

А. Э. Овсепян

**СОДЕРЖАНИЕ РТУТИ В РЫБЕ, ВЫЛОВЛЕННОЙ
НИЖЕ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОГО КОМБИНАТА
В СЕВЕРНОЙ ДВИНЕ**

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

Поступила в редакцию 03.01.2024 г.

Принята к публикации 09.02.2024 г.

doi: 10.5922/gikbfu-2024-1-8

115

Для цитирования: Овсепян А. Э. Содержание ртути в рыбе, выловленной ниже целлюлозно-бумажного комбината в Северной Двине // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер. Естественные и медицинские науки. 2024. №1. С. 115–129. doi: 10.5922/gikbfu-2024-1-8.

Субарктические российские реки обычно имеют заболоченные водосборы с высоким содержанием ионов водорода и гуминовых веществ. Эти условия благоприятны для образования биодоступной ртути. Таким образом, даже фоновые концентрации ртути могут представлять серьезную опасность для водных организмов. Река Северная Двина вызывает особый интерес с точки зрения ртутного загрязнения из-за расположенных здесь целлюлозно-бумажных комбинатов (ЦБК), которые уже давно используют ртуть в своих производственных циклах. Цель работы – анализ содержания ртути в рыбах, обитающих в устье Северной Двины и имеющих промысловое значение. В ходе данного исследования были определены содержание и распределение ртути в образцах тканей различных видов рыб, представляющих собой компоненты ртутного цикла на исследуемой территории. Более низкие уровни ртути в нетронутых районах Российской субарктики показали роль водных организмов как индикаторов биогеохимического цикла миграции ртути в северных пресноводных районах. Благодаря публикации работы в научный оборот вводятся новые данные о содержании ртути в рыбах Северной Двины, преимущественно обитающих в ее устьевой зоне, находящейся под воздействием целлюлозно-бумажной промышленности. Содержание и распределение ртути охарактеризовано на примере наиболее распространенных видов рыб. Показана разница между накоплением ртути в разных условиях и территориально, проведен анализ влияющих факторов.

Ключевые слова: ртуть в тканях рыб, устьевые области, воздействие целлюлозно-бумажного комбината, северные реки, донные отложения

Введение

В настоящее время ртуть является высокоприоритетным загрязнителем, что признано на международном уровне Минаматской конвенцией 2016 г. Ее потенциальная токсичность для людей и других живых существ широко варьируется в зависимости от химической формы, типа и уровня воздействия, а также уязвимости цели. В водных экосисте-



мах особую роль играют экологические условия конкретных водоемов, так как ртуть может мигрировать вертикально (оседая во взвешенном состоянии, улетающая или испаряясь через слои воды), горизонтально (переносясь в море во взвешенном или растворенном виде) или через трофическую цепь гидробионтов, потенциально трансформируя формы нахождения.

Выброс больших количеств ртути и ее соединений и включение их в круговорот вызвали рост концентраций ртути и метилртути даже в отдаленных регионах планеты – в Арктике и Субарктике [1; 23]. Исследования, проведенные в рамках Программы мониторинга Арктики, показали, что наибольшую угрозу для окружающей среды Арктики представляют кадмий, свинец и ртуть.

Большинство стран Арктического региона постоянно контролируют накопление ртути в водной биоте, рыбе, разрабатывают стандарты безопасного потребления отдельных водных организмов для местного населения [12; 25].

Отметим, что специального мониторинга содержания ртути в рыбах Арктического бассейна для России нет, имеется интерес со стороны ученых и отдельные научные разработки [14; 17; 18; 22]. На севере европейской территории России, подверженном ртутному загрязнению, наиболее изученной водной экосистемой является устье р. Северной Двины из-за ее близости к прямым источникам ртути [10; 21]. Водно-болотные угодья региона обуславливают повышенную миграционную активность ртути и увеличение ее доступности для живых организмов. Эти условия могут способствовать накоплению ртути в рыбе даже при относительно низких концентрациях в окружающей среде. При этом отметим, что потребление рыбы на Севере России в среднем в 2,6 раза выше, чем на остальной территории страны, что характерно для жителей всего субарктического региона. Исследователи отмечают, что связь между уровнем ртути и характеристиками окружающей среды часто противоречит общепринятому мнению [24]. Благодаря уникальным свойствам на интенсивность накопления или выведения ртути влияет множество факторов. Поскольку рыба традиционно является одним из важных продуктов питания для местного населения (в районе развито рыболовство), важность и актуальность исследований накопления и распространения ртути в тканях рыб этого региона не вызывают сомнений.

С 2004 г. в районе устья Северной Двины проводятся исследования, направленные на определение содержания и поведения ртути в компонентах окружающей среды [21; 22]. Стоит учитывать, что на Северной Двине расположено несколько целлюлозно-бумажных комбинатов (ЦБК). В их производственный цикл долгое время входила ртуть. В частности, на территории исследования расположен Архангельский ЦБК – крупнейший производитель упаковочного картона и один из лидеров производства целлюлозы в России. До 2004 г., когда предприятие было модернизировано, для производства хлора использовалась

ртуть (это длилось более 50 лет). Различные авторы отмечают увеличение относительно фоновых концентраций содержания ртути в воде, донных отложениях, осадках, мхах и лишайниках на исследуемой территории [8; 19]. Из потенциальных источников ртути отметим также расположение в зоне исследований административного и промышленного центра области — города Архангельска, наличие портов и развитого судоходства, применение печного отопления в холодный сезон и др.

Материалы и методы

Цель работы — выявление содержания ртути в тканях рыб, обитающих в устье р. Северной Двины и имеющих промысловое значение.

Задачи исследования: 1) сбор рыб, обитающих в устье р. Северной Двины; 2) определение концентрации ртути в печени, мышцах, жабрах и икре рыб (при наличии); 3) обработка и анализ результатов; 4) сравнение с имеющейся информацией, данными других авторов.

Отбор рыбы осуществлялся прямым выловом из реки и ее притоков, преимущественно в Архангельске, Двинском и Северодвинском районах Белого моря, а также на приустьевом участке реки. Места отбора проб и виды рыб представлены на рисунке 1.

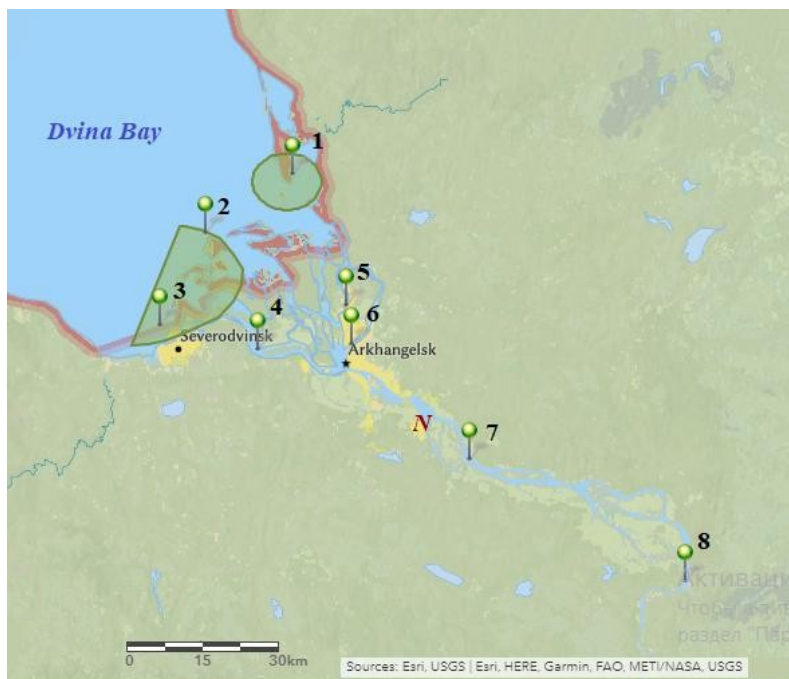


Рис. 1. Местоположение вылова и виды рыб:

- 1 — ст. Остров Мудьюг (улов наваги); 2 — ст. Остров Кумбыш;
- 3 — ст. Северодвинск (улов корюшки); 4 — ст. Никольский рукав;
- 5 — ст. Кузнечиха; 6 — ст. Соломбалка; 7 — ст. село Трепузово;
- 8 — ст. Усть-Пинега (улов плотвы); N — г. Новодвинск, место расположения Архангельского ЦБК

Пробы собирались в течение нескольких недель в ноябре 2009 г., а также в августе — сентябре 2010 г., в сентябре 2011 г., августе 2014, 2015 и 2017 гг. В данном исследовании мы сосредоточим внимание на трех видах рыб: плотва (*Rutilus rutilus lacustris* Pallas, 1814), корюшка (*Osmerus eperlanus* Linnaeus, 1758) и навага (*Eleginus nawaga*, 1792). Все виды рыб в этом регионе являются промысловыми. Рыбу ловили ежегодно в одних и тех же местах (на станциях). Для наваги это о-в Мудьюг, для корюшки — район Северодвинска и о-в Кумбыш, плотву ловили на станциях, расположенных в разных частях устья Северной Двины. После отлова образцы рыбы препарировали, отдельно отбирая мышцы, печень и жабры. Их помещали в специально подготовленные стеклянные пробирки и консервировали 4%-ным раствором бихромата калия в концентрированной азотной кислоте. Содержание ртути анализировали в аттестованной лаборатории Государственного гидрохимического института методом атомно-абсорбционной спектроскопии в холодном паре. Предел обнаружения составлял 0,001 мкг/г в.в. (влажный вес). Массу тела регистрировали с точностью до 0,1 г, а общую длину тела измеряли с точностью до 0,1 см.

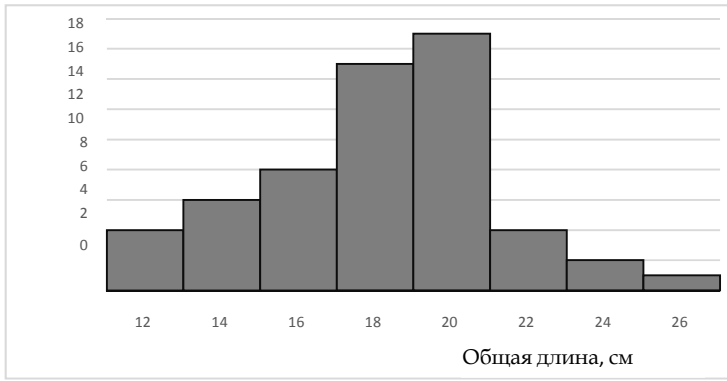
Результаты

За 6 лет полевых отборов проб на содержание ртути исследовано 8 видов рыб. Во всех пробах была обнаружена ртуть в различных концентрациях. Для данного исследования выбраны виды, соответствующие трем критериям: 1) достаточно многочисленные, чтобы обеспечить репрезентативные количественные данные для анализа содержания ртути; 2) имеющие коммерческую ценность и присутствующие в рационе жителей; 3) достаточно распространенные для реки.

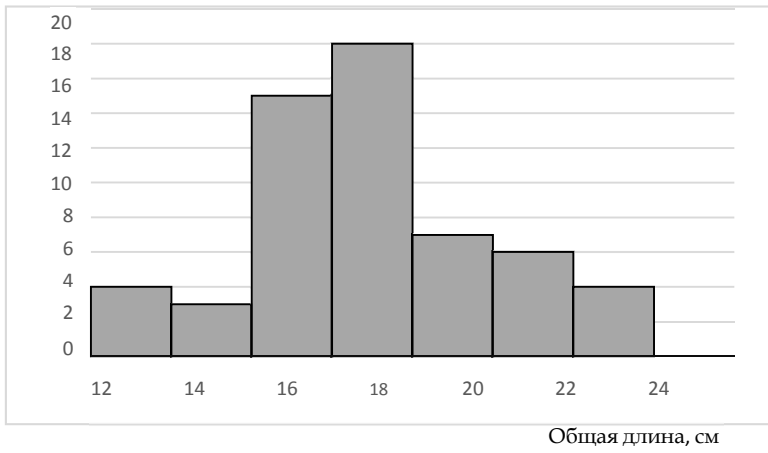
На основании этих критериев для дальнейшего анализа были выбраны следующие виды: навага (*Eleginus nawaga* Walbaum, 1792), корюшка (*Osmerus eperlanus* Linnaeus, 1758) и плотва (*Rutilus rutilus lacustris* Pallas, 1814). Всего в выборку вошли 58 экземпляров наваги, 55 экземпляров корюшки и 82 экземпляра плотвы. Размерный состав этих рыб представлен на рисунке 2.

Содержание ртути по видам рыб

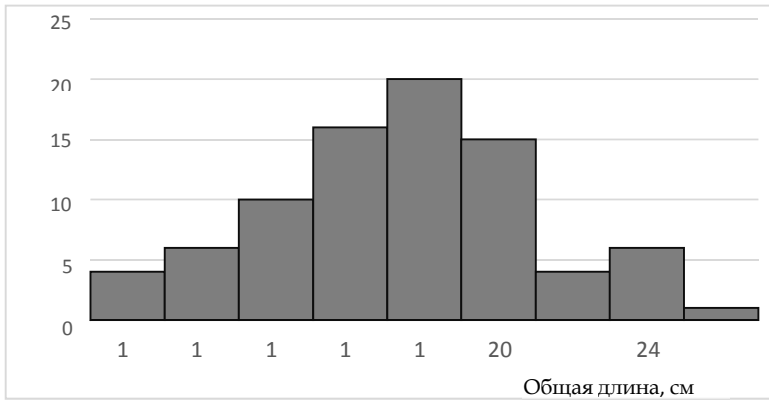
Навага (*Eleginus nawaga* Walbaum, 1792) распространена в Белом море (рис. 3), имеет промысловое значение, пользуется популярностью у местных рыболовов. Навага обитает у берега на небольших глубинах у дна; ее пища разнообразна и включает планктон, донные организмы и мелкую рыбу. Обычная длина промысловой беломорской наваги 15—23 см: это готовая к нересту рыба в возрасте 2—4 лет. Основная пища наваги — ракообразные, бокоплав, черви, частично рыба. Пищевые предпочтения меняются в зависимости от сезона и размера (возраста) рыбы. Исследователи [3], изучавшие беломорское стадо наваги, установили, что эта рыба в основном питается полихетами летом и только в августе с появлением молоди некоторых видов рыб переходит на нее; ракообразные также представлены незначительно.



а



б



в

Рис. 2. Распределение по размерам рыбы, отобранной для анализа содержания ртути:
 а – навага (*Eleginus nawaga*); б – корюшка (*Osmerus eperlanus* Linnaeus, 1758);
 в – плотва (*Rutilus rutilus lacustris* Pallas, 1814)



Рис. 3. Образец наваги (*Eleginus nawaga* Walbaum, 1792), пойманной на о-ве Мудьюг

Содержание ртути колебалось в пределах 0,009–0,085 мкг/г (в среднем 0,043 мкг/г); самые высокие уровни ртути были обнаружены в образцах печени, жабр, относительно низкие концентрации — в мышцах и образцах икры (табл.).

Содержание ртути в тканях рыб, выловленных в устьевой зоне реки Северной Двины, мкг/г влажного веса

Виды рыб	Печень	Мышцы	Жабры	Икра
Навага (<i>Eleginus nawaga</i>)	<u>0,009–0,073</u> 0,051 (0,012)	<u>0,011–0,064</u> 0,034 (0,015)	<u>0,018–0,085</u> 0,044 (0,011)	<u>0,015–0,041</u> 0,027 (0,009)
Корюшка (<i>Osmerus eperlanus</i> Linnaeus)	<u>0,013–0,155</u> 0,056 (0,013)	<u>0,025–0,201</u> 0,070 (0,015)	<u>0,031–0,104</u> 0,045 (0,012)	–
Плотва (<i>Rutilus rutilus lacustris</i> Pallas, 1814)	<u>0,033–0,211</u> 0,138 (0,015)	<u>0,009–0,083</u> 0,053 (0,011)	<u>0,025–0,162</u> 0,108 (0,013)	–

Примечание. Диапазон колебаний (числитель), среднее и стандартное отклонение (знаменатель) содержания ртути в пробах тканей рыб.

Считается и отмечено многими авторами, что содержание ртути увеличивается с возрастом и размером организма рыб, однако в нашем исследовании значимой корреляции между размерами и уровнем концентраций ртути не выявлено. Также отметим, что и отсутствие подобной зависимости не является редкостью [28], поскольку на накопление ртути организмами рыб влияет большое разнообразие факторов. Так, для нашего исследования это могут быть такие, как различные места нагула веса, относительно небольшой процент молодежи и взрослых особей, разброс количества отобранных образцов по годам вылова и др.

Корюшка (*Osmerus eperlanus* Linnaeus, 1758) является традиционным объектом промысла в Белом море, Двинском заливе. Это пелагиче-

ский полупроходной вид, нерестится в устьях рек, но неглубоко (рис. 4), в конце апреля – мае, в возрасте 3–4 лет. Питается мелким планктоном, ракообразными; в прибрежной зоне морей корюшка поедает мидид, амфипод, десятиногих моллюсков, реже личинок моллюсков, полихет и другие донные организмы; крупные особи могут поедать икру, личинки и даже молодь рыбы. Наиболее интенсивный нагул происходит летом и осенью, в непосредственной близости от побережья, где она находится большую часть года.



121

Рис. 4. Образец корюшки (*Osmerus eperlanus* Linnaeus, 1758), пойманной на о-ве Кумбыш

Содержание ртути колебалось в пределах 0,013–0,201 мкг/г (в среднем 0,054 мкг/г); самые высокие уровни ртути были обнаружены в образцах мышц и печени при относительно низких концентрациях в жабрах (табл.).

Плотва – речная рыба, она выбирает участки с медленным, спокойным течением, мелководными, травянистыми водами и держится ближе к берегу (рис. 5). Это бентофаг с преобладанием в рационе брюхоногих моллюсков.



Рис. 5. Образец плотвы (*Rutilus rutilus lacustris* Pallas, 1814), пойманной в рукаве Никольском



Нерестится рыба весной, через 2–3 недели после таяния льда, достигает 10–27 см, вес – от 20 до 450 г.

Содержание ртути колебалось в пределах 0,009–0,211 мкг/г (в среднем 0,099 мкг/г); самые высокие уровни ртути были обнаружены в образцах печени и жабр при относительно низких концентрациях в мышцах (табл.).

По содержанию ртути по видам рыб мы видим следующее распределение: плотва > корюшка > навага.

Соотношение содержания ртути в тканях по видам рыб выглядит следующим образом:

Навага:	печень > жабры > мышцы > икра
Корюшка:	мышцы > печень > жабры
Плотва:	печень > жабры > мышцы

122

Обсуждение

Комплексные исследования содержания ртути в воде, донных отложениях, почвах, осадках, проводимые автором и коллегами в регионе более 15 лет, свидетельствуют о хроническом ртутном загрязнении антропогенного происхождения в экосистеме устья Северной Двины [6; 10; 17; 22; 26]. Эта ситуация естественным образом влияет на водную жизнь.

В рассматриваемом регионе отсутствуют природные источники ртути, которые могли бы образовывать концентрации выше фоновых значений [13]. Однако в северной части Европейского региона России имеется несколько крупных ЦБК, в том числе крупнейший – Архангельский ЦБК, использующий ртуть в своем технологическом цикле (при производстве хлора электролизом) более 50 лет. Концентрации ртути в воде, донных отложениях, осадках в регионе превышают естественный фон, а в ряде случаев и установленные санитарно-эпидемиологические нормы [5–7]. Так, исследования, проведенные в 2004–2006 гг., показали, что средние концентрации растворенной ртути в воде района во время отлива (0,065 мкг/л) превышают ПДК, установленные для питьевой воды, в 1,3 раза, а природный фон – в 13 раз. В 85 % всех обработанных проб было обнаружено превышение ПДК для рыбохозяйственных водоемов, равное 0,01 мкг/л. Концентрация ртути в донных отложениях составляла около 0,11 мкг/г с.м. в верхнем горизонте, что примерно в 4,5 раза превышает фоновые значения для района исследований [7; 9].

Во всех исследованных образцах рыбы была обнаружена ртуть. Избранные виды рыб – обитатели устьевого взморья (навага и корюшка), а также дельты реки и приустьевой зоны (плотва). Навага и плотва являются бентофагами. Корюшка – пелагический вид.

Самые высокие концентрации ртути во всех тканях обнаружены у плотвы (в печени), пойманной в дельте, в районе города Архангельска



и ниже по течению от Архангельского ЦБК. Наименьшая концентрация была определена в мышцах плотвы из приустьевой зоны (с. Усть-Пинега — станция расположена в 90 км выше по течению от Архангельска).

Высокие концентрации ртути в печени водных организмов, скорее всего, свидетельствуют о богатой ртутью пищевой базе и достаточно длительном периоде воздействия.

В выловленных в мелководных протоках, пересекающих город Архангельск, рыбах обнаружен повышенный уровень ртути в жабрах. Например, в протоке Соломбалка, характеризующейся относительно высоким содержанием ртути в донных отложениях, у пойманной плотвы также выявлены высокие концентрации в жабрах. Соломбалка имеет неглубокое русло, интенсивно используется для рыбалки, передвижения жителей на моторных лодках, водоток протекает через Архангельск и собирает городские сточные воды. Очевидно, что в период летней межени, при отсутствии разбавления и активного перемешивания вод, при взмучивании донных отложений ртуть будет поступать в толщу воды со взвесью, что приведет к ее накоплению в жабрах рыб. Важность влияния донных отложений, даже при относительно небольших концентрациях ртути, на мелководные водоемы отмечается и в работе [2], где говорится о реках Юго-Востока Бразилии. Авторы отмечают, что, несмотря на низкие концентрации ртути в донных отложениях ($<0,05$ мкг/г с.в.), этот компонент является наиболее вероятным источником ртути для изученных организмов в связи с тесным контактом с ним рыб из-за маловодности этих участков реки [2].

Отметим, что в настоящем исследовании относительно высокие уровни ртути были обнаружены для всех видов рыб в 2009 г. В среднем концентрации ртути в рыбе в 2009 г. были на 20 % выше по сравнению с 2017 г. Здесь можно говорить о двух факторах, способствующих формированию этого разрыва. Во-первых, это разница времен года. В 2009 г. отбор проб проводился осенью, остальное время — в летний сезон. Второй фактор, который должен был оказать влияние, — это снижение ртутной нагрузки на экосистему.

Например, исследования содержания ртути в воде в течение около 10 лет показали значительное снижение концентраций с 2004 г. [20] — средняя концентрация ртути в воде снизилась в 5 раз с 2005 по 2014 г. (рис. 6). Учитывая тот факт, что официально с 2004 г. Архангельский ЦБК перешел на безртутное производство хлора, можно предположить, что экосистема начала реагировать, очищаться. Однако накопленная за многие годы в донных отложениях реки ртуть еще долго будет вызывать беспокойство, приводя к периодическим всплескам концентрации металла в воде, поддерживая определенный уровень концентраций ртути в экосистеме устьевой зоны Северной Двины [7].

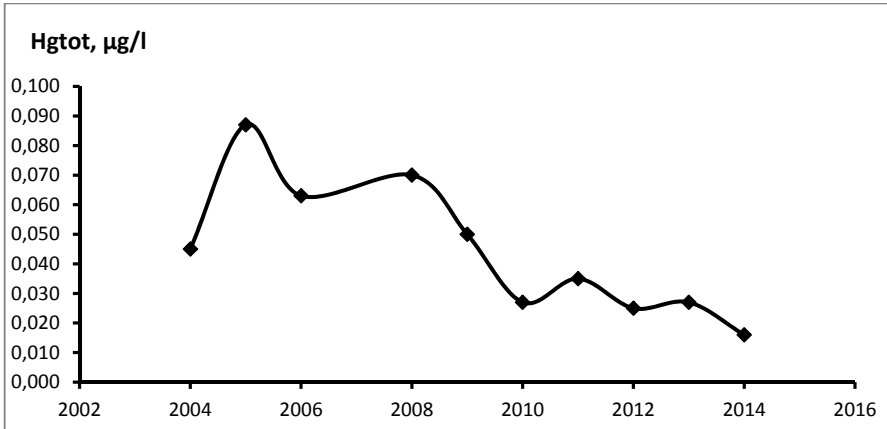


Рис. 6. Межгодовая динамика валовых концентраций ртути в воде р. Северной Двины, ст. Соломбала [20]

Актуальность исследований и необходимость контроля этого токсиканта сохраняются. К аналогичным выводам пришли исследователи, изучавшие один из крупнейших в мире последовательных наборов данных мониторинга (40-летние ряды данных) [11]. Существующие исследования ученых в провинции Онтарио, Канада, показали, что даже на фоне снижения выбросов ртути в Северной Америке на время реакции экосистемы влияют такие факторы, как глобальный воздушный транспорт металла, изменение климата, накопленные уровни в экосистеме. Так, показано, что с 1970 по 2012 г. уровни ртути в изученных пробах рыб озерайной форели, судака и щуки оставались прежними или несколько снижались [11]. Некоторые исследователи [15] показали, что для оз. Верхнее и Гурон, где содержание ртути обусловлено природными факторами, концентрация металлов в форели и судаке имеет тенденцию к снижению. Кроме того, наблюдается незначительная тенденция к росту концентраций в рыбах оз. Эри и Онтарио, которые подвержены антропогенному воздействию. Также авторы отмечают необходимость изучения нескольких видов рыб для правильной оценки временных тенденций [4].

Сравним полученные результаты с имеющимися в доступе данными по рыбам субарктического региона. На рисунке 7 изображены усредненные данные по содержанию ртути в мышцах и печени нехищных видов рыб, выловленных в реках бассейна Северного Ледовитого океана.

В подавляющем числе случаев концентрации ртути в печени рыб превышали таковые в мышцах, наибольший разброс этих значений выявлен в рыбах Кольского полуострова. Усредненное содержание ртути в рыбах, по результатам настоящего исследования, составляет 0,052 мкг/г в. в. в мышцах и 0,082 мкг/г в. в. в печени, что в целом соответствует уровню таких регионов, как Аляска и Норвегия. Выявленные



в мышцах уровни ртути чуть ниже, чем в рыбах рек Таймыра и Чукотки, в значительной степени ниже, чем в рыбах Кольского полуострова, рек Финляндии, Канады и р. Печоры. По показателю концентраций ртути в печени самые высокие значения выявлены в реках Кольского полуострова, достаточно высоко содержание ртути в печени рыб в реках Чукотки и Таймыра.

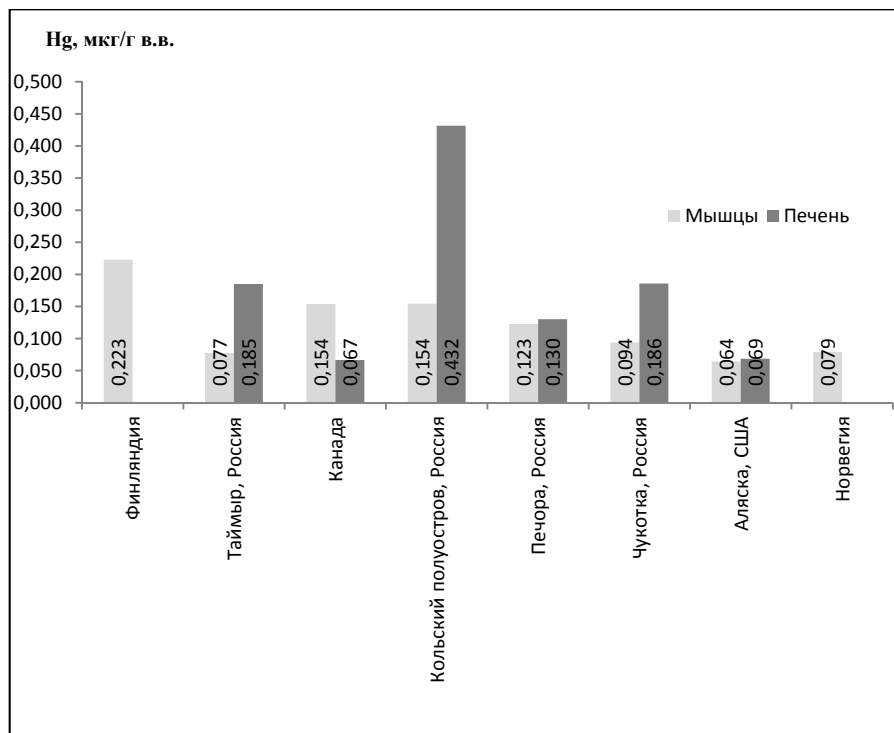


Рис. 7. Содержание ртути в мышцах и печени нехищных видов рыб рек субарктического района (составлено по данным [1])

Отметим, что за период исследований ни в одной пробе тканей рыб из устья р. Северная Двина не выявлено превышение предельно допустимой концентрации (0,3 мг/кг) ртути в растительноядных рыбах в соответствии с нормами Российской Федерации [5]. Работы, проводимые с 2009 г., по частоте и степени охвата видов рыб уникальны для этого района. Предыдущие исследования были связаны с государственным мониторингом и, как правило, были единичными. В частности, в отчете государственного мониторинга за 2004 г. установлено, что концентрации ртути превышали нормативы в мышцах леща р. Северная Двина вблизи зоны влияния сточных вод ЦБК из Архангельска [16]. Таким образом, биомасса фитопланктона, зоопланктона и зообентоса снизилась в 3, 2,5 и 10 раз по сравнению с уровнями середины XX в.



Заключение

Содержание ртути в тканях рыб устья р. Северной Двины свидетельствует о наличии обогащенной ртутью кормовой базы и имеющемся воздействии относительно высоких уровней ртути и связанных с ней соединений. Образцы печени имели самые высокие концентрации ртути. Сравнительно высокое содержание ртути в жабрах рыб было выявлено в условиях низкого уровня воды в реке, поскольку в этот период для среды обитания характерны взмучивание загрязненных донных отложений, повышенная концентрация взвешенных веществ в толще воды и низкие уровни разбавления различных видов стоков. Таким образом, в маловодных условиях ртуть интенсивнее накапливается в фильтрующих тканях гидробионтов по сравнению с другими гидродинамическими, физическими и химическими условиями. Выявлена тенденция снижения концентраций ртути в тканях рыб исследуемого региона с 2009 по 2017 г. за счет общего снижения концентраций ртути в экосистеме (в целом на 20 %). При оценке и прогнозировании уровней накопления ртути в рыбе следует учитывать водность реки (она может меняться от года к году), гидродинамическую активность, рН. Таким образом, изменения гидродинамической активности, обусловленные приливными процессами, фазами водного режима (особенно в летнюю межень и высокую приливную волну), с большой вероятностью вызовут взмучивание донных отложений, увеличение концентрации ртути в воде и повышение ее доступности для гидробионтов.

По данным исследования, среди выделенных видов рыб интенсивнее всего ртуть накапливалась в печени плотвы, то есть плотва может быть приоритетным объектом дальнейших исследований.

Сравнение этих результатов с другими литературными данными показало, что самые высокие уровни накопления ртути в тканях рыб в российской Субарктике аналогичны таковым в европейских странах и связаны прежде всего с антропогенным воздействием на экосистемы.

Однако в российской субарктической зоне также имеются регионы (обычно отдаленные), такие как Чукотка и Таймыр, которые являются более чистыми с точки зрения загрязнения ртутью тканей рыб, что демонстрирует полезность использования концентраций ртути в гидробионтах в качестве индикатора загрязнения.

Список литературы

1. AMAP Assessment 2011: Mercury in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Program (AMAP). Oslo, 2011.
2. Azevedo L. S., Almeida M. G., Bastos W. R. et al. Organotropism of methylmercury in fish of the southeastern of Brazil // *Chemosphere*. 2017. 185:746–753.
3. Bakhvalova A. E., Ivanova T. S., Ivanov M. V. et al. Long-term changes in the role of stickleback in the diet of predatory fish // *Evolutionary Ecology Research*. 2016. 17:1–17.



4. *Bhavsar S.P., Gewurtz S.B., McGoldrick D.J. et al.* Changes in mercury levels in Great Lakes fish between the 1970s and 2007 // *Environmental Science and Technology*. 2010. 44(9):3273–3279.

5. Chief state sanitary doctor of the Russian Federation Hygienic requirements for food safety and nutritional value. SanPiN 2.3.2.1078-01. Moscow, 2001.

6. *Fedorov Y.A., Ovsepyan A.E.* Mercury and its connection with physicochemical water parameters (case study of the rivers of the Northern European territory of Russia) // *Mercury: Sources, applications and health impacts* / K.H. Kim, J.C. Broun (eds.). N. Y., 2013. P. 155–172.

7. *Fedorov Y.A., Ovsepyan A.E., Korobov V.B. et al.* Bottom sediments and their role in surface water pollution with mercury (with a special reference to the Northern Dvina river mouth and the Dvina bay of the White Sea) // *Russian Meteorology and Hydrology*. 2010. 35(9):611–618.

8. *Fedorov Y.A., Ovsepyan A.E., Savitsky V.A. et al.* Mercury in White Sea bottom sediments: Distribution, sources, and deposition chronology // *Oceanology*. 2019. 59(1):153–162.

9. *Fedorov Y.A., Ovsepyan A.E., Zimovets A.A. et al.* Mercury distribution in bottom sediments of the White Sea and the rivers of its basin // *Handbook of Environmental Chemistry*. 2018. 82:207–240.

10. *Fedorov Y.A., Zimovec A.A.* About the principal sources of heavy metals in the Northern Dvina River estuary // *Proceedings of the Xth SGEM*. 2011. 2:171–174.

11. *Gandhi N., Tang R.W.K., Bhavsar S.P. et al.* Fish mercury levels appear to be increasing lately: A report from 40 years of monitoring in the province of Ontario, Canada // *Environmental Science and Technology*. 2014. 48:5404–5414.

12. *Govind P., Madhuri S., Shrivastav A.B.* Contamination of mercury in fish and its toxicity to fish and humans: an overview // *International Research Journal of Pharmacy*. 2012. 3(11):44–47.

13. *Jonasson I.R., Boyle R.W.* (Geochemistry of mercury and origins of natural contamination of the environment // *Canadian Mining and Metallurgical Bulletin*. 1972. 65:87.

14. *Komov V.T., Gremyachikh V.A. et al.* Biological Resources of the White Sea and Internal Reservoirs of the European North. Petrozavodsk, 2009.

15. *Marvin C., Painter S., Rossmann R.* Spatial and temporal patterns in mercury contamination in sediments of the Laurentian Great Lakes // *Environmental Research*. 2004. 95:351–362.

16. Ministry of Natural Resources of the Russian Federation State report “On the state and environmental protection of the Russian Federation in 2004”. Moscow, 2005.

17. *Moiseenko T.I., Gashkina N.A.* Bioaccumulation of mercury in fish as an indicator of water pollution // *Geochemistry International*. 2016. 54(6):485–493.

18. *Nemova N.N.* Biochemical Effects of Mercury Accumulation from Fish. Moscow, 2005.

19. *Ovanesyanc A.M., Krasil'nikova T.A., Ivanov A.B.* On the pollution of the environment and radiation situation in the Russian Federation in March 2008 // *Meteorologiya i Gidrologiya*. 2008. 6:98–104.

20. *Ovsepyan A., Zimovets A.* Annual dynamics of mercury concentrations in the waters of the Northern Dvina River // *SGEM 2019 Conference Proceedings*. 2019. 3(1):657–664.

21. *Овсенин А.Э., Федоров Ю.А.* Ртуть в устьевой области реки Северная Двина. Ростов н/Д, 2011.



22. Овсепян А. Э. О концентрациях ртути в рыбе устьевой области реки Северная Двина // Общество. Среда. Развитие. 2018. №3 (48). С. 96–102.

23. Soerensen A. L., Jacob D. J., Schartup A. T. et al. A mass budget for mercury and methylmercury in the Arctic Ocean // Global Biogeochemical Cycles. 2016. 30(4):560–575.

24. Walters D. M., Blocksom K. A., Lazorchak J. M. et al. Mercury contamination in fish in midcontinent great rivers of the United States: Importance of species traits and environmental factors // Environmental Science and Technology. 2010. 44(8):2947–2953.

25. Zillioux E. J. Mercury in Fish: History, Sources, Pathways, Effects, and Indicator Usage. Springer, Dordrecht, 2015.

26. Zimovets A. A., Ovspeyan A. E. Features of the natural and anthropogenic fluxes of heavy metals formation and assessment of the cleansing ability of Northern European territory of Russia mouth rivers // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. 272:022244.

27. Новиков М. А., Горбачева Е. А., Харламова М. Н. Содержание ртути в промысловых рыбах Баренцева моря (по многолетним данным) // Труды ВНИРО. 2023. Т. 191. С. 112–123. <https://doi.org/10.36038/2307-3497-2023-191-112-123>.

Об авторе

Ася Эмильевна Овсепян — канд. геогр. наук, доц., Южный федеральный университет, Россия.

E-mail: ovsepleat@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-6914-2539

A. E. Ovspeyan

MERCURY CONTENT IN FISH CAUGHT IN THE NORTHERN DVINA BELOW A PULP AND PAPER MILL

Southern Federal University, Russia

Received 03 January 2024

Accepted 09 February 2024

doi: 10.5922/gikbfu-2024-1-8

To cite this article: Ovspeyan A. E., 2024, Mercury content in fish caught in the Northern Dvina below a pulp and paper mill, *Vestnik of Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Natural and Medical Sciences*, №1. P. 115–129. doi: 10.5922/gikbfu-2024-1-8.

Subarctic Russian rivers tend to have swampy watersheds with a high content of hydrogen ions and humic substances. These conditions are favourable for the formation of bioavailable mercury. Thus, even background mercury concentrations can pose a danger to aquatic organisms. The Northern Dvina River attracts particular attention regarding mercury pollution due to the presence of pulp and paper mills in the area. These mills have historically utilised mercury in their production processes.

This study aims to analyse the mercury content in commercially important fish species living in the mouth of the Northern Dvina River. The content and distribution of mercury in tissue samples of various fish species were determined to provide insight into components of



the mercury cycle in the study area. Lower mercury levels in pristine areas of the Russian subarctic showed the role of aquatic organisms as indicators of the biogeochemical cycle of mercury migration in northern freshwater areas. This study provides new scientific data on the levels of mercury found in fish from the Northern Dvina, particularly those in its estuary zone affected by the pulp and paper industry. The content and distribution of mercury were characterised using the most common fish species as an example. The difference was shown between mercury accumulation in different conditions and areas, with an analysis of relevant factors carried out.

Keywords: mercury in fish tissues, estuarine areas, exposure to pulp and paper mills, northern rivers, bottom sediments

The author

Dr Asya E. Ovsepyan, Associate Professor, Institute of Earth Sciences, Southern Federal University, Russia.

E-mail: ovsepleat@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-6914-2539