

Кенозеро. Основными компонентами питания ряпушки в осенний период являются ветвистоусые рачки. Наиболее предпочитаемый объект – рачки рода *Daphnia* (96,5%). Кроме них отмечены и рачки рода *Bosmina* (3,5%). Откорм в период нереста проходит не интенсивно, средний индекс наполнения желудочно-кишечного тракта составляет $17,8^{0/000}$, изменяясь в пределах от 6,5 до $30,5^{0/000}$.

Лекшмозеро. Основными компонентами питания лекшмозерской ряпушки осенью также являются ветвистоусые (88,4%), и веслоногие (11,5%) рачки. В незначительном количестве отмечаются личинки хирономид (0,1%), ручейников (0,05%) и насекомые с поверхности воды (0,01%). Наиболее предпочитаемый объект ряпушки – рачки родов *Daphnia* (61,3%) и *Bosmina* (27,0%). Откорм также проходит не интенсивно, средний индекс наполнения желудочно-кишечного тракта составляет $27,5^{0/000}$, изменяясь в пределах от 1,3 до $125,4^{0/000}$.

Изучение пищевых взаимоотношений рыб показало, что ряпушка в указанных озерах не имеет серьезных конкурентов в питании, что и делает ее одной из самых массовых рыб в КНП.

Наши исследования, таким образом, говорят о том, что на территории Кенозерского национального парка существует четыре географически и репродуктивно изолированные популяции ряпушки. Являясь представителями одного вида *Coregonus albula* ряпушки КНП, образуют экологические формы сильно отличающиеся друг от друга по многим параметрам. Причину столь резких различий еще предстоит найти.

Литература

Гордеева Н.В., Холод О.Н., Дворянкин Г.А., Сендек Д.С., Стерлигова О.П., 2009 О происхождении словеской ряпушки *Coregonus albula* и корюшки *Osmerus eperlanus* Сямозера.// Журн. вопросы ихтиологии. Т. 49, № 1. С. 28–36.

Правдин И.Ф., 1966 Руководство по изучению рыб. М.: Пищевая промышленность. 375 с.

Решетников Ю.С., 1980 Экология и систематика сиговых рыб. М.: Наука. 302 с.

POPULATION CHARACTERISTICS OF VENDACE IN KENOZERSKIJ NATIONAL PARK

G. A. Dvoryankin

SevPINRO, Arkhangelsk, Russia

The article presents an overview of the territorial range and biological characteristics of different vendace populations in Kenozerskiy national park (KNP). The results of genetic and morphometric researches are provided. There was made a conclusion about the existence of four geographically and reproductively isolated populations of european vendace *Coregonus albula* (L.) on the KNP territory. It was determined, that the vendace of this national park develops ecological forms, which differ from each other by numerous parameters.

БИОАККУМУЛЯЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ РАЗЛИЧНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ ЭКОСИСТЕМЫ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

Л.Л. Демина¹, Д.М. Мартынова², К.В. Подлесных³

¹ Учреждение Российской академии наук Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

² Учреждение Российской академии наук Зоологический институт РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

³ Московский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, e-mail: l_demina@mail.ru

Некоторые тяжелые металлы (Hg, Cd, Pb, Zn, Cu, Sb, Ni и др.) наряду с устойчивыми органическими веществами и радионуклидами являются наиболее опасными загрязняющими токсичными веществами. Наиболее подходящим объектом для мониторинга загрязнения служат донные организмы, особенно те ее представители, которые ведут прикрепленный или сидячий образ жизни (Goldberg, 1975) и обладают высокой биомассой – до 10 кг сырого веса/кв.м (Berger et al., 2001). Известно, что биомониторами являются таксоны, аккумулирующие в своих тканях тяжелые металлы и

другие микрозагрязнители в соответствии с уровнями их биодоступной формы в окружающей среде (Blackmore et al., 1998). В подавляющем большинстве исследований по биоаккумуляции металлов в моллюсках рассматриваются лишь мягкие ткани, в то время как раковины с биомассой в десятки раз выше, чем мягких тканей, остаются без должного внимания. Металлы накапливаются в карбонатных раковинах в результате как биологических (биоминерализация), так и физико-химических (адсорбция на внешней поверхности) процессов. В целях экологического мониторинга используются и другие гидробионты (зоопланктон, макрофиты, ракообразные и др.), которые дают разные количественные и качественные отклики на разные источники биодоступных металлов (Матишов и др., 2009).

Белое море характеризуется как различными биотопами, так и наличием районов с разным уровнем антропогенной нагрузки (Белое море., 1995). В свете этого наиболее интересными представляются исследования в районах с минимальной антропогенной нагрузкой для последующего использования этих данных в качестве фоновых при исследованиях уровня загрязнения тяжелыми металлами, связанного с деятельностью человека. Целью данной работы стало сравнительное исследование биоаккумуляции ряда тяжелых металлов (As, Cd, Fe, Mn, Cu, Zn, Pb и Hg) разными биотическими компонентами экосистем Кандалакшского залива Белого моря. Исследовались планктонные организмы: рачковый зоопланктон (фитофаги), щетинкочелюстные *Sagitta elegans*, амфиподы *Hyperiididae*; а также бентосные формы: представители типа Porifera, макрофиты *Laminaria spp.*, *Fucus vesiculosus*, *Zostera marina* и красные водоросли *Ahnfeltia plicata*, а также наиболее массовые сублиторальные двустворчатые моллюски *Mytilus edulis* (32 экз. раковин и мягких тканей отдельно). Пробы были отобраны в ноябре 2008 г. мористее м. Картеш (о-ва Кемь-Луды). Первичная подготовка проводилась на базе Беломорской биостанции Зоологического Института РАН. Отобранные гидробионты промывались бидистиллятом. У мидий их мягкие ткани отделялись от раковин, пробы высушивались при температуре 60°C. В стационарных условиях каждый экземпляр измеряли и взвешивали. Для анализа металлов в мидиях брали объединенные по 4 экз. пробы как раковин, так и мягких тканей. Полное разложение истертых проб (навеска 50 мг для мягких тканей и 500 мг для раковин) проводили с помощью смеси из 1 мл HNO₃ (super pure MERCK) и 0.5 мл H₂O₂ (30%) в тefлоновых сосудах микроволновой системы MWS-2 (Berghof, Германия) при температуре 120°C и избыточном давлении, которые индуктированы магнетроном (мощностью 1,5 кВт). После охлаждения к растворам проб добавляли 18,5 мл деионизованной воды и переносили пробу в пластиковый флакон HDPE (Wheaton, США). В раковинах моллюсков кроме общего содержания определяли и наиболее легко связанную адсорбированную форму металлов, извлекаемую при экстракции 25%-ной уксусной кислотой. Концентрацию металлов определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС): Fe, Mn, Zn и Cu – в пламенном варианте на спектрометре КВАНТ-2А; Pb, Cd, As – в электротермическом варианте на спектрометре КВАНТ- Z.ЭТА. Содержание Hg анализировали методом холодного пара на ААС КВАНТ- Z.ЭТА с приставкой ГРГ-106 Контроль правильности анализа проводили с использованием Государственных стандартных образцов (ГСО) ионов анализируемых металлов, международных стандартных образцов: NIST SRM 2976 Mussel tissue, IAEA MA-A-2/TM Fish flash homogenate и GSD-7.

Исходя из полученных результатов, можно отметить, что содержание металлов среди изученных гидробионтов характеризуется значительной вариабельностью, составляющей 6 порядков величин – от $n \cdot 10^4$ мкг/г сух.в. (Fe) до $n \cdot 10^{-2}$ мкг/г сух.в. (Hg). В порядке убывания содержания во всех организмах металлы располагаются в следующем ряду: Fe > Zn > As > Mn > Cu > Pb > Cd > Hg, что отражает в первом приближении последовательность концентраций этих металлов в морской воде.

Исследованные организмы показали разные способности к аккумуляции металлов. Так, в макрофитах обнаружены пиковые концентрации Fe (2295 мкг/г) и Mn (931,4 мкг/г), что в обоих случаях в десятки раз выше, чем в других гидробионтах. В отличие от других тяжелых металлов, медь в наибольшей степени склонна к образованию металлоорганических комплексов, ее высокое содержание отмечено не в одном, а в нескольких типах организмов (рис. 1): в красных водорослях (21,3 мкг/г), зоопланктоне (15,2 мкг/г) и амфипode *Hyperiididae* (16,5 мкг/г). В крупном зоопланктоне *Sagitta elegans* отмечено максимальное по сравнению с другими организмами содержание Zn и Pb – 19,1 мкг/г (рис.1). В губке в наибольшей степени накапливается As – до 47 мкг/г (рис.1).

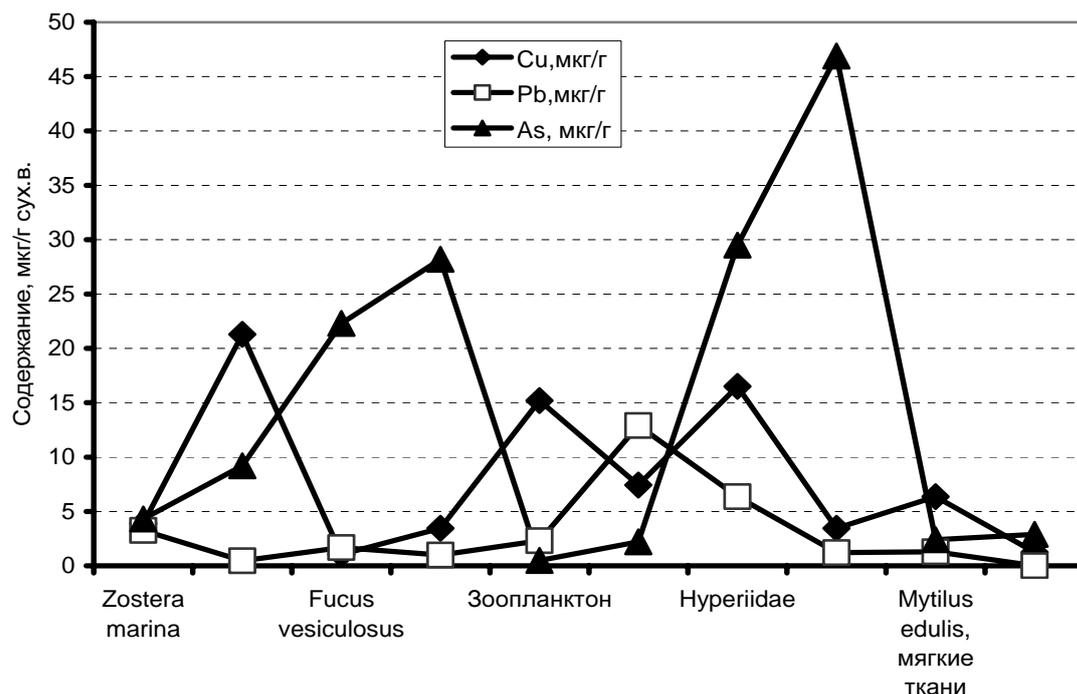


Рис. 1. Распределение меди, свинца и мышьяка в различных гидробионтах Кандалакшского залива

В тканях амфипод *Hyperiidae*, как видно из рис.2, наиболее эффективно аккумулируются Cd (до 5,32мкг/г) и Hg (до 0,338 мкг/г). По-видимому, вариабельность содержания металлов в разного типа гидробионтах обусловлена как разными геохимическими свойствами металлов, так и биологическими особенностями организмов (видовая специфика, тип питания и др.).

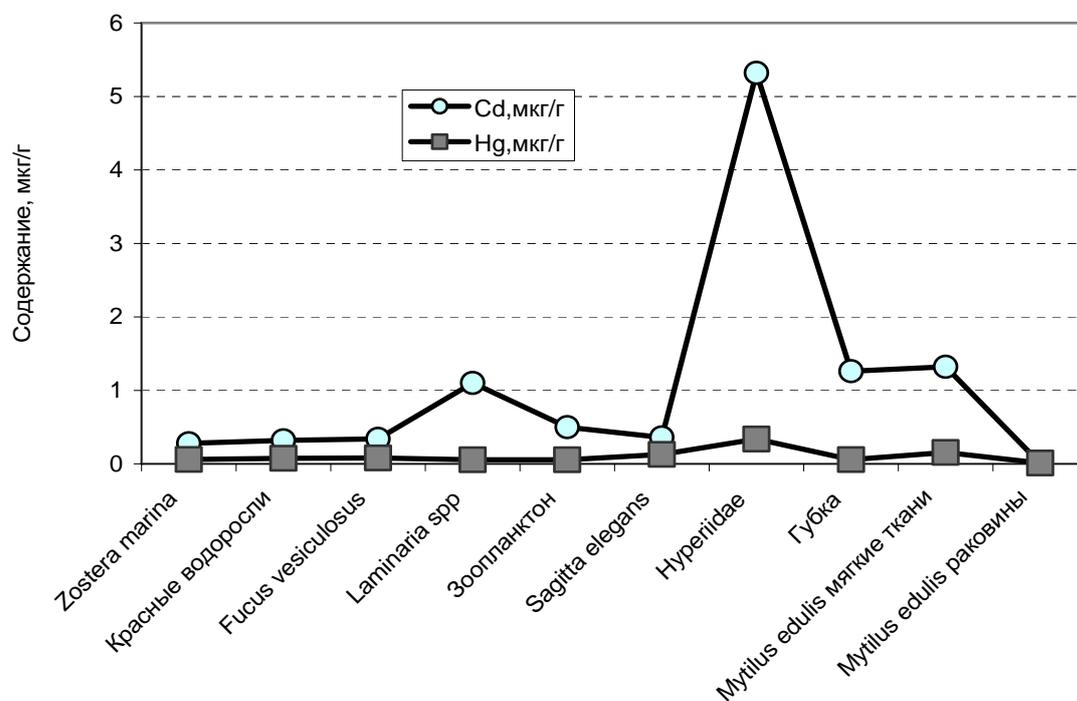


Рис. 2. Распределение кадмия и ртути в различных гидробионтах Кандалакшского залива

Отметим, что как мягкие ткани, так и раковины двустворчатого моллюска *Mytilus edulis* не отличаются повышенными по сравнению с другими организмами содержаниями металлов. Мягкие ткани обогащены относительно раковин железом (в 8 раз), медью (в 5 раз), ртутью (в 10 раз), цинком (в 30 раз), свинцом (в 60 раз) и кадмием (в 220 раз). Для марганца и мышьяка различия между мягкими тканями и раковинами оказались незначительными (Таблица). Однако, роль карбонатных раковин в процессах биоаккумуляции некоторых металлов двустворчатыми моллюсками значительно выше, чем вклад их мягких тканей. В этом легко убедиться, если перейти к расчетам содержания металлов на целый организм мидии с учетом доли раковин и мягких тканей.

Проведенные нами морфометрические измерения показали, что длина раковин *Mytilus edulis* изменялась от 24 до 39 мм, средняя =29 мм. Вес раковин изменялся в пределах 0,714–2,457 г, в среднем составляя 2,22 г. Вес сухих мягких тканей составлял от 0,034 до 0,189 г, в среднем 0,068 г. Из этого следует, что средний вес целого организма мидии равен 2,288 г, при этом на долю раковины приходится 97 % общего веса мидии, вклад мягких тканей составляет соответственно 3%.

Среднее содержание металлов*) в мягких тканях и раковинах *Mytilus edulis*, а также в целом теле мидии с учетом весовой доли мягких тканей и раковин

Металл	Содержание, мкг/г сух. в.		Содержание, мкг/г с учетом доли частей тела		Суммарное содержание, мкг/г в целом теле
	мягкие ткани	раковины	мягкие ткани (доля 0,03)	раковины (доля 0,97)	
Fe	280 ± 12	32,8 ± 14,8	8,4	31,8	40,2
Mn	0,5 ± 0,35	1,8 ± 0,2	0,015	1,75	1,77
Cu	6,37 ± 1,35	1,24 ± 0,65	0,19	1,20	1,39
Zn	106 ± 21	3,4 ± 2,1	3,18	3,30	6,48
As	2,54 ± 0,81	2,91 ± 2,05	0,08	2,81	2,89
Cd	1,32 ± 0,18	0,006 ± 0,003	0,04	0,006	0,046
Pb	1,29 ± 0,60	0,021 ± 0,007	0,04	0,02	0,06
Hg	0,155 ± 0,013	0,016 ± 0,004	0,005	0,016	0,021

*) ± среднее квадратичное отклонение

Из таблицы следует, что основная масса Fe, Mn, Cu, As и Hg сосредоточена в карбонатной раковине, Zn почти поровну распределен в теле моллюска между мягкими тканями и раковиной, а большая часть массы Cd и Pb связана с мягкими тканями. Таким образом, располагая полученными нами данными, можно рассчитать биоаккумуляцию металлов на биомассу моллюсков, которая обычно выражается на сырой вес. Приблизительный индекс пересчета сухой вес/сырой вес составляет 0,05 (Сухотин, 1989), а средняя биомасса мидий в сублиторали = 9839 г сырого веса на кв. м (Berger et al., 2001). Принимая значение сухой биомассы равной 492 (0,05·9839) г/кв.м, и умножая ее на содержание металлов в целом теле, можно примерно оценить массы металлов, которые аккумулируются биомассой моллюсков. Эти величины составляют (мг металла /кв.м): Fe – 19,8; Zn – 3,2; As – 1,4; Mn – 0,9; Cu – 0,7; Pb – 0,03; Cd – 0,02; Hg – 0,01. Таким образом, биофильтр бентосных организмов в прибрежной зоне (Зенкевич, 1963) только в виде двустворчатых моллюсков может аккумулировать в себе значительные массы металлов, являясь важным компонентом самоочищения водоема.

Наши эксперименты по экстракции ионов металлов 25% уксусной кислотой (pH 5) из карбонатного вещества раковин моллюсков показали, что для разных металлов эта форма имеет разное значение. Среди других металлов экстрагируемая форма минимальна для железа и в среднем для всех размерностей не превышает 3 %, на долю адсорбированной формы As приходится менее 10%: т.е. практически все железо и весь мышьяк находятся в раковинах в составе карбонатного материала, а не в адсорбированной форме на поверхности раковин. Около 30–40% от общего количества Pb, Cu (рис.3а) и Cd (рис.3б) приходится на экстрагируемую уксусной кислотой форму. Марганец в раковинах содержится почти наполовину в легкоподвижной адсорбированной форме. В еще большей степени – около 60% от общего содержания – значима роль адсорбированной формы для Zn. Интересно отметить подобие кривых, отражающих изменение общего содержания металлов в раковинах и их адсорбированной формы.

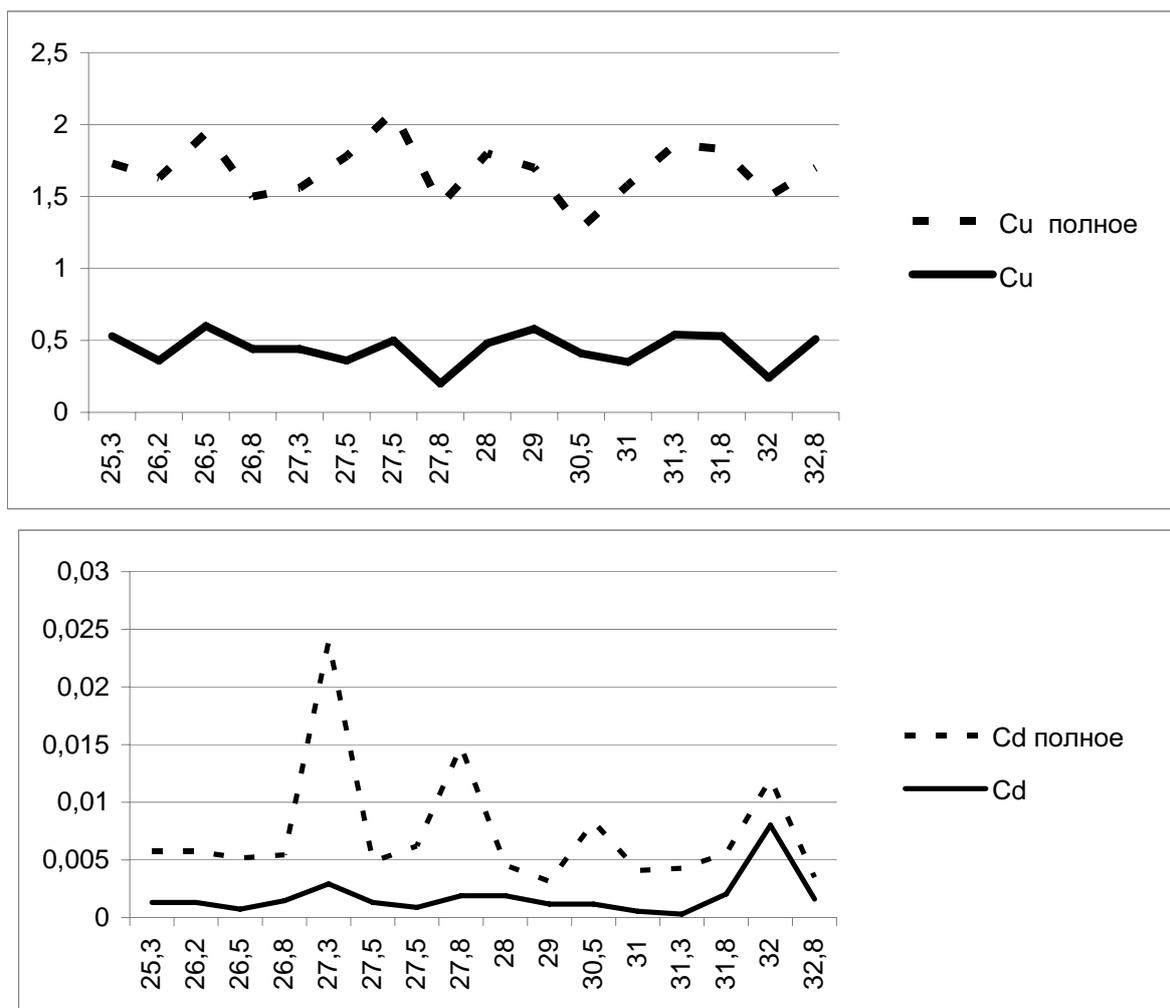


Рис. 3. Сопоставление общего (полного) содержания и адсорбированной формы (мкг/г) Cu (а) и Cd (б) в зависимости от длины раковин (мм) моллюсков *Mutilus edulis*

Из этого, по-видимому, можно сделать предварительный вывод о том, что раковины моллюсков являются не только основным депо, в котором удерживаются металлы, но и позволяют оценить долю металлов в наиболее лабильной адсорбированной форме, которая возвращается в воду при изменении pH в результате как природных, так и антропогенных процессов.

Сравнение наших данных по содержанию металлов в мягких тканях двустворчатых моллюсков *Mutilus edulis* с условно фоновыми значениями (Zn < 200, Cu < 10, Pb < 5, Cd < 2 мкг/г.сух.в.) для морей северной Европы (Laane, 1992) показало, что уровни Cu, Zn, Cd и Pb не превышают фон (по другим металлам данных нет). На основании этого акватория вблизи мыса Картеш в Кандалакшском заливе может считаться свободной от загрязнения.

Выводы

Различные гидробионты, обитающие в литорали мористее мыса Картеш Кандалакшского залива Белого моря, в разной степени концентрируют в своих тканях тяжелые металлы, что обусловлено как видовыми различиями, так и разной геохимической природой металлов. Установлена важная количественная роль раковин *Mutilus edulis* в аккумуляции металлов и соответственно в биотическом самоочищении бассейна. Получена оценка по массам металлов, которые аккумулируются биомассой двустворчатых моллюсков: наибольшее количество в биомассе моллюсков установлено для Fe – около 200 мг/кв.м, наименьшее – для Hg (0,1 мг/кв.м.). Впервые получены данные по содержанию адсорбированной (ионной) формы металлов в раковинах моллюсков, которые могут использоваться для оценки потенциального дополнительного поступления металлов из раковин в воду и характеризуют биодоступную форму металлов.

Литература

- Белое море. Биологические ресурсы и проблемы их рационального использования, 1995 // Исследов. фауны морей, изд. ЗИН РАН, т.42 (50), 248 с.
- Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Солатие Д., Касаткина Н.Е., Леппанен А., 2009. Естественное снижение уровня искусственных радионуклидов в Баренцевом море // ДАН, сер. Биологическая, т. 427, вып. 4 (в печати).
- Сухотин А.А., 1989. Размерно-весовые характеристики и соотношение частей тела беломорских мидий *Mytilus edulis* L. при подвесном культивировании и в естественном поселении // В кн.: Экологические и физиологические исследования беломорских гидробионтов. Ред. А.В. Ересковский и В.В. Хлебович, Изд. ЗИН АН СССР, с.45–55.
- Berger V., S. Dahle, K. Galaktionov, X. Kosobokova, A. Naumov, T. Rat'kova, V. Savinov, T. Savinova, 2001. White Sea. Ecology and Environment. Dersavets Publisher, St. Peterburg-Tromsø. 158 p.
- Blackmore G., Morton B., Huang Z.G., 1998. Heavy metals in *Balanus amphitrite* and *Tetracita squamosa* (Crustacea: Cirripedia) collected from the coastal waters of Xiamen, China // Marine Pollution Bulletin, V.36. P. 32–40.
- Godberg E.D., 1975. The mussel Watch – a first step in global marine monitoring // Marine Pollution Bulletin, V.6. P. 111–119.
- Laane R.W.P.M., 1992. Background concentrations of natural compounds in rivers, sea water, atmosphere and mussels // Report DGW-92.033, Tidal Waters Division, Ministry of transport, public works and water management. The Hague. 84 P.

ЛЕЩ ОЗЕР КАРЕЛИИ (ОЗ.СЯМОЗЕРО, ВЕДЛОЗЕРО, КОНЧЕЗЕРО)

И.М. Дзюбук

Петрозаводский государственный университет, г.Петрозаводск, Россия
e-mail: ikrup@petrsu.ru

Лещ является одним из промысловозначимых видов озер Карелии, хотя специализированного промысла его не ведется. На Онежском озере в прошлом веке уловы леща составляли 2,9–25,5 т (0,7–1,2% от общего вылова рыб), на озере Сямозеро колебались в пределах 2,0–7,0 т. (2,7–5,9 %). Этот вид является излюбленным объектом любительского рыболовства. Встречается лещ почти во всех озерах и реках южной Карелии и в некоторых водоемах северной ее части. Обитает лещ в Ведлозере, в системе Кончезерских озер он есть в Укшезере, Кончезере, в единичных экземплярах встречается в Мунозере, а в Пертозере отсутствует. Однако, О.И.Куккаринна (1985) указывала на возможное его присутствие в водоеме. В наших исследованиях Кончезерской группы озер, в 2004 году был выловлен единичный экземпляр леща в протоке между озерами Пертозеро и Кончезеро.

Достигает лещ 50 см длины и более 5 кг массы, обычно до 1 кг. Продолжительность жизни его составляет 20–26 лет. Предпочитает озера и медленно текущие реки, придерживаясь глубин до 10–15 м и более 20 м (в крупных озерах). По характеру питания – бентофаг (личинки насекомых, моллюски, черви, донные ракообразные и др.), неполовозрелый лещ питается еще и планктонными организмами, а крупный лещ может поедать и молодь рыб. Половой зрелости достигает на 5–7 году жизни. Нерест в июне при температуре 13–18°C. Икра откладывается в зарослях водной растительности, на глубине менее 1 м. Плодовитость 100–300 тыс. икринок (Ивантер, Рыжков, 2004).

В результате наших исследований был проведен анализ размерно-весового, полового, возрастного состава популяций леща озер Сямозеро, Ведлозеро и Кончезеро. Эти водоемы имеют важное рыбохозяйственное значение, и лещ является одним из основных промысловых видов на этих озерах, занимая определенное место в структуре уловов.

Сямозеро – крупный водоем (площадь водного зеркала – 266 км², наибольшая длина 24,6 км, ширина – 15,1 км), относящийся к мезотрофному типу озер. В последние годы произошло улучшение газового режима озера. В озере отмечены благоприятные кормовые условия для рыб планктофагов и стабильность в развитии бентоса (главная роль принадлежит – личинкам хирономид, олигохетам и моллюскам). Всего для озера выявлено 20 видов рыб, в основе уловов – ряпушка, корюшка, щука, плотва, лещ, елец и др. Было выявлено, что в общем составе ихтиофауны озера лещ составляет малую долю. На состояние популяции леща Сямозера оказали влияние длительный запрет на его вылов и эвтрофирование (Экосистема Сямозера, 2002).