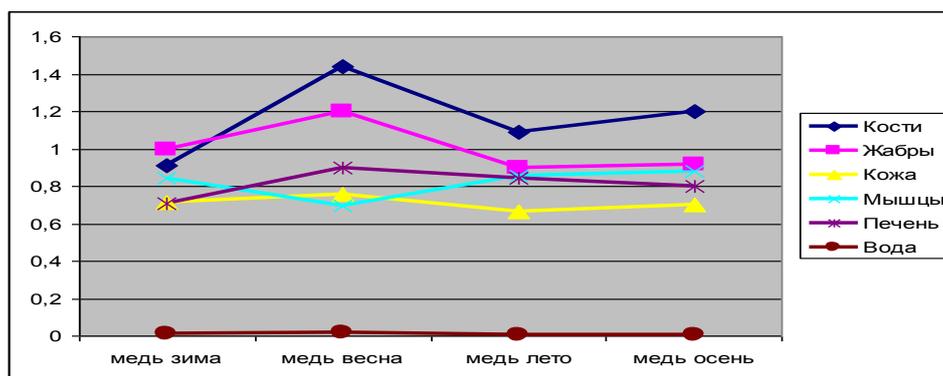


Рис. 3. Динамика распределения солей меди в различных органах рыб реки Чулым г. Ачинска в зависимости от сезонов года, 2011 год

Как видно на рисунке 3, наибольшее количество соединений меди обнаружено в жабрах и костях, наименьшее содержание токсикоэлемента отмечено в остальных органах и тканях рыб.

Наибольшее количество солей меди в мышцах определили в осенний период – 0,880 мг/кг, в остальных органах – весной. Наименьшее количество соединений меди в мышцах обнаружили в весенний период – 0,697 мг/кг; в костях – 0,909 мг/кг и печени – 0,705 мг/кг – зимой ($r = -0,395$); в жабрах – 0,901 мг/кг и коже – 0,664 мг/кг – в летний период ($r = -0,384$).

Наибольшая связь в накоплении соединений меди отмечена между жабрами и печенью – $r = 0,302$, мышцами и печенью – $r = 0,326$. Связь отрицательная между накоплением соединений меди в коже и жабрах – $r = -0,384$; коже и печени – $r = -0,226$; костях и жабрах – $r = -0,701$, костях и мышцах – $r = -0,206$; костях и печени – $r = -0,395$; коже и мышечной ткани – $r = -0,247$.

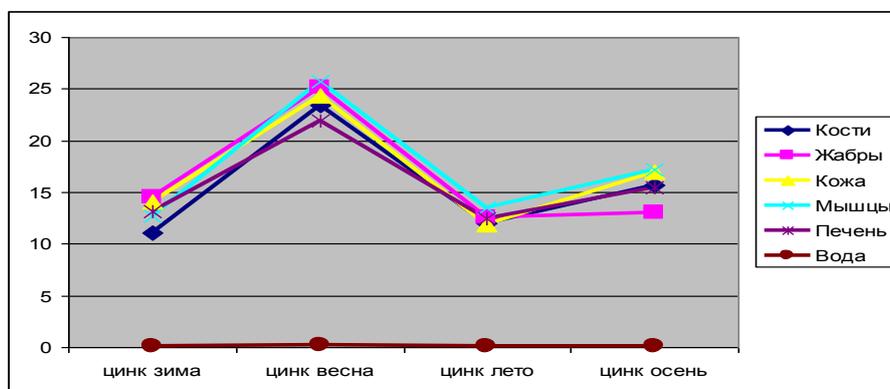


Рис. 4. Динамика распределения солей цинка в различных органах рыб реки Чулым г. Ачинска в зависимости от сезонов года, 2011 год

Как видно из графиков, изображенных на рисунке 4, наибольшее количество соединений цинка обнаружено в жабрах, мышцах и коже, наименьшее содержание токсикоэлемента отмечено в печени и костях рыб. Наибольшее количество солей цинка во всех органах и тканях рыб определили в весенний период. Наименьшее количество соединений цинка в костях – 11,120 мг/кг и мышцах – 12,720 мг/кг – зимой ($r = -0,041$), в остальных органах и тканях рыб – летом.

Более выраженная связь в накоплении солей цинка отмечена между костями и печенью – $r = 0,717$; костями и кожей – $r = 0,685$. Взаимосвязь отрицательна между накоплением токсикоэлемента в жабрах и мышечной ткани – $r = -0,200$; костях и мышцах – $r = -0,041$; мышцах и печени – $r = -0,045$.

Как видно на рисунке 5, наибольшее количество соединений ртути обнаружено в печени, костях и коже, наименьшее содержание токсикоэлемента отмечено в жабрах и мышцах рыб. Наибольшее количество соединений ртути в печени – 0,0051 мг/кг, костях – 0,004 мг/кг и коже – 0,003 мг/кг определили весной, в жабрах – 0,0023 мг/кг и мышцах – 0,002 мг/кг – зимой ($r = 0,361$). В костях, печени и жабрах осенью, а также в коже, мышцах и печени в летний период уровень соединений ртути был ниже предела обнаружения.

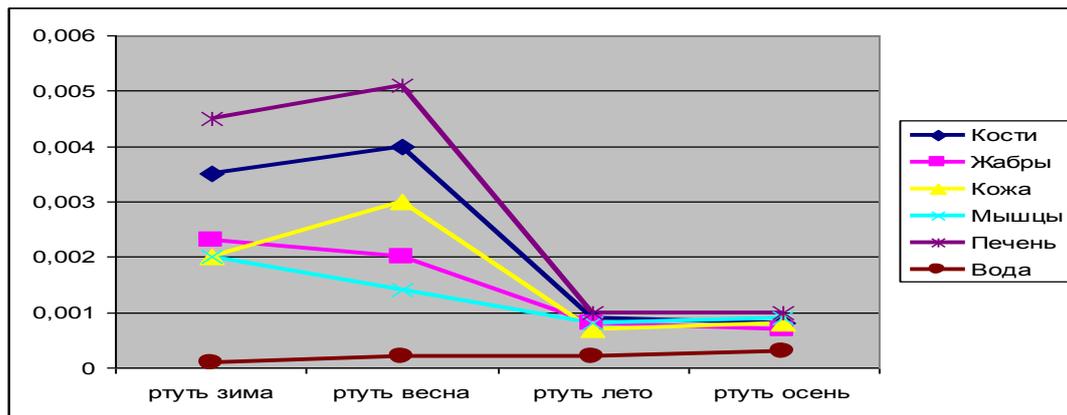


Рис. 5. Динамика распределения солей ртути в различных органах рыб реки Чулым г. Ачинска в зависимости от сезонов года, 2011 год

Более выраженная связь в накоплении токсикоэлемента отмечена между костями и мышечной тканью – $r = 0,694$, жабрами и кожей – $r = 0,416$. Отрицательная связь отмечена между накоплением солей ртути в жабрах и печени – $r = -0,378$, костях и коже – $r = -0,351$; коже и печени – $r = -0,512$; мышцах и печени – $r = -0,399$.

В ходе выполнения работы были использованы математические и статистические расчеты.

На основании полученных коэффициентов корреляции были выведены эмпирические уравнения регрессии в отношении содержания соединений тяжелых металлов в мышцах по значениям их содержания в костях.

1. Эмпирическое уравнение регрессии в отношении содержания соединений свинца в мышцах (Y_x) по значениям их содержания в костях (x) имеет вид

$$Y_x = 0,056x + 0,142, \text{ коэффициент регрессии} = 0,056.$$

2. Эмпирическое уравнение регрессии в отношении содержания соединений меди в мышцах (Y_x) по значениям их содержания в костях (x) имеет вид

$$Y_x = -0,170x + 0,942, \text{ коэффициент регрессии} = -0,170.$$

3. Эмпирическое уравнение регрессии в отношении содержания соединений кадмия в мышцах (Y_x) по значениям их содержания в костях (x) имеет вид

$$Y_x = -0,25x + 0,022, \text{ коэффициент регрессии} = -0,25.$$

4. Эмпирическое уравнение регрессии в отношении содержания соединений цинка в мышцах (Y_x) по значениям их содержания в костях (x) имеет вид

$$Y_x = 0,575x + 13,683, \text{ коэффициент регрессии } 0,575.$$

5. Эмпирическое уравнение регрессии в отношении содержания соединений цинка в мышцах (Y_x) по значениям их содержания в костях (x) имеет вид

$$Y_x = 0,45x - 0,0004, \text{ коэффициент регрессии } 0,45.$$

Выводы

1. Результаты, полученные в ходе проведенных исследований, не превышают максимально допустимых уровней содержания тяжелых металлов в воде и рыбе р. Чулым Ачинского района (СанПиН 2.3.2. 1078-01 от 2002 г.).

2. Фактическое содержание соединений тяжелых металлов в воде и тканях рыбы исследуемого водоема, тем не менее, свидетельствует о природно-антропогенном воздействии на данную экосистему.

3. Прослеживается следующая динамика накопления токсикоэлементов в связи с сезонностью: наибольшее загрязнение тяжелыми металлами отмечается в весенний период, в осенний и зимний периоды контаминация токсикоэлементами водоема несколько ниже, чем весной, наименьшее содержание соединений тяжелых металлов определяется летом.

4. Наиболее высокие уровни свинца, кадмия, ртути определяются в печени рыбы, меди – в костях и жабрах, цинка – в коже, жабрах и мышцах. Минимальные количества меди и кадмия – в коже, ртути – в мышцах, свинца – в жабрах, цинка – в коже и костях.

5. На основании проведенных исследований рекомендуется постоянный эколого-токсикологический мониторинг гидробионтов в р. Чулым Ачинского района.

6. Эмпирические уравнения регрессии позволяют устанавливать уровни содержания токсикоэлемента исследуя один орган, во втором – расчетным путем.

Литература

1. Государственный отчет о состоянии окружающей природной среды Иркутской области, 1996. – Иркутск, 1997. – С. 230.
2. Давыдова С.Л., Тагасов В.И. Тяжелые металлы как супертоксиканты XXI века. – М.: Изд-во РУДН, 2002. – С. 140.
3. Морозова С.П. Поступление ртути и мышьяка с рационами питания в организм взрослых и детей // Гигиена и санитария. – 1991. – № 7. – С. 38–40.
4. Эпидемиологические подходы к диагностике экологозависимых болезней / С.В. Нагорный [и др.] // Медицина труда и промышленная экология. – 2002. – №1. – С. 31–35.
5. Forsther U. Integrated pollution control. – Berlin, 1995. – Chapter 3.3. – P. 100–107.

