

УДК 577.4: 282.2

Л. М. Чухлебова¹, Н. В. Бердников², Н. М. Панасенко¹

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ВОДЕ, ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ И МЫШЦАХ РЫБ РЕКИ АМУР

Работа посвящена изучению распределения и накопления тяжелых металлов (ТМ) в системе «вода — взвеси — донные отложения — рыбы» р. Амур. Использование геохимического метода исследования Cu, Zn, Pb, Cd в грунтах, взвесьях и воде позволяет утверждать, что металлы поступают в воды Амура с природными источниками, являясь особенностью региона. Исследование сезонной динамики накопления ТМ показало, что максимальные колебания концентраций цинка, меди и свинца в водной среде наблюдаются в периоды весеннего половодья и летней межени, когда в водоем поступает много терригенной взвеси. Анализ некоторых видов амурских рыб показал, что содержание ТМ (Cu, Zn, Pb, Cd) в мышечной ткани не превышает значений ПДК для пищевых объектов.

Ключевые слова: р. Амур, вода, взвеси, донные отложения, пресноводные виды рыб, цинк, медь, кадмий, свинец.

Река Амур является основным рыбохозяйственным водоемом и источником питьевого водоснабжения населения на обширной территории юга Дальнего Востока России, охватывающей Амурскую область, Еврейскую автономную область и Хабаровский край. В связи с этим экологическое состояние этой водной системы, в частности содержание и распределение в ней тяжелых металлов, представляет особый интерес. Тяжелые металлы в водоемах постоянно перераспределяются между отдельными компонентами водных экосистем, накапливаясь в гидробионтах различных трофических уровней [15]. Для оценки экологического состояния водных экосистем широко применяется метод биогеохимической индикации, в котором в качестве индикаторов используются вода с взвешенными веществами, донные отложения, планктон, перифитон, бентос, органы и ткани рыб. Донные отложения способны накапливать весь комплекс химических веществ, присутствующих в речной воде [5]. Рыбы интегрируют неблагоприятные воздействия, имеют большие размеры и продолжительность жизни, обладают резистентностью к сублетальным воздействиям различных соединений. Исследования по содержанию микроэлементов в промысловых рыбах необходимы, так как высокая концентрация ряда тяжелых металлов может привести к остановке роста рыб и уменьшению их популяции [14].

Работа посвящена исследованию процессов распределения, накопления, анализу движения подвижных форм меди, цинка, кадмия и свинца в воде,

© Чухлебова Л. М., Бердников Н. В., Панасенко Н. М., 2011

взвешенном веществе, донных отложениях, мышечных тканях рыб и выделению компонентов водной экосистемы, максимально накапливающих тяжелые металлы в основном русле р. Амур (пос. Синда).

Материал и методика исследований. Отбор проб воды, донных отложений и отлов рыбы проводили по всей ширине реки в период открытого русла 2007 г. на стационаре Хабаровского филиала ТИНРО-центра (пос. Синда), расположенном в 120 км от г. Хабаровска вниз по течению реки.

Воду отбирали с поверхностных слоев батометром и пропускали через мембранный фильтр Владипор типа МФАС-ОС-1 с диаметром пор 0,45 мкм, общей пористостью 80—85% [3]. Фильтры с осадком помещали в предварительно взвешенный бюкс и подсушивали сначала на воздухе, а потом в сушильном шкафу при температуре 105°C до постоянной массы. Осадок с фильтра смывали в стеклотигель, а фильтр опять подсушивали до постоянной массы и взвешивали, по разности определяли массу осадка. К осадку добавляли смесь концентрированных азотной и фтористоводородной кислот в соотношении 1:1 и выпаривали досуха. Затем осадок дважды обрабатывали азотной кислотой и перекисью водорода, добиваясь его полного разложения. После выпаривания осадок растворяли в 10 см³ 10%-ного р-ра азотной кислоты и хорошо прогревали. Полученный однородный раствор помещали в емкости 50 см³ и доводили до метки 2%-ной азотной кислотой.

Донные отложения отбирали дночерпателем Петерсона из верхнего нарушенного слоя. Пробы донных отложений высушивали, перетирали и подвергали кислотному разложению. Для этого 0,05 г пробы, помещенной в тигли из стеклотигель, обрабатывали 5 см³ смеси концентрированных азотной и фтористоводородной кислот в соотношении 1:1 и выпаривали на медленном огне досуха. Затем осадок дважды обрабатывали 2 см³ концентрированной азотной кислоты и 2 см³ перекиси водорода. Операцию повторяли до полного разложения осадка. После выпаривания пробу обрабатывали 10 см³ 10%-ного р-ра азотной кислоты и хорошо прогревали. Раствор переносили в емкости 50 см³ и доводили до метки 2%-ной азотной кислотой.

Пробы рыб для анализа брали из сетных (сеть ставная — длина 75 м, ячей 20—70 мм и сеть плавная — длина 250 м, ячей 40—70 мм) уловов сотрудника Хабаровского филиала ТИНРО-центра Р. А. Ершова, разрешение № 003742 на вылов водных биологических ресурсов в научно-исследовательских целях от 24 мая 2007 г. выдано Хф ФГУП «ТИНРО-Центр» на 2007 г.

Для исследования отбирали по 5 ос. рыб половозрелого возраста со следующими размерно-весовыми характеристиками: карась серебряный (*Carassius auratus* L., 1758 [4]) — длина тела (AD) варьировала от 23,0 до 30,0 см (средняя 23,2), масса — от 350 до 700 г (средняя 440 ± 70), возраст 3+...4+; конь пестрый (*Hemibarbus maculatus* V., 1871) — длина 34,0—40,0 см (средняя 36,5), масса 500—780 г (средняя 653 ± 85), возраст 4+...5+; косатка-скрипун (*Pelteobagrus fulvidraco* R., 1872) — длина 26,0—34,0 см (средняя 29,0), масса 150—270 г (средняя 200 ± 30), возраст 3+...4+; толстолобик белый (*Hypoph-*

thalmichthys molitrix V., 1844) — длина 41,0—75,0 см (средняя 52,0), масса 800—2500 г (средняя 1720 ± 220), возраст 3+...5+.

Пробы мягких тканей рыб разлагали способом мокрой минерализации, основанным на полном разрушении органического вещества при нагревании с азотной кислотой с добавлением перекиси водорода. Навеску тканей рыб массой 1 г от каждой особи помещали в стеклоуглеродные тигли, прибавляли 5 см³ азотной кислоты и 2 см³ перекиси водорода и оставляли на сутки. На следующий день раствор выпаривали и начинали поэтапное кислотное разложение: добавляли 3 см³ смеси концентрированных азотной и фтористоводородной кислот в соотношении 1 : 1 и выпаривали досуха. К сухому остатку приливали 10 см³ 10%-ного р-ра азотной кислоты и нагревали до кипения. Полученные прозрачные растворы переносили в одноразовые полипропиленовые пробирки емкостью 50 мл и доводили до метки бидистиллированной водой [2, 13].

Для всех видов пробоподготовки применяли пластиковые емкости 50 см³ из полипропилена высокой химической устойчивости производства SARSTEDT AG&Co (Германия) и кислоты квалификации не ниже ОСЧ. Азотную кислоту дополнительно перегоняли на установке BSB-939-IR производства BERGHOF (Германия).

Содержание тяжелых металлов в подготовленных таким образом пробах определяли на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой ICP-MS ELAN DRC II фирмы Perkin Elmer (США) в лаборатории физико-химических методов исследования Института тектоники и геофизики ДВО РАН (г. Хабаровск), аналитик Д. В. Авдеев. Содержание металлов в воде приведено в микрограммах на 1 см³, во взвесах и донных отложениях — в миллиграммах на 1 кг, в мышцах рыб — в миллиграммах на 1 кг сырой массы. Полученные результаты обрабатывали методом вариационной статистики [9].

Результаты исследований и их обсуждение

Тяжелые металлы в воде и взвесах. Сезонная динамика содержания ТМ в воде на изучаемом участке реки Амур представлена в таблице 1. Сезонные исследования показали, что максимальные колебания концентрации цинка и меди в воде отмечены в периоды весеннего половодья и летней межени, когда в Амур поступает много различных взвесей из природных источников. Так, в апрельских и июньских пробах воды у правого берега концентрация цинка была превышена и составила в среднем по всему периметру реки соответственно 16,10 и 19,20 мкг/дм³, что превышает ПДК для водных объектов рыбохозяйственного назначения. Концентрация меди в апреле по всей ширине реки составила от 1,69 до 10,90 мкг/дм³, в августе — от 1,24 до 3,17 мкг/дм³. Концентрация кадмия в воде р. Амур, как и свинца, не превышала ПДК для водных объектов рыбохозяйственного назначения.

Результаты пятилетних исследований (2002—2007 гг.) показывают, что воды Амура по содержанию соединений цинка и меди относятся к умеренно загрязненным, по содержанию свинца — к слабо загрязненным, по кадмию — к чистым водоемам, согласно интегральной оценочной шкале, разрабо-

1. Содержание ТМ в воде р. Амур на участке исследования (мкг/дм³)

Металлы	Места отбора проб воды	Апрель	Май	Июнь	Август	Октябрь
Zn (10,0)	Правый берег	43,19	< 0,001	55,04	3,23	< 0,001
	Середина	4,98	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
	Левый берег	< 0,001	< 0,001	2,57	< 0,001	< 0,001
	Среднее	16,10	< 0,001	19,20	1,10	< 0,001
Cu (1,0)	Правый берег	6,55	< 0,001	< 0,001	2,40	1,24
	Середина	1,69	2,94	0,87	3,17	< 0,001
	Левый берег	10,90	4,85	0,74	1,24	< 0,001
	Среднее	6,38	2,60	0,54	2,27	< 0,001
Cd (5,0)	Правый берег	0,02	< 0,001	0,02	< 0,001	< 0,001
	Середина	0,05	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
	Левый берег	0,01	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
	Среднее	0,03	< 0,001	0,007	< 0,001	< 0,001
Pb (6,0)	Правый берег	5,19	0,22	0,67	0,78	0,58
	Середина	3,21	0,28	0,40	1,00	0,43
	Левый берег	2,21	0,19	0,52	0,87	0,68
	Среднее	3,54	0,23	0,53	0,88	0,56

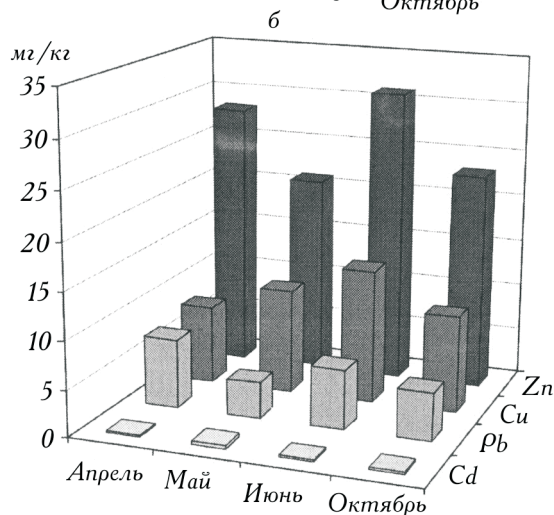
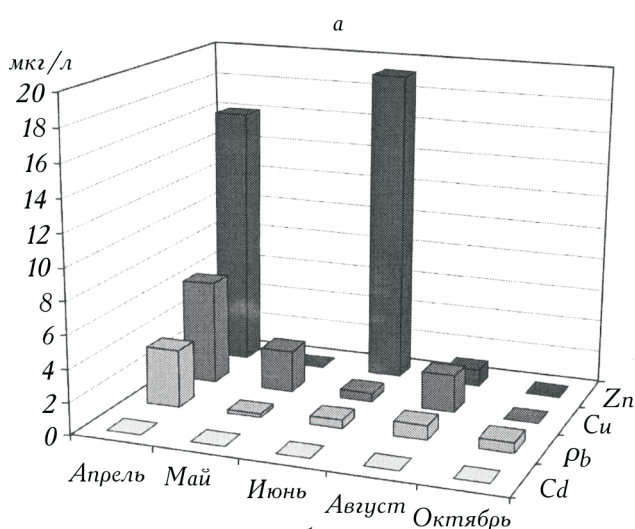
Примечание. В скобках — ПДК тяжелых металлов для воды водных объектов рыбохозяйственного назначения [17].

2. Содержание ТМ во взвешках на участке исследования (мг/кг сухой массы)

Металлы	Места отбора проб воды	Апрель	Май	Июнь	Октябрь
Zn	Правый берег	1,00	33,20	30,71	14,90
	Середина	56,14	17,37	31,40	39,40
	Левый берег	27,45	12,27	31,20	14,61
	Среднее	28,20	20,95	31,10	22,97
Cu	Правый берег	9,13	13,11	13,55	13,88
	Середина	10,39	9,83	15,30	10,85
	Левый берег	5,25	10,07	13,71	6,16
	Среднее	8,26	11,00	14,19	10,30
Cd	Правый берег	0,02	0,11	0,14	0,15
	Середина	0,20	0,07	0,10	0,11
	Левый берег	0,11	1,00	0,11	0,06
	Среднее	0,11	0,39	0,12	0,11

Продолжение табл. 2

Металлы	Места отбора проб воды	Апрель	Май	Июнь	Октябрь
Pb	Правый берег	0,97	6,26	6,62	4,41
	Середина	11,32	4,73	6,83	6,66
	Левый берег	9,72	0,65	5,60	4,26
	Среднее	7,34	3,88	6,35	5,11



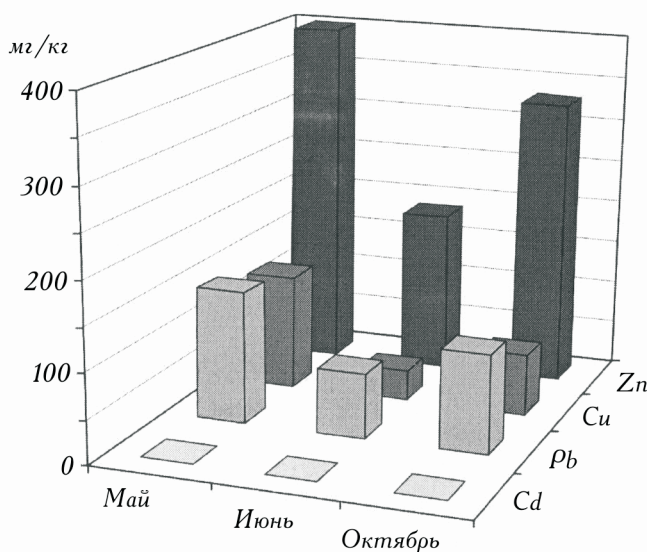
1. Средние значения концентрации ТМ в воде (а) и взвешенном веществе (б) р. Амур по всему профилю реки.

танной Л. В. Михайловой [10] на основе многочисленных классификаций качества воды водоемов разных авторов. Тяжелые металлы активно адсорбируются взвесьями. Данные по содержанию цинка, меди, кадмия и свинца во взвесьях приведены в табл. 2.

Максимальное содержание цинка отмечено во взвесьях с середины реки в апреле и июне. Значительная концентрация меди обнаружена во взвесьях в июне возле правого берега и на середине реки. Повышенное содержание свинца, но не выше значений ПДК, отмечалось по всему руслу реки в апреле и июне. Наблюдалось равномерное распределение соединений кадмия в воде и взвешенном веществе по всему руслу реки во все месяцы наблюдения. Динамика среднего содержания ТМ в воде и взвесьях по все-

му профилю реки представлена на рисунке 1.

Тяжелые металлы в донных отложениях. Среднегодовое количество наносов в р. Амур у г. Хабаровска составляет 24 млн. т. Внутригодовое распределение мутности воды довольно сложное: весной с поступлением талых вод мутность воды обычно не превышает 100 г/м^3 , в период летней межени содержание взвешенных веществ в воде снижается до $30\text{—}40 \text{ г/м}^3$. Самые высокие значения



2. Сезонная динамика содержания тяжелых металлов в донных отложениях.

концентрации взвешенных веществ (до $300\text{—}400 \text{ г/м}^3$) отмечаются в воде р. Амур во время прохождения летне-осенних паводков, водная эрозия наиболее интенсивно проявляется в теплый период времени [11, 16]. Согласно проведенным исследованиям, донные отложения Амура на участке наблюдения существенно загрязнены цинком, свинцом и, в меньшей степени, медью (рис. 2). Их накопление преимущественно происходит в периоды весеннего половодья и осенней межени.

Содержание цинка, свинца и меди в донных отложениях согласуется с их содержанием в различных видах почв Приамурья [7, 8], из чего следует, что обогащение донных отложений Амура свинцом и цинком в настоящее время является их региональной особенностью [6].

Тяжелые металлы в мышцах рыб. Рыбы занимают верхний уровень в трофической системе водоемов. Ионы меди, цинка и кадмия поступают в их организм преимущественно с пищей [22], однако в условиях дефицита микроэлементов в пище и высокой концентрации ТМ в воде поступление с водой также играет значительную роль [23, 24]. Высокое содержание отдельных химических элементов у рыб обусловлено их биоаккумуляцией фитопланктоном и сестоном [19]. Как известно, высокий уровень содержания цинка наблюдается в мышцах рыб [20]. У рыб старшего возраста установлена положительная корреляция между содержанием меди, цинка, свинца в мышцах и возрастом [1]. Нашими исследованиями показано, что по сравнению с другими металлами содержание цинка в мышцах амурских видов рыб было высоким и изменялось в широких пределах, что может свидетельствовать об его активном участии в обменных процессах. Особенно высокая концентрация цинка, но ниже значений ПДК, отмечена у карася и белого толстолоби-

3. Содержание тяжелых металлов в мышцах отдельных видов рыб (мг/кг сырой массы, $M \pm m$, $n = 5$)

Сезоны года	Cu	Zn	Cd	Pb
Конь пестрый				
Весна	0,96 ± 0,48	6,58 ± 2,65	0,01 ± 0,008	0,01 ± 0,001
Лето	0,63 ± 0,21	9,75 ± 4,37	0,20 ± 0,08	0,05 ± 0,003
Осень	0,42 ± 0,19	11,25 ± 4,61	0,10 ± 0,06	0,04 ± 0,016
Карась серебряный				
Весна	0,51 ± 0,23	3,25 ± 1,44	0,01 ± 0,004	0,01 ± 0,005
Лето	0,76 ± 0,25	17,73 ± 5,57	0,02 ± 0,008	0,02 ± 0,012
Осень	3,16 ± 1,66	32,37 ± 11,88	0,01 ± 0,004	0,02 ± 0,001
Косатка-скрипун				
Весна	1,08 ± 0,70	4,71 ± 1,97	0,003 ± 0,001	0,01 ± 0,008
Лето	0,41 ± 0,19	6,35 ± 2,31	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,009
Осень	1,13 ± 0,74	13,90 ± 5,78	0,03 ± 0,01	0,64 ± 0,25
Толстолобик белый				
Весна	1,03 ± 0,41	3,01 ± 1,20	0,06 ± 0,02	0,02 ± 0,006
Лето	1,75 ± 1,15	7,74 ± 4,44	0,05 ± 0,02	0,006 ± 0,003
Осень	1,23 ± 0,45	20,16 ± 8,52	Не обнаружено	0,04 ± 0,02
ПДК для пищевых продуктов [17]	10,00	40,00	0,20	1,00
Фоновое содержание [12]	1,70	22,20	0,10	0,75

ка, отловленных в осеннее время. Медь в мышцах исследованных видов рыб содержится в небольших количествах, относительно ПДК для пищевых объектов. Высокая концентрация кадмия, выше показателя ПДК для пищевых продуктов [17] — (0,26 мг/кг) — обнаружена у коня пестрого, отловленного в летнее и осеннее время, что предполагает его нахождение в составе клеток других водных организмов, составляющих основу кормовой базы этого вида [22]. Кроме того, этот элемент обладает определенным влиянием на некоторые ферменты и гормоны и необходим организмам для углеродного обмена [15].

В таблице 3 представлены значения концентрации тяжелых металлов в мышечной ткани амурских видов рыб старшего возраста, отловленных на исследуемом участке р. Амур в период открытого русла 2007 г.

Не обнаружено превышения ПДК для пищевых продуктов по содержанию свинца в мышцах исследованных рыб [17]. По сравнительной оценке,

4. Корреляция между содержанием ТМ в компонентах водной среды и мышцах рыб (период открытой воды р. Амур)

Металлы	Вода	Взвеси	Донные отложения	Рыбы
Вода				
Zn	1,00	—	—	—
Cu	1,00	—	—	—
Cd	1,00	—	—	—
Pb	1,00	—	—	—
Взвеси				
Zn	0,51	1,00	—	—
Cu	0,62	1,00	—	—
Cd	0,13	1,00	—	—
Pb	0,18	1,00	—	—
Донные отложения				
Zn	0,31	0,35	1,00	—
Cu	0,49	0,08	1,00	—
Cd	0,31	0,21	1,00	—
Pb	0,66	-0,01	1,00	—
Рыбы				
Zn	-0,19	-0,32	-0,53	1,00
Cu	0,63	0,80	0,03	1,00
Cd	-0,27	0,44	0,03	1,00
Pb	0,35	-0,28	0,28	1,00

средние значения концентрации ТМ в мышцах амурских рыб не превышали фонового содержания этих микроэлементов в промысловой ихтиофауне Мирового океана [12]. Важную роль в накоплении металлов в организме рыб играют кормовые условия. Поскольку повышенное содержание тяжелых металлов наблюдается у коня пестрого с бентосным типом питания, а нагульный период приходится на летние месяцы и начало осени, увеличение содержания ТМ связано с поступлением их с пищевыми компонентами.

Проанализирована зависимость между концентрацией ТМ в компонентах водной среды (вода, взвеси, донные отложения) и их содержанием в мышечных тканях рыб (табл. 4). Установлена высокая положительная корреляция между содержанием меди во взвесах и мышечной ткани рыб ($r = 0,80$). Средняя степень сопряженности отмечена между содержанием меди в воде и мышцах рыб ($r = 0,63$), свинца в воде и донных отложениях ($r = 0,66$), меди и цинка в воде и взвесах ($r = 0,62$ и $r = 0,51$ соответственно). Такие ре-

зультаты дают основание утверждать, что концентрация меди в мышцах рыб напрямую зависит от ее содержания в воде и взвесьях. Уровень содержания свинца, цинка и меди во взвесьях и донных отложениях зависит от содержания этих элементов в воде. Связь между содержанием цинка в воде, взвесьях и донных отложениях и содержанием его в мышцах рыб не установлена. Связи между концентрацией кадмия в воде и мышцах рыб, а также между содержанием свинца во взвесьях и мышцах рыб, не обнаружено.

Заключение

Таким образом, исследования основного русла Амура показали, что водная экосистема чутко реагирует на загрязнение тяжелыми металлами. В контактных зонах «вода — взвешенное вещество», «вода — донные отложения» существуют сезонные изменения в миграциях ТМ. Донные отложения исследуемого участка реки обогащены соединениями цинка, меди, свинца, особенно в периоды весеннего половодья и летней межени, что неизбежно приводит к постепенному поступлению их в воду

Концентрация цинка, меди, свинца в мышечных тканях исследованных рыб незначительна и не превышает ПДК для пищевой продукции. Исключением служит превышение ПДК по кадмию (0,2 мг/кг) в мышечной ткани коня пестрого (0,26 мг/кг), что обусловлено его активным питанием в летние месяцы и в начале осени и присутствием этого элемента в высоких концентрациях в пищевых компонентах.

**

*Роботу присвячена вивченню розподілу і накопичення важких металів в системі «вода — зависі — донні відклади — риби» р. Амур. Дослідження сезонної динаміки важких металів показало, що найвищі концентрації цинку, міді та свинцю у водному середовищі спостерігалися в квітні, а в донних відкладах — в травні і жовтні. Розподіл кадмію у воді і зависях рівномірний, а цинк, мідь і свинець концентруються у зависях. У деяких видів риб (*Hemibarbus maculatus*) вміст кадмію перевищує ГДК для харчових продуктів.*

**

The distribution and accumulation of heavy metals studied in the system «water — suspended matter — bottom sediments — fishes» of the Amur River. The use of the geochemical method of the study of Cu, Zn, Pb, and Cd in bottom sediments, suspended matter, and water makes it possible to conclude that these metals enter the water of the Amur River with natural sources. The study of seasonal dynamics of heavy metals accumulation has shown that the maximal changes in the concentration of zinc, copper, and lead in the aquatic environment were observed during the period of spring flood and in summer at the lowest water level. Analysis of some species of fishes occurring in the Amur River has shown that the content of heavy metals (Cu, Zn, Pb, and Cd) in their muscles was not higher than their limiting permissible concentration in the food.

**

1. Гомбоева С.В., Пронин Н.М. Возрастные изменения содержания тяжелых металлов (Cu, Zn, Cd, Pb) в органах и тканях плотвы сибирской и

- щуки селенгинского мелководья оз. Байкал // Экология. — 2007. — № 4. — С. 314—316.
2. *ГОСТ 26929-94*. Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов. Введен в действие Межгосуд. советом по стандартизации, метрологии и сертификации 1996-01-01. — Минск, 1996. — 30 с.
 3. *ГОСТ Р 51592-2000*. Вода. Общие требования к отбору проб. Введен в действие Госстандартом РФ от 21.04.2000, № 117-ст. — М.: ИПК Изд-во стандартов, 2000. — 35 с.
 4. *Новомодный Г.В., Золотухин С.Ф., Шаров П.О.* Рыбы Амура: богатство и кризис. — Владивосток: Апельсин, 2004. — 63 с.
 5. *Гусева Т.М., Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф. и др.* Исследование донных отложений как метод оценки антропогенной нагрузки на водные экосистемы // Вопросы региональной экологии: Тез. докл. IV регион. науч.-практ. конф., 22—23 июня 2000 г. — Тамбов: Изд-во Тамбов. ун-та, 2000. — С. 83—84.
 6. *Ивашов П.В.* Биогеохимическая индикация природных и техногенных концентраций химических элементов в окружающей среде. — Владивосток: ДВО РАН, 1992. — 179 с.
 7. *Кот Ф.С.* Тяжелые металлы в донных отложениях Среднего и Нижнего Амура // Биогеохимические и экологические оценки техногенных экосистем бассейна реки Амур. — Владивосток: Дальнаука, 1994. — С. 123—135.
 8. *Кот Ф.С.* Рассеянные металлы в донных отложениях р. Амур и зоны смешения в Охотском море. Оценка антропогенной составляющей // Геохимические и биогеохимические процессы в экосистемах Дальнего Востока. — Владивосток: Дальнаука, 1999. — Вып. 9. — С. 80—91.
 9. *Лакин Г.Ф.* Биометрия. — М.: Высш. шк., 1990. — 351 с.
 10. *Михайлова Л.В.* Интегральная оценка качества воды и донных отложений р. Тура // Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем. Сборник материалов междунар. конф. — СПб.: ЛЕМА, 2007. — С. 61—67.
 11. *Многолетние* данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. — Л.: Гидрометеиздат, 1986. — Т. 1, вып. 9. — 412 с.
 12. *Морозов Н.П., Петухов С.А.* Микроэлементы в промысловой ихтиофауне Мирового океана. На примере микроэлементов группы металлов. — М.: Агропромиздат, 1986. — 160 с.
 13. *МУК 4.1.1483-03* (Методические указания). Определение содержания химических элементов в диагностируемых биосубстратах, препаратах и биологически активных добавках методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной аргонной плазмой. Введены в действие 2003-06-30. — М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. — 75 с.
 14. *Немова Н.Н.* Биохимическая индикация состояния рыб. — М.: Наука, 2004. — 215 с.
 15. *Никаноров А.М., Жулигов А.В., Покаржевский А.Д.* Биомониторинг тяжелых металлов в пресноводных экосистемах. — Л.: Гидрометеиздат, 1985. — 144 с.

16. *Основные* гидрологические характеристики. — Л.: Гидрометеиздат, 1978. — Т. 18, вып. 2. — 97 с.
17. *Перечень* рыбохозяйственных нормативов предельно-допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно-безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. — М.: ВНИРО, 1999. — 304 с.
18. *Санитарные* правила и нормы (СанПиН) 2.3.2.560—96. Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов. — М., 1997. — 269 с.
19. *Сиротский С.Е., Макарченко Е.А., Макарченко М.А., Мегведева Л.А.* Оценка качества вод бассейна р. Амур по гидробиологическим показателям // Амур на рубеже веков. — Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 1999. — Ч. 1. — С. 36—38.
20. *Andreji J., Stranai I., Massanyi P., Valent M.* Accumulation of some lower Nitra river // J. Environ Sci. and Health. — 2006. — Vol. 41, N 11. — P. 2607—2822.
21. *Bury N.R., Walker P.A., Glover C.N.* Nutritive metal uptake in teleost fish // J. Exp. Biol. — 2003. — Vol. 206, N 1. — P. 11—23.
22. *Brown D.A., Bay S.M., Hershelman G.P.* Exposure of scorpionfish (*Scorpaena guttata*) to cadmium: effects of acute and chronic exposures on the cytosolic distribution of cadmium, copper and zinc // Aquat. Toxicol. — 1990. — Vol. 16, N 4. — P. 295—310.
23. *Kamunde C.N., Grosell M., Higgs D., Wood C.M.* Copper metabolism in actively growing rainbow trout interactions between dietary and waterborne copper uptake // J. Exp. Biol. — 2002. — Vol. 205, N 2. — P. 279—290.
24. *Kuznetsova A.J., Zarubina O.V., Leonova G.A.* Comparison of Zn, Cu, Pb, Ni, Cr, Sn, Mo concentrations in tissues of fish (roach and perch) from Lake Baikal and Bratsk reservoir, Russia // Environ. Geochem. Health. — 2002. — Vol. 24, N 3. — P. 205—212.

¹ Хабаровский филиал Федерального государственного унитарного предприятия «Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр» (ХФ ТИНРО-центр)

² Институт тектоники и геофизики ДВО РАН, Хабаровск

Поступила 04.02.11