

УДК 597.5:577.170.49

П.А. Попов<sup>1</sup>, Н.В. Андросова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт водных и экологических проблем СО РАН  
(Новосибирский филиал), г. Новосибирск, Россия

<sup>2</sup>Аналитический Центр Объединенного института геологии,  
геофизики и минералогии СО РАН), г. Новосибирск, Россия

## Содержание тяжелых металлов в мышечной ткани рыб из водоемов бассейна реки Оби

Приведены результаты многолетнего (1994–2012) изучения содержания тяжелых металлов (Cd, Hg, Pb, Co, Ni, Cu, Zn, Cr, Mn, Fe) в мышечной ткани 17 видов рыб из водоемов бассейна реки Оби: рек и озер Горного Алтая, р. Томи, оз. Чаны, р. Оби в ее верхнем, среднем и нижнем течениях. Выявлено, что концентрация тяжелых металлов в пробах различается как между выборками одного и того же вида рыб из разных водоемов, так и разных видов рыб из одного водоема. Ртуть накапливается, как правило, в больших концентрациях в мышцах хищных рыб. Полученные данные позволяют считать, что характер накопления тяжелых металлов в мышечной ткани рыб Оби обусловлен особенностями конкретных условий обитания, экологии и физиолого-биохимическим статусом рыб. Уровень содержания тяжелых металлов в мышечной ткани рыб исследованных водоемов в среднем не превышает принятые в России нормы для свежих рыбопродуктов, что является косвенным подтверждением результатов определения ТМ (за исключением Fe и Cu) в водоемах Оби химическими методами.

**Ключевые слова:** река Обь; рыбы; накопление тяжелых металлов.

### Введение

Проблема накопления тяжелых металлов (ТМ) в органах и тканях рыб является актуальной в связи с продолжающимся загрязнением водоемов (рек, озер и водохранилищ) этой группой химических элементов во многих промышленно развитых странах [1–3], включая Россию [2, 4–6]. В отличие от органических соединений, ТМ в водных экосистемах существуют неопределенно долго, переходя из ионной формы в связанную с тем или иным лигандом, накапливаясь в гидробионтах в существенно большем количестве, чем в среде их обитания, становясь, таким образом, высокотоксичными для живых организмов всех трофических уровней [4, 7]. Информация об уровне и характере накопления ТМ в мышечной ткани рыб может быть использована при оценке миграции ТМ в гидроэкосистемах и индикации степени загрязнения последних металлами [1, 2, 8], а также в связи с необходимостью нормирования содержания этих элементов в рыбопродуктах [9].

Цель настоящей работы – анализ информации по содержанию ТМ в мышечной ткани (мышцах) рыб из водоемов бас. р. Оби. При этом использованы как опубликованные, так и не опубликованные ранее данные, полученные авторами в процессе проведения ИВЭП СО РАН многолетнего (1994–2012 гг.) комплексного мониторинга экологического состояния водоемов указанного бассейна.

### Материалы и методики исследований

В работе приведены сведения по содержанию ТМ в мышечной ткани 17 видов рыб из водоемов бас. р. Оби: стерлядь – *Acipenser ruthenus* Linnaeus, 1758; сибирский осетр – *Acipenser baerii* Brandt, 1869; ленок – *Brachymystax lenok* (Pallas, 1773); муксун – *Coregonus muksun* (Pallas, 1814); пелядь – *Coregonus peled* (Gmelin, 1789); сибирский хариус – *Thymallus arcticus* (Pallas, 1776); обыкновенная щука – *Esox lucius* Linnaeus, 1758; лещ – *Abramis brama* (Linnaeus, 1758); серебряный карась – *Carassius auratus* (Linnaeus, 1758); сазан – *Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758; язь – *Leuciscus idus* (Linnaeus, 1758); сибирский елец – *Leuciscus leuciscus baicalensis* (Dybowski, 1874); алтайский осман Потанина – *Oreoleuciscus potanini* (Kessler, 1879); плотва – *Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758); ерш – *Gymnocephalus cernuus* (Linnaeus, 1758); речной окунь – *Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758; обыкновенный судак – *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758); сибирский подкаменщик – *Cottus sibiricus* (Kessler, 1899).

Выборки каждого изучавшегося авторами вида рыб включали 30–35 экз. половозрелых особей без разделения по полу. Методика отбора проб металлов в органах и тканях рыб в полевых условиях изложена нами в работах [2, 6]. В мышечной ткани рыб определялось содержание кадмия (Cd), ртути (Hg), свинца (Pb), кобальта (Co), никеля (Ni), меди (Cu), цинка (Zn), хрома (Cr), марганца (Mn) и железа (Fe). Химический анализ проб осуществлялся в Аналитическом центре Объединенного института геологии, геофизики и минералогии СО РАН методом атомной абсорбции с электротермической атомизацией на приборе 3030Z с HGA-600 (Perkin Elmer, США) с зеемановской коррекцией фона (Hg – методом атомной абсорбции «холодного пара» с использованием техники амальгамации). Во всех случаях концентрация металлов определялась в сырой массе проб (таблица). Статистическую значимость различий средних арифметических значений оценивали по t-критерию исходя из нормального распределения вариант вариационных рядов, ошибки репрезентативности 10% от средней арифметической и уровня вероятности > 0,999.

### Краткая характеристика водоемов

Озера Узункель (50° 27' с.ш., 87° 40' в.д.), Джулукуль (50° 30' с.ш., 89° 45' в.д.) и Ужок (49° 15' с.ш., 87° 20' в.д.) расположены на территории Юж-

ного Алтая на высоте 1 700–2 200 м над ур. м. и являются типично олиготрофными и практически не загрязняемыми водоемами [10]. Озеро Узункель расположено в границах Акташского месторождения Hg и повышенных концентраций ряда других ТМ, а оз. Укок – в границах комплексного рудопроявления Аюту [11].

Река Катунь на участке отлова рыб (25 км выше по течению от створа проектируемой Алтайской, или Катунской, ГЭС) практически не загрязняется. Не обнаружено в воде и превышения санитарно-гигиенических и рыбохозяйственных нормативов (ПДК) по Hg [11, 12]. Сравнительно высокая степень химического загрязнения характерна для самого крупного правого притока Верхней Оби – р. Томь, включая ее устьевой участок. Прежде всего это относится к фенолам, нефтепродуктам, легко- и трудноокисляемой органике, некоторым металлам [13].

Озеро Чаны расположено на юге Западной Сибири в междуречье рек Обь и Иртыш. Это сравнительно мелководный и умеренно загрязняемый (преимущественно отходами сельскохозяйственного производства) крупный по площади водного зеркала (в настоящее время 184 тыс. га) водоем мезозвтрофного типа. В Новосибирском водохранилище, которое по совокупности абиотических и биотических характеристик относится к водоемам мезотрофного типа, и в р. Оби на участке ниже плотины Новосибирской ГЭС постоянно регистрируются повышенные или высокие концентрации фенолов и нефтепродуктов, легкоокисляемой органики (судя по БПК<sub>5</sub>), азота аммонийного, нитритов, на отдельных участках – Fe и Cu [14].

В среднем течении р. Оби (в том числе на участке отбора проб – в 15 км выше пос. Парабель Томской области) также постоянно фиксируются сравнительно высокое содержание фенолов и нефтепродуктов и относительно невысокие (не превышающие ПДК<sub>рх</sub>) концентрации металлов. Однако содержание Cu практически на всем протяжении Оби высокое, причины чего – естественное вымывание этого металла из минеральных пород Горного Алтая [15]. В нижнем течении Оби пробы всех указанных в таблице видов рыб отбирались нами в 120 км ниже устья Иртыша в районе пос. Карымкары. Как и на среднем участке, в воде Оби в ее нижнем течении регистрируются повышенные концентрации Cu, а также и Fe [16].

### Результаты исследований и их обсуждение

Как следует из данных, представленных в таблице, концентрация определявшихся металлов в мышечной ткани рыб из водоемов бас. Оби в большинстве выборок невысокая – ниже или существенно ниже существующих в России допустимых остаточных концентраций (ДОК) этих элементов в свежих рыбопродуктах [17]. Однако имеется ряд исключений. В оз. Узункель оказалась высокой концентрация Cr и повышенное содержание Hg в мышцах пеляди и подкаменщика. Сравнительно высокая (но не выше ДОК)

концентрация Hg обнаружена в мышцах османа из озер Джулукуль и Укок. Это может быть связано с вышеназванными геохимическими особенностями района. В донных отложениях оз. Узункель содержание Hg составляет 0,098–0,180, в среднем 0,125 мг/кг сухой массы, в оз. Тархатинское (плато Укок) – 0,100–0,140, в среднем 0,130 мг/кг [18]. Для сравнения: в Телецком озере зимой 1994 г. содержание Hg в донных отложениях равнялось в среднем (по четырем разрезам) 0,07 мкг/г сухой массы [19], в донных отложениях озер равнинного Алтая – в пределах от 0,01 (оз. Уткуль) до 0,09 (оз. Круглое) и лишь в предгорных районах юго-западной части Алтайского края (оз. Баво) – в среднем 0,11 мг/кг сухой массы [15, 18]. Также отметим, что основу питания названных рыб в олиготрофных озерах высокогорий Алтая составляют организмы зообентоса и рыбы [10], что, как известно [2], способствует прогрессивному накоплению Hg в мышечной ткани.

**Содержание металлов в мышечной ткани рыб  
из некоторых водоемов бассейна р. Оби /**

**Metal content in the muscle tissue of fish from certain water bodies of the Ob River**

Водоем, месяц и год отбора проб, источник / Water body, month and year of sampling, source	Вид / Species	Элементы, мкг/г/ Elements, mkg/g							
		Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	Cd	Hg	Pb
		0,3*	10	30	10	40	0,2	0,5	1,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Оз. Узункель / Lake Uzunkel VII, 2001 [8, 9]	<i>Coregonus peled</i> (Gmelin, 1789)	0,80	1,50	18,5	0,75	6,40	0,003	0,21	0,18
	<i>Cottus sibiricus</i> , Warpachowski, 1889	1,10	1,25	22,0	1,55	8,74	0,004	0,41	0,29
Оз. Джулу- куль / Lake Djulukul VII, 2001 [8, 9]	<i>Thymallus arcticus</i> (Pallas, 1776)	<0,1	0,7	18	0,7	6,5	0,003	0,19	0,19
	<i>Oreoleuciscus potanini</i> (Kessler, 1879)	<0,1	0,7	19	0,8	7,0	0,004	0,22	0,16
Оз. Укок / Lake Ukok, VII, 2001 [8, 9]	<i>Thymallus arcticus</i> (Pallas, 1776)	<0,1	1,1	17	1,0	8,2	0,003	0,18	0,18
	<i>Oreoleuciscus potanini</i> (Kessler, 1879)	<0,1	1,1	19	0,9	15	0,008	0,24	0,18
Р. Катунь, среднее течение / Katun River, middle reach VIII, 2006 [9]	<i>Thymallus arcticus</i> (Pallas, 1776)	<0,1	1,0	22	0,17	4,3	0,002	0,06	0,08
	<i>Brachymystax lenok</i> (Pallas, 1773)	<0,1	1,6	38	0,34	4,3	0,002	0,02	0,02

Продолжение таблицы / Table (continued)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Оз. Чаны / Lake Chany, IX, 2003 [49]	<i>Esox lucius</i> Linnaeus, 1758	–	0,17	6,3	0,6	8	0,001	0,17	<0,05
	<i>Rutilus rutilus</i> (Linnaeus, 1758)	–	0,33	6	0,28	6	0,001	0,06	<0,05
	<i>Leuciscus idus</i> (Linnaeus, 1758)	–	0,32	17	0,6	4	0,003	0,05	0,10
	<i>Carassius auratus</i> (Linnaeus, 1758)	–	0,30	8,3	0,56	30	0,001	0,01	0,03
	<i>Cyprinus carpio</i> Linnaeus, 1758	–	0,4	7	0,23	9	0,001	0,02	0,02
	<i>Sander lucioperca</i> (Linnaeus, 1758)	–	0,17	5	0,17	4,3	0,001	0,06	0,03
	<i>Perca fluviatilis</i> , Linnaeus, 1758	–	0,46	6	0,34	6	0,001	0,11	<0,05
Р. Томь, среднее течение в районе г. Кемерово / Tom River, middle reach in the city of Kemerovo, VIII, 2000 [14]	<i>Rutilus rutilus</i> (Linnaeus, 1758)	–	–	6	0,31	20	0,011	0,10	0,04
	<i>Leuciscus leuciscus</i> <i>baicalensis</i> (Dybowski, 1874)	–	–	7	1,2	13	0,01	0,11	0,12
	<i>Perca fluviatilis</i> Linnaeus, 1758	–	–	5,2	0,8	9,6	0,02	0,10	0,08
	<i>Gymnocephalus cernuus</i> (Linnaeus, 1758)	–	–	9,3	0,33	9,3	0,02	0,12	0,05
Р. Томь, устье / Tom River, mouth, VI, 2003 [14]	<i>Acipenser ruthenus</i> , Linnaeus, 1758	1,9	0,7	16	1,0	7,0	0,01	0,13	0,15
Новосибир- ское водо- охранилище / Novosi- birsk water reservoir, VIII, 2009 [18]	<i>Perca fluviatilis</i> , Linnaeus, 1758	<0,1	0,47	28	0,53	6,3	0,008	0,033	0,09
	<i>Sander lucioperca</i> (Linnaeus, 1758)	<0,1	0,17	5,5	0,25	5,9	0,003	0,036	0,42
	<i>Sander lucioperca</i> (Linnaeus, 1758), выборка 1998 г.	0,3	0,6	16	1,1	5,5	0,01	0,08	0,24
	<i>Abramis brama</i> (Linnaeus, 1758)	<0,1	0,43	6,3	0,33	5,6	0,0006	0,035	0,07
	<i>Abramis brama</i> (Linnaeus, 1758)**	<0,1	1,9	27	2,3	10	0,04	0,09	<0,01
	<i>Rutilus rutilus</i> (Linnaeus, 1758)	<0,1	0,31	17,8	0,48	6,9	0,0006	0,018	0,08
	<i>Leuciscus idus</i> (Linnaeus, 1758)	<0,1	0,16	7,9	0,42	5,1	0,0003	0,014	0,01
Р. Обь под плотиной ГЭС / Ob River below the HPP dam, V, 2004 [18]	<i>Sander lucioperca</i> (Linnaeus, 1758)	0,3	0,15	12	0,23	4,0	0,003	0,17	0,07
	<i>Abramis brama</i> (Linnaeus, 1758)	0,2	0,21	4,0	0,51	3,3	0,005	0,05	0,10

Окончание таблицы / Table (end)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Р. Обь под плотиной ГЭС / Ob River below the HPP dam, V, 2009 [18]	<i>Perca fluviatilis</i> , Linnaeus, 1758	<0,1	0,47	28	2,8	4,1	0,006	0,10	0,09
	<i>Sander lucioperca</i> (Linnaeus, 1758)	<0,1	0,17	5,5	3,3	5,3	0,005	0,12	0,34
	<i>Abramis brama</i> (Linnaeus, 1758)	<0,1	0,43	6,3	4,6	6,2	0,004	0,11	0,27
	<i>Rutilus rutilus</i> (Linnaeus, 1758)	<0,1	0,31	17,8	3,9	5,4	0,004	0,11	0,50
	<i>Leuciscus idus</i> (Linnaeus, 1758)	<0,1	0,16	7,9	6,2	4,5	0,003	0,08	0,12
Р. Обь, ср. течение (наши данные) / Ob River, middle reach (our data), IX, 2012	<i>Acipenser ruthenus</i> , Linnaeus, 1758	–	4,0	58	1,4	17	0,06	0,04	0,17
	<i>Abramis brama</i> (Linnaeus, 1758)	–	2,7	27	1,3	30	0,03	0,05	0,83
	<i>Cyprinus carpio</i> , Linnaeus, 1758	–	1,7	26	0,73	20	0,09	0,05	<0,05
	<i>Leuciscus leuciscus baicalensis</i> (Dybowski, 1874)	–	2,8	47	1,2	52	0,12	0,06	0,06
	<i>Rutilus rutilus</i> (Linnaeus, 1758)	–	2,7	38	1,2	17	0,06	0,06	0,24
	<i>Perca fluviatilis</i> , Linnaeus, 1758	–	2,4	16	0,63	22	0,10	0,05	<0,05
	<i>Esox lucius</i> Linnaeus, 1758	–	2,8	27	1,2	23	0,06	0,05	0,05
Р. Обь, нижнее течение / Ob River, lower reach, VIII-IX, 1994 [49]	<i>Acipenser ruthenus</i> , Linnaeus, 1758	–	0,9	53	<0,4	8,3	0,01	0,2	0,6
	<i>Coregonus muksun</i> (Pallas, 1814)	–	0,7	14	<0,4	6,5	0,02	0,1	0,5
	<i>Coregonus peled</i> (Gmelin, 1789)	–	0,8	7,5	<0,4	7,0	0,02	0,2	0,4
	<i>Esox lucius</i> Linnaeus, 1758	–	0,8	19	<0,4	8,1	0,02	0,2	0,4
	<i>Leuciscus idus</i> (Linnaeus, 1758)	–	0,7	27	<0,4	6,0	0,01	0,3	0,4
	<i>Rutilus rutilus</i> (Linnaeus, 1758)	–	0,7	8,6	<0,4	6,2	0,01	0,2	0,3
	<i>Perca fluviatilis</i> , Linnaeus, 1758	–	0,7	21	<0,4	7,4	0,01	0,2	0,5
Р. Обь, нижнее течение (наши данные) / Ob River, lower reach (our data) VIII-IX, 1999	<i>Acipenser baerii</i> , Brandt, 1869	<0,1	0,59	20	1,9	5,4	0,04	0,26	0,03
	<i>Acipenser ruthenus</i> , Linnaeus, 1758	<0,01	1,0	29	2,5	5,1	0,02	0,30	0,11
	<i>Coregonus muksun</i> (Pallas, 1814)	0,2	0,56	26	17	22	0,01	0,16	0,04
	<i>Coregonus peled</i> (Gmelin, 1789)	0,05	0,97	34	0,75	24	0,01	0,55	0,04
	<i>Esox lucius</i> , Linnaeus, 1758	<0,1	1,5	16	2,2	16	0,01	0,39	0,02
	<i>Abramis brama</i> (Linnaeus, 1758)	0,4	1,6	34	3,0	8,1	0,02	0,40	0,03
<i>Abramis brama</i> (Linnaeus, 1758)**	0,3	1,1	29	2,9	38	0,007	0,21	0,02	

Примечание. \* ДОК; \*\* лещ лигулезный – зараженный *Ligula intestinalis*, «–» – элемент не определялся. Значения концентраций по Со и Ni практически во всех пробах обнаружены в следовых количествах и в таблицу не помещены. /

Note. \* Maximum allowable concentration, \*\* *Ligula intestinalis*, «–» - not determined. Co and Ni concentrations were found in trace amounts in all samples and were not placed in the table.

В мышцах хариуса и ленка из р. Катунь в пробах, отобранных нами в августе 2006 г., выявлено сравнительно высокое содержание Fe и невысокое содержание других ТМ, в том числе Hg. Низкие концентрации Hg в мышцах рыб из этого же участка реки отмечались, по данным ряда авторов [12, 20], и в прежние годы. Сравнительно невысокое содержание этого металла фиксировалось и в компонентах среды обитания рыб – воде (фильтрат) и взвеси [12, 15, 20]. Подробно вопрос накопления Hg в мышцах ткани рыб Катунь освещен нами в работе [21].

В пробах рыб из оз. Чаны, отобранных в сентябре 2003 г., превышения ДОК ни по одному из определявшихся металлов не обнаружено. Аналогичные результаты получены авторами при изучении в 2007 и 2009 гг. содержания ТМ в мышцах ткани рыб р. Томи [22]. Лишь в пробах стерляди, выловленной на устьевом участке реки, обнаружено высокое (> 3 ДОК) содержание Cr. В 1990 г. С.С. Артемьевой и соавт. [23] в пробах мышечной ткани сибирской миноги и ряда видов рыб, отловленных в среднем течении реки (ниже г. Кемерово), было обнаружено небольшое превышение ДОК Ni, Zn, Cd, Hg (у сибирского ельца – в 1,1 раза, окуня – в 1,5 раза) и Pb. В пробах, отобранных этими авторами в 1991 г., отмечено превышение ДОК ТМ у меньшего числа видов рыб и в меньшем числе проб каждого вида. Не превышающее в среднем по выборкам ДОК содержание Hg было обнаружено С.С. Эйрих и Т.С. Папиной [24] в мышечной ткани рыб, выловленных летом 1991 г. на отрезке Томи от пос. Металлоплощадка до г. Томска включительно.

На участке р. Оби от ее истоков (места слияния рек Бия и Катунь) до Новосибирского водохранилища планомерное изучение содержания ТМ в мышечной ткани рыб до настоящего времени не проводилось. Исключением является работа И.А. Газиной [25], в которой содержатся сведения о невысоких концентрациях металлов (Mn, Cu, Zn, Cd, Hg, Pb) в мышечной ткани рыб из р. Оби в районе водозабора г. Барнаула; лишь содержание Cd в мышцах серебряного карася равнялось 0,21 мкг/г (1 ДОК).

В Новосибирском водохранилище в 1991–1994 гг. нами [26] изучалось содержание ТМ в мышцах судака, окуня, леща (не лигулезного) и язя из этого водоема. Ни по одному из определявшихся элементов превышения ДОК в среднем по выборкам каждого вида не отмечено. Сравнительно низкие концентрации металлов были обнаружены в пробах из водохранилища и р. Оби на приплотинном участке и в последующие годы [27]. Но содержание Cr оказалось сравнительно высоким в мышцах судака в выборке из водохранилища в 1998 г., и судака и леща – из р. Оби под плотиной ГЭС в выборках 2004 г. Следует также отметить повышенное (но не выше ДОК) содержание Cu в пробах из реки под плотиной ГЭС. Содержание ТМ в мышцах рыб из Новосибирского водохранилища и р. Оби под плотиной ГЭС в период наблюдений было сравнительно невысоким, что, вероятнее всего, связано с невысокими концентрациями металлов в воде и донных отложениях водохранилища и реки на приплотинном участке (до устья р. Ини) [28].



В пробах мышечной ткани рыб, отловленных нами в сентябре 2012 г. в р. Оби в районе пос. Парабель, концентрация ТМ по большей части не превышала ДОК. Лишь содержание Fe было сравнительно высоким у семи видов рыб из восьми изучавшихся, что, видимо, связано с высоким содержанием этого металла в Оби практически на всем ее протяжении [16].

Содержание ТМ в мышечной ткани рыб из Оби в пределах нижнего течения реки изучалось нами в августе – сентябре 1994 и 1999 гг. В большинстве проб концентрация металлов не превышала ДОК. Однако у стерляди в выборке 1994 г. выявлено сравнительно высокое содержание Fe, а в пробах 1999 г. повышенные концентрации ТМ оказались: Fe – у всех изучавшихся видов рыб, кроме щуки, Zn – у лигулезного леща, Hg – у стерляди, пеляди (> ДОК), щуки и лигулезного леща.

Сведения о содержании ТМ в органах и тканях рыб, отловленных в Обской губе в ноябре – декабре 2008 и 2009 гг. в районе нереста сиговых, имеются в монографии В.В. Кузнецова и соавт. [29]. В мышечной ткани муксуна, ряпушки, сига-пыжьяна, корюшки и ерша концентрация Pb, Cu, Mn, Fe, Cd, Ni, Zn и Co в среднем по выборкам была небольшой и не превышала ДОК, но концентрация Fe в пробах некоторых выборок рыб была близкой или несколько превышала ДОК. Сравнительно невысокое содержание металлов (кроме Cu и Fe) обнаружено и в абиотических компонентах губы – воде, донных отложениях и взвешенном веществе [16, 29, 30].

Судя по данным таблицы, характер накопления ТМ в мышечной ткани различается как у одного вида рыб из разных водоемов, так и у разных видов рыб из одного водоема бас. р. Оби. Например, у рыб из Новосибирского водохранилища в 2009 г. статистически значимые различия в концентрации металлов имелись: по Cd – между окунем и судаком ( $t = 4,0$ ), Hg – окунем и плотвой ( $t = 3,7$ ), Pb – судаком и плотвой ( $t = 8,5$ ), Co – плотвой и лещом ( $t = 5,4$ ). В пробах из реки под плотиной Новосибирской ГЭС концентрация Pb больше у судака и плотвы по сравнению с окунем ( $t = 7,1$  и  $8,2$  соответственно). По всей видимости, в приведенных и аналогичных им примерах различия в характере накопления ТМ связаны с особенностями конкретных условий обитания (прежде всего pH воды и донных отложений, количества растворенной органики), экологии (типа питания, миграций и др.) и физиолого-биохимическим статусом организма рыб [31].

Вероятно, разным характером питания объясняется факт статистически значимых различий концентрации металлов в мышцах хариуса и османа из оз. Укок – по Zn, Cd и Hg, у подкаменщика и хариуса из Улаганских озер (по всем определявшимся металлам, кроме Co и Ni), у ленка и хариуса из Катуня – по Mn, Fe, Cu, Hg и Pb. Тесная зависимость уровня и характера накопления ТМ от типа питания рыб показана в работах [31, 32]. По данным [33], в мышцах щуки из р. Кичера (на участке впадения в нее р. Холодная) содержание Hg составляло 0,07–0,08, у окуня – 0,04, а у плотвы – 0,01–0,02 мкг/г сырой массы проб.



Интересным и важным в практическом отношении является феномен большего накопления Hg в хищных рыбах по сравнению с мирными, что связано с известным для этого металла явлением прогрессивного накопления в трофической цепи (эффект магнификации) [2, 4, 31]. На примере наших данных о таком характере накопления можно говорить при сравнении концентрации Hg в мышцах щуки, окуня и рыб-бентофагов из оз. Чаны, судака и леща – из р. Оби под плотиной ГЭС (в уловах 2004 г.). Однако данные 1999 г. по рыбам из нижнего течения Оби это правило не подтверждают. Тем не менее оно имеет место, что было показано нами на большом фактическом материале по рыбам Сибири [2, 6, 22, 26]. Факт большего накопления Hg в мышечной ткани хищных рыб отмечен Л.М. Сорокиной и соавт. [34] в Курейском водохранилище, П.В. Коваль и соавт. [35] – в Ангарских водохранилищах. Статистически значимые более высокие концентрации Hg выявлены В.Т. Комовым и соавт. [4] в мышцах щуки (в среднем 0,52 мкг/г) по сравнению с окунем (0,33 мкг/г) (пробы 1991 г. из одних и тех же водоемов Карелии). В мышцах щуки из р. Печоры содержание этого металла оказалось существенно выше, чем в мышцах сига (0,19 и 0,03 мкг/г сухой массы соответственно), а концентрация Ni, Cr, Cd и некоторых других элементов в пробах была статистически равной или большей (по Co) у сига. На достоверно более высокое содержание Hg в мышечной ткани сома (*Clarias batrachus*) и пресноводного саргана (*Xenodotond cancila*) по сравнению с нильской теляпией (*Oreochromis niloticus*) и пунтиусом (*Mystacoleucus marginatus*) указывается в работе [3].

### Заключение

Анализ данных многолетнего ихтиомониторинга ТМ в бас. Оби свидетельствует о сложном характере накопления этих химических элементов в организме рыб, в данном случае в мышечной ткани, о зависимости этого процесса от условий обитания и экологии рыб. В частности, содержание ТМ в мышцах различается как у одного вида рыб из разных водоемов, так и у разных видов рыб из одного водоема бас. р. Оби. Ртуть накапливается, как правило, в больших концентрациях в мышцах хищных рыб. Такой характер накопления металлов наблюдается в организме рыб и из других водоемов Сибири и костистых рыб в целом. Концентрация ТМ в мышечной ткани рыб из изучавшихся водоемов бас. р. Оби в среднем сравнительно низкая и не превышает ДОК для свежих рыбопродуктов, что является косвенным подтверждением результатов определения ТМ (за исключением Fe и Cu) в водоемах Оби химическими методами.

### Литература

1. Кацулин Н.А., Лукин А.А., Амундсен П.А. Рыбы пресных вод Субарктики как биоиндикаторы техногенного загрязнения. Апатиты : РАН, 1999, 142 с.
2. Попов П.А. Оценка экологического состояния водоемов методами ихтиоиндикации. Новосибирск : Изд-во НГУ, 2002, 267 с.

3. Лобус Н.В., Комов В.Г., Нгуен Тхи Хай Тхань. Содержание ртути в компонентах экосистем водоемов и водотоков провинции Кхань Хоа (Центральный Вьетнам) // Водные ресурсы. 2011. № 6. С. 733–739.
4. Комов В.Т., Степанова И.К., Гремячих В.А. Содержание ртути в мышцах рыб из водоемов Северо-Запада России: Причины интенсивного накопления и оценка негативного эффекта на состояние здоровья людей // Актуальные проблемы водной токсикологии. Борок : ИБВ РАН, 2004. С. 99–123.
5. Кириллов А.Ф., Саввинов А.И., Ходулов В.В., Попов П.А. Содержание металлов в рыбах среднего течения реки Лены // Доклады III Междунар. науч.-практич. конф. «Тяжелые металлы, радионуклиды и элементы-биофилы в окружающей среде». Семипалатинск : СемГУ, 2004. Т. 2. С. 227–231.
6. Попов П.А., Андросова Н.В. Индикация экологического состояния водных объектов Сибири по содержанию тяжелых металлов в рыбах // География и природные ресурсы. 2008. № 3. С. 36–41.
7. Голованова И.Л. Влияние тяжелых металлов на физиолого-биохимический статус рыб и водных беспозвоночных // Биология внутренних вод. 2008. № 1. С. 99–108.
8. Моисеенко Т.И. Водная экотоксикология. Теоретические и прикладные аспекты. М. : Наука, 2009. 400 с.
9. Ким И.Н., Штанько Т.И. О содержании ртути в рыбной продукции (Обзор литературы) // Гигиена и санитария. 2009. № 1. С. 38–42.
10. Попов П.А., Ермолаева Н.И., Киприянова Л.М., Митрофанова Е.Ю. Состояние гидробиоценозов высокогорий Алтая // Сибирский экологический журнал. 2003. № 2. С. 181–192.
11. Мальгин М.А. Тяжелые металлы в почвах и водах бассейна реки Катунь // Поведение ртути и других тяжелых металлов в экосистемах. Новосибирск : ГПНТБ СО АН СССР, 1989. С. 43–55.
12. Папина Т.С., Артемьева С.С., Темерев С.В. Особенности миграции ртути в бассейне Катунь // Водные ресурсы. 1995. № 1. С. 60–66.
13. Папина Т.С., Третьякова Е.И. Гидрохимическое состояние и качество поверхностных вод бассейна Томи // Обской вестник. 1997. № 1. С. 27–36.
14. Васильев О.Ф., Савкин В.М., Дзуреченская С.Я., Попов П.А. Экологическое состояние Новосибирского водохранилища // Сибирский экологический журнал. 2000. Т. 7, № 2. С. 149–163.
15. Росляков Н.А., Ковалев В.П., Сухоруков Ф.В., Щербаков Ю.Г., Аношин Г.Н., Рассказов Н.М., Шварцев С.Л. Экогеохимия Западной Сибири: тяжелые металлы и радионуклиды. Новосибирск : СО РАН НИЦ ОИГГМ, 1996. 248 с.
16. Темерев С.В. Микроэлементы в поверхностных водах бассейна Оби. Барнаул : Изд-во АлГУ, 2006, 326 с.
17. Санитарные правила и нормы 2.3.2.560-960, 1997. Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов. М. : Деловой центр, 1997. 269 с.
18. Аношин Г.Н., Маликова И.Н., Ковалев С.И., Андросова Н.В., Сухоруков Ф.В., Цибульчик В.М., Щербов Б.Л. Ртуть в окружающей среде юга Западной Сибири // Химия в интересах устойчивого развития. 1995. № 1, 2. С. 69–111.
19. Щербов Б.Л., Андросова Н.В., Иванова Л.Д., Маликов Ю.И., Страховенко В.Д. Тяжелые металлы и техногенный радионуклид Cs-137 в донных отложениях Телецкого озера // Геология и геофизика. 1997. № 9. С. 1497–1507.
20. Грошева Е.И. Ртуть в природных объектах бассейна р. Катунь // География и природные ресурсы. 1992. Вып. 2. С. 53–57.
21. Попов П.А. К прогнозной оценке влияния Алтайской ГЭС на рыб реки Катунь // Материалы Всерос. науч.-практ. конф. «Научные основы экологического мониторинга водохранилищ». Хабаровск : ДВО РАН, 2005. Вып. 2. С. 150–153.

22. Попов П.А., Трифонова О.В. Содержание и характер накопления металлов в рыбах р. Томи // Сибирский экологический журнал. 2007. № 6. С. 961–967.
23. Артемьева С.С., Гундризер А.Н., Голубых О.С. Количественная оценка некоторых тяжелых металлов в гидробионтах р. Томи // Проблемы экологии Томской области. Томск : Изд-во ТГУ, 1992. Т. 2. С. 5–6.
24. Эйрих С.С., Папина Т.С. Особенности определения ртути в водных экосистемах бассейнов рек Катунь и Тоь. Оценка биодоступности // Проблемы ртутного загрязнения природных и искусственных водоемов, способы его предотвращения и ликвидации. Иркутск : ИрГУ, 2000. С. 10.
25. Газина И.А. Особенности распределения и накопления тяжелых металлов в органах и тканях рыб // Известия АлтГУ. Серия Химия. География. Биология. № 3. Барнаул : Изд-во АлГУ, 2005. С. 90–93.
26. Попов П.А., Андросова Н.В., Аношин Г.Н. Накопление и распределение тяжелых и переходных металлов в рыбах Новосибирского водохранилища // Вопросы ихтиологии. 2002. № 2. С. 264–270.
27. Попов П.А., Визер А.М., Андросова Н.В. Содержание металлов в мышечной ткани промысловых видов рыб из Новосибирского водохранилища и реки Оби на приплотинном участке // Сибирский экологический журнал. 2012. № 4. С. 479–483.
28. Цибульчик В.М., Аношин Г.Н., Маткова И.Н., Маликов Ю.И. Тяжелые металлы и <sup>137</sup>Cs в донных осадках Новосибирского водохранилища // Современные проблемы исследований водохранилищ. Пермь : Изд-во ПермГУ, 2005. С. 109–113.
29. Кузнецов В.В., Кузнецова Е.Н., Ключарева Н.Г., Гангнус И.А., Белорусцева С.А., Широков Д.А. Экология размножения сиговых рыб Coregonidae в Обской губе Карского моря. М. : Изд-во ВНИРО, 2011. 136 с.
30. Михайлова Л.В., Исаченко-Боме Е.А., Кудрявцев А.А. Состояние донных сообществ гидробионтов при хроническом загрязнении реки, пересекающей территорию нефтедобычи // Новые технологии для очистки нефтезагрязненных вод, почв, переработки и утилизации нефтешламов. М. : Ноосфера, 2001. С. 50–51.
31. Соболев К.Д. Особенности накопления тяжелых металлов в органах и тканях рыб различных экологических групп // Современные проблемы водной токсикологии. Борок : РАН, 2005. С. 128–129.
32. Кириллов А.Ф., Иванов Е.В., Ходулов В.В., Салова Т.А., Соломонов Н.М., Шахтарин Н.М., Венедиктов С.Ю. Зависимость накопления и ранжирования микроэлементов от трофического уровня рыб бассейна реки Лены // Проблемы региональной экологии. 2009. № 6. С. 189–191.
33. Пинтаева Е.Ц., Базарсадуева С.В., Раднаева Л.Д., Петров Е.А., Смирнова О.Г. Содержание и характер накопления металлов в рыбах реки Кичеры (приток оз. Байкал) // Сибирский экологический журнал. 2011. № 1. С. 87–92.
34. Сороковинова Л.М., Андрулайтис Л.Д., Домышева В.М. Изменение концентрации ртути в природных объектах экосистемы Курейского водохранилища // География и природные ресурсы. 1977. № 1. С. 55–58.
35. Коваль П.В., Бутаков Е.В., Удодов Ю.Н., Андрулайтис Л.Д. Ртутное загрязнение водоемов ангаро-байкальской водной системы и его изменение со снижением техногенной эмиссии ртути в Приангарье // Фундаментальные проблемы изучения и использования воды и водных ресурсов : материалы науч. конф. 20–24 сентября 2005 г. Иркутск : ИрГУ, 2005. С. 277–279.
36. Ветров А., Корнакова Э.Ф., Кузнецова А.И., Коробейникова Л.Г. Содержание металлов в рыбах Байкала // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Л. : Гидрометеониздат, 1989. Т. 12. С. 88–100.
37. Морозов Н.П. Химические элементы в гидробионтах и пищевых цепях // Биогеохимия океана. М. : Наука, 1983. С. 127–164.

38. Моисеенко Т.И. Биоаккумуляция металлов в организме рыб как индикатор гидрогеохимического фона и антропогенной нагрузки // Развитие идей континентальной биогеохимии и геохимической экологии. М. : ГЕОХИ РАН, 2010. С. 288–301.

Поступила в редакцию 28.03.2014 г.; повторно 15.07.2014 г.;  
принята 27.08.2014 г.

**Авторский коллектив:**

**Попов Петр Алексеевич** – д-р биол. наук, профессор, в.н.с. Института водных и экологических проблем СО РАН (Новосибирский филиал) (г. Новосибирск, Россия).

E-mail: [popov@iwep.nsc.ru](mailto:popov@iwep.nsc.ru)

**Андросова Наталья Валерьевна** – старший инженер Аналитического центра Объединенного института геологии, геофизики и минералогии СО РАН (г. Новосибирск, Россия).

E-mail: [androsovanv@igm.nsc.ru](mailto:androsovanv@igm.nsc.ru)

*Tomsk State University Journal of Biology. 2014. № 4 (28). P. 108–122*

**Petr A. Popov<sup>1</sup>, Natalya V. Androsova<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Institute of Aquatic and Ecological Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk Branch, Novosibirsk, Russian Federation.*

E-mail: [popov@iwep.nsc.ru](mailto:popov@iwep.nsc.ru)

<sup>2</sup>*Analytic Center, Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation.*

E-mail: [androsovanv@igm.nsc.ru](mailto:androsovanv@igm.nsc.ru)

**Metal content in the muscular tissue of fish from the Ob River**

The problem of heavy metal accumulation in the organs and tissues of fish is important due to the continuing water pollution by this group of chemical elements, including in Siberia. The aim of this work was analysis of information on the content of heavy metals in fish from the reservoirs of the Ob River, which we obtained in the process of Institute of Aquatic and Ecological Problems (SB RAS, Novosibirsk) multi-year (1994-2012) integrated monitoring of the ecological status of this water reservoirs. In this article, we present the results about the content of heavy metals in fish muscles of the following fish: *Acipenser ruthenus* Linnaeus, 1758, *Acipenser baerii* Brandt, 1869, *Brachymystax lenok* (Pallas, 1773), *Coregonus muksun* (Pallas, 1814), *Coregonus peled* (Gmelin, 1789), *Thymallus arcticus* (Pallas, 1776), *Esox lucius* Linnaeus, 1758, *Abramis brama* (Linnaeus, 1758), *Carassius auratus* (Linnaeus, 1758), *Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758, *Leuciscus idus* (Linnaeus, 1758), *Leuciscus leuciscus baicalensis* (Dybowski, 1874), *Oreoleuciscus potanini* (Kessler, 1879), *Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758), *Gymnocephalus cernuus* (Linnaeus, 1758), *Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758, *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758) and *Cottus sibiricus* Kessler, 1899). We studied samples of each species of fish, which included 30-35 mature individuals without sexing. In wet samples we determined the content of Cd, Hg, Pb, Co, Ni, Cu, Zn, Cr, Mn and Fe. NV. Androsova carried out a chemical analysis of samples by atomic absorption method at the Analytical Center of the Joint Institute of Geology, Geophysics and Mineralogy of the SB RAS. We assessed significant difference of mean values by t-test based on the normal distribution variants of variational series, representativeness errors 10% of the arithmetic mean and the probability level >0,999.

Analysis of the data suggests that the nature of the accumulation of heavy metals in fish depends primarily on the conditions of their habitats and food peculiarities. In particular, the content of heavy metals in the muscles varies both in one and the same species of fish from different waters and in different species of fish from the same water reservoir of the Ob river basin. Mercury usually accumulates in high concentrations in the muscles of predatory fish. The content of heavy metals in fish muscles in the studied reservoirs of the Ob River basin does not exceed the average standards for fresh fish products adopted in Russia which is an indirect confirmation of the results of determining TM in the Ob reservoirs by chemical methods.

*The article contains 1 table, 38 ref.*

**Key words:** Ob River; fish; heavy metals.

### References

1. Kashulin NA, Lukin AA, Amundsen PA. Ryby presnykh vod Subarktiki kak bioindikatory tekhnogenogo zagryazneniya [Subarctic freshwater fish as a bioindicator of anthropogenic pollution]. Apatity: RAN Publ.; 1999. 142 p. In Russian
2. Popov PA. Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya vodoemov metodami ikhtiindikatsii [Assessment of the ecological state of water bodies by the methods of ichthyoindication]. Novosibirsk: Novosibirsk State University Publ.; 2002. 267 p. In Russian
3. Lobus NV, Komov VT, Thanh NTH. Mercury concentration in ecosystem components in water bodies and streams in Khanh Hoa Province (Central Vietnam). *Water Resources*. 2011;38(6):799-805. doi: [10.1134/S0097807811060091](https://doi.org/10.1134/S0097807811060091)
4. Komov VT, Stepanova IK, Gremjachih VA. Soderzhanie rtuti v myshchah ryb iz vodoemov Severo-Zapada Rossii: Prichiny intensivnogo nakopleniya i ocenka negativnogo jeffekta na sostojanie zdorov'ja ljudej [Mercury content in the muscles of fish from water bodies of the North-West of Russia]. In: *Aktual'nye problemy vodnoj toksikologii* [Current problems of aquatic toxicology]. Flerov BA, editor. Borok: IBV RAN Publ.; 2004. pp. 99-123. In Russian
5. Kirillov AF, Savvinov AI, Khodulov VV, Popov PA. Soderzhanie metallov v rybach srednego techeniya reki Leny [Heavy metal content in fish of the middle reach of the Lena river]. *Doklady III Mezhdunar. nauch.-praktich. konf. "Tyazhelye metally, radionuklidy i elementy-biofilny v okruzhayushchey srede"* [Heavy metals, radionuclides and biophil elements in the environment. Proc. of the 3rd Int. Sci. Conf.], Vol. 2. Mal'gin MA, editor. Semipalatinsk: Semipalatinsk State University Publ.; 2004. pp. 227-231. In Russian
6. Popov PA, Androsova NV. Indication of the ecological state of water bodies of Siberia from the content of heavy metals in fishes. *Geografiya i prirodnye resursy – Geography and Natural Resources*. 2008;3:36-41. In Russian
7. Golovanova IL. Effects of heavy metals on physiological and biochemical status of fishes and aquatic invertebrates. *Inland Water Biology*. 2008;1:93-101.
8. Moiseenko TI. Vodnaya ekotoksikologiya. Teoreticheskie i prikladnye aspekty [Water ecotoxicology. Theoretical and applied aspects]. Moscow: Nauka Publ.; 2009. 400 p. In Russian
9. Kim IN, Shtanko TI. The levels of mercury in fish industry. *Gigiena i sanitariia*. 2009;1:38-42. In Russian
10. Popov PA, Ermolaeva NI, Kiprianova LM, Mitrofanova EYu. The state of hydrobiocenoses in the high mountains of Altai. *Sibirskiy ekologicheskij zhurnal*. 2003;2:181-192. In Russian
11. Mal'gin MA. Tyazhelye metally v pochvakh i vodakh basseyna reki Katun' [Heavy metals in soils and waters of the Katun river basin]. In: *Povedenie rtuti i drugikh tyazhelykh metallov v ekosistemakh* [Behaviour of mercury and other heavy metals in ecosystems]. Vasil'ev OF, editor. Novosibirsk: GPNTB SO AN SSSR Publ.; 1989. pp. 43-55. In Russian
12. Papina TS, Artem'eva SS, Temerev SV. Osobennosti migratsii rtuti v bassejne Katuni. *Vodnye resursy*. 1995;22(1):60-66. In Russian

13. Papina TS, Tret'yakova EI. Hidrokhimicheskoe sostoyanie i kachestvo poverkhnostnykh vod basseyna Tomi. *Obskoy vestnik*. 1997;1:27-36. In Russian
14. Vasil'ev OF, Savkin VM, Dvurechenskaya SYa, Popov PA. Ekologicheskoe sostoyanie Novosibirskogo vodokhranilishcha. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal*. 2000;7(2):149-163. In Russian
15. Roslyakov NA, Kovalev VP, Sukhorukov FV, Shcherbakov YuG, Anoshin GN, Rasskazov NM, Shvartsev SL. Eko-geokhimiya Zapadnoy Sibiri: tyazhelye metally i radionuklidy [Ecogeochemistry of Western Siberia: heavy metals and radionuclides]. Poljakov GV, editor. Novosibirsk: SO RAN NIC OIGGM Publ.; 1996. 248 p. In Russian.
16. Temerev SV. Mikroelementy v poverkhnostnykh vodakh basseyna Obi [Microelements in surface waters of the Ob River basin]. Barnaul: Altay State University Publ.; 2006. 326 p. In Russian
17. Sanitarnye pravila i normy 2.3.2.560-960. Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu i bezopasnosti prodovol'stvennogo syr'ya i pishchevykh produktov. Moscow: "Delovoy sentr" Publ.; 1997. 269 p. In Russian
18. Anoshin GN, Malikova IN, Kovalev SI, Androsova NV, Sukhorukov FV, Tsibul'chik VM, Shcherbov BL. Rtut' v okruzhayushchey srede yuga Zapadnoy Sibiri. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya*. 1995;1-2:69-111. In Russian
19. Shcherbov BL, Androsova NV, Ivanova LD, Malikov YuI, Strakhovenko VD. Tyazhelye metally i tekhnogennyy radionuklid Cs-137 v donnykh otlozheniyakh Teletskogo ozera. *Geologiya i geofizika*. 1997;9:1497-1507. In Russian
20. Grosheva EI. Rtut' v prirodnykh ob'ektakh basseyna r. Katun'. *Geografiya i prirodnye resursy*. 1992;2:53-57. In Russian
21. Popov PA. K prognoznoy otsenke vliyaniya Altayskoy GES na ryb reki Katuni [On prospective assessment of the impact of the Altai HPP]. In: Materialy Vseros. nauch.-praktich. konf. "Nauchnye osnovy ekologicheskogo monitoringa vodokhranilishch" [Scientific basis of environmental monitoring of water reservoirs. Proc. of the All-Russian Sci. Conf.]. Vol. 2. Sirotskiy SE, editor. Khabarovsk: DVO RAN Publ.; 2005; pp. 150-153. In Russian
22. Popov PA, Trifonova OV. Metal content and character of accumulation in fish from the Tom river. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal*. 2007;14(6):961-967. In Russian
23. Artem'eva SS, Gundrizer AN, Golubykh OS. Kolichestvennaya otsenka nekotorykh tyazhelykh metallov v gidrobiontakh r. Tomi [Quantitative assessment of some heavy metals in aquatic organisms of the Tom River]. In: *Problemy ekologii Tomskoy oblasti* [Environmental problems of Tomsk Oblast]. Vol. 2. Ioganzen BG, editor. Tomsk: Tomsk State University Publishing House; 1992. pp. 5-6. In Russian
24. Eyrikh SS, Papina TS. Osobennosti opredeleniya rtuti v vodnykh ekosistemakh basseynov rek Katun' i Tom'. Otsenka biodostupnosti [Specifics of determining mercury in water ecosystems of the Katun and Tom river basins]. In: *Problemy rtutnogo zagryazneniya prirodnykh i iskusstvennykh vodoemov, sposoby ego predotvrashcheniya i likvidatsii* [Problems of mercury contamination of natural and artificial water reservoirs and ways of its prevention and elimination]. Irkutsk: Irkutsk State University Publ.; 2000. p. 10. In Russian
25. Gazina IA. Osobennosti raspredeleniya i nakopleniya tyazhelykh metallov v organah i tkanjakh ryb. *Izvestiya AltGU: seriya Khimiya. Geografiya. Biologiya*. 2005;3:90-93. In Russian
26. Popov PA, Androsova NV, Anoshin GN. Nakoplenie i raspredelenie tyazhelykh i perekhodnykh metallov v rybakh Novosibirskogo vodokhranilishcha. *Voprosy ikhtiologii*. 2002;42(2):264-270. In Russian
27. Popov PA, Vizer AM, Androsova NV. Metal content in muscular tissue of commercially important fish from Novosibirsk reservoir and near dam on Ob' River. *Contemporary Problems of Ecology*. 2012;4:352-355. doi: [10.1134/S1995425512040117](https://doi.org/10.1134/S1995425512040117)
28. Cibul'chik VM, Anoshin GN, Matkova IN, Malikov JuI. Tjazhelye metally i <sup>137</sup>Cs v donnykh osadkah Novosibirskogo vodokhranilishcha [Heavy metals and <sup>137</sup>Cs in bottom sediments of Novosibirsk water reservoir]. In: *Sovremennyye problemy issledovaniy vodokhranilishch* [Modern problems of water reservoirs studies]. P'jankov SV, editor. Perm': Perm' State University Publ.; 2005. pp. 109-113. In Russian



29. Kuznetsov VV, Kuznetsova EN, Klyuchareva NG, Gangnus IA, Belorustseva SA, Shirokov DA. *Ekologiya razmnozheniya sigovykh ryb Coregonidae v Obskoy gube Karskogo moray [Coregonidae breeding ecology in the Ob Bay of the Kara Sea]*. Moscow: VNIRO Publ.; 2011. 136 p. In Russian
30. Mihajlova LV, Isachenko-Bome EA, Kudrjavcev AA. *Sostojanie donnyh soobshhestv gidrobiontov pri hronicheskom zagrjaznenii reki, peresekajushhej territoriju neftedobychi [Status of benthic communities of aquatic organisms under chronic river pollution crossing the territory of oil production]*. In: *Novye tehnologii dlja ochistki neftezagraznennyh vod, pochv, pererabotki i utilizacii nefteshlamov [New technologies for cleaning oil-contaminated waters and soils and sludge processing and disposal]*. Kireeva NA, editor. Moscow: Noosfera Publ.; 2001. pp. 50-51. In Russian
31. Sobolev KD. *Osobennosti nakopleniya tyazhelykh metallov v organakh i tkanyakh ryb razlichnykh ekologicheskikh grupp [Specifics of accumulating heavy metals in organs and tissues of fish belonging to different ecological groups]*. In: *Sovremennye problemy vodnoy toksikologii [Modern problems of water toxicology]*. Flerov BA, editor. Borok: RAN Publ.; 2005. p. 128-129. In Russian
32. Kirillov AF, Ivanov EV, Khodulov VV, Salova TA, Solomonov NM, Shakhtarin NM, Venediktov SYu. *Dependence of the character of accumulation and ranking of microelements on the trophic level of fish in the basin of the Lena river. Problemy regional'noy ekologii*. 2009;6:189-191. In Russian
33. Pintaeva ET, Bazarsadueva SV, Radnaeva LD, Petrov EA, Smirnova OG. *Content and character of metal accumulation in fish of the Kichera River (a Tributary of Lake Baikal). Contemporary Problems of Ecology*. 2011;4(1):64-68. doi: [10.1134/S1995425511010103](https://doi.org/10.1134/S1995425511010103)
34. Sorokovikova LM, Andrulajtis LD, Domyшева VM. *Izmenenie konsentratsii rtuti v prirodnykh ob"ektakh ekosistemy Kureyskogo vodokhranilishcha. Geografiya i prirodnye resursy*. 1977;1:55-58. In Russian
35. Koval' PV, Butakov EV, Udodov JuN, Andrulajtis LD. *Rtutnoe zagrjaznenie vodoemov angaro-bajkal'skoj vodnoj sistemy i ego izmenenie so snizheniem tehnogennoj jemissii rtuti v Priangar'e [Mercury pollution of waters of the Angara-Baikal water system and its change while reducing anthropogenic mercury emissions in the Priangarie]*. In: *Fundamental'nye problemy izuchenija i ispol'zovanija vody i vodnyh resursov. Materialy nauch. konf. 20-24 sentjabrja 2005 g [Fundamental problems of studying and using water and water resources. Proc. of the Sci. Conf. 20-24 September, 2005]*. Korytnyj LM, editor. Irkutsk: Irkutsk State University Publ.; 2005. pp. 277-279. In Russian
36. Vetrov A, Kornakova JeF, Kuznecova AI, Korobejnikova LG. *Soderzhanie metallov v rybah Bajkala. In: Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem [Problems of ecological monitoring and modeling of ecosystems]*. Vol. 12. Izrael' YuA, editor. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ.; 1989; pp. 88-100. In Russian
37. Morozov NP. *Himicheskie jelementy v gidrobiontah i pishhevyyh cepjah. Biogehimija okeana*. Monin AS, Lisicyн AP, editors. Moscow: Nauka Publ.; 1983. pp. 127-164. In Russian
38. Moiseenko TI. *Bioakkumulyatsiya metallov v organizme ryb kak indikator gidrogeokhimicheskogo fona i antropogennoj nagruzki [Bioaccumulation of metals in the organism of fish as an indicator of hydrogeochemical background and anthropogenic load]*. *Razvitie idey kontinental'noy biogekhimii i geokhimicheskoy ekologii [Development of the idea of continental biogeochemistry and geochemical ecology]*. Ostroumov SA, editor. Moscow: GEOKhI RAN Publ.; 2010. p. 288-301. In Russian

Received 28 March 2014;

Revised 15 July 2014;

Accepted 27 August 2014.

Popov PA, Androsova NV *Metal content in the muscular tissue of Fish from the Ob River. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya – Tomsk State University Journal of Biology*. 2014;4(28):108-122. In Russian, English summary