

Накопление микроэлементов в мышцах баренцевоморских рыб и других гидробионтов

Канд. геогр. наук Г.В. Ильин – Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН

Хотя причины ухудшения промысловой ситуации в Баренцевом море, как и в других морских бассейнах, многообразны, рыбодобывающие компании в первую очередь выдвигают «лежащие на поверхности» предположения о том, что ухудшение экологической обстановки в бассейне произошло в результате антропогенного распространения загрязняющих веществ.

Рост промышленного производства и неадекватный уровень природосберегающих технологий и природоохранных мер даже в развитых странах приводят к глобальному распространению загрязняющих веществ: тяжелых металлов, радионуклидов, нефтяных и полиароматических углеводородов, хлорорганических соединений. Баренцево море также становится объектом промышленной экспансии, в первую очередь, со стороны нефтедобывающей отрасли. Проблемы влияния промышленной экспансии и экологического состояния водоема на динамику уловов рыбы и качество морепродуктов обсуждаются не только специалистами, они беспокоят и потребителей.

В условиях сокращения вылова рыбы все больший интерес вызывают идеи развития в регионе прибрежной марикультуры. В то же время именно прибрежные районы моря могут испытывать и наибольшую антропогенную нагрузку, исходящую от промышленных узлов Северной Европы и Кольского полуострова.

На Кольском полуострове развита горнометаллургическая промышленность. Территория полуострова изобилует железными, медно-никелевыми, редкоземельными рудными запасами, вследствие чего в пресноводном стоке повышен природный фон содержания меди, марганца, никеля, железа, алюминия (Даувальтер В.А. *Загрязнение донных отложений бассейна р. Пасвик тяжелыми металлами*// «Геозкология», 1997, № 6, с. 43–53; Даувальтер В.А. *Тяжелые металлы в донных отложениях озера-речной системы оз. Инари – р. Пасвик*// «Водные ресурсы», 1998. Т. 25, № 4, с. 494–500).

Закисление атмосферных осадков выбросами промышленных предприятий дополнительно приводит к интенсивному выщелачиванию металлов из рудных тел и росту их концентрации в поверхностных водах, особенно в бассейнах рек Печенга, Кола, Патсойоки. В устьевых участках этих рек концентрации *Fe*, *Mn*, *Zn*, *Cu* в 60 % случаев превышают 2–6 ПДК для воды рыбохозяйственных водоемов (Обзор *загрязнения природной среды в Российской Федерации за 2000 г. М.: Росгидромет*, 2001. 238 с.; *Состояние окружающей природной среды Мурманской области в 2000 г. Мурманск: Изд-во МИП-999*, 2001. 186 с.). В восточных районах качество вод характеризуется высоким содержанием цинка (до 3–5 ПДК), меди (1–7) и железа (2–8 ПДК).

Другим источником металлов в растворенной и взвешенной формах для Баренцева моря являются воды Нордкапского и Мурманского прибрежного течений, переносящие загрязняющие вещества от североευропейских промышленных центров.

Поступление металлов в море с аэрозолями имеет сезонную изменчивость, связанную с изменениями атмосферной циркуляции и цикличностью таяния и становления плавучего ледяного

покрова. Зимой концентрация металлов в аэрозолях возрастает в 2–5 раз по сравнению с летним периодом, что определяется усилением южной составляющей атмосферного переноса в зимнее время (Матишов Г.Г., Голубева Н.И. *Химические примеси в снежном покрове Печорского и Карского морей*// Биология и океанография Карского и Баренцева морей (по трассе Севморпути). Апатиты, 1998, с. 430–440). В атмосферных аэрозолях над Баренцевым морем обнаружены *Hg*, *Cr*, *Cu*, *Fe*, *Zn*, *As*, *Se* и др. (Голубева Н.И., Шевченко В.П. *К вопросу о составе атмосферного аэрозоля в Арктике*// Геология морей и океанов. Тез. докл. XIII междунар. школы морской геологии. М., 1999. Т. 1, с. 220–221).

Интегральное воздействие материкового стока металлов, золотого переноса и адвекции с водами трансокеанических течений определяет существующий фон их содержания в компонентах среды Баренцева моря, формирует уровень накопления микроэлементов в мышцах рыб и других гидробионтов.

Содержание *Ni*, *Cr* и *Co* в мышцах рыб оказывается ниже пределов обнаружения применяемыми методами анализа. Концентрация других металлов характеризуется значительной (до 100 %) внутривидовой вариабельностью, что определяется сезонной миграцией рыб и условиями среды в разных районах нагула (Биотестирование и прогноз изменчивости водных экосистем при антропогенном загрязнении/ Под ред. Г.Г. Матишова. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2003. 468 с.; Ильин Г.В. *Современные уровни химического загрязнения промысловой ихтиофауны*// Экология промысловых видов рыб Баренцева моря. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2001, с. 196–217).

Среднегодовые концентрации каждого из металлов в тканях разных видов рыб мало различаются (таблица); тем не менее, по многим элементам межвидовые и межгодовые различия статистически достоверны. Наиболее выражены отличия концентраций цинка в тканях пелагических и донных рыб. И обитающие в Баренцевом море мойва (*Mallotus villosus villosus*) и сайда (*Pollachius virens*), и типичные североатлантические виды – скумбрия (*Scomber scombrus*), сельдь (*Clupea harengus*), морской петух (*Eutrigla gurnardus*) – накапливают его вдвое больше, чем другие виды. Обобщение многолетних наблюдений позволяет установить тенденцию повышенного накопления и других микроэлементов в тканях донных рыб и составить интегральный ряд накопления металлов в порядке убывания уровня их содержания в мышечной ткани:

зубатка пестрая > зубатка синяя > сайка > гренландский черный палтус > окунь морской, пикша > камбала-ерш > мойва, треска > сайда.

Территориальные различия в накоплении металлов на примере трески (*Gadus morhua morhua*) показаны на рис. 1. В мышцах рыб, выловленных в восточных промысловых районах, в большей степени накапливается медь и мало ртути. В прибрежных районах для трески характерно повышенное накопление всех металлов, особенно свинца и ртути. На западной окраине моря, в атлантических водах, в мышцах трески накапливается мышьяк.

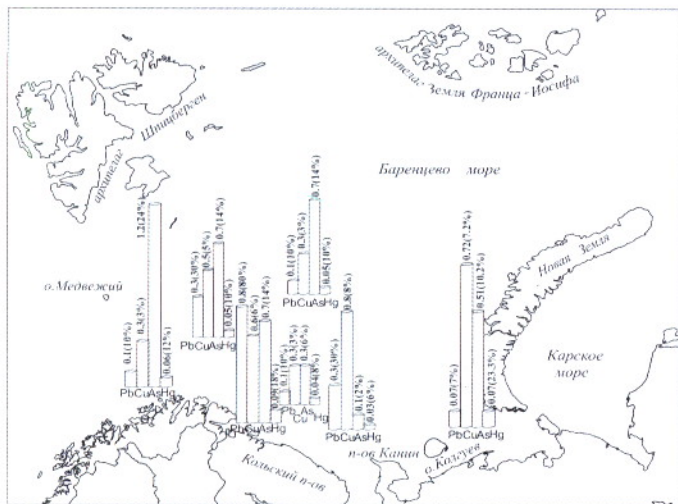


Рис. 1. Накопление микроэлементов (Pb, Cu, As, Hg) в мышцах трески в промысловых районах Баренцева моря, мкг/г сырой массы [в скобках указаны доли (%) от величины ПДК]

Пелагические рыбы юго-восточной части моря – сайка (*Boreogadus saida*), мойва, навага (*Eleginus navaga*) – практически не имеют различий в содержании металлов в своих тканях. Напротив, арктический шлемоносный бычок (*Gymnacanthus tricuspis*) выделяется повышенной концентрацией хрома, никеля, железа. Этот оседлый донный вид в большей степени, чем пелагические рыбы, зависит от экологического состояния среды района обитания. Другие донные рыбы в районе о. Колгуев: камбала-ерш (*Paralithodes camtschatica*), морская камбала (*Pleuronectes platessa*), а также треска выделяются повышенным содержанием в мышцах ртути.

Таким образом, для всех видов рыб в прибрежных районах характерен повышенный уровень накопления металлов.

В Баренцевом море некоторые донные виды рыб, преимущественно бентосного типа питания: пятнистая и синяя зубатки (*Anarhichas minor*, *A. lenticulatus*), камбала-ерш и пинагор (*Cyclopterus lumpus*), – обладают свойством накапливать ртуть, медь и цинк в больших количествах, чем другие виды. Повышенным накоплением этих металлов отличается также и креветка (*Pandalus borealis*). Объяснение этому нужно искать не только в характере питания, но и в экологической обстановке, преобладающей в районах обитания выловленных экземпляров рыб.

По существующему мнению, индикатором ртутного загрязнения считается треска (*Julshamn K., Slinning K.E., Haaland H., Boe B., Foyen L. Analyse av sporelementer og klorerte hydrocarboner i fisk og blasjell fra Hardangerfjorden og tilstotende fjordomrader, hosten 1983 og vaaren 1984. Fiskeridirektoratet, rapporter og meldinger, 1985. 55 pp.*). Однако уровень накопления ртути в треске на порядок меньше допустимых норм, а пространственные различия концентраций малы по абсолютной величине. В то же время другие донные виды рыб отличаются значительно более высокими концентрациями этого металла и, по-видимому, большей способностью накапливать ртуть.

Таким образом, индикаторными видами для ртутного загрязнения предпочтительнее считать виды бентосного типа питания – зубатку и камбала-ерша, которые характеризуются большей оседлостью, чем треска, и широко распространены не только в прибрежных районах, но и в акватории открытого моря.

Исследованы виды рыб с различным содержанием в мышцах жира: от диетических – треска, пикша (*Melanogrammus aeglefinus*) – до очень жирных – палтус черный (*Rainhardtius hippoglossoides hippoglossoides*), сельдь. Зависимости концентрации металлов в тканях от жирности не отмечено (см. таблицу).

В печени рыб содержание тяжелых металлов более высокое, чем в мышцах, но все же существенно ниже предельно допустимых уровней, установленных санитарными правилами и нормами для морских рыб и морепродуктов (*Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья в пищевых продуктах. М., 1997. 269 с.*).

Сезонная динамика концентрации микроэлементов в мышцах рыб выражена слабо. Лишь в тканях синей зубатки обнаруживается циклический тренд концентраций ртути, а в мышцах трески – свинца и мышьяка (с максимумом в осенне-зимний период и минимумом весной и летом). А в мышцах пикши можно отметить короткопериодную изменчивость концентрации мышьяка и кадмия (периоды – 4 и 3 мес. соответственно).

В многолетней (1995 – 2003 гг.) динамике накопления металлов в мышцах трески можно проследить устойчивую тенденцию снижения концентраций меди, свинца и цинка. Содержание ртути характеризуется короткопериодной (около двух лет) изменчивостью, но в целом удерживается на стабильном уровне. Тренды концентрации кадмия и мышьяка определяются, по-видимому, долгопериодной изменчивостью накопления этих элементов (рис. 2).

Среди промысловых беспозвоночных относительно высоким содержанием металлов выделяется камчатский краб (*Paralithodes camtschatica*), выловленный в Мотовском и Кольском заливах. Тяжелые металлы, особенно цинк, накапливаются в его мышцах в значительно большей степени, чем в мышцах других гидробионтов, в том числе креветок, также относящихся к ракообразным. Содержание цинка в крабах особенно высоко – в среднем 200 мг/кг сырой массы, но все же на порядок ниже санитарных норм. Повышенная концентрация металлов обусловлена близостью мест нагула к источникам техногенного загрязнения. При этом крабы, обитающие в Кольском заливе, накапливают больше Hg и Pb, а в Мотовском заливе – преимущественно Cu и As.

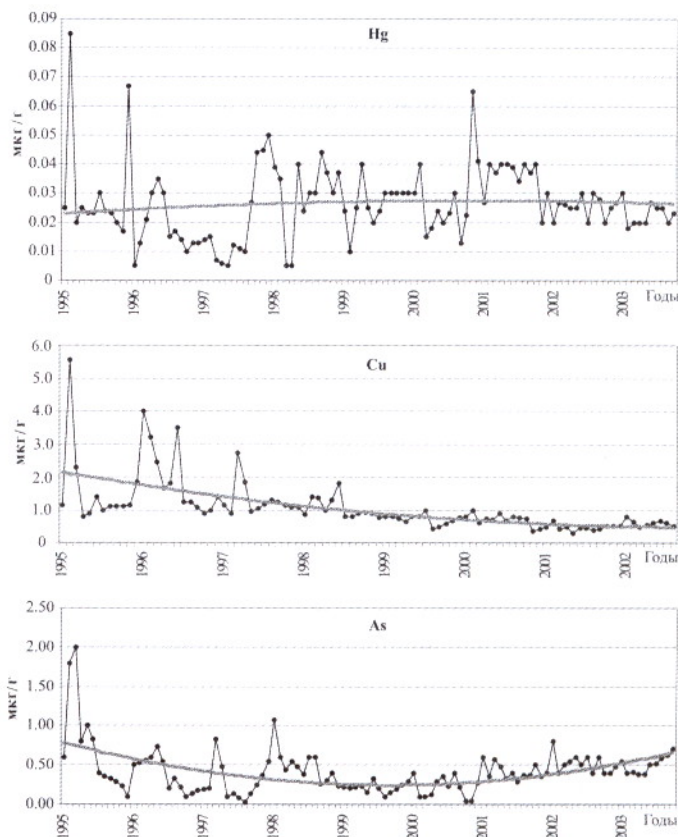


Рис. 2. Многолетняя динамика концентраций микроэлементов (мкг/г сухой массы) в мышечных тканях трески

Средняя концентрация микроэлементов в мышцах некоторых рыб и ракообразных Баренцева и Норвежского морей, мг/кг сырой массы (2001 г.)

Вид рыб	Cu	Pb	Cd	As	Hg	Zn
Баренцево море						
Треска (<i>Gadus morhua morhua</i>)	0.47±0.13	0.12±0.03	0.02±0.01	0.42±0.01	0.04±0.01	3.41±0.59
Пикша (<i>Melanogrammus aeglefinus</i>)	0.53±0.16	0.11±0.01	0.02±0.01	0.51±0.23	0.04±0.01	3.48±0.85
Мойва (<i>Mallotus villosus villosus</i>)	0.55±0.16	0.11±0.01	0.03±0.01	0.42±0.11	0.05±0.01	7.50±0.14
Сайда (<i>Pollachius virens</i>)	0.48±0.11	0.11±0.01	0.03±0.01	0.44±0.11	0.05±0.01	6.37±2.23
Сайка (<i>Boreogadus saida</i>)	0.40±0.14	0.11±0.03	0.03±0.01	0.45±0.16	0.03±0.01	3.44±1.48
Палтус черный (<i>Rainhardtius hippoglossoides hippoglossoides</i>)	0.37±0.15	0.15±0.06	0.02±0.01	0.39±0.17	0.03±0.02	2.44±0.73
Камбала-ерш (<i>Hippoglossoides platessoides limandoides</i>)	0.50±0.15	0.10±0.02	0.02±0.01	0.46±0.2	0.04±0.02	3.92±0.67
Окунь морской (<i>Sebastes marinus</i>)	0.62±0.24	0.11±0.05	0.02±0.01	0.41±0.20	0.04±0.02	4.05±1.0
Зубатки (<i>Anarhichas minor, A. lenticulatus</i>)	0.47±0.16	0.13±0.04	0.02±0.01	0.46±0.22	0.04±0.02	3.38±0.89
Краб камчатский (<i>Paralithodes camtschatica</i>)	2.66±1.19	0.25±0.23	0.04±0.02	2.11±0.89	0.24±0.44	36.33±5.76
Креветки (<i>Pandalus borealis</i>)	1.43±0.39	0.11±0.03	0.05±0.04	2.66±0.71	0.03±0.02	8.09±1.23
Норвежское море						
Путассу (<i>Micromesistius poutassou</i>)	0.37±0.08	0.12±0.03	0.03±0.01	0.38±0.16	0.04±0.01	3.26±0.74
Сельдь атлантическая (<i>Clupea harengus</i>)	0.95±0.16	0.13±0.05	0.03±0.01	0.42±0.12	0.05±0.02	6.71±1.36
Скумбрия (<i>Scomber scombrus</i>)	0.88±0.18	0.15±0.05	0.03±0.01	0.35±0.12	0.05±0.02	6.77±1.43
Морской петух (<i>Eutrigla gurnardus</i>)	0.66±0.23	0.11±0.04	0.034±0.01	0.36±0.17	0.04±0.016	6.14±1.58

Особи другого вида крабов, *Hyas araneus*, выловленные в юго-восточной части моря, характеризовались преимущественным накоплением меди и олова. А экземпляры этого вида, выловленные в районе фронтальной зоны Беломорского и Канино-Колгуевского течений, близ о. Колгуев, выделяются к тому же аномально высоким содержанием в тканях ртути – 1,31 мг/кг сырой массы. Фоновая величина составляет 0,01–0,02 мг/кг сырой массы. Повышенные концентрации ртути отмечены также в тканях моллюсков (*Ciliatocardium*), трески и камбалы-ерша, выловленных на этом участке моря.

Таким образом, при сложившемся геохимическом фоне содержание металлов в мышцах рыб длительный период сохраняется на низком уровне, не обнаруживая тенденций к росту концентраций. Динамика накопления микроэлементов отражает суперпозицию ряда короткопериодных и длиннопериодных циклов, неодинаковых для разных микроэлементов. Эти различия могут определяться сезонными геохимическими циклами содержания металлов в среде, связанными с цикличностью материкового стока и атмосферных выпадений. Донные рыбы в большей степени склонны накапливать токсичные металлы. В прибрежной зоне концентрация металлов в мышцах рыб и беспозвоночных выше, чем в удаленных районах. Дополнительная техногенная нагрузка может привести к росту концентраций металлов в рыбах в отдельных рыбопромысловых районах.

Полученные статистические характеристики уровня накопления металлов в мышцах рыб следует использовать в качестве

современного биогеохимического фона при проведении комплексного мониторинга баренцевоморской экосистемы и анализа возникающих изменений.

Ilyin G.V.

Microelements accumulation in muscles of Barents Sea fishes and other hydrobionts

Current level of metal concentration in the components of the Barents Sea environment is determined by the transboundary water exchange, geochemical peculiarities of Kola Peninsula, development of metallurgic industry, atmospheric transfer of aerosols. Background of microelements formed in the marine environment forms the level of their accumulation in the muscles of fishes and other hydrobiontes.

In the coastal zone metals concentration in muscles of fishes and invertebrates is higher in comparison to the remote areas. Demersal fish species accumulate toxic metal in greater amount than pelagic species. Long-term dynamics of microelements accumulation reflects superposition of the short-period and long-period cycles, different for different microelements.

Current level of metals concentration in tissues of fishes is small. Additional technogenous load might lead to increase of metals concentration in fishes in separate fishing grounds of the Barents Sea.