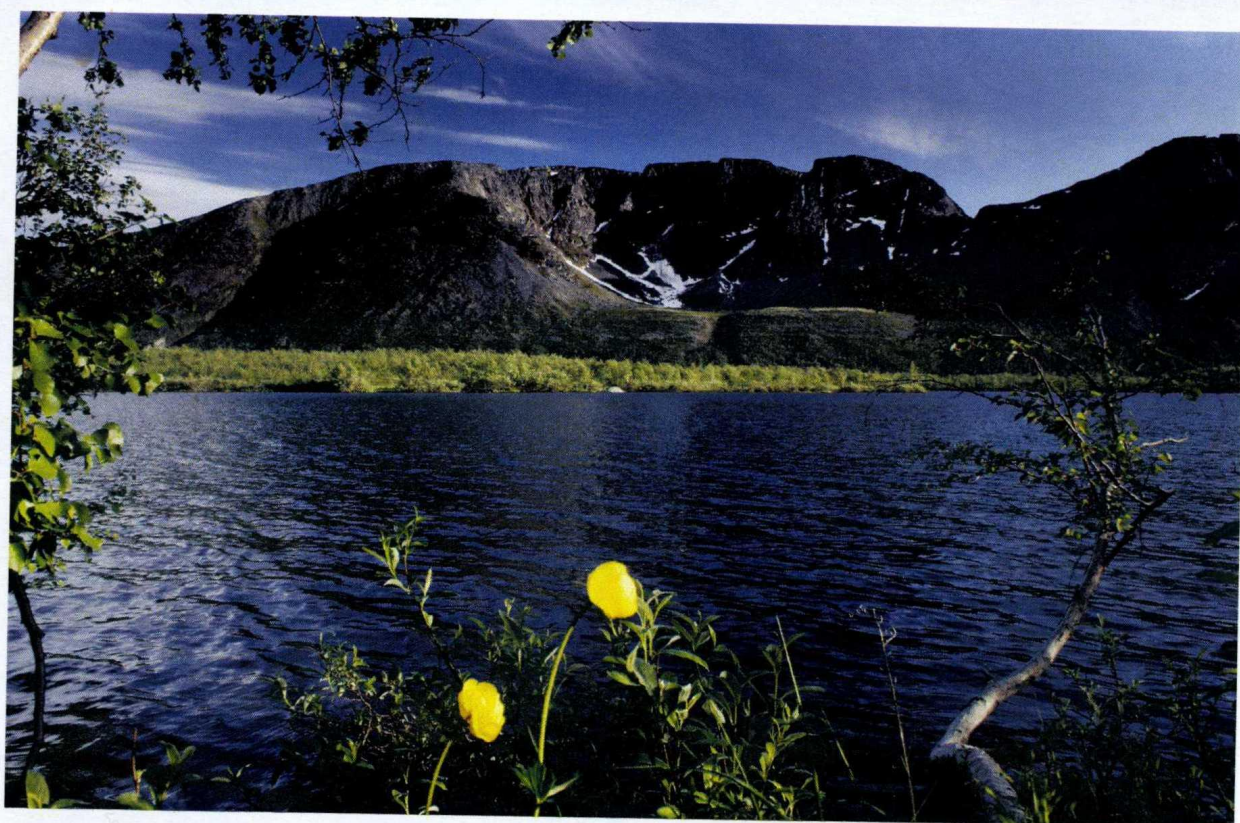


Российская Академия Наук
КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
Институт проблем промышленной экологии Севера

VI Всероссийская научная конференция с международным участием

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СЕВЕРНЫХ РЕГИОНОВ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ



Печатается по решению Ученого совета Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра Российской академии наук

Конференция проведена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 16-05-20202-г.

УДК 574.4

ISBN 978-5-91137-322-1

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СЕВЕРНЫХ РЕГИОНОВ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ:

Материалы VI Всероссийской научной конференции с международным участием / Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра Российской академии наук

- Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2016. – 344 с.

VI Всероссийская научная конференция с международным участием «Экологические проблемы северных регионов и пути их решения» посвящена 120-летию со дня рождения Г. М. Крепса и 110-летию со дня рождения О. И. Семенова-Тян-Шанского. Сборник содержит 87 статей, в которых уделено внимание антропогенной и природной динамике тундровых и лесных экосистем, сохранению биоразнообразия, современным тенденциям изменения водных экосистем Севера, геохимии природных сред, моделированию природных процессов и технологическим аспектам охраны окружающей среды, влиянию природных и социально-экономических условий на здоровье человека в районах Крайнего Севера, развитию современных подходов и ресурсосберегающих технологий в природоохранной деятельности. Также анализируется значимость заповедников в сохранении биоразнообразия северных экосистем.

Ответственные редакторы
докт. биол. наук, проф. Г. А. Евдокимова
канд. биол. наук О. И. Вандыш

ISBN 978-5-91137-322-1

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра Российской академии наук, 2016

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Кольский научный центр Российской академии наук, 2016

Таким образом, достаточно высокие количественные показатели зоопланктона как в литорали, так и в пелагиали оз. Сямозеро, указывают на повышенный трофический статус водоема.

По уровню количественного развития зоопланктона со среднелетней биомассой около 2.0 г/м^3 центральный плес Сямозера относится к разряду β -мезотрофных, заливы с развитой водной растительностью можно отнести к переходному β -мезотрофному – α -эвтрофному типу с биомассой 3.5 г/м^3 по шкале трофности С.П. Китаева (2007).

Индекс видового разнообразия Шеннона – Уивера колеблется в пределах 2.1 (июль) – 1.8 (октябрь). По величине индекса сапробности Пантле-Букка в модификации Сладечека, Сямозеро относится к разряду умеренно загрязненных β -мезосапробных водных объектов.

Литература

1. Балушкина Е. В., Винберг Г. Г. Зависимость между длиной и массой тела планктонных ракообразных // Экспериментальные и полевые исследования биологических основ продуктивности озер. Л.: ЗИН АН СССР. 1979. С. 58-79.
2. Китаев С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 2007. 390 с.
3. Кутикова Л. А. Коловратки фауны СССР (Rotatoria). Л., 1970. 744 с.
4. Макрушин А. В. Биологический анализ качества вод. Л.: ЗИН АН СССР. 1974. 60 с.
5. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов в гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. Л.: ГосНИОРХ, 1984. 33 с.
6. Озера Карелии. Справочник / Под ред. Н. Н. Филатова, В. И. Кухарева. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2013. 464 с.
7. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. Зоопланктон // Под ред. В. Р. Алексеева, С. Я. Цалолихина. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. 495 с.

З. И. Слуковский¹, Н. В. Ильмаст², И. В. Суховская², Е. В. Борвинская²

¹Институт геологии Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск
slukovsky87@gmail.com

²Институт биологии Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск
ilmast@karelia.ru

АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОРГАНАХ РЫБ ОЗЕРА ЛАМБА (ПЕТРОЗАВОДСК, РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ)

Экосистемы северных регионов крайне уязвимы к различного рода антропогенному воздействию. Данный факт, справедлив и для водных экосистем, в частности для рыбного населения водоемов, расположенных в зоне влияния техногенеза (Lydersen, Lofgren, 2002; Тереньев, Кашулин, 2010; Ильмаст и др., 2013). Рыбы занимают верхний уровень в трофической системе водоемов. Они имеют более длительный цикл жизни по сравнению с беспозвоночными, поэтому могут информативно отражать последствия загрязнения водных экосистем (Моисеенко, 2009). Биохимические изменения (белковый, пептидный, липидный обмен) в организме рыб являются индикаторами токсичного влияния загрязнителей, которые проявляются в торможении роста, нарушении процессов созревания гонад, элиминации отдельных видов.

Исследовалось содержание тяжелых металлов (ТМ) в мышечных тканях, печени и костях двух видов рыб (окуня *Perca fluviatilis* и плотвы *Rutilus rutilus*), обитающих в озере Ламба, расположенном в черте города Петрозаводска. Основной вклад в загрязнение данного водного объекта вносят выбросы Петрозаводской теплоцентрали (ТЭЦ), расположенной в 500 м от озера. Анализ содержания тяжелых металлов в донных отложениях исследуемого водоема свидетельствует о повышенном уровне накопления по сравнению с региональных фоновым уровнем в осадках Ламбы таких загрязнителей, как Pb, Zn, Co, Ni, Cu, Mo, Cr, V и W (Слуковский, Медведев, 2015). Содержание Cd, Pb, Cu, Zn и Ni выявлено также в водорослях перифитона петрозаводского водоема (Комулайнен, 2014), что ясно свидетельствует о воздействии городской среды, как на абиотические, так и на биотические компоненты изучаемого водоема.

Цель работы – оценить уровень накопления тяжелых металлов в организме рыб (окуня и плотвы) озера Ламба и дать характеристику распределения загрязнителей в разных органах и тканях гидробионтов.

Методы исследования

Материал по ихтиофауне водоемов был собран в августе 2015 г. из сетных уловов (сети с ячейей 15-30 мм). Обработку ихтиологических проб проводили по общепринятым методикам (Правдин, 1966; Дгебуадзе, Чернова, 2009; Сидоров, Решетников, 2014). Рыб измеряли, взвешивали, устанавливали пол, степень зрелости половых гонад. Возраст рыб определяли по чешуе (плотва), жаберным крышкам (окунь).

Отобранные пробы тканей и органов рыб высушивались при температуре 105°C, затем истирались до порошкообразного состояния и разлагались смесью кислот в открытой системе. Содержание ТМ в полученных растворах определяли масс-спектральным методом на приборе XSeries-2 ICP-MS. Статистические расчеты проводились с использованием программы Microsoft Excell 2007. Сравнение концентраций ТМ в исследованных образцах проводилось по средним значениям для каждой выборки (3 по окуню и 3 по плотве).

Результаты и их обсуждение

Исследуемый водоем расположен в окрестностях Петрозаводска и относится к малым водным объектам, что в значительной степени определяет видовой состав ихтиофауны. Рыбное население озера представлено двумя наиболее массовыми для Карелии видами: окунем и плотвой. По данным Герда С.В. (1949) окунь и плотва широко распространены в водоемах республики и встречаются в 87-96 % озер.

Длина тела изученных для исследований рыб колебалась в пределах 10.8-16.5 см по окуню и 10.9-11.7 см по плотве, масса окуней составляла от 17.1 до 78.4 г, масса плотвы – от 22.4 до 28.7 г. Все исследованных рыбы имеют возраст от 2+ до 5+. Содержание ТМ в тканях и органах гидробионтов представлено в таблице 1. Разберем все проанализированные металлы по отдельности.

Средние значения концентраций изученных ТМ в организмах рыб оз. Ламба
(г. Петрозаводск, Карелия)

Таблица 1

	V	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
Мышцы окуня							
$\bar{x}_{ср.}$	3.45	0.88	Н/о	1.53	18.47	0.09	0.36
S	3.60	0.53	Н/р	0.45	1.52	0.06	0.85
Мышцы плотвы							
$\bar{x}_{ср.}$	37.36	2.91	Н/о	0.80	34.03	1.14	0.02
S	11.66	0.487	Н/р	0.23	8.24	1.00	н/р
Печень окуня							
$\bar{x}_{ср.}$	25.16	3.42	0.69	9.68	93.79	0.29	0.36
S	32.57	5.39	Н/р	1.80	7.48	0.12	0.22
Печень плотвы							
$\bar{x}_{ср.}$	194.52	40.13	3.35	32.22	191.63	0.73	3.39
S	177.9	36.34	Н/р	10	63.58	0.636	н/р
Кости окуня							
$\bar{x}_{ср.}$	23.51	3.41	1.03	1.70	122.79	0.27	0.14
S	34.97	4.61	Н/р	1.23	19.31	0.17	0.18
Кости плотвы							
$\bar{x}_{ср.}$	11.94	1.58	0.84	1.16	206.30	3.09	0.07
S	3.337	0.34	Н/р	0.31	35.15	1.722	н/р

Примечание. S – стандартное отклонение выборки, н/о – концентрация не определена, н/р – расчет стандартного отклонения не производился.

Кадмий (Cd). Содержание этого элемента обнаружено в 80% всех проанализированных образцах различных органов рыб озера Ламба. Наибольшее накопление этого ТМ установлено в костях плотвы – 3.09 мг/кг, что в несколько раз превышает содержание этого элемента в донных отложениях – 0.80 мг/кг (Слуковский, Медведев, 2015) и перифитоне озера – 0.18 мг/кг (Комулайнен, 2014). Концентрации Cd в других органах изученных рыб выстраиваются в следующий ряд (по убыванию): мышцы плотвы (1.14) > печень плотвы (0.73) > печень окуня (0.29) > кости окуня (0.27) > мышцы окуня (0.09).

Свинец (Pb). Концентрации Pb определены в 87 % образцов проб, наибольшее накопление поллютанта отмечено, как и по Cd, в печени плотвы – 3.39 мг/кг, что в 2 раза меньше, чем в водорослях перифитона (6.71 мг/кг) и в 15 раз – в донных осадках городского озера (45.7 мг/кг). Концентрации этого металла в других органах изученных рыб выстраиваются в следующий ряд (по убыванию): печень окуня (0.36) = мышцы окуня (0.36) > кости окуня (0.14) > кости плотвы (0.07) > мышцы плотвы (0.02).

Цинк (Zn). Обнаружен во всех изученных образцах. Наибольшее накопление отмечено в костях плотвы – 206.30 мг/кг, что в 3 раза выше концентрации Zn в перифитоне озера (63.4 мг/кг) и 2 раза меньше, чем в донных отложениях (469.6 мг/кг). Значительно содержание этого ТМ отмечено также в печени плотвы (191.63 мг/кг) и костях окуня – 122.79 мг/кг. Концентрации Zn в других органах изученных рыб выстраиваются в следующий ряд (по убыванию): печень окуня (93.79) > мышцы плотвы (34.03) > мышцы окуня (18.47).

Медь (Cu). Обнаружена во всех изученных образцах. Максимальное содержание этого ТМ – в печени плотвы (32.22 мг/кг), это в 1.3 раза выше концентрации Cu в перифитоне озера Ламба (25.3 мг/кг) и в 12 раз ниже, чем содержание в донных осадках (381.7 мг/кг). Значительно содержание этого металла отмечается также в печени окуня – 9.68 мг/кг, в остальных органах Cu накапливается гораздо менее интенсивно: кости окуня (1.70) > мышцы окуня (1.53) > кости плотвы (1.16) > мышцы плотвы (0.80).

Ванадий (V). Содержание этого элемента обнаружено в 80 % всех проанализированных образцах различных органов рыб озера Ламба. Этот загрязнитель водной среды озера Ламбы наиболее активно накапливается в печени плотвы – 194.52 мг/кг, однако это почти в 10 раз ниже его содержания в донных отложениях водоема (1405.5 мг/кг). Другие органы изученных рыб имеют заметно меньшее содержание этого металла: мышцы плотвы (37.36) > печень окуня (25.16) > кости окуня (23.51) > кости плотвы (11.94) > мышцы окуня (3.45).

Никель (Ni). Обнаружен в 59 % изученных образцов. Наибольшее содержание этого металла – в печени плотвы (3.35 мг/кг), что ниже уровня накопления Ni в фитоперифитоне (8.22 мг/кг) и донных осадках урбанизированного озера (254.7 мг/кг) в 2.5 и в 76 раз, соответственно. Отмечено также накопление этого металла в костях обеих рыб (окуня – 1.03 мг/кг и плотвы – 0.84 мг/кг) и печени окуня – 0.69 мг/кг. В мышцах обеих рыб накопление Ni не установлено.

Хром (Cr). Обнаружен во всех изученных образцах. Максимальное накопление приходится на печень плотвы – 40.13 мг/кг, что в 2 раза ниже содержания этого ТМ в донных отложениях озера Ламба (79.1 мг/кг). Единым уровнем аккумуляции Cr характеризуются печень и кости окуня: 3.42 мг/кг и 3.41 мг/кг, соответственно. Концентрации металла в других органах изученных рыб выстраиваются в следующий ряд (по убыванию): мышцы плотвы (2.91) > кости плотвы (1.58) > мышцы окуня (0.88).

Почти по всем органам изученных рыб максимальное накопление отмечено для Zn, исключение – мышцы и печень плотвы, где наибольшая аккумуляция отмечена для V, который является специфическим загрязнителем озера Ламба из-за выбросов ТЭЦ, работавшей на мазуте с момента ввода в эксплуатацию до 2000-х гг. Накопление Zn связано с его высокой биологической ролью в жизнедеятельности многих живых организмов, максимальное накопление этого ТМ приходится на кости окуня и плотвы оз. Ламба, меньшее – на печень, минимальное – на мышцы, что соответствует литературным данным по северу России (Даувальтер, 2012) и Сибири (Попов и др., 2015). Наибольшая биоаккумуляция Cu, V, Pb и Cr приходится на печень обеих видов рыб, аналогичные закономерности установлены польскими учеными по Cd, Pb и Cu (Szarek-Gwiazda, Amirowicz, 2006). Никель в окунях озера Ламба наиболее активно накапливается в костях, в плотве – в печени, Cd, наоборот, в плотве – в костях, а в окунях – в печени. Последний факт может быть связан с тем, что Cd поступает в организм рыбы через кальциевые каналы, вытесняя Ca из белков переносчиков (Голованова, 2008). То же самое происходит и с Zn.

Анализ корреляционной матрицы изученных тяжелых металлов (табл.2) позволил установить очень высокий уровень тесноты связи в парах Cr-V, V-Ni, V-Cu, V-Pb, Cr-Ni, Cr-Cu, Cr-Pb, Ni-Cu, Zn-Ni, Ni-Pb, Cu-Pb и Zn-Cd, что говорит о единстве биоаккумуляции этих металлов в организме исследованных рыб. При этом Cd имеет весьма слабую корреляционную зависимость с другими элементами, кроме Zn.

Высокий уровень корреляционной зависимости между V и Cr ($R=0.99$), Ni ($R=0.79$) и Pb ($R=0.87$), скорее всего, связан с общностью поступления этих элементов в водную среду городского озера от сгорания мазута на ТЭЦ, так как, кроме V, в составе мазута в значительном количестве могут присутствовать перечисленные ТМ (Гоголашвили, Гарифзянов, 2007).

Результаты парного корреляционного анализа Пирсона

Таблица 2

	V	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd
Cr	0.99 ^a	1.00				
Ni	0.79 ^a	0.80 ^a	1.00			
Cu	0.71 ^a	0.76 ^a	0.54 ^a	1.00		
Zn	0.45 ^b	0.44 ^b	0.61 ^a	0.40 ^c	1.00	
Cd	0.15	0.13	0.18	0.02	0.51 ^a	1.00
Pb	0.87 ^a	0.90 ^a	0.79 ^a	0.66 ^a	0.28	0.11

Примечание. Буквами в верхнем индексе отмечены уровни значимости корреляционной связи: a – $p<0.001$, b – $p<0.01$, c – $p<0.05$.

Таким образом, выполненные исследования показывают, что загрязнение водных экосистем поллютантами в результате хозяйственной деятельности проявляется в накоплении их в тканях и органах гидробионтов с продолжительным жизненным циклом (в первую очередь – рыбах). Водные организмы обладают способностью к регулированию концентраций ТМ. Однако в больших количествах они накапливаются в тканях гидробионтов, что приводит к нарушению важнейших функций организма. Развитие заболеваний рыб приводит к их гибели, сокращению продолжительности жизни, что отражается на структуре популяции. В связи с тем, что токсическое действие ТМ определяется не столько накоплением одного элемента, сколько их комплексом и взаимосвязью с другими веществами, для определения их токсичности для организма необходимо продолжить исследования в этом направлении. В целом исследования сообществ гидробионтов позволяют установить степень влияния на живой организм различных факторов и могут быть использованы для прогноза различного рода воздействий на водные экосистемы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-00026 мол_а.

Литература

1. Герд С. В. Некоторые зоогеографические проблемы изучения рыб Карелии // Природные ресурсы, история и культура Карело-Финской ССР. Вып. 2. Петрозаводск: Гос. изд-во Карело-Финской ССР, 1949. С. 100-115.
2. Гоголашвили Э. Л., Гарифзянов А. Р. Проблемы анализа ванадия в сточных водах тепловых электростанций // Энергетика Татарстана. 2007. № 3. С. 60-63.
3. Голованова И. Л. Влияние тяжелых металлов на физиолого-биохимический статус рыб и водных беспозвоночных // Биология внутренних вод. 2008. № 1. С. 99-108.
4. Даувальтер В. А. Геоэкология донных отложений озер. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2012. 242 с.
5. Дгебуадзе Ю. Ю., Чернова О. Ф. Чешуя костистых рыб как диагностическая и регистрирующая структура. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2009. 315 с.
6. Ильмаст Н. В., Стерлигова О. П., Кучко Я. А., Павловский С. А. Гидробиоценозы Костомукшского водохранилища (бассейн Белого моря) в условиях техногенного загрязнения // Известия Самарского НЦ РАН. 2013. Т. 15. № 3-3. С. 916-920.
7. Комулайнен С. Ф. Фитоперифитон в водоемах г. Петрозаводска (Республика Карелия) // Труды Карельского НЦ РАН. 2014. № 2. С. 43-50.
8. Моисеенко Т. И. Водная токсикология. Теоретические и прикладные аспекты. М: Наука, 2009. 400 с.

9. Попов П. А., Андросова Н. В., Попов В. А. Содержание тяжелых металлов в организме Сибирского Ельца (*Leuciscus leuciscus baicalensis*) // Вода: химия и экология. 2015. № 11. С. 88-92.
10. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищевая промышленность, 1966. 376 с.
11. Сидоров Г. П., Решетников Ю. С. Лососеобразные рыбы водоемов европейского Северо-Востока. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. 346 с.
12. Слуковский З. И., Медведев А. С. Содержание тяжелых металлов и мышьяка в донных отложениях озер Четырехверстного и Ламбы (г. Петрозаводск, Республика Карелия) // Экологическая химия, 2015. № 1. С. 56-62.
13. Терентьев П. М., Кашулин Н. А. Изучение пространственно-временных особенностей накопления некоторых тяжелых металлов в организмах сига водоемов северной Фенноскандии // Вестник Кольского НЦ РАН. 2010. № 1. С. 57-62.
14. Lydersen E., Lofgren S. Potential effects of metals in reacidified limed water bodies in Norway and Sweden // Environmental Monitoring and Assessment. 2002. Vol. 73. Issue 2. P. 155-178.
15. Szarek-Gwiazda E., Amirowicz A. Bioaccumulation of trace elements in roach, silver bream, and perch living in an inundated opencast sulphur mine // Aquatic Ecology. 2006. Vol. 40. Issue 2. P. 221-236.

П. М. Терентьев, Н. А. Кашулин

*Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты
p_terentjev@inep.ksc.ru*

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В РЫБАХ БАБИНСКОЙ ИМАНДРЫ

Водосборный бассейн и воды крупнейшего в Мурманской области оз. Имандра находятся под влиянием мощнейшего долговременного и многофакторного загрязнения (Антропогенные..., 2002; Моисеенко, 1980, 1991; Моисеенко, Яковлев, 1990; Крючков и др., 1984, 1985; Кашулин и др., 2007; Чижикив и др., 1976). Несмотря на снижение интенсивности промышленной деятельности конца 1990-х гг. нагрузка тяжелых металлов на экосистему оз. Имандра остается на значительном уровне. При значительной техногенной нагрузке на оз. Имандра, плес Бабинская Имандра не подвержен влиянию прямого промышленного загрязнения и в значительной степени сохраняет черты естественного водоема. Со строительством Кольской АЭС гидрологический, а затем и гидрохимический режимы западной части плеса был значительно изменен (Моисеенко, Яковлев, 1990). Наибольшую актуальность, при оценке величин антропогенной нагрузки на пресноводные экосистемы наряду с изучением донных отложений (Dauvalter, 1998; Rognerud, 1993), представляет анализ накопления токсических веществ в организмах рыб (Мур, Рамамурти, 1987; Кашулин, 2004; Ptashynski and Klaverkamp, 2002). Исследования состояния рыбной части сообщества оз. Имандра имеют достаточно продолжительную историю, включая и особенности накопления тяжелых металлов в организмах рыб (Антропогенные..., 2002; Берг, 1948; Берг и Правдин, 1948; Кашулин и др., 2007; Крогиус, 1926а, 1926б; Моисеенко и Яковлев, 1990; Терентьев и Кашулин, 2012; Рихтер, 1926, 1927). Целью данной работы являлось изучение особенностей накопления меди и никеля в тканях рыб Бабинской Имандр, испытывающей наименьшие уровни аэротехногенной нагрузки (рис.1).

Оценка содержания ТМ в рыбе и выявление закономерностей их накопления наиболее эффективна на основе анализа их концентраций в органах-мишенях. Далее рассмотрение указанных закономерностей приведено для органов и тканей с наиболее высокими показателями накопления металлов на примере сига. Анализ уровней накопления тяжелых металлов в тканях сига проводился для трех районов (губы Молочная, Бабинской и южной части Йокостровской Имандры).

Медь. Содержание меди в органах сига исследованного района не выявило закономерностей, связанных с влиянием термификации вод. Содержание металла в почках характеризовались более высокими средними показателями в губе Молочной и Бабинской Имандре (г. Кунчасть). В жабрах, скелете и мышечной ткани накопление меди у сига разных районов отличалось незначительно. Минимальные средние концентрации (менее 1 мкг/г) были зарегистрированы в мышцах сига. В целом, наиболее высокие величины накопления металла отмечались в печени рыб. Максимальное содержание меди в печени (97.5 и 94.9 мкг/г сух. веса) отмечено в районе Узкая Салма и о. Хорт, соответственно. Однако наиболее высокие средние концентрации меди в печени сига были