

Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря.  
Материалы IX международной конференции  
11-14 октября 2004 г., Петрозаводск, Карелия, Россия  
Петрозаводск, 2005. С. 9-13.

## ИЗМЕНЕНИЕ ЖИРНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА МИДИЙ *MYTILUS EDULIS* L. БЕЛОГО МОРЯ ПРИ ОПРЕСНЕНИИ МОРСКОЙ ВОДЫ И ПРИ КРАТКОСРОЧНОЙ ГИПОКСИИ

Н.Н. АЛЕКСЕЕВА, З.А. НЕФЕДОВА, О.Б. ВАСИЛЬЕВА, П.О. РИПАТТИ, Н.Н. НЕМОВА

*Институт биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск*

Проведено исследование состава жирных кислот суммарных липидов мидий *Mytilus edulis* L. при опреснении морской воды до 5 и 15‰ (25‰ - контроль), а также при воздействии краткосрочной (24 часа) гипоксии в аквариальном эксперименте. Обнаружено характерное для морских организмов высокое содержание полиненасыщенных жирных кислот, выявлена обратная зависимость неметиленразделенных жирных кислот и кислот w3 серии. Обсуждаются возможные последствия количественных модификаций жирнокислотных спектров при адаптации мидий к снижению солености воды и отсутствию кислорода в окружающей среде.

N.N. Alekseeva, Z.A. Nefyedova, O.B. Vasiljeva, P.O. Ripatti & N.N. Nemova. The change in fatty acid composition in the White Sea mussels *Mytilus edulis* L. under desalination of sea water and short-term hypoxia // The study, sustainable use and conservation of natural resources of the White Sea. Proceedings of the IXth International Conference, October, 11-14, 2004. Petrozavodsk, Karelia, Russia. Petrozavodsk, 2005. P. 9-13.

Investigation of fatty acids composition of total lipids of blue mussels *Mytilus edulis* L. at marine water desalination (from 25‰ (as a control) to 15 and 5‰) and influence of short-term hypoxia (24 hours) in aquarium experiment were traced. High content of polyunsaturated fatty acids characteristic of a marine organisms and an inverse correlation of nonmethylene-interrupted fatty acids and polyene w3 were found out. Possible consequences of quantitative changes of fatty-acids spectrum under adaptations of mussels to decreased water salinity and oxygen deficiency are discussed.

Мидии *Mytilus edulis* L. в Белом море обитают как на литоральных, так и на сублиторальных территориях. Приливно-отливная среда (литораль) более изменчива по сравнению с сублиторальной за счет большей вариабельности температуры, солености, влияния гипоксии и доступности корма. Мидии выработали набор сложных поведенческих, физиологических и биохимических адаптаций, позволяющих выживать в постоянно меняющейся окружающей среде. Прикрепленный образ жизни мидий ограничивает их трофические возможности определенным ареалом, поэтому содержание липидов и жирных кислот зависит не только от кормовых условий, но и от температуры, газового режима, солености.

Жирные кислоты являются наиболее лабильными компонентами липидных молекул, быстро и четко реагирующими на всевозможные воздействия и обеспечивающие адаптивные возможности организма. Ряд авторов указывает на отсутствие различий в жирнокислотном составе, определяемых соленостью мест обитания, у морских и пресноводных двустворчатых моллюсков (Кашин, 1997, Pollero et al, 1981, Жукова, 1992). Большая вариабельность в содержании жирных кислот, наблюдаемая как у пресноводных, так и у морских видов, определена трофическими факторами и температурой среды обитания (Кашин, 1997).

Целью настоящей работы явилось изучение особенностей изменения спектров жирных кислот в целом организме мидий *Mytilus edulis* L. Белого моря в ответ на воздействие гипоксии и различной солености морской воды.

### Материалы и методы

Объектом исследования были мидии *Mytilus edulis* L. Белого моря. Для эксперимента по влиянию гипоксии были взяты две субпопуляции (литоральная и сублиторальная) мидий, которых помещали в аквариумы без воды при температуре 10°C - опыт, а контроль находился в аквариумах с водой при солености 25‰ и температуре 10°C, что соответствует естественным условиям обитания мидий (Бергер, 1986). Экспозиция опыта составляла 24 часа. В эксперименте по влиянию разной концентрации солености морской воды были взяты литоральные мидии, которых помещали в аквариумы с соленостью воды равной 5, 15, 25‰. Соленость воды 25‰ соответствовала естественным условиям обитания и была принята за контроль. Экспозиция опыта составляла 12 суток при 10°C. Воду периодически меняли.

Образцы мидий (индивидуально, в нескольких параллелях (n=5) гомогенизировали в смеси хлороформ-метанол (2:1 по объему) с добавлением 0,001% антиоксиданта (ионола). Липиды экстрагировали по методу Фолча (Folch et al., 1957). Выделенные липиды подвергали прямому метанолизу

(Цыганов, 1971). Полученные эфиры жирных кислот разделяли на хроматографе «Хром-5» с пламенно-ионизационным детектором в качестве стационарной фазы использовали 15% Reoplex на Хроматоне N-AW (0,160-0,200)мм, а в качестве подвижной фазы служил гелий. Режим разделения – изотермический. На используемой колонке жирные кислоты разделяются в соответствии с числом углеродных атомов и двойных связей. Идентификацию жирных кислот проводили путем расчета эквивалента длины цепи (ЭДЦ) и сравнением его с табличными данными (Jamieson, 1975), а количественный анализ проводили при помощи компьютерной программы «Программа обсчета хроматограмм». Достоверность различий данных в отдельных экспериментах оценивали с помощью дисперсионного анализа (одно- и многофакторный) с использованием компьютерной программы STATGRAPHICS Plus for Windows Version 2.1.

### Результаты и обсуждение

Результаты, полученные при изучении спектров жирных кислот при опреснении морской воды до 5 и 15‰, а также при воздействии краткосрочной (24 часа) гипоксии свидетельствуют о некоторых изменениях липидного обмена.

В экспериментах по влиянию разной солености и гипоксии уровень насыщенных кислот не превышал 25% от суммы (21,2-23,5% и 21,4-24,5% соответственно), среди которых преобладала пальмитиновая кислота (16:0) – 13,0-13,8% (при опреснении морской воды) и 14,4-16,8% (при гипоксии) (таблица). Моноеновые кислоты составляли в сумме 17,1-19,4% при воздействии разной концентрации морской воды, и 20,5-24,2% от суммы при воздействии кислорода воздуха. В обоих случаях доминировали пальмитолеиновая (16:1), олеиновая (18:1) и эйкозаеновая (20:1) кислоты (2,8-9,0%; 3,4-6,1%; 3,6-6,3% соответственно). Суммарное содержание насыщенных и моноеновых жирных кислот, а также их отдельных представителей почти не изменялось, а было в пределах небольших колебаний. Исследование жирнокислотного состава липидов мидий в обоих экспериментах показало их высокую степень ненасыщенности (76,1-80,1% от суммы). Высокое содержание полиненасыщенных жирных кислот в мембранах обуславливает низкую вязкость этих мембран, и соответственно высокую метаболическую активность мембранных ферментов (Хочачка, Сомеро, 1977). По сравнению с насыщенными, полиненасыщенные кислоты имеют более низкие точки плавления и, когда включены в мембраны, разрушают монослой благодаря их постоянной «закрученной» ацильной цепи. Эти две характеристики полиенов увеличивают текучесть биологической мембраны (Gillis, Ballantyne, 1999). Такая структура определяет более быстрое проникновение различных молекул через мембрану, а также оптимальное функционирование мембранных ферментных сис-

тем. Отличительной особенностью полученного жирнокислотного спектра липидов мидий Белого моря явилось доминирующее содержание полиеновых жирных кислот с 2-6 двойными связями, которое составило более 50% от суммы кислот (53,9-61,7%), в основном за счет кислот  $w_3$  ряда, таких как эйкозапентаеновая (20:5 $w_3$ ) и докозагексаеновая (22:6 $w_3$ ). Первая составляла 13,1-19,3% от суммы, вторая 14,3-20,8% от суммы в обоих экспериментах. Данные результаты согласуются с работами многих авторов (Fouad et al, 1992; Jahnke et al, 1995), в которых также показано, что жирнокислотный состав у морских беспозвоночных характеризуется доминированием двух полиеновых кислот: 20:5 $w_3$  и 22:6 $w_3$ . Показано, что жирные кислоты, которые являются алифатическими компонентами липидов, имеют определенный стандарт у морских беспозвоночных, отражающий экологические условия и источник питательного материала. Специфические жирные кислоты (или их сочетание) могут быть ассоциированы с особыми классами планктона. Диатомовые водоросли содержат в большом количестве 20:5 $w_3$  кислоту, а 22:6 $w_3$  кислота - это главный компонент морских водорослей - динофлагеллятов, а также присутствует и в диатомовых водорослях (Pollero et al, 1979; Ackman et al, 1974; Fouad et al, 1992; Joseph, 1982). По данным Fouad et al (1992) в планктоне доминируют 16:4 $w_3$ , 18:4 $w_3$ , 18:3 $w_3$ , 18:2 $w_6$ , 18:3 $w_6$  кислоты, причем кислоты  $w_3$  и  $w_6$  ряда являются фитопланктонными, а кислоты  $w_9$  – зоопланктонные. Эти организмы используют органический материал в световой зоне, когда фитопланктон является основным продуктом питания. Однако, 22:6 $w_3$  кислота может быть растительного (водоросли) происхождения или же частично синтезирована из 20:5 $w_3$  (Ackman et al, 1974; Pollero et al, 1979). Известно (Крепс, 1981), что кислоты  $w_3$  ряда имеют более низкую температуру плавления, т.е. они менее стабильны, чем кислоты  $w_6$  ряда. При снижении солености от 25‰ до 15‰ заметно уменьшение содержания кислот  $w_3$  ряда, главным образом, за счет 20:5 $w_3$  кислоты (табл.). Других изменений в жирнокислотном спектре при опреснении морской воды выявлено не было.

В спектре полиеновых кислот при аэробном обмене (при отсутствии гипоксии) у литоральных мидий суммарное содержание  $w_6$  кислот было в 1,4 раза больше, чем у сублиторальных в аналогичных условиях за счет всех идентифицированных кислот этого ряда. Среди них необходимо выделить арахидоновую кислоту (20:4 $w_6$ ), уровень которой у литоральных мидий в 2,3 раза превосходил таковой сублиторальных. Биосинтез арахидоновой кислоты из алиментарного предшественника – линолевой кислоты (18:2 $w_6$ ) в реакциях элонгации и десатурации является основным путем обеспечения ею организма. Эффективность этого биосинтеза зависит от количества 18:2 $w_6$  кислоты и от активности участвующих в десатурации и элонгации ферментов.

Снижение содержания арахидоновой кислоты свидетельствует о ее интенсивном использовании как в процессах ферментативного (генерация простагландинов), так и неферментативного перекисного окисления, интенсивность которого возрастает при антропогенных воздействиях (Гойвонен и др., 2001). Соотношение 20:4w6/ 18:2w6, отражающее уровень превращения линолевой кислоты в арахидоновую в нормальных условиях (аэробный обмен) и при гипоксии у литоральных мидий в 2 раза больше, чем у сублиторальных (Рис. 1).

Исходно высокое значение данного соотношения возможно обусловлено приспособленностью литоральных мидий к более суровой окружающей среде, которая не характерна для сублиторальной территории. Если учесть, что арахидоновая кислота является предшественником биологически активных веществ (простагландинов, лейкотриенов, тромбосанов), то можно предположить, что ее снижение, опосредованно влияя на гормональный уровень,



Рис. 1. Изменение соотношения 20:4w6/18:2w6 при гипоксии

В настоящее время имеется немало сведений о присутствии в составе липидов морских беспозвоночных метиленазделенных жирных кислот (НМРЖК) – кислот, у которых двойные связи разделены друг от друга более чем одной метиленовой (-CH<sub>2</sub>) группой (Жукова, 1992, Paradis et al, 1977). Все известные НМР кислоты имеют двойные связи, расположенные в нечетном положении от метильного и карбоксильного концов молекулы. Известно, что наличие двойной связи в положениях Δ5, Δ7, Δ9 и Δ11 резко снижает точку плавления жирных кислот. Необычная структура НМР кислот придает им физико-химические свойства, позволяющие компенсировать недостаток полиенов в мембране, обеспечивая необходимую жидкость. Они обладают биологической активностью, связанной с мембранно-структурной функцией (рост, липидный транспорт, поддержание водной проницаемости) (Жукова, 1992). При исследовании жирнокислотного состава мидий при влиянии солености и гипоксии были обнаружены НМРЖК, которые составляли 5,4-8,8%. Их содержание увеличилось при снижении солености воды до 15‰, что сопровождалось уменьшением уровня w3 кислот. При гипоксии уровень их снизился у сублиторальной группы. Обратная корреляция

участвует в молекулярных адаптациях мидий в условиях гипоксии. В условиях гипоксии отмечалась тенденция к повышению уровня 20:5w3 кислоты у литоральных мидий – в 1,2 раза, а у сублиторальных мидий произошел подъем в 1,3 раза 22:6w3 кислоты. Возможно, эти кислоты играют важную роль в компенсации неблагоприятного воздействия на организм. Известно, что содержание 20:5w3, 22:6w3, а также арахидоновой 20:4w6 изменяется при различных стрессовых воздействиях (Правдина, 1975). Особую роль при этом играет соотношение полиеновых кислот w3/ w6, которое является одним из важных показателей характеризующих вязкость и жидкость биомембран. У сублиторальных мидий при гипоксии этот показатель увеличился в 1,7 раза, а у литоральных – в 1,1 раза, что может свидетельствовать об изменении состояния биомембран в пределах компенсаторных возможностей организма (Рис. 2).



Рис. 2. Изменение соотношения w3/w6 при гипоксии

ная корреляция НМРЖК с полиеновыми w3 кислотами также была отмечена в исследованиях Н.В. Жуковой (1992). Вероятно, это связано с тем, что скорость автоокисления НМР кислот, имеющих изолированные двойные связи, ниже, чем у полиенов обычного строения. Этот эффект делает мембраны более стабильными к окислению, тогда как необходимый уровень мембранной жидкости сохраняется.

## Выводы

При исследовании влияния таких экологических факторов, как соленость и гипоксия на жирнокислотный состав мидий Белого моря установлено высокое содержание полиненасыщенных жирных кислот с доминированием 20:5w3 и 22:6w3, а также выявлена обратная корреляция НМРЖК и кислот w3 ряда. Как снижение солености, так и гипоксия вызывают у литоральных мидий изменение количества 20:5w3 кислоты, результатом чего является повышение вязкости биомембран и, как следствие, уменьшение ионной проницаемости и активности липид-зависимых ферментов. У литоральных и сублиторальных мидий при анаэробном обмене (пребывание на воздухе) было отмечено повышение от-

ношения w3/w6 полиеновых кислот за счет увеличения докозапентаеновой (20:5w3) и докозагексаеновой (22:6w3) кислот, соответственно. Установлено, что у литоральных мидий при опреснении воды до 15‰ уровень 20:5w3 кислоты снизился. Изменение содержания 20:5w3 и 22:6w3 кислот у мидий при неблагоприятных воздействиях, таких как опреснение и гипоксия, говорит об их важной роли и участии в процессах биохимической адаптации, прежде всего на уровне состояния биомембран.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 02-04-48451, гранта Президента РФ «Ведущие научные школы России» (НШ № 849.2003.4.), Программы Президиума РАН «Биоразнообразие».*

*Выражаем благодарность старшему научному сотруднику ББС «Картеи» ЗИН РАН В.В. Халаману и научному сотруднику ИБ КарНЦ РАН И.Н. Бахмету за предоставленных мидий и постановку экспериментов.*

*Таблица. Изменение жирнокислотного состава мидий *Mytilus edulis* L. при опреснении воды и при гипоксии (в % от суммы)*

Жирные кислоты	Соленость (Литоральные мидии)			Гипоксия			
	5‰	15‰	25‰ (контроль)	Литоральные мидии		Сублиторальные мидии	
				Анаэробный обмен	Аэробный обмен	Анаэробный обмен	Аэробный обмен
16:0	13,8±0,6	13,3±0,6	13,±1,5	15,4±1,3	14,4±0,9	16,8±1,2	15,6±0,4
Сумма насыщенных	22,2±1,0	23,5±0,4	21,2±2,8	21,4±1,7	22,2±0,0	24,5±0,5	24,1±0,9
16:1	2,8±0,4	4,4±1,3	2,9±0,3	8,9±0,9	8,3±1,4	8,5±1,6	8,6±0,2
18:1	5,4±1,5	3,6±0,8	4,0±0,1	6,1±1,0	5,0±0,5	4,1±0,3	4,5±0,2
20:1	6,4±0,2	6,3±0,4	5,6±0,6	5,4±0,3	6,3±1,1	4,4±0,3	4,7±0,0
Сумма моноеновых	19,4±1,7	20,1±0,9	17,1±1,0	24,2±2,2	23,8±0,7	20,5±1,0	20,9±0,8
18:2w6	1,9±0,2	1,5±0,3	1,7±0,0	2,9±0,1	2,8±0,1	1,8±0,3	2,4±0,0
20:4w6	7,7±2,1	7,9±0,3	7,2±0,4	4,0±0,3	4,5±1,0	1,5±0,4	1,9±0,0
Сумма w6 кислот	12,2±2,7	12,3±0,7	13,5±2,2	8,9±0,6	10,9±1,6	5,2±0,3	8,1±0,9
20:5w3	17,8±3,0	13,1±1,2	19,3±1,6	16,0±1,5	13,2±0,9	16,9±0,8	16,4±0,6
22:5w3	1,1±0,0	1,5±0,2	1,2±0,0	1,2±0,2	1,1±0,0	0,9±0,1	1,1±0,1
22:6w3	18,2±1,1	17,9±1,9	15,8±1,1	14,3±1,7	14,5±2,3	20,8±1,8	15,9±0,2
Сумма w3 кислот	38,3±3,9	34,0±0,8	39,7±2,0	39,7±3,8	36,4±2,9	44,7±0,6	40,3±0,9
Сумма w9 кислот	1,0±0,0	1,2±0,0	0,9±0,2	0,4±0,3	0,0	0,3±0,2	0,0
Сумма НМРЖК	7,1±0,5	8,8±0,3	7,6±0,3	5,6±0,2	6,7±0,8	5,4±0,2	6,6±0,0
Сумма полиенов	58,6±0,1	56,3±0,1	61,7±0,1	54,6±0,1	53,9±0,2	55,6±0,2	54,9±0,1

*Примечание:* Также были идентифицированы в следовых количествах 9:0; 10:0; 11:0; 12:0; 13:0; 14:0; 15:0; 17:0; 18:0; 20:0; 21:0; 22:0; 9:1; 10:1; 11:1; 12:1; 13:1; 14:1; 15:1; 17:1; 18:3w6; 20:2w6; 20:3w6; 22:2w6; 22:4w6; 22:5w6; 18:3w3; 18:4w3; 20:4w3; 22:2w3; 16:2w9; 18:3w9; НМР-20:2 и НМР-22:2 кислоты, но различия при их изменениях не достоверны.

## Литература

- Бергер В.Я. 1986. Адаптации морских моллюсков к изменениям солености среды. Ленинград, Наука, 21 с.
- Жукова Н.В. 1992. Неметиленразделенные жирные кислоты морских двустворчатых моллюсков: распределение по тканям и классам липидов // Ж. эволюц. биохим. и физиол. Т. 28, №4. С. 434-440.
- Кашин А.Г. 1997. Влияние солености среды обитания на состав липидов некоторых водных беспозвоночных / Автореферат канд. дисс. Самара.
- Крепс Е.М. 1981. Липиды клеточных мембран. Эволюция липидов мозга. Адаптационная функция липидов. Л., 339 с.
- Правдина Н.И. 1975. Значение жирнокислотных радикалов в структурной гетерогенности и метаболизме фосфолипидов. Т. 79, вып. 2. С. 205-224.
- Тойвонен Л.В., Нефедова З.А., Сидоров В.С., Шарова Ю.Н. 2001. Адаптационные изменения в спектрах жирных кислот тканевых липидов сига *Coregonus lavaretus* L. при влиянии антропогенных нагрузок / Прикладная биохимия и микробиология. Т. 37, №3. С. 364-368.
- Хочачка П., Сомеро Дж. 1977. Стратегия биохимической адаптации. М., 396 с.
- Цыганов Э.П. 1971. Метод прямого метилирования липидов после ТСХ без элюирования с силикагелем. // Лабор. дело, №8. С. 490-493.

- Ackman R.G., Epstein S., Kelleher M.* 1974. A composition of lipids and fatty acids of the ocean quahaug, *Arctica islandica*, from Nova Scotia and New Brunswick / *J. Fish. Res. Board Can.* V. 31(11). P. 1803-1811.
- Folch J., Lees M., Sloan-Stanley G.H.* 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids animal tissue (for brain, liver and muscle) // *J. Biol. Chem.* V. 226. P. 497-509.
- Fouad B-M., Marty J-C, Fiala-Medioni A.* 1992. Fatty acid composition in deep hydrothermal vent symbiotic bivalves / *J. of Lipid Res.* V.33. P. 1797-1806.
- Gillis T.E., J.S. Ballantyne.* 1999. Mitochondrial membrane composition of two arctic marine Bivalve Mollusks, *Serripes groenlandicus* and *Mya truncate* / *Lipids.* V. 34, №1. P. 53-57.
- Jahnke L.L., R.E. Summons, L.M. Dowling, K.D. Zahiralis.* 1995. Identification of methanotrophic lipid biomarkers in cold-seep mussel gills: chemical and isotopic analysis / *Applied and environmental microbiology.* V. 61, №2. P. 576-582.
- Jamieson G.R.* 1975. *J. Chromatogr. Sci.* V. 13, №3. P. 491-497.
- Joseph J. D.* 1982. Lipid composition of marine and estuarine invertebrates. Part II: Mollusca / *Prog.Lipid Res.* V. 21. P. 109-153.
- Paradis M., Ackman R.G.* 1977. Potential for employing the distribution of anomalous non-methylene-interrupted dienoic fatty acids in several marine invertebrates as part of food web studies / *Lipids.* V. 12, №2. P. 170-176.
- Pollero R.J., R.R. Brenner, E.G. Gros.* 1981. Seasonal changes in lipid and fatty acid composition of the freshwater mollusk, *Diplodom patagonicus* / *Lipids.* V. 16, №2. P. 109-113.
- Pollero R.T., Re Maria E., Brenner R.R.* 1979. Seasonal changes of the lipids of the mollusc *Chlamys tehuelcha* / *Comp. Biochem and Physiol., A64,* №2. P. 257-263.

Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря.  
Материалы IX международной конференции  
11-14 октября 2004 г., Петрозаводск, Карелия, Россия  
Петрозаводск, 2005. С. 14-26.

## ИТОГИ И НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ БЕЛОГО МОРЯ В 2002-2004 гг.

**А.Ф. АЛИМОВ, А.П. АЛЕКСЕЕВ, В.Я. БЕРГЕР, В.Г. КУЛАЧКОВА**

*Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург; Межведомственная ихтиологическая комиссия*

В докладе приведен обзор результатов исследований, выполненных различными организациями в 2002-2004 годах в соответствии с программой «Структурные и функциональные особенности экосистем Белого моря как основа развития марикультуры и повышения его биопродуктивности». Обсуждены пути развития исследований в области океанографии, гидробиологии и ихтиологии.

**A.F. Alimov, A.P. Alekseev, V.Ja. Berger & V.G. Kulachkova. Results and trends of the White Sea investigations in 2002-2004** // The study, sustainable use and conservation of natural resources of the White Sea. Proceedings of the IXth International Conference, October, 11-14, 2004. Petrozavodsk, Karelia, Russia. Petrozavodsk, 2005. P. 14-26.

The review of results of investigations that have been performed by different organizations in 2002-2004 according to the program "Structural and functional estimation of White Sea ecosystems as the base for development of mariculture and increasing of its bioproductivity" is suggested. The future trends of investigations in the fields of oceanography, hydrobiology and ichthyology are discussed.

Промысловая бедность, регистрируемая последние 50-100 лет, не всегда была присуща Белому морю. На протяжении тысячелетий добыча рыбы и морского зверя давала пропитание прибрежному населению, включая славянских переселенцев, около тысячи лет назад образовавших множество поселений на берегах Белого моря. Промыслы бурно развивались, достигнув максимума в XIX столетии, когда добывалось до 40 тыс. т. рыбы (главным образом сельди) в год (Кузнецов, 1960). Затем они начали сокращаться и пришли к упадку во второй половине прошлого столетия. В настоящее время по данным СевПИПРО ежегодная добыча рыбы в Белом море не превышает суммарно 2 тыс. тонн.

Проблемы восстановления промыслового потенциала и повышения роли Белого моря как источника пищевой, фармакологической и технической продукции не могут быть решены без изучения функционирования морских экосистем и оценки влияния на происходящие в них процессы разномасштабных природных и антропогенных факторов. Это было понято Правительством Карелии, которое, как и руководители Мурманской и Архангельской областей, было озабочено ухудшением экономического состояния поморского населения. На специальном совещании в г. Беломорске в 1978 г. представители администрации и хозяйственники вместе с учеными дали оценку ситуации с биоресурсами Белого моря. Было необходимо разработать и утвердить на государственном уровне комплексную программу изучения экосистем Белого моря, для того, чтобы на основе получаемой информации оценить его потенциальные возможности как рыбопромыслового (в широком смысле слова) водоема и разра-

ботать соответствующие практические меры. Предполагалось сконцентрировать силы разделенных административными барьерами научных учреждений, вузов, органов рыбоохраны, Гидрометеослужбы, проектно-конструкторских организаций Северного рыбопромыслового бассейна. Рекомендации совещания встретили поддержку Госкомитета по науке и технике СССР, который поручил Ихтиологической комиссии и Зоологическому институту АН СССР разработать такую программу. В 1981 г она была включена в план важнейших работ под названием Проект «Белое море». Головным учреждением был утвержден ЗИН АН СССР-РАН, а межведомственная координация поручена Ихтиологической комиссии, в рамках которой была образована Секция по Белому морю.

Проект «Белое море» состоял из ряда блоков (структура и функционирование экосистем; океанологические основы биопродуктивности; марикультура беспозвоночных, рыб и водорослей; акклиматизация дальневосточных лососей; повышение численности ценных беломорских рыб; мониторинг состояния экосистем; экономические аспекты применения на практике научных разработок; и др.). В отдельные периоды в выполнении проекта участвовало более 30 научных и практических организаций разной ведомственной принадлежности. Существенную помощь в выполнении Проекта оказывали Всесоюзное рыбопромышленное объединение «Севрыба» и его структурные подразделения в Карелии, Беломорский рыбохозяйственный совет. Проект осуществлялся преимущественно на средства участвующих организаций и лишь последние годы получал централизованную финансовую поддержку.

Результаты исследований по Проекту были обсуждены на 8 беломорских научно-практических конференциях. Число публикаций превысило две тысячи статей и тезисов докладов. Было опубликовано несколько монографий, в том числе двухтомная сводка «Белое море. Биологические ресурсы и проблемы их рационального использования» (1995) и первая монография о Белом море на английском языке “White Sea. Ecology and Environment.” (Berger et al., 2001). Общественность страны регулярно информировалась о беломорских исследованиях средствами массовой информации.

Просуществовав 17 лет, Проект «Белое море» был исключен (как и ряд проектов по другим морям России) из федеральных целевых программ без предварительного обсуждения и каких-либо обоснований.

Внезапное и ничем разумным не мотивированное исключение из федеральных программ не могло оставить равнодушным научные коллективы, связанные с исследованием Белого моря. Зоологический институт РАН вместе с Межведомственной ихтиологической комиссией начали борьбу за восстановление беломорской тематики на федеральном уровне. Предпринимались неоднократные обращения к руководству Миннауки России, к руководителям беломорских субъектов Федерации. Благодаря этому, удалось частично восстановить (на конкурсной основе) с 2002 г. беломорскую тематику в составе Федеральной целевой научно-технической программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники» (раздел «Экология и рациональное природопользование»). Эта тема получила официальное название «Структурно-функциональная оценка экосистем Белого моря как основа развития многоплановой маркикультуры и повышения его биопродуктивности». Зоологический институт РАН заключил государственный контракт с Министерством промышленности, науки и технологий России на ее выполнение. Предусматривалось, что этот контракт будет действовать в 2002-2006 гг. при условии его ежегодного закрепления отдельными дополнительными соглашениями. Таким соглашением от 17 августа 2004 г. №5 с вновь созданным Министерством образования и науки РФ тема получила свое подтверждение.

Учитывая направленность контрактной тематики и опыт прежнего сотрудничества, к участию в работе были приглашены на договорной основе Биологический НИИ СПбГУ, Беломорская биостанция и Кафедра ихтиологии Московского университета, Северное отделение ПИПРО и Институт биологии Карельского Научного центра РАН. Отдельный договор на разработку океанографической части тематики заключен с Петербургским отделением Государственного океанографического института. Малый объем выделяемого финансирования, не позволил, к сожалению, пригласить к участию в работах других участников Проекта «Белое море».

Цель этой статьи – кратко проинформировать о результатах работ 2002-2004 гг., взяв за основу отчеты ЗИН РАН, БИННИ СПбГУ, МГУ, СевПИПРО, ИБ КНЦ РАН, СПО ГОИН. Более полная информация содержится в ряде статей настоящего сборника.

*Исследования океанографических условий* (СПО ГОИН и др.) основывались не только на материалах 2002-2004 гг., но и на архивных данных, что позволило получить представления об особенностях межгодовой изменчивости метеоэлементов в прибрежных районах Белого моря и о современном состоянии метеорологического режима на фоне многолетних изменений климата, выполнить районирование прибрежных акваторий по характеру годовых изменений термохалинных процессов. Были выделены районы, однородные по изменениям температуры и солёности. Поскольку ряды имевшихся наблюдений оказались неполными, появилась необходимость восстановления годовой динамики термохалинных процессов с помощью дискриминантного анализа и данных специально выбранных репрезентативных гидрометеостанций. В итоге выделены 4 однородных по термохалинному режиму прибрежных района Белого моря: берега Кандалакшского и Онежского заливов, Горло и северо-западный берег Бассейна, северный и западный берега Бассейна и юго-восточный берег Горла. Варианты расчета и восстановления рядов средних месячных значений уровня моря, температуры и солёности воды по данным реперных станций показали высокую точность аппроксимации в пределах соответствующих однородных районов, позволяющую восстанавливать все природные экстремумы.

Выполнено районирование моря по характеру вертикального распределения температуры и солёности, в том числе для различных сезонов года. По этому признаку идентифицированы 3 основных типа вертикальной структуры водной толщи: *стратифицированный, перемешанный и фронтальный зон*. Для весеннего сезона удалось выделить 5 районов моря с характерной структурой водной толщи: *стратифицированные воды, фронтальные зоны в районе стоковых течений, фронтальные зоны с максимумом температуры воды в придонном слое, фронтальные зоны в районе Западной Соловецкой салмы и перемешанные воды*. Хотя исследования водных масс Белого моря уже выполнялись ранее (Тимонов, Дерюгин, Бабков и Голиков, Беклемишев, Пантюлин и др.), тем не менее было целесообразно вернуться к этому вопросу в сезонном аспекте, с учетом материалов последних лет. Для весны отмечены и картированы 8 типов водных масс: *Воронки, баренцевоморская, Горла, промежуточная Бассейна, глубинная, распресненные воды заливов, слабо трансформированные речные воды*.

Существенное место в этом разделе контрактной темы заняли исследования глобальных климатических процессов. Были проанализированы от-

клонения климатических и океанографических характеристик от их многолетних значений. По результатам предшествующих экспертных оценок к глобальным климатическим режимообразующим факторам Белого моря отнесены атмосферные процессы над Атлантико–Европейским сектором северного полушария (повторяемости западной, восточной и меридиональной форм циркуляции) и показатель солнечной активности (числа Вольфа). К числу региональных внешних факторов отнесен сток отдельных рек водосборного бассейна.

При совместном исследовании закономерностей межгодовой и долгопериодной изменчивости элементов режима и режимоформирующих факторов использовались методы статистической оценки вероятностных характеристик. Для выявления основных режимообразующих процессов применялся многофакторный анализ, а при оценке тенденций и составлении фоновых прогнозов – низкочастотная фильтрация и модели множественной регрессии. Были рассчитаны термохалинные поля и распределение течений на различных горизонтах акватории моря за осенний период.

Для выявления общих закономерностей долгопериодной изменчивости элементов океанологического режима морей Северо-Запада России разработаны единые подходы исследования особенностей межгодовой изменчивости термохалинного режима Белого моря:

- рассмотрение в качестве основных режимообразующих факторов, передающих влияние Атлантики и Арктики, характеристик атмосферной циркуляции в соответствующем секторе Северного полушария, а также показателей солнечной активности;

- принцип выбора региональных внешних факторов, формирующих долгопериодную изменчивость термохалинных процессов, с использованием вклада низкочастотных составляющих в их спектральных оценках;

- выделение элементов режима моря, подверженных природной изменчивости, по влиянию режимообразующих факторов и наличию долгопериодных составляющих.

Информационная база данных о температуре воды и солености в прибрежных районах Белого моря была сформирована во временные ряды среднемесячных и среднегодовых значений на береговых станциях и постах. Расчеты выполнялись на основе срочных наблюдений более чем на 20 пунктах. База была дополнена материалами глубоководных измерений, выполненных в 1992-1997 гг. на глубоководных разрезах и рейдовых станциях.

При многофакторном анализе также совместно рассмотрены тенденции элементов океанографического режима и внешних факторов. По результатам низкочастотной фильтрации и экспертного анализа выявлены следующие особенности:

- для температуры воды на большинстве станций отмечается длительное постепенное ее умень-

шение к 70-м годам, последующий рост до начала 90-х годов и после незначительного падения – переход к режиму, близкому к квазистационарному;

- для солености характерно наличие разнонаправленных тенденций в прибрежных и глубоководных районах моря, однако, для ряда станций отмечается тенденция распреснения в середине 60-х годов, в дальнейшем сменяющаяся режимом, близким к квазистационарному, или постепенным уменьшением солености. Только в 90-х годах тренд меняет свой знак на противоположный.

Исследования современных однонаправленных тенденций в межгодовой изменчивости термохалинного режима прибрежной зоны морей позволили выявить следующие его особенности:

- в различных районах побережья отмечался рост температуры с начала или с середины 80-х годов, который продолжался до 1989 или 1990 года. В 90-х годах тенденция к повышению температуры воды сменилась ее падением с последующим незначительным ростом или переходом на режим, близкий к квазистационарному. Можно отметить, что применение для выделения тенденций температуры низкочастотного фильтра со срезом 5 лет практически сохраняет в отфильтрованных рядах все экстремумы и большую часть энергетики процесса.

- на современном этапе характерно продолжение длительной тенденции к распреснению, начавшейся с начала 60-х годов и только в конце 80-х сменившей свой знак на противоположный. При этом, в ряде районов Белого моря в дальнейшем имел место переход на режим солености, близкий к квазистационарному.

Материалы наблюдений в 90-е годы XX в. за температурой и соленостью в глубоководных районах Белого моря, несмотря на их разрозненность и неполноту, были восстановлены. Получены статистические оценки вероятностных характеристик этих элементов на горизонтах 0 и 50 метров, позволяющие в первом приближении определить тенденции межгодовой изменчивости за 90-е годы по отношению к ее среднемноголетним значениям. Можно отметить отличие этих тенденций в различных районах моря, подверженных влиянию проникающих баренцевоморских вод и речного стока, а также в поверхностных и глубинных слоях. Для летнего сезона по предварительным оценкам они заключаются в следующем:

- в центральной части Воронки на горизонте 0 м в 90-е годы наметилась тенденция к осолонению, которая частично прослеживается и в Горле. В поверхностных слоях этот процесс, очевидно, связан с выносом распресненных стоком вод и определяется отмеченным в конце 80-х и начале 90-х годов уменьшением стока основных рек водосборного бассейна. Наиболее ярко это влияние проявляется летом, когда интенсивность вертикального перемешивания мала;



- для восточных районов моря, подверженных влиянию стока рек (в первую очередь, Сев. Двины), также проявилась тенденция увеличения солености в 90-е годы, тогда как в глубоководных районах Центральной и Западной части моря сохраняется отмеченный ранее тренд уменьшения солености.

В тенденциях межгодовой изменчивости элементов термохалинного режима имеют место следующие особенности:

- во второй половине XX-го века два длительных периода уменьшения и последующего роста температуры воды сменились в 90-х годах режимом, близким к квазистационарному, с наметившейся тенденцией к ее понижению;

- характерная для солености длительная тенденция постепенного спада, начавшаяся в 50-60-х годах, также сменила свой знак на противоположный в 90-е годы.

В результате обобщения материалов экспедиций и наблюдений на стационарах предшествующих лет были оценены океанологические условия прибрежных районов Белого моря, перспективных для размещения в них хозяйств марикультуры (мидия, лососи и другие рыбы, водоросли). Выделены 4 типа прибрежных районов с разными условиями, пригодными для вышеназванных целей: *фиордовые губы Кандалакшского залива, ихерные районы Карельского берега, северные районы Онежского залива, мелководные губы Онежского залива.*

Мы специально остановились более подробно на исследованиях, связанных с возможностями анализа и расчета характеристик океанографического режима Белого моря с помощью математико-статистических методов и моделирования, оценке их долгопериодной изменчивости и ее прогнозирования, поскольку данных фактических наблюдений в последние годы становится все меньше и меньше.

### **Мониторинговые исследования экосистем Белого моря**

На Декадной станции, расположенной в Кандалакшском заливе в мористой части губы Чупа (координаты 66°09'50" с. ш. и 33° 40' 06" в.д., глубина 65 м), как и в прошлые годы, с декабря (января) по апрель один раз в месяц со льда проводились наблюдения температуры, солености и зоопланктона. С мая по ноябрь наблюдения проводились еженедельно с борта научно-исследовательских судов ЗИН РАН. Эти работы ведутся более 40 лет. Созданная база данных стала, наконец, доступна для использования, благодаря публикации книги и компакт диска (Berger et al., 2003).

В 2003 году наблюдался аномальный летний прогрев воды. Впервые со времени начала мониторинга температура поверхностного слоя воды на станции Д-1 достигла 20°C (Рис. 1).

По-видимому, с необычно сильным прогревом воды связаны высокие значения первичной продукции, определенной с помощью кислородного метода

в скляночной модификации. Корреляционный анализ, проведенный по полученным данным, показал, что наблюдается достоверная корреляция между первичной продукцией и температурой ( $r = + 0.94$  для солнечной погоды и  $r = + 0.75$  для пасмурной погоды). Модели зависимости первичной продукции от температуры приведены на рис.2 (Примаков, 2004).

Средняя продукция фитопланктона в 2002 году составляла 64.7, а в 2003 году – 267.2 мгС/м<sup>3</sup> · сут. При этом средняя за период проведения наблюдений температура в 2002 году была почти на шесть градусов ниже, чем в 2003 году (9.9 и 16.1°C соответственно).

Что касается состояния сообществ зоопланктона в исследованный период, то по имеющимся данным (Табл. 1, 2), среднемесячные показатели обилия (плотность и биомасса) мезозоопланктона в слое 0-60 м в 2002 и 2003 гг. были близки к среднемноголетним.

Бентосные организмы играют важную роль не только в качестве одного из основных компонентов экосистем моря, но и как кормовой и промысловый биоресурс, прямой или косвенный объект марикультуры. В рамках контрактной темы осуществлялся не только мониторинг состояния донных сообществ в отдельных районах моря, но были выполнены также и некоторые обобщения, дающие представление о видовом разнообразии и биомассе бентоса. Мониторинговые исследования в Сельдяной и Медвежьей губах Кандалакшского залива ведутся ЗИН РАН с 1987 года проводились по настоящее время четыре раза в год: во время гидрологической весны (конец мая - начало июня), гидрологического лета (конец июля - начало августа), гидрологической осени (конец октября - начало ноября) и гидрологической зимы (конец марта - начало апреля).

Особый интерес представляет многолетняя динамика биомассы морской травы *Zostera marina*. Это растение составляет значительную часть биомассы на многих заиленных пляжах и в верхних отделах сублиторали Белого моря. В Сельдяной губе эта трава обнаруживается в разных количествах практически постоянно. Главный тренд биомассы имел два максимума в 1992–1994 и 2001–2002 годах. Минимумы приходятся на 1988 и 1998 годы. Таким образом, возможно, предположить наличие 10-тилетнего цикла изменений обилия этого вида. На этот цикл накладывается другой, более короткий. Его максимумы приходятся на 1987, 1992, 1996 и 2001, а минимумы – на 1989, 1995 и 1999 годы. Следовательно, с некоторым приближением можно считать, что продолжительность этого цикла составляет около 5-ти лет. Минимумы этого цикла регулярно наступают через год после аномальных условий схода льда, повреждающих поверхностный слой грунта, что наблюдалось в 1988, 1994, 1999 и 2002 годах. Это дает основание предполагать, что данный цикл связан с периодическими изменениями клима-

тических процессов. Кроме того, в этой губе обнаруживается ярко выраженная сезонная динамика zostеры, отраженная соответствующим трендом. Минимумы этого тренда приходятся на весенние съемки, что говорит о том, что отмирание корневищ листьев этой травы в основном приходится на период между началом апреля и концом мая, что совпадает со временем весеннего распреснения морской воды и таяния льда.

В Медвежьей губе биомасса zostеры в целом ниже, чем в Сельдяной, и обнаруживается этот вид в данном месте не столь регулярно. Донные осадки

литорали Медвежьей губы сложены в основном песками, не способствующими развитию значительных и стабильных зарослей морской травы. Это обстоятельство, скорее всего, и послужило причиной того, что десятилетний цикл динамики биомассы zostеры на материале из Медвежьей губы совершенно не выявляется. Между тем, 5-тилетний цикл выражен отчетливо. Интересно, что он достаточно точно совпадает по фазе с аналогичным циклом, отмеченным для Сельдяной губы (максимумы в 1987, 1992, 1996 и 2002, минимумы в 1989, 1994 и 1999 годах).

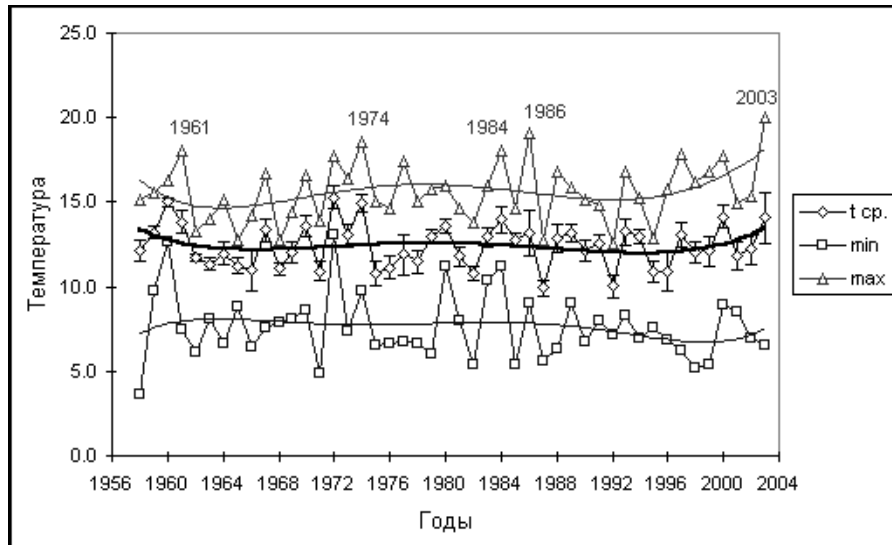


Рис. 1. Динамика летних поверхностных температур на ст. Д-1 (Примаков, 2004)

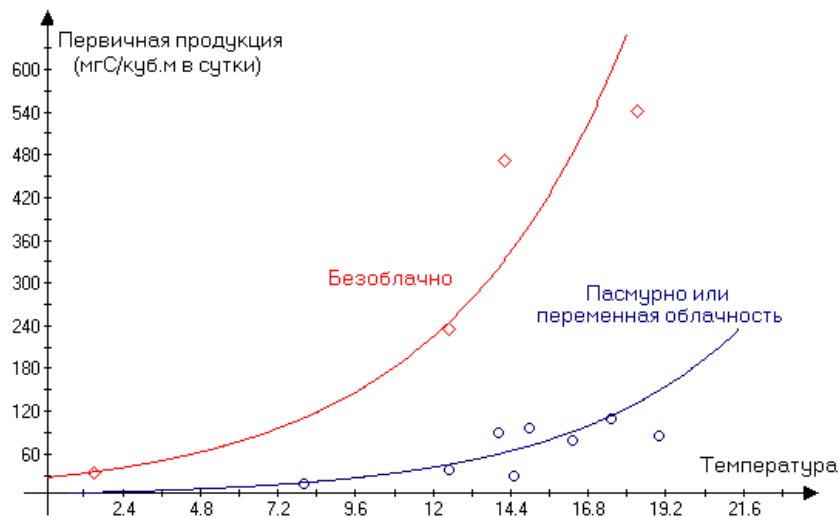


Рис. 2. Модели зависимости первичной продукции фитопланктона (ПП) от температуры (t) (Бергер и др., в печати)

Рассчитано по:  $ПП_1 = 4.54 \cdot e^{0.18t}$  в безоблачную погоду;  $ПП_2 = 26.76 \cdot e^{0.18t}$  в пасмурную погоду.

Таблица 1. Среднемесячные значения биомассы (мг/м<sup>3</sup>) зоопланктона в слое 0-60 м на станции Д-1

Год	Средн. за год	Месяцы											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1995	179	93	105	78	135	387	391	350	296	175	55	43	42
1996	150	93	105	78	135	387	220	241	246	102	62	51	76
1997	192	106	92	79	135	202	469	532	272	177	102	80	59
1998	247	118	79	80	446	259	740	462	417	144	83	74	59
1999	150	63	81	69	62	315	155	369	224	195	124	88	59
2001	142	56	90	55	107	259	207	364	212	159	87	48	59
2002	156	49	98	41	57	207	424	350	214	238	99	41	59
2003	132	70	24	21	58	178	418	328	194	98	99	41	59
Средн.	169	81	84	62	142	274	377	375	259	161	89	58	59

Таблица 2. Среднемесячные значения плотности (тыс. экз./м<sup>3</sup>) зоопланктона в слое 0-60 м на станции Д-1

Год	Средн. за год	Месяцы											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1995	5,7	0,9	0,8	1,0	3,3	14,4	13,5	10,2	9,8	8,1	2,7	1,5	1,6
1996	5,0	0,9	0,8	1,0	3,3	14,4	8,9	7,1	9,8	8,1	2,7	1,5	1,6
1997	5,0	0,9	0,8	1,0	2,0	8,4	14,0	12,9	10,4	7,2	4,8	5,0	1,6
1998	5,8	1,0	0,9	0,9	0,6	8,2	12,3	13,6	16,5	5,8	3,6	4,3	1,6
1999	5,1	1,0	0,8	0,7	0,4	7,8	6,1	16,2	7,1	12,7	5,9	1,3	1,6
2001	3,3	1,0	0,7	0,5	0,6	5,4	6,7	9,7	5,9	4,5	1,9	1,6	-
2002	5,4	1,2	1,2	0,5	0,8	9,6	11,8	9,1	5,5	15,2	5,0	3,0	1,6
2003	3,5	0,8	0,2	0,5	2,3	4,3	5,3	13,2	5,2	3,5	3,5	2,3	1,6
Средн.	4,9	1,0	0,8	0,8	1,7	9,1	9,8	11,5	8,8	8,1	3,8	2,6	1,6

Комплексные исследования, связанные с зоостерой, выполнялись БИНИИ СПбГУ в Керетском архипелаге. Динамика поселений зоостеры оценивалась по результатам сравнения с картами, составленными ранее. Были выбраны 10 типичных мест обитания зоостеры, на которых исследовалась не только эта трава, но и собирались пробы морских водорослей, зообентоса и грунта. Для обработки данных применялся кластерный анализ. Было отмечено, что в кустовых участках исследованной акватории заросли зоостеры представляют собой настоящие подводные луга. В более открытых и подверженных волновому воздействию акваториях заросли зоостеры более разрежены и образуют небольшие по площади пятна. В умеренно защищенных участках зоостера растет поясами. Площадь зарослей в 2002 г. повсеместно несколько сократилась, возросла их разреженность.

На всех выделенных участках проанализирован состав грунтов, определены биомасса общая, наземных побегов, корней и корневищ, длина листьев. Определен состав макрофитобентоса, относящегося к ассоциации *Z. marina*, причем отмечено возрастание в 2002 г. биомассы нитчатых водорослей отделов Phaeophyta и Chlorophyta. Так, например, в проливе Сухая Салма нитчатые водоросли полностью покрывали заросли зоостеры. В ходе исследований ассоциаций зарослей зоостеры отмечены 48 таксонов макрозообентоса, исследована сезонная динамика биомасс и видового состава бентосных организмов.

В целом, видовой состав беломорского макробентоса насчитывает около 1000 видов животных и растений. Современные данные показывают (Нау-

Наумов, 2001), что макробентос Белого моря имеет средние биомассы порядка 200 г/м<sup>2</sup>. Следует, при этом отметить, что в монографии Л.А. Зенкевича (1963, стр. 157) указывается в 10 раз меньшая величина средней биомассы донных организмов. Очевидно, что эти представления о количественной бедности макробентоса Белого моря ошибочны. Они были основаны на недостаточном фактическом материале.

### Марикультура

Мидия *Mytilus edulis* издавна является объектом марикультуры во многих европейских странах, причем объем выращивания превышает 0,5 млн. т. в год (мидий всех видов культивируется около 1,3 млн. т). Научные предпосылки развития марикультуры мидий в Белом море созданы Зоологическим институтом РАН. До ликвидации государственной системы рыбного хозяйства начали функционировать отдельные плантации по выращиванию мидий. Однако, к настоящему времени осталось лишь небольшое хозяйство в Сон-острове (Кандалакшский залив). Почти полностью прекращены и научные исследования, хотя многие вопросы нуждались в дальнейших исследованиях.

При организации и эксплуатации мидиевых хозяйств с биологической точки зрения основной интерес представляют следующие вопросы:

- Выбор мест для размещения марихозяйств.

- Определение «приемного потенциала» выделенной акватории по отношению к размерам планируемого марихозяйства и возможного пресса культивируемых мидий на окружающие экосистемы.

- Определение периодов оседания мидий на естественные и искусственные субстраты.

- Разработка биотехнологических приемов, оптимизирующих оседание и рост мидий в условиях культивирования.

- Оценка влияния искусственных поселений мидий на окружающие экосистемы.

В 2002 и 2003 гг. для исследования характера и масштабов воздействия больших количеств моллюсков, размещенных на ограниченной акватории, на окружающие экосистемы, сотрудниками СПбГУ анализировались материалы из районов, где сохранились остатки мидиевых плантаций или где они раньше размещались. Взвешенные вещества (пеллеты и др.), продуцируемые моллюсками, концентрируются в виде осадков на участках дна, непосредственно примыкающих к мидиевому хозяйству. По этой причине создается неравномерность как распределения осадков по акватории, так и их нагрузки на бентосные сообщества. Макробентос под хозяйствами способен утилизировать более половины поступающих в виде осадков органических веществ, сильно увеличивая при этом свою биомассу. В зоне основного выпадения осадков, продуцируемых мидиями, окислительные процессы идут более активно. Несмотря на интенсивные процессы потребления макробентосом и окисления, часть поступивших осадков не успевает минерализоваться и захоранивается в толще грунта. Воздействие органического загрязнения на бентосные сообщества можно разделить на 2 этапа: на первом происходит смена доминирующих групп, но общие характеристики сообществ мало меняются; на втором этапе происходит деградация сообществ. Исходя из этих результатов, можно заключить, что при культивировании мидий необходимо учитывать уровень гидродинамической активности (скорости и направления основных течений), глубину и локальный рельеф дна, поскольку эти параметры определяют степень разноса взвешенных органических веществ и характер их накопления в грунте. Оптимальными являются такие характеристики динамики вод, которые обеспечивают максимальный вынос продуцируемой мидиями органики за пределы марихозяйства.

В местах товарного выращивания мидий необходимо вести мониторинг состояния бентосных сообществ. Он должен заключаться в оценке общего видового разнообразия и доминирующих групп макрозообентоса для определения динамики и характера возможных сукцессий. Некоторые изменения в видовой структуре и соотношении величин обилия разных видов, по-видимому, неизбежны. Воздействие мидиевой марикультуры на бентосные сообщества не следует считать негативным до тех пор, пока в бентосе сохраняется высокое видовое разнообразие. Превышение допустимых нагрузок на бентосные сообщества будет выражаться в исчезновении из сообщества большого числа таксонов, резком снижении показателей видового разнообразия,

доминировании в сообществе небольшого количества видов-оппортунистов. При этом в грунте будет отмечаться высокое содержание органических веществ, низкие величины окислительно-восстановительного потенциала не только в толще, но и на поверхности грунта; возможно появление сероводорода и заморные явления. В связи с этими результатами разработана схема мониторинга (минимум 1 раз в год), расположения контрольных станций, рекомендован перечень параметров, подлежащих исследованию.

Одним из главных направлений исследований мидий в Белом море является изучение условий формирования спата на субстратах промышленной марикультуры. Это основное обстоятельство, определяющее стартовый режим цикла выращивания мидий. От согласованности сроков установки субстратов с периодом развития личинок зависит успех марикультуры. Одной из целей проведенных исследований был анализ динамики личинок мидий в планктоне. Съемки в губе Чупа и Керетском архипелаге показывают, что в теплые годы с резким и сильным весенним прогревом вод коллекторы для сбора спата мидий следует устанавливать в конце июня, а не в середине июля. Межгодовая изменчивость режима прибрежных акваторий – фактор, определяющий необходимость ежегодного контроля за численностью личинок мидий. Суть мониторинга заключается в периодических (не реже раза в неделю) сборах личинок на сети контрольных станций.

В общем случае для данной акватории можно отметить, что максимальное количество личинок мидий в планктоне поверхностного (0-5м) слоя воды приходится на время, стабильного прогрева относительно более глубоких слоев воды, что означает начало размножения особой сублиторальной естественных популяций, соответственно и появления их личинок в поверхностных горизонтах. Однако, наличие достаточного количества личинок мидий в планктоне - только одна из составляющих достаточности «посадочного» материала при организации промышленных хозяйств. Большое значение имеет данные о качественной характеристике личинок, механизмах оседания, метаморфоза и дальнейшего развития молоди на искусственных субстратах. Суммируя результаты наблюдений, можно заключить, что наиболее пригодными для оседания моллюсков являются шероховатые по структуре, покрытые пленкой микрообрастания гидрофобные субстраты, имеющие светлую окраску. Для целей промышленной марикультуры мидий рекомендованы искусственные субстраты из капроновой дели или, что лучше, из капроновой веревки, диаметром 15-25 мм. Длина отдельного субстрата - 3 м. Оседание педивелигеров на искусственные субстраты обычно начинается в последнюю декаду июля температуре воды в 13-14°C. В конце июля - начале августа этот процесс идет наиболее интенсивно (Рис. 3).

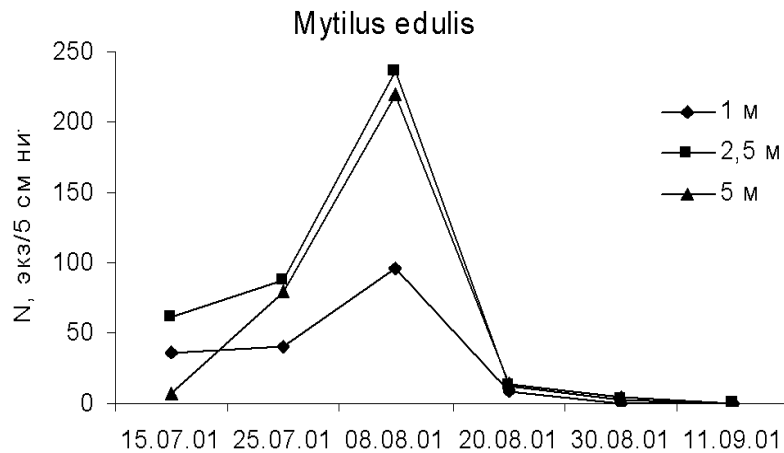


Рис. 3. Динамика оседания педивелигеров мидии (отчет БИНИИ СПбГУ)

Оседание мидий в районах с высоким уровнем водообмена происходит весьма интенсивно. Вместе с тем, слишком высокие скорости течения могут снижать плотность моллюсков на субстратах. Наибольшая численность моллюсков достигалась на глубинах 1 и 2,5 м, оптимальных для промышленной марикультуры.

Выбор мест для организации хозяйств по культивированию свидетельствует о перспективности пролива Оборина Салма. Океанографический режим в губе Никольская также благоприятствует постановке марикультурных хозяйств. Закрытость от преобладающих ветров не дает развиваться волнению. Вместе с тем, рельеф дна позволяет беспрепятственно проникать аэрированным водам открытой части Кандалакшского залива на акваторию губы. Примерно такая же картина наблюдается в проливе Соностровская Салма.

В исследованных акваториях поверхностный слой воды несколько опреснен за счет впадения. Благодаря этому, прогрев поверхностных слоев воды в исследуемых акваториях происходит более интенсивно, чем в открытой части Кандалакшского залива. Особенно это было заметно в 2003 году, когда благодаря высоким летним температурам воздуха был отмечен аномальный прогрев поверхностного слоя воды. Личиночный пул в планктоне губ Никольская и Соностровская салма неоднороден и складывается из личинок как литоральных, так и сублиторальных моллюсков. Имеющиеся естественные колебания плотности личинок мидий в планктоне акватории не ограничивают перспективы промышленной мидиевой марикультуры.

Оптимизация режима подвешного выращивания беломорских мидий предполагает управление динамикой развития сообществ обрастания так, чтобы минимизировать эффекты развития на субстратах марикультуры других организмов обрастателей. Как показал опыт промышленного выращивания мидий, обычными субдоминантами мидий в сообществах

обрастания субстратов марикультуры в Белом море являются двустворчатые моллюски *Hyatella arctica* L. и асцидии *Styella rustica* L. В задачи исследований входило изучение влияния глубины, экспозиции субстрата и присутствия мидии *Mytilus edulis* и асцидии *Styella rustica* на скорость роста *Hyatella arctica*.

Показано, что в сообществах обрастания субстратов марикультуры особи *M. edulis* и *H. arctica* имеют разные предпочтения по глубине обитания. В диапазоне от 0 до 5 м наиболее благоприятной для обитания *H. arctica* является глубина около 5 м (скорость роста *H. arctica* на данной глубине максимальна). Мидии предпочитают глубины 1,5-2 м. Ведущие виды сообществ обрастания (мидии и асцидии *Styella rustica*) оказывают заметное влияние на скорость роста *H. arctica*. В присутствии мидий рост хиателл замедляется, а в присутствии асцидии хиателлы растут быстрее. В условиях подвешного выращивания мидий присутствие в сообществах обрастания хиателл слабо влияет на показатели поселений мидий.

Исследования дистантного влияния морских звезд *Asterias rubens* L. на жизнедеятельность культивируемого моллюска *M. edulis* L. показали, что в присутствии морских звезд значительно понижается метаболизм и скорость фильтрации мидий. Это приводит к угнетению роста моллюсков. В то же время наблюдается увеличение количества биссусных нитей и их толщины, что приводит к формированию более плотных агрегаций мидий и является защитной реакцией моллюсков против хищника. Изменения в функционировании мидий под дистантным влиянием морских звезд зависят от концентрации метаболитов хищников. На основании полученных результатов рекомендуются практические мероприятия при организации и эксплуатации промышленной мидиевой марикультуры в Белом море.

В 2002 г. были начаты эксперименты и отработка технологий культивирования сельди. Они выполнялись в весенне-летний период на ББС МГУ. В экспериментах использовали икру сельди, оплодотворенную в лабораторных условиях. Для получения зрелых половых продуктов производителей сельди отлавливали жаберными сетями в губе Лобаниха и в районе о. Березовый (Кандалакшский залив) и доставляли в лабораторию в баках с водой. Для выявления влияния разных условий инкубации в эмбриональном и предличиночном периоде икру от одной самки осеменяли молоками от 2-3 самцов, а после этого равными порциями распределяли по инкубационным установкам. Для проведения экспериментов с инкубацией в разных условиях с последующим подращиванием смесь икры, полученной от 4-5 самок, осеменяли молоками от 4-5 самцов. Инкубация икры проводилась при разных значениях температуры и солености. Описаны типы кормов, условия кормления мальков, технология регулирования температуры и поддержания ее на заданном уровне. Инкубационные установки, предназначенные для содержания икры и предличинок без подращивания, и установки, в которых происходило подращивание, несколько отличались друг от друга по конструкции. Это вызвано тем, что личинки сельди очень уязвимы для прямого механического воздействия интенсивных потоков воды и легко повреждаются даже в присутствии неинтенсивно работающего распылителя воздуха. Выполнялось прижизненное микроскопирование икры и личинок.

Ранее были разработаны технологии искусственного воспроизводства ценных местных рыб зубатки и трески – потенциальных объектов пастбищной марикультуры и товарного выращивания. В рамках контрактной темы осуществлялись исследования спектра питания и других характеристик этих видов рыб.

Были продолжены наблюдения по экологии полосатой зубатки Кандалакшского залива: описано ее сезонное распределение в прибрежных участках моря; выявлены основные места нагула разновозрастных особей и дана их характеристика; описана динамика уловов. Длина зубаток, пойманных в период наблюдений, колебалась от 22.8 до 64.2 см, причем в уловах преобладали особи размером 35-45 см. Набор и соотношение основных размерных групп у самцов и самок оказались сходными. Нагульные перемещения мелких неполовозрелых особей охватывают как глубокие, так и расположенные поблизости мелководные участки губ. В то же время нагул половозрелых особей происходит в основном на глубинах 10-20 м.

Возрастной состав уловов зубатки в 2000-2002 гг. был представлен рыбами в возрасте от 3+ до 11+. Особи возрастных групп 4+ и 5+ составили значительную часть общего вылова (60%), причем рыбы данных возрастов преобладали в каждый год исследований.

Получены новые данные о сроках наступления половозрелости зубатки в губе Чупа Кандалакшского залива. Половая зрелость самок наступает в возрасте 4+-6+ при длине тела 35-45 см. Среди самок доля половозрелых особей в уловах составила 60%. По предварительным данным самцы также созревают в возрасте 4+-5+. Нерест у зубатки в губе Чупа происходит в июле-августе, т.е. в наиболее теплое время года. Нерест у самок зубатки ежегодный, пропуски нерестового сезона отсутствуют. Соотношение полов в уловах среднем за весь период исследований составило 1:1.

Зубатка – типичный бентофаг, имеет широкий спектр питания. В желудках рыб отмечено 20 видов организмов, причем главную роль в питании зубатки играли моллюски и ракообразные. По частоте встречаемости преобладали моллюски *Buccinum undatum* (29.2%), *Mytilus edulis* (27.1%), *Tonicella marmorea* (23.0%) и ракообразные *Hyas araneus* (20.8%) и *Pagurus pubescens* (16.7%). Существенное значение в питании зубатки имели также и некоторые другие виды моллюсков – *Cryptonatica clausa*, *Margarites groenlandicus*, *Serripes groenlandicus* (15-20% по частоте встречаемости).

К числу исследований и практических мер в области марикультуры мы относим вопросы использования искусственных нерестилищ для повышения численности беломорских сельдей. Интерес к этим работам в последнее время сдерживается по причине недоиспользования имеющихся запасов этой рыбы.

Одним из важнейших итогов выполненных в рамках контрактной темы исследований был анализ особенностей развития многоплановой марикультуры в специфических условиях европейского севера России. В условиях сложного экономического состояния проблемы инфраструктуры и состояния людских ресурсов одним из перспективных направлений является развитие поликультурных марихозяйств, создающих основу для решения задач продовольственного обеспечения и занятости местного населения. Опыт развития зарубежных и отечественных рыбоводных хозяйств показывает, что в соответствии с решаемыми задачами и по экономической эффективности выделяют два основных типа хозяйств:

- нерестово-вырастные (получение молоди для продажи и последующего выращивания);
- товарные (нагульные) для получения товарной пищевой продукции.

Первый тип хозяйств по технологической оснащенности гораздо сложнее второго, но при этом фондоемкость строительства нерестово-вырастного хозяйства гораздо выше, сроки окупаемости больше и т.д.

Таким образом, очевидно, что по экономической эффективности товарные хозяйства предпочтительнее, но работать без посадочного материала они не могут, что создает практически неразрешимые, с точки зрения частного инвестора, противоречия.

Мировой опыт и опыт СССР (России) показывают, что выход из данного противоречия только в использовании, по крайней мере на начальном этапе, государственных инвестиций фактически на безвозмездной основе для создания технической, технологической базы получения посадочного материала.

Мировая практика также показывает, что нерестово-вырастные хозяйства должны пройти несколько этапов индустриализации. И только организация высокотехнологичных хозяйств, эффективно использующих водные и земельные ресурсы, обеспечивающих высокую концентрацию производства, создаст условия для окупаемости вложений в их строительство. Наглядным примером таких процессов является индустриализация дальневосточных лососевых рыбоводных заводов, как российских, так и японских, развитие в Норвегии заводов по производству посадочного материала атлантического лосося, атлантической трески, гольца и палтуса.

Таким образом, можно заключить, что при формировании программ развития марикультурных хозяйств необходимо выделить, по крайней мере, два этапа:

- этап исключительно государственного финансирования строительства и индустриализации нерестово-вырастных хозяйств
- этап перехода к привлечению частного капитала.

#### ***Акклиматизация и пастбищная марикультура.***

Решение об акклиматизации дальневосточной горбуши в бассейне Белого моря было принято Министерством рыбной промышленности СССР в 1956 г. с учетом биологического обоснования (авторы М.С. Лазарев и А.И. Смирнов), одобренного Акклиматизационным советом Ихтиологической комиссии в 1955 г. В соответствии с приказом Минрыбпрома уже в 1956 г. начались перевозки икры горбуши (и осенней амурской кеты) из районов южного Сахалина. Одновременно были организованы полномасштабные исследования процесса акклиматизации, в которых участвовали специально созданная в ПИНРО лаборатория акклиматизации, ученые ММБИ, Ленинградского и Московского университетов, ВНИРО, Института генетики, ГосНИОРХ и других учреждений страны. Исследования велись в течение круглого года – на рыбоводных заводах, специально построенных для этих целей, и в поле, причем вскрывались и нерестовые бугры. Существенное место в исследованиях занимали вопросы взаимоотношений вселенца с местным более ценным атлантическим лососем-семгой. Несмотря на массовые возвраты горбуши в отдельные годы (преимущественно теплые), устойчивой акклиматизации не произошло (хотя икру перевозили каждый год и в больших количествах). В холодные годы практически все потомство погибало. Поэтому у ПИНРО возникло предложение начать перевозки икры горбуши из северных районов природного ареала (Ма-

гаданской области). Неудачи первого этапа акклиматизации горбуши, а затем и «реформы» в рыбной отрасли привели к практически полному прекращению акклиматизационных работ и исследований.

Научные исследования дальневосточной горбуши в бассейне Белого моря стали постепенно возобновляться лишь в последние годы после начала второго этапа акклиматизации, когда в 1985 г. на рыбоводные заводы Беломорья была доставлена из Магаданской области небольшая партия икры горбуши «нечетной» линии. Основное внимание исследователей в настоящее время направлено на проведение мониторинга состояния формирующейся в Белом море популяции горбуши. В соответствии с разработанной в 2001 г. программой в рамках нашей контрактной темы начали проводиться ограниченные по масштабам исследования вселенца. Их участниками являются ЗИН РАН, БИНИИ СПб ГУ, Институт биологии КарНЦ РАН, ПИНРО, СевПИНРО. Кроме того, акклиматизированную горбушу продолжают изучать в институте Общей генетики РАН и во ВНИРО.

Поскольку наибольшие подходы горбуши наблюдается в нечетные годы, исследование проводится раздельно по нечетным и четным годам. Необходимо отметить, что эти линии генетически изолированы. Установлено, что горбуша в новом регионе сохранила присущее ей в нативном ареале характеристики нерестового хода, в том числе волнообразный подход производителей, увеличение доли самок и наиболее крупных производителей в конце хода и т.д. В то же время удалось установить, что уже в 2001-2003 годах у всех самок, подошедших к устьям рек для нереста, состояние яичников к началу августа было таково, что они должны были отнереститься до 15-го сентября, т.е. ранний онтогенез должен был пройти при сравнительно благоприятных условиях. Из этого следует важный вывод – на протяжении 9 поколений (после последнего завода икры нечетной линии из Магаданской области) в результате естественного отбора в популяции беломорской горбуши сохранились, в основном, ранненерестующие особи. Наметились сдвиги и по ряду других признаков: увеличилась в среднем масса тела рыб (1,1 кг - в нативном ареале, до 1,4 - в Белом море); увеличилась плодовитость (с 1537 до 2018 икринок, соответственно); сдвинулись сроки нерестовой миграции на более ранние, а сроки ската молоди – на более поздние. Большой вклад в познание формирования популяции беломорской горбуши внесли исследования, проведенные в институте Общей генетики РАН. Выявлены существенные генетические изменения по сравнению с донорской популяцией (редукции гетерозиготности, аллельного разнообразия и разнообразия гаплотипов митохондриальной ДНК). Оказалось, что уровень генетических изменений существенно выше в нечетной линии, чем в четной, что на фоне успешного естественного воспроизводства у первой свидетельствует

о процессе адаптации. «Четная линия» горбуши значительно больше специализирована на генетическом уровне, что, возможно, является причиной ее слабой адаптации в северных условиях. Поэтому она, видимо, не является перспективным объектом для успешной акклиматизации, хотя, как упоминалось выше, разовый небольшой завоз икры горбуши этой линии, неконтролируемый облов возвратившихся производителей вряд ли дает право говорить об этом в категорической форме.

Наибольший интерес с теоретической и практической точек зрения представляет вопрос о завершении натурализации горбуши в Белом море (возникновении устойчивой самовоспроизводящейся популяции). Этот вопрос можно решить только при продолжении всестороннего мониторинга. Сравнительно стабильные уловы после последнего этапа интродукции нечетной линии и намечающиеся адаптивные изменения дают основания для некоторого оптимизма, т.к. в первый неудачный период акклиматизации при практически непрерывном завозе икры и существенной подпитке популяции рыбозаводами падение уловов произошло примерно через 13 поколений. На втором этапе акклиматизации прошло уже 9 поколений (при небольшой подпитке рыбозаводами за счет инкубацией икры от местных производителей). Относительный успех 2-го этапа может быть обусловлен 3-мя неравноценными факторами. На первом месте безусловно стоит удачный выбор донора, затем возможность нарастания численности местного стада (в том числе происходящего и от первого периода акклиматизации). И, наконец, определенную роль, возможно, играют более благоприятные термические условия в местах воспроизводства и нагула акклиматизируемой горбуши.

В 1998 г. при финансовой поддержке Мурманского губернатора Ю.А. Евдокимова из Магаданской области была доставлена на рыбозаводные заводы Беломорья небольшая партия икры горбуши «четной» линии. Малочисленные подходы были отмечены в 2000, 2002, 2004 гг. Об успехе натурализации горбуши этой линии говорить трудно, т.к. эти рыбы не только не охраняются, но даже Государственная экологическая экспертиза в первый же год ожидаемого возврата рекомендовала выловить 8 т. И это вместо требования организации охраны рыб первого возврата и пропуска их на нерестилища.

Нерегулируемый промысел акклиматизируемой горбуши явился причиной попыток прогнозировать численность ожидаемых подходов рыб «нечетной» линии и на этой основе определить объем общего допустимого улова (ОДУ). Так например, ОДУ на 2005 г. (без учета Мурманской области) определен в объеме 115 т.

О завершении процесса натурализации и месте горбуши в экосистемах Белого моря можно будет судить только после всестороннего и регулярного анализа всех полученных данных. Для их обсужде-

ния в рамках контрактной темы по инициативе ЗИН РАН и Секции по Белому морю МИК в 2002, 2003 и 2004 гг. были организованы Совещания специалистов в Архангельске и Санкт-Петербурге.

КарНЦ РАН на р. Кереть были проведены комплексные исследования взаимоотношений местной семги и горбуши на нерестово-выростных участках. В течение ряда лет осуществлялся мониторинг паразитофауны семги, горбуши и др. рыб этой реки.

Выше мы уже упоминали о том, что местное поморское население, испытывающее серьезные экономические трудности, крайне заинтересовано в горбуше. Однако подобной заинтересованности со стороны прибалтийских администраций практически не прослеживается (Алексеев и др., 2004).

### **Экосистемные исследования**

Большинство работ по питанию рыб посвящено изучению, как правило, промысловых видов. При этом в них не рассматривается вся совокупность существующих пищевых отношений в сообществах с учетом и других, менее ценных видов, которые могут выступать в качестве конкурентов либо объектов питания промысловых рыб, являясь важным компонентом экосистем, через который проходят значительные потоки вещества и энергии. Поэтому исследование закономерностей существования сообщества рыб в целом должно стать неотъемлемой частью экологических исследований по мониторингу состояния водоемов.

В 2003 г. сотрудниками кафедры ихтиологии МГУ были выбраны два типичных участка прибрежной зоны Кандалакшского залива – эстуарий реки Черной (литораль) и губа Ермолинская (литораль и сублитораль). В результате проведенных исследований были сделаны следующие выводы:

- на примере эстуария р. Черной выявлено расхождение спектров питания отдельных видов рыб по мере продвижения из опресненной в более мористую части, что связывается с увеличением, численности, биомассы и разнообразия беспозвоночных;

- на изученных модельных участках, на вершине трофических цепей находятся ледовитоморская рогатка (и европейский керчак), а в отдельных случаях - навага, которые являются консументами третьего порядка, питающимися в значительной степени рыбой. На более низком трофическом уровне находится девяти- и трехглазая колюшка, полярная камбала, а также бельдюга.

Все изученные виды рыб являются связующим звеном между устьями рек, прибрежной зоной и пелагиалью, а также фактором, обеспечивающим поток вещества и энергии между ними. При этом виды, способные выдерживать понижение солености практически до нуля, являются своего рода «накопителями» и «переносчиками» органического вещества из опресненных частей в более мористые с последующим его включением в круговорот веществ, протекающий в пелагиали. К таким видам



принадлежат, в частности, оба вида колюшки (девятиглая и трехглая). Они накапливают и переносят органическое вещество, продуцируемое в наиболее опресняемых частях эстуариев и недоступное для других видов рыб, в пелагиаль, с последующим включением этого органического вещества в другие циклы (см. Пономарев, Новиков, наст. сборник).

Говоря о структурно-функциональной оценке экосистем Белого моря представляется целесообразным остановиться на некоторых оценочных выводах, которые имеют несомненное значение для суж-

дения о потенциальных возможностях повышения промысловой продуктивности этого внутреннего российского моря. Не имея возможности в рамках этого отчета обсуждать проблемы сохранения и восстановления запасов основных промысловых рыб, а также объемов их рационального промысла в Белом море, остановимся только на их теоретическом обосновании. Попытки подобных расчетов предпринимались нами раньше (Белое море, 1995). В данной статье внесены некоторые коррективы, основанные на новых материалах (Табл. 3).

Таблица 3. Элементы энергетического баланса экосистем Белого моря (ккал/год)

Элементы экосистем	Продукция	Потребление
Продуценты <sup>1)</sup>		
Фитопланктон	$2.5 \times 10^{13}$	
Макрофиты	$0.1 \times 10^{13}$	
Сумма:	$2.6 \times 10^{13}$	
Консументы		
Зоопланктон	$1.0 \times 10^{12}$	$8.3 \times 10^{12}$
Зообентос	$0.45 \times 10^{12}$	$3.4 \times 10^{12}$
Сумма:	$1.45 \times 10^{12}$	$1.1 \times 10^{13}$
Рыбы:		
Сельдь	$0.36 \times 10^{10}$	$1.8 \times 10^{10}$
Прочие	$0.39 \times 10^{10}$	$1.9 \times 10^{10}$
Сумма:	$0.75 \times 10^{10}$	$3.75 \times 10^{10}$
Морские млекопитающие	$0.9 \times 10^9$	

Примечание: <sup>1)</sup> - без автотрофных микроорганизмов и микрофитобентоса

Рыбы относятся в основном к консументам 2 и 3-го порядков. Их суммарная биомасса в настоящее время по данным СевПИПРО составляет около 25 тыс. тонн, из которых на долю сельди приходится около половины. При калорийности 1.0 ккал/г влажного веса (Алимов, 1989) эта биомасса эквивалентна  $2.5 \times 10^{10}$  ккал. При годовом Р/В-коэффициенте порядка 0.3 их продукция за год составляет около  $0.75 \times 10^{10}$  ккал, а рацион равен  $3.75 \times 10^{10}$  ккал. Следовательно, рыбами выедается всего около 0.5 % от продукции, произведенной на предыдущих трофических уровнях. Это означает, что низкий уровень вылова рыбы в Белом море не обусловлен его бедностью. Запасы рыбы лимитированы не трофическими условиями, а иными факторами, к числу которых, прежде всего, относятся «перелов» и резкое ухудшение условий воспроизводства. Очевидно, что при восстановлении запасов уловы рыбы в Белом море могут значительно превышать нынешние.

Имеющихся данных, характеризующих баланс вещества и энергии в Белом море, еще крайне недостаточно. По этой причине приведенные расчеты носят предварительный характер. Они нужны только для того, чтобы еще раз показать ошибочность представлений о бедности Белого моря и направить наши усилия на дальнейшие исследования и восстановление промысловых запасов.

Приведенный выше обзор показывает, что в процессе выполнения контрактной темы «Структурно-функциональная оценка экосистем Белого моря как основа развития многоплановой марикультуры и повышения его биопродуктивности» удалось в некоторой степени возобновить комплекс исследований, позволяющий получать представление о характере функционирования экосистем моря. Однако контрактная тема в силу своей ограниченности (прежде всего финансовой) не может заменить упреждающий проект «Белое море». События последнего периода отчетливо показывают, что ликвидация проектов по морям России была серьезной ошибкой, нанесшей прямой ущерб интересам страны. Она не только вызвала растаскивание государственных средств на мелкие темы частного характера и распыление сил исследователей, но и привела к утрате ориентиров и целей общегосударственной значимости в изучении морей России, их природных и иных ресурсов. Именно комплексные проекты по нашим морям в наибольшей степени отвечают концептуальной основе Морской доктрины России.

Работа выполнена при поддержке Федеральной целевой научно-технической программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники» и Программы фундаментальных исследований РАН «Фундаментальные основы управления биологическими ресурсами».

**Литература**

- Алексеев А.П., Дорофеева Е.А., Кулачкова В.Г., Никоноров С.И.* Горбуша в Белом море: проблема ждет решения // В кн.: Сборник материалов VII международной конференции «АКВАТЕРРА-2004». СПб. 2004. С. 145-149.
- Алимов А.Ф.* Введение в продукционную гидробиологию. Л., 1989. 152С.
- Белое море. Биологические ресурсы и проблемы их рационального использования. СПб. Зоологический институт РАН. 1995. Ч.1,2. 500 с.
- Бергер В.Я., Примаков И.М., Усов Н.В., Кутчева И.П.* Результаты мониторинга пелагиали в губе Чупа Белого моря. В печати.
- Зенкевич Л.А.* Биология морей СССР. М. 1963. 739 с.
- Кузнецов В.В.* Белое море и биологические особенности его флоры и фауны. М.-Л., 1960. 322 с.
- Пономарев С.А., Новиков Г.Г.* Структура трофических связей рыб в эстуарной экосистеме. Наст. сборник.
- Примаков И.М.* Гидрологический режим и первичная продукция в устьевой части губы Чупа Канда拉克шского залива Белого моря // Материалы VI научного семинара «Чтения памяти К.М. Дерюгина». СПб., 2004. С. 52-60.
- Berger V.Ja., S. Dahle, K. Galaktionov, X. Kosobokova, A. Naumov, T. Rat'kova, V. Savinov, T. Savinova.* White Sea. Ecology and Environment. St.-Petersburg - Tromso. 2001. 157 pp.
- Berger V.J., Naumov A.D. Usov N.V., Zubaha M.A., I. Smolyar, R. Tatusko, S. Levitus.* 36-Years Time Series (1963-1998) of Zooplankton, Temperature and Salinity in the White Sea. St.Petersburg-Silver. Spring, 2003. 362 pp.
- Naumov A.D.* Bentos // In.: White Sea. Ecology and Environment. St.-Petersburg - Tromso. 2001. Ch.4. P. 41-54.

Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря.  
Материалы IX международной конференции  
11-14 октября 2004 г., Петрозаводск, Карелия, Россия  
Петрозаводск, 2005. С. 27-30.

## УЧАСТИЕ ЛИЗОСОМАЛЬНЫХ НУКЛЕАЗ В АДАПТИВНЫХ РЕАКЦИЯХ МОРСКИХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ

В.С. АМЕЛИНА, Р.У. ВЫСОЦКАЯ, Т.А. ЛОМАЕВА, Г. А. ШКЛЯРЕВИЧ

*Институт биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск*

Изучали влияние различных типов техногенного загрязнения воды на активность лизосомальных нуклеаз у типичных беспозвоночных Белого моря *Mytilus edulis* и *Gammaridae* spp. Была показана относительная стабильность исследуемых ферментов с незначительным отклонением от контрольного уровня. На основе полученных данных сделан вывод об успешной адаптации гидробионтов к загрязнению за счет неспецифических механизмов.

V.S. Amelina, R.U. Vysotskaya, T.A. Lomaeva, G.A. Shcklarevich. The role of the lysosomal nucleases in adaptive responses of marine invertebrates // The study, sustainable use and conservation of natural resources of the White Sea. Proceedings of the IXth International Conference, October, 11-14, 2004. Petrozavodsk, Karelia, Russia. Petrozavodsk, 2005. P. 27-30.

Impact of the different technogenic types of water pollution on lysosomal nucleases activity in the typical invertebrates animals of the White Sea *Mytilus edulis* and *Gammaridae* spp. was studied. The relative stability of analyzed enzymes with an insignificant difference from control level was shown. According to the data obtained the conclusion was made about successful adaptation of studied hydrobionts to water pollution by unspecific mechanisms.

Морские экосистемы побережья Кандалакшского залива Белого моря в значительной мере подвержены трансформации вследствие комплексного загрязнения различными сбросами антропогенного происхождения. Спектр поллютантов Белого моря достаточно широк. В первую очередь, это стоки бытовых вод, нефтяное загрязнение, органические вещества, образующиеся при гниении древесины, ионы различных металлов (в том числе, тяжелых и переходных), вызывающие локальное нарушение ионного баланса морской воды (Наумов, Оленев, 1981).

В связи с этим биота водоема сталкивается с необходимостью выработки определенных приспособительных механизмов к измененным условиям существования. Удобным объектом для изучения адаптаций гидробионтов к различным биотическим и абиотическим факторам являются представители макрозообентоса, благодаря их повсеместному распространению и привязанности к месту обитания (Регеранд, Дубровина, 1995; Riba, Del Vals et al., 2004; Nagelkerken, Debrot, 1995).

Как известно, лизосомам принадлежит значительная роль в формировании устойчивости организма к стрессирующим воздействиям, поскольку любой патологический процесс, вызванный тем или иным токсикантом, неизбежно проходит стадию деструкции клеточных структур с участием лизосомальных гидролаз (Высоцкая, Сидоров, 1981; Высоцкая, Руоколайнен, 1993; Кулинский, 1999; Чекунова, Фролова, 1986; Marigomes, Baybay-Villacorta, 2003). Одними из интереснейших лизосомальных

ферментов являются нуклеазы – ферменты деполимеризации нуклеиновых кислот, участвующие в ключевых процессах жизнедеятельности клетки. Однако их роль в акклимации гидробионтов к экологическому стрессу на данный момент изучена недостаточно.

Исходя из вышесказанного, было предпринято исследование влияния различных типов загрязнения на активность кислых нуклеаз у беспозвоночных Белого моря.

### Материал и методы исследования

Объектом для данного исследования служили типичные представители бентоса Белого моря – двустворчатые моллюски *Mytilus edulis* и ракообразные амфиподы *Gammaridae* spp., выловленные в различных зонах Кандалакшского залива Белого моря в летний период 2003 г.

Мидий собирали в 6, амфипод – в 11 местах акватории залива (Табл. 1). Сбор проб проводили в зонах, различающихся по удаленности от населенных пунктов и типу загрязнения. По данному признаку все зоны сбора материала могут быть подразделены на группы: 1) устья крупных рек, являющиеся местом накопления загрязнителей среды, содержащихся в сточных водах, включая тяжелые металлы (точки 3, 4); 2) стоки морского порта г. Кандалакша, насыщенные соединениями кальция и фосфора из состава апатитового концентрата (точки 5 - 7); 3) места локального радиоактивного загрязнения в 2001 г. (точки 8, 9); 4) зона нефтяного загрязнения (точка 10) и 5) район интенсивных промышленных

сбросов (точка 11). Контролем служили особи из условно «чистой» зоны акватории Белого моря, наиболее удаленной от источников антропогенного воздействия - мыс Турий (точка 1). Губа Порья (точка 2) также рассматривается как относительно «чистый» район.

В гомогенатах цельных организмов определяли активность кислых лизосомальных ДНКаз и РНКаз.

Таблица 1. Характеристика точек сбора амфипод *Gammaridae* spp. и мидий *M. edulis* в Кандалакшском заливе Белого моря

№	Точки сбора	Близость к источникам загрязнения	Преобладающий тип загрязнения
1.	мыс Турий	150 км от г. Кандалакша и 30 км от пос. Умба	наиболее чистый район
2.	губа Порья	90 км от г. Кандалакша и 30 км от пос. Умба	чистый район
3.	о. Ряшков	5 км от пос. Умба	бытовые сточные воды, агрохимия
4.	пос. Лувеньга	побережье пос. Лувеньга	
5.	о. Большой Березовый	5 км от г. Кандалакша	бытовые сточные воды, повышенное содержание соединений Са и Р из апатитового концентрата из морского порта г.Кандалакша
6.	о. Еловый	5 км от г. Кандалакша	
7.	о. Большой Лупчостров	1 км от г. Кандалакша	
8.	о. Большая Половинница	2 км от г. Кандалакша	радиоактивное точечное загрязнение Sr <sup>90</sup> и Y <sup>90</sup> (апрель 2001 г.)
9.	о. Малый	1,4 км от г. Кандалакша	
10.	о. Олений	2,5 км от нефтебазы станции Белое море	нефтепродукты
11.	"механический завод"	в городской черте г. Кандалакша	неорганические кислоты от аккумуляторов, нефтепродукты, бытовые стоки, опилки древесные с лесозавода

### Результаты исследования

Результаты исследования активности кислых лизосомальных нуклеаз приведены на рисунках 1–4. Согласно полученным данным, активность изучаемых ферментов у исследуемых видов в одинаковых условиях среды варьирует по-разному. Так, у мидий под воздействием различных загрязнителей она в той или иной мере снижается, тогда как у амфипод в некоторых случаях наблюдается значительное превышение контрольного уровня. В основном, это касается активности рибонуклеазы, достигающей максимальных значений у особей, собранных близ пос. Лувеньга (точка 4) и острова Б. Половинница (точка 8), а также из зоны с наибольшей техногенной нагрузкой – район стоков «механического завода» (точка 11). Для этих проб отмечена и несколько повышенная активность кислой ДНКазы. В целом, активность ДНКазы была более стабильна, чем РНКазы.

### Обсуждение

В данном исследовании в качестве контроля служил материал, собранный в двух чистых зон Кандалакшского залива – удаленный от источников

Материал гомогенизировали в 0,25 М растворе сахарозы с добавлением Тритона X-100 для учета латентной ферментативной активности. Активность нуклеаз определяли спектрофотометрически по методам, описанным ранее (Высоцкая и др., 1993). Активность нуклеаз выражали в условных единицах  $\Delta E_{260}$  на 1 г ткани в 1 мин при 30 °С.

техногенного загрязнения Турий мыс и побережье Порьей губы, прилегающего к территории Кандалакского заповедника. Различие ферментативной активности у особей из названных зон, а именно значительно более низкий уровень активности кислых нуклеодеполимераз у беспозвоночных из Порьей губы, явилось неожиданным и интересным результатом. Причем, для обоих видов снижение активности ферментов было пропорциональным – порядка 65–70% для РНКазы (Рис. 1, 3) и 35–40% для ДНКазы (Рис. 1, 4). Такое строгое соотношение активности при схожих условиях среды обитания, не испытывающей посторонних воздействий, позволяет предположить, что полученный интервал отражает норму реакции экзаменуемых параметров для данных видов. Столь высокий потенциал фенотипической изменчивости лизосомальных ферментных систем может иметь приспособительное значение для организмов с относительно низким уровнем развития регуляторных систем, коими являются мидии и амфиподы, что дает им возможность поддерживать нормальный метаболический статус при значительных колебаниях факторов внешней среды (Хлебович, 1981).

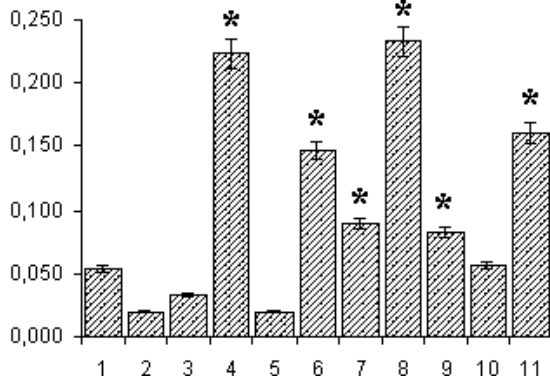


Рис. 1. Активность кислой рибонуклеазы у амфипод *Gammaridae* spp. из различных зон Кандалакшского залива Белого моря

Здесь и далее: по оси ординат – активность ферментов в ΔE<sub>260</sub> на 1 г сырого веса в минуту,

\* - различия с контролем достоверны.

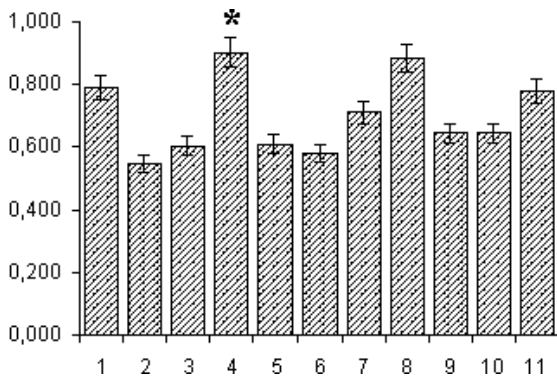


Рис. 2. Активность кислой дезоксирибонуклеазы у амфипод *Gammaridae* spp. из различных зон Кандалакшского залива Белого моря

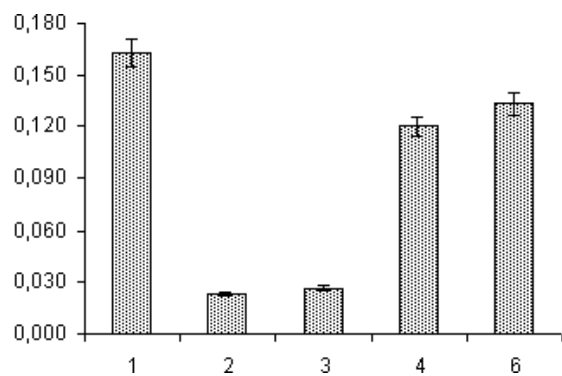


Рис. 3. Активность кислой рибонуклеазы у мидий *Mytilus edulis* из различных зон Кандалакшского залива Белого моря

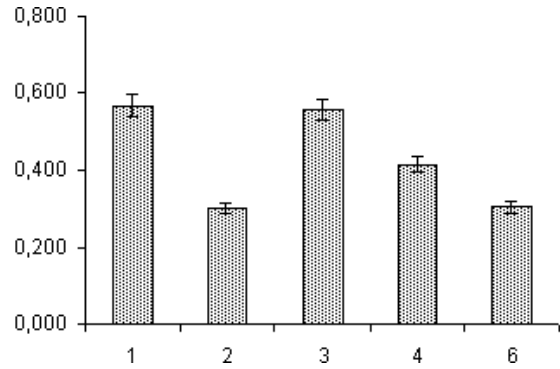


Рис. 4. Активность кислой дезоксирибонуклеазы у мидий *Mytilus edulis* из различных зон Кандалакшского залива Белого моря

Исходя из сказанного выше, при анализе результатов отклонением от нормы считали данные, выходящие за границы означенного интервала. Относительная стабильность показателей активности лизосомальных нуклеаз, в особенности, дезоксирибонуклеазы, позволяет констатировать отсутствие патологических изменений на уровне ДНК, а следовательно, генома в целом, и дает основание полагать, что исследованные нами виды весьма успешно адаптировались к техногенно измененной среде обитания. Причем адаптивные механизмы данных беспозвоночных реализуются, вероятно, на уровне модуляции уже существующих макромолекул, практически не затрагивая ядерного генома (Хлебович, 1981; Хочачка, Сомеро, 1977). Это вполне согласуется с более высокой вариабельностью кислой рибонуклеазы по сравнению с ДНКазой, а также значительными изменениями протеолитической активности пропорционально степени антропогенной нагрузки, отмеченными у амфипод в ходе комплексного исследования (Бондарева, 2004). Не последняя роль в развитии толерантности организмов к влиянию абиотических факторов различной природы отводится изменению проницаемости билипидного слоя мембран (Кяйвяряйнен и др., 2004; Романенко и др., 1982; Реперанд, Дубровина, 1995; Marigomes, Baybay-Villacorta, 2003)

Таким образом, в клетках гидробионтов из загрязненных вод, по всей видимости, присутствует определенный набор матриц и белков, необходимый для эффективной компенсации токсических воздействий поллютантов, сформировавшийся в ходе длительного хронического воздействия загрязнения на организмы. Это позволяет говорить об успешной адаптации мидий и амфипод Белого моря к измененной среде обитания, главным образом, за счет неспецифических механизмов.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ НШ-894.2003.4 и программы ОБН «Фундаментальные основы управления биологическими ресурсами» № 10002-251/ОБН-02/151-433.220503-181.

## Литература

- Бондарева Л.А. 2004. Влияние некоторых факторов среды на внутриклеточный протеолиз у гидробионтов: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 23
- Высоцкая Р.У., Сидоров В.С. 1981. Участие лизосомального аппарата в ответной реакции организма на воздействие антропогенных факторов внешней среды // В кн.: Сравнительные аспекты биохимии рыб и некоторых других животных. Петрозаводск: КарНЦ РАН. С. 5–18.
- Высоцкая Р.У., Руокалайнен Т.Р. 1993. Об экологической значимости лизосомальных ферментов // В кн.: Теоретические аспекты экологической биохимии. Петрозаводск: КарНЦ РАН. С. 78–91.
- Высоцкая Р.У., Шустова Н.К., Заличева И.Н. 1993. Изменение активности лизосомальных ферментов у личинок онежской палии и радужной форели под влиянием токсикантов // В кн.: Биохимические методы в экологических и токсикологических исследованиях. Петрозаводск: КарНЦ РАН. С. 63–73.
- Кулинский В.И. 1999. Обезвреживание ксенобиотиков // Сорос. образ. ж. № 1. С. 8–12.
- Кяйвярйянен Е.И., Нефедова З.А., Бондарева Л.А., Алексеева Н.Н., Бахмет И.Н., Немова Н.Н. 2004. Взаимосвязь содержания холестерина в мембранах и активности кальцийактивируемых протеиназ мидий *Mytilus edulis* L. Белого моря при изменении солёности среды обитания // Междунар. Конф. «Современные проблемы физиологии и биохимии водных организмов». Тез. докл. Петрозаводск: КарНЦ РАН. С. 78–79.
- Наумов А.Д., Оленев А.В. 1981. Зоологические экскурсии на Белом море: Пособие для летней учебной практики по зоологии беспозвоночных. Под ред. А.А. Стрелкова. Л.: Изд-во Ленингр. Ун-та. 176 с.
- Регеранд Т.И., Дубровина Л.В. 1995. Изменение некоторых биохимических параметров липидного обмена прудовиков при нарушении в воде соотношения катионов // В кн.: Влияние техногенных вод горнообогатительного комбината на водоемы системы реки Кенти. Петрозаводск: КарНЦ РАН. С. 34–43.
- Романенко В.Д., Арсан О.М., Соломатина В.Д. 1982. Кальций и фосфор в жизнедеятельности гидробионтов. Киев: Наукова думка. 152 с.
- Хлебович В.В. 1981. Акклимация животных организмов. Л.: Наука. 136 с.
- Хочачка П., Сомеро Дж. 1977. Стратегия биохимической адаптации. М.: Мир. 296 с.
- Чекунова М.П., Фролова А.Д. 1986. Роль лизосом в токсикологии металлов // 3-ий всесоюз. симпоз. «Структура и функции лизосом». Тез. докл. Тбилиси: Изд-во ХОЗУ Минуралсибстроя СССР. С. 228–229.
- Marigomes I., Baybay-Villacorta L. 2003. Pollutant-specific and general lysosomal response in digestive cells of mussels exposed to model organic chemicals // Aquat. Toxicol. V. 64. P. 235–257.
- Nagelkerken I.A., Debrot A.O. 1995. Mollusc communities of tropical rubble shores of Curaçao: long-term (7+ years) impact of oil pollution // Marine Pollution Bull. V. 30. №9. P. 592–598.
- Riba I, Del Valls T.A., Forja J.M., Gomez-Parra A. 2004. The influence of pH and salinity on the toxicity of heavy metals in sediment to the estuarine clam *Ruditapes philipinarium* // Environ. Toxicol. Chem. V. 23 (5). P. 1100–1107.

Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря.  
Материалы IX международной конференции  
11-14 октября 2004 г., Петрозаводск, Карелия, Россия  
Петрозаводск, 2005. С. 31-34.

## БИОХИМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ УСТОЙЧИВОСТИ РЫБ СЕВЕРНЫХ ВОДОЕМОВ К КОМПЛЕКСНЫМ ЗАГРЯЗНЕНИЯМ

В.С. АМЕЛИНА, Д.Н. МОРОЗОВ, Р.У. ВЫСОЦКАЯ

*Институт биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск*

Изучали влияние комплексного загрязнения воды на лизосомальные нуклеазы в различных органах наваги *Eleginus navaga* Pallas, выловленной из разных зон Белого моря. Полученные данные отражают высокий уровень адаптивных возможностей данного вида. Сравнение результатов исследования за 2001 и 2003 годы свидетельствует об улучшении экологической ситуации в устье р. Кемь.

V. S. Amelina, D. N. Morozov, R. U. Vysotskaya. **Biochemical resistance mechanisms of northern reservoirs fishes to complex pollution** // The study, sustainable use and conservation of natural resources of the White Sea. Proceedings of the IXth International Conference, October, 11-14, 2004. Petrozavodsk, Karelia, Russia. Petrozavodsk, 2005. P. 31-34.

The impact of complex water pollution on lysosomal nucleases in different organs of navaga *Eleginus navaga* Pallas caught in two regions of the Wight Sea was studied. The data obtained reflect high adaptive level of this species. Comparison of the results obtained in 2001 and 2003 provides obvious evidence to the improvement of ecological situation in estuarine zone of Kem river.

Водные экосистемы севера в наши дни испытывают колоссальное антропогенное воздействие. Максимальная техногенная нагрузка приходится на прибрежные акватории и эстуарии крупных рек. Особенную остроту эта проблема приобретает в связи с тем, что эти зоны характеризуются благоприятным гидрологическим режимом и являются местом обитания значительной части морской биоты (Наумов, Оленев, 1981). Среди абиотических факторов, действующих на гидробионтов северных широт, наибольшее значение придается загрязнению солями тяжелых металлов, в большом количестве содержащихся в промышленных стоках, бытовыми стоками, различными нефтяными фракциями, радионуклидами и т.д. (Лукьяненко, 1987; Лукин и др., 1998; Регеранд, 1995).

История изучения вопроса о влиянии различных загрязнителей на водные организмы насчитывает не один десяток лет. Однако львиную долю таких исследований составляют аквариальные эксперименты по влиянию отдельных ксенобиотиков, тогда как приспособительные реакции и пределы адаптивных возможностей организмов в естественных условиях могут значительно отличаться от данных, полученных в «чистых» экспериментах.

В связи с этим, целью нашей работы стало изучение механизмов адаптации рыб на биохимическом уровне к совместному влиянию биотических и абиотических факторов среды, а именно: комплексного загрязнения воды на фоне пониженной солености.

### Материал и методы исследования

Объектом исследования являлась навага *Eleginus navaga* Pallas, отловленная в различных районах Белого моря – в открытой части моря и в устье реки Кемь, отличающихся по гидрологическим характеристикам и степени загрязнения (Наумов, Оленев, 1981). Устье реки характеризуется пониженной соленостью, кроме того, речная вода несет большое количество ксенобиотиков различной природы: биогенные вещества, тяжелые металлы, нефтяные углеводороды и т.д., содержащиеся в бытовых и промышленных стоках прибрежных населенных пунктов (Скибинский, 2001). Градиент плотности, возникающий на границе смешения пресной воды с морской, служит естественным барьером распространения растворенных веществ, вследствие чего, они аккумулируются в эстуарии реки. Контролем служили особи из открытого моря. Исследования проводились в 2001 и 2003 г.

Материал для анализа доставлялся в замороженном виде. Навески тканей для определения активности ферментов гомогенизировали в 0,25 М растворе сахарозы с добавлением Тритона X-100 для учета мембранно-связанной активности лизосомальных гидролаз. Активность нуклеаз определяли спектрофотометрически по методам, описанным ранее (Высоцкая и др., 1993). Активность нуклеаз выражали в условных единицах  $\Delta E_{260}$  на 1 г ткани в 1 мин при 30 °С.

Полученные данные обрабатывались общепринятыми методами статистики (Ивантер, Коросов, 1992). Различие между сравниваемыми группами считали достоверными при  $p < 0,05$ .

### Результаты исследования

Результаты анализа активности ферментов показаны на рисунках 1–3. Показано, что распределение активности лизосомальных ферментов по органам (мышцы < жабры < гонады ≤ печень) сохраняется постоянным и не зависит ни от пола, ни от места обитания. В целом, по результатам исследования 2003 г. уровень активности кислых нуклеаз у рыб из устья реки Кемь практически не отличался от контрольного. Наибольшие различия активности РНКазы

отмечены в гонадах. В 2001 г. наблюдалась тенденция к снижению активности нуклеаз в тканях наваги из эстуарной зоны (Высоцкая и др., 2003).

Интересные результаты получены при сопоставлении с данными по годам. Так, выявлены достоверные отличия активности ДНКазы у особей, обитающих в дельте реки Кемь, притом, что активность ферментов в контрольных группах оставалась без изменений. Максимальные отклонения отмечены в жабрах.

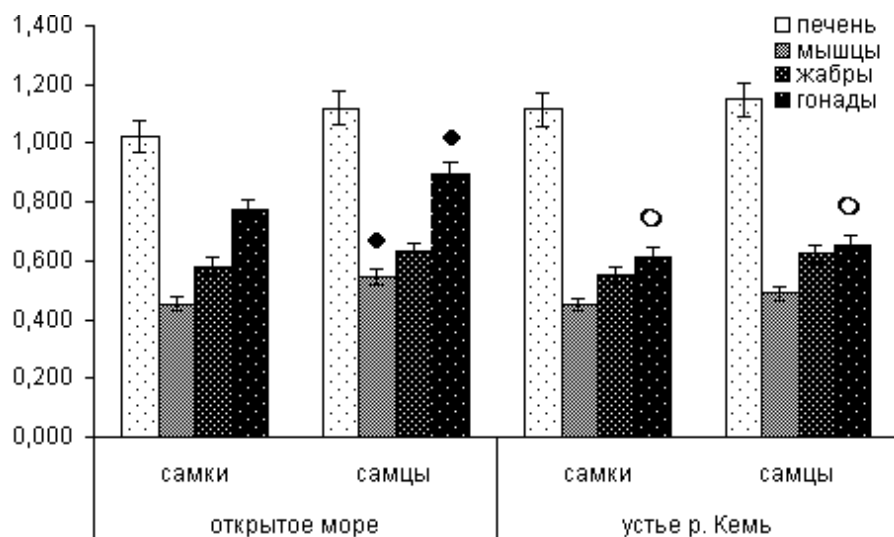


Рис. 1. Активность кислой РНКазы ( $\Delta E_{260}$  / г тк. / мин) в органах наваги из различных акваторий Белого моря (2003 г.)

Здесь и далее: ◆ - отличие показателей самцов от самок той же акватории достоверно; ○ - отличие особей из устья р. Кемь достоверно по сравнению с особями из открытого моря; ✖ - отличие данных 2001 г. достоверно по сравнению с 2003 г.

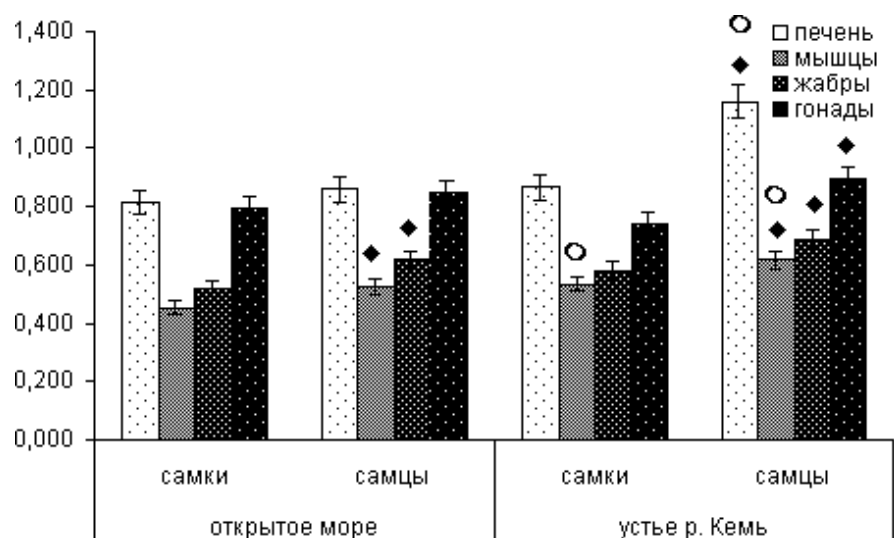


Рис. 2. Активность кислой ДНКазы ( $\Delta E_{260}$  / г тк. / мин) в органах наваги из различных акваторий Белого моря (2003 г.)



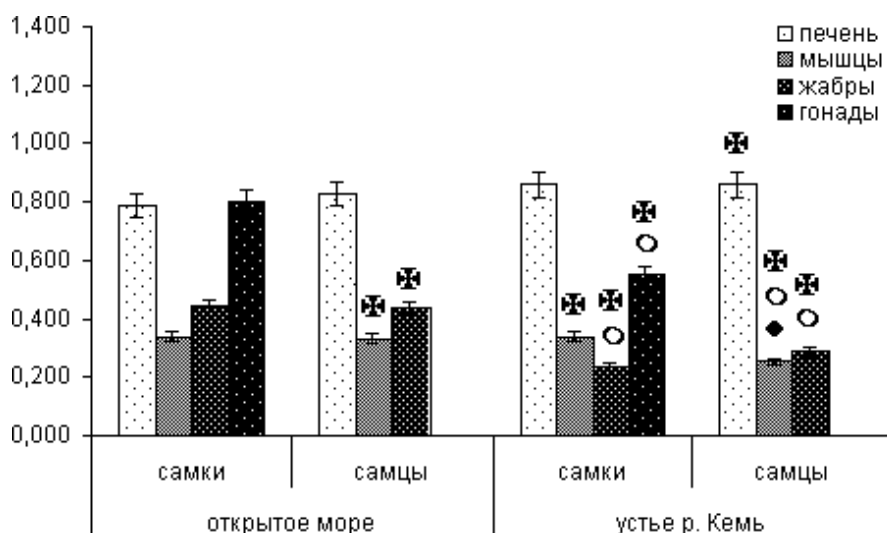


Рис. 3. Активность кислой ДНКазы ( $\Delta E_{260}$  / г тк. / мин) в органах наваги из различных акваторий Белого моря (2001 г.)

### Обсуждение

В целом, успешность адаптации популяции к тому или иному воздействию можно оценить по способности особей существовать в измененной среде с сохранением уровня жизнедеятельности и поддержанием гомеостаза основных функций организма, свойственных данному виду в обычных условиях (Слоним, 1971). В связи с этим, стабильность исследуемых параметров, наблюдавшаяся в нашем исследовании в 2003 г., позволяет констатировать отсутствие патологических процессов в анализируемых тканях, а также, свидетельствует об исключительно высоких адаптивных возможностях рыб, обитающих в устье реки Кемь, и подверженных круглогодичному влиянию комплексного загрязнения воды на фоне пониженной солености.

Как известно, навага, являясь совершенным осморегулятором, имеет ряд механизмов, позволяющих этому виду поддерживать нормальный метаболический статус при значительных колебаниях солености. Основу таких приспособлений на клеточном уровне составляют два важнейших процесса: модуляция проницаемости мембран (Наточин, Бергер, 1979; Регеранд, 1995; Marigomes, Baybay-Villasorta, 2003) и специфические перестройки биосинтезов, связанных с изменениями концентраций и типов синтезируемых продуктов (преимущественно белков) за счет избирательной репрессии – депрессии клеточного генома (Бергер, Харазова, 1971; Хлебович, 1981). Активация любого из указанных процессов неизбежно сказывается на состоянии лизосом, однако в нашем случае этого не происходит. Отсутствие значимых изменений активности лизосомальных нуклеаз позволяет предположить, что в данном исследовании мы наблюдаем результат длительного процесса адаптации эстуарной популяции наваги, при котором в дифференциальную актив-

ность генома все необходимые «корректировки» уже внесены.

Помимо этого, рыбы из речного устья, по всей видимости, обладают также повышенной толерантностью к комплексному загрязнению акватории, о чем свидетельствует нормальный уровень активности кислых нуклеаз в печени и жабрах – органах, осуществляющих детоксикацию ксенобиотиков (Кулинский, 1999). Однако, понижение активности лизосомальной РНКазы в гонадах представителей обоих полов из дельты сигнализирует о наличии некоторого стресса, превышающего порог чувствительности лизосом репродуктивной системы, которая, по видимому, характеризуется повышенной уязвимостью к неблагоприятным воздействиям по сравнению с другими органами.

Сравнение данных 2001 и 2003 годов выявляет позитивную динамику исследуемых параметров. Это может быть следствием изменения экологической ситуации в акватории устья реки Кемь, заключающегося либо в снижении общего уровня загрязнения, либо в сокращении в стоках реки доли токсиантов, являющихся специфическими ингибиторами активности нуклеаз, в частности, тяжелых металлов, некоторых органических соединений (Керова и др., 1974; Дмитриева и др., 2002; Zou et al., 2001). С другой стороны, наблюдаемая нормализация состояния рыб может отражать прогрессирующее повышение толерантности эстуарной популяции наваги к комплексному влиянию биотических и антропогенных факторов.

*Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ НШ-894.2003.4 и программы ОБН РАН «Фундаментальные основы управления биологическими ресурсами» № 10002-251/ОБН-02/151-433.220503-181.*

## Литература

- Бергер В.Я., Харазова А.Д. 1971. Исследование субстанциональных изменений и синтеза белка в процессе адаптации некоторых беломорских моллюсков к понижению солёности среды // Цитология. Т. 13, № 10. С. 1299–1303.
- Высоцкая Р.У., Шустова Н.К., Заличева И.Н. 1993. Изменение активности лизосомальных ферментов у личинок онежской палии и радужной форели под влиянием токсикантов // В. кн.: Биохимические методы в экологических и токсикологических исследованиях. Петрозаводск: Кар НЦ РАН. С. 63–73.
- Высоцкая Р.У., Крупнова М.Ю., Кяйвяряйнен Е.И., Немова Н.Н., Морозов Д.Н., Такшеев С.А. 2003. Влияние экологических условий на активность гидролитических ферментов наваги и трески Белого моря // Междунар. научн. семинар «Современные проблемы физиологии и экологии морских животных». Сб. тр. Апатиты. С. 299–305.
- Дмитриева А.Г., Кожанова О.Н., Дронина Н.Г. 2002. Физиология растительных организмов и роль металлов. М.: МГУ. 146 с.
- Ивантер Э.В., Коросов А.В. 1992. Основы Биометрии. ПетрГУ: Петрозаводск. 90 с.
- Керова Н.И., Пухова Г.Г., Чеботарев Е.Е. 1974. Естественные ингибиторы нуклеаз. Киев: Наукова думка. 141 с.
- Кулинский В.И. 1999. Обезвреживание ксенобиотиков // Сорос. образ. ж. № 1. С. 8–12.
- Лукьяненко В.И. 1987. Экологические аспекты ихтиотоксикологии. М.: Агропромиздат. 240 с.
- Лукин А.А., Даувальтер В.А., Кацулин Н.А., Раткин Н.Е. 1998. Влияние аэротехногенного загрязнения на водосборный бассейн озер Субарктики и рыб // Экология. №2. С. 109–115.
- Наточин Ю.В., Бергер В.Я. 1979. Ионный состав клеток моллюсков – эволюционный и экологический аспекты // Журн. эвол. биохимии и физиологии. Т. 15, № 3. С. 295–306.
- Наумов А.Д., Оленев А.В. 1981. Зоологические экскурсии на Белом море: Пособие для летней учебной практики по зоологии беспозвоночных. Л.: Изд-во Ленингр. Ун-та. 176 с.
- Регеранд Т.И. 1995. Изменение липидного обмена некоторых представителей зообентоса реки Кенти под влиянием фильтрационных вод // В кн.: Влияние техногенных вод горно-обогатительного комбината на водоемы системы реки Кенти. Петрозаводск: КарНЦ РАН. С. 25–33.
- Скибинский Л.Э. 2001. Роль геохимических барьеров в переносе и накоплении загрязняющих веществ в устьевых и прибрежных биотопах Белого моря // VIII регион. научно-практ. конф. «Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря». Тез. докл. Архангельск. С. 51–52.
- Слоним А.Д. Экологическая физиология животных. М.: Высшая школа. 448 с.
- Хлебович В.В. 1981. Акклимация животных организмов. Л.: Наука. 136 с.
- Marigomes I., Baybay-Villacorta L. 2003. Pollutant-specific and general lysosomal response in digestive cells of mussels exposed to model organic chemicals // Aquat. Toxicol. V. 64. P. 235–257.
- Zou G., Gao Ch., Pi X. 2001. Kinetic studies of the irreversible inhibition restriction endonuclease Pst I by site-specific inhibitors // Wuhan Univ. J. Natur. Sci. V. 6. №4. P. 859–863.

Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря.  
Материалы IX международной конференции  
11-14 октября 2004 г., Петрозаводск, Карелия, Россия  
Петрозаводск, 2005. С. 35-38.

## ГЕЛЬМИНТЫ БУРОЗУБОК РОДА SOREX (SORICIDAE, INSECTIVORA) ОСТРОВОВ СЕВЕРНОГО АРХИПЕЛАГА БЕЛОГО МОРЯ

В.С. АНИКАНОВА<sup>1</sup>, Н.С. БОЙКО<sup>2</sup>, Е.П. ИЕШКО<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск

<sup>2</sup> Кандалакшский государственный природный заповедник, Кандалакша

Изучен видовой состав гельминтов бурозубок (*S. araneus*, *S. caecutiens*) островов Северного архипелага Белого моря. Обнаружено 13 видов гельминтов, относящихся к 2 систематическим группам – Cestoda (8), Nematoda (5). Выявлены доминирующие виды (*Longistriata codrus*, *L. didas*, *Ditestolepis diaphana*, *Staphylocystis furcata*), определяющие качественную структуру сообщества гельминтов. Обитание бурозубок в условиях островной изоляции сопровождается снижением видового разнообразия гельминтов и их численности. Различия видового состава гельминтов бурозубок определяется кормовым спектром почвенных биоценозов островов Северного архипелага Белого моря.

V. S. Anikanova, N. S. Boyko, E. P. Ieshko. Helminths of shrews of genus *Sorex* (Soricidae, Insectivora) of the islands of North archipelago of the White Sea // The study, sustainable use and conservation of natural resources of the White Sea. Proceedings of the IXth International Conference, October, 11-14, 2004. Petrozavodsk, Karelia, Russia. Petrozavodsk, 2005. P. 35-38.

The species composition of shrews's helminths (*Sorex araneus*, *S. caecutiens*) of the islands of North archipelago was studied. 13 helminth species belonging to 2 taxonomic groups Cestoda (8), Nematoda (5) were found. The dominating parasite species (*Longistriata codrus*, *L. didas*, *Ditestolepis diaphana*, *Staphylocystis furcata*) affecting qualitative structure of the helminth communities were determined.

Dwelling the shrews in conditions of island isolation is accompanied by decrease in a species variety of helminths and their abundance. The species composition of shrew's helminths is defined by a feed spectrum of soil biocenosis of islands of North archipelago of the White Sea.

Острова Северного архипелага расположены в вершине Кандалакшского залива Белого моря. Они уже более 70 лет являются территорией орнитологического заповедника и тем самым защищены от чрезмерных антропогенных воздействий. Северный архипелаг объединяет 68 островов разного размера, возраста и облика. Острова располагаются за Полярным кругом и простираются вдоль Карельского берега на 17 км. Характеризуются суровыми климатическими условиями, особенностями гидрологического режима, мозаичностью растительных сообществ. Фауна насекомых довольно бедна. Всего на островах обитает четыре вида бурозубок – обыкновенная (*Sorex araneus* L.), средняя (*Sorex caecutiens* Laxmann), малая (*Sorex minutus* L.) бурозубки и кутора (*Neomys fodiens* Pennant.). (Бойко, 2001, 2002).

Цель данного исследования – изучение видового разнообразия гельминтов бурозубок, обитающих в условиях островной изоляции на краю их ареалов.

### Материал и методы

Сбор материала проводили на 5 островах Северного Архипелага (67°07' N- 66°56' E) в июле-сентябре 2000–2003 гг. Бурозубок отлавливали в давилки Геро (линии по 100 шт. через каждые 10 м) и в ловчие канавки с цилиндрами (длина каждой

канавки 50 м с пятью цилиндрами). Всего отловлено 105 землероек-бурозубок 2 видов: обыкновенная бурозубка (102 экз.) и средняя бурозубка (3 экз.). Из них максимальное число зверьков поймано на о. Ряшков –31, на о. Гульмаха –20, на о. Куричек – 18, на о. Девичья Луда – 18, на о. Малый Ломнишный – 15

Определение бурозубок проведено по Долгову (1985). Видовая идентификация гельминтов - по Генову (1984), Vaucher (1971) и Thomas (1953). Уровни заражения характеризовали показателями экстенсивности инвазии (ЭИ, % - доля зараженных особей хозяев), интенсивности инвазии (ИИ, экз. - среднее количество особей паразитов у зараженных исследованных хозяев) и индекса обилия (ИО, экз. - среднее количество особей паразитов у всех исследованных хозяев). При выборке хозяина меньше 10 экз., в скобках указывается число зараженных особей.

### Результаты и обсуждение

Обыкновенная бурозубка обитает на всех исследованных нами островах и является одним из фоновых видов мелких млекопитающих. На ее долю на лесных островах Северного архипелага (Ряшков, Куричек, Гульмаха, М. Ломнишный) приходится, в среднем 94,3%, на Девичьей луде – 100%, от всех отловленных здесь землероек. Средняя численность

в уловах давилками на островах Северного архипелага составляет 0,3 особи на 100 ловушко-суток. Значительно выше она по данным отловов канавками – 8,0 экз. на 100 цилиндро-суток. Встречается во всех типах лесных формаций, лугах и жилых постройках.

Средняя бурозубка отловлена нами на двух островах (Ряшков и М. Ломнишный). По численности, среди насекомоядных сем. *Soricidae*, она занимает второе место. Ее доля, в среднем 15,5%. Средняя численность в уловах давилками составляет по 0,01 экз. на 100 ловушко-суток на лесных островах. В отловах канавками – 1,1 экз. на 100 цилиндро-суток. Встречается в тех же стациях, что и обыкновенная бурозубка. Предпочитает увлажненные биотопы.

У бурозубок обнаружено 13 видов гельминтов, относящихся к двум систематическим группам – Cestoda (8 видов) и Nematoda (5). Цестоды представлены двумя семействами: *Hymenolepididae* (6 видов) и *Dilepididae* (2), нематоды – тремя: *Capillariidae* (1), *Strongyloididae* (1) и *Heligmosomatidae* (3). Подавляющее большинство обнаруженных видов гельминтов являются палеарктическими – 12, к голарктическим относится только *Parastrongyloides winchesi*.

Общая зараженность бурозубок гельминтами довольно высока и составляет 85,3%. Среди выявленных видов гельминтов доминируют нематоды (ЭИ – 84,3%; ИО – 17,0 экз.). Цестоды почти вдвое уступают им как по встречаемости (33,3%), так и по численности (ИО – 4,7 экз.).

У обыкновенной бурозубки, отмеченной на всех исследованных островах Северного архипелага, паразитируют все выявленные нами виды гельминтов. Качественное и количественное соотношение видового состава гельминтов показаны в таблице 1. Экстенсивность инвазии *S. araneus* гельминтами составляет 85,8%. Доминируют пять видов гельминтов – 3 вида нематод (*Longistriata codrus*, *L. didas*, *Capillaria kutori*) и два вида цестод (*Ditestolepis diaphana* и *Staphylocystis furcata*). К числу редко встречающихся паразитов относятся цестоды *Monocercus arionis*, *Dilepis undula*, *D. tripartita* и нематода *Parastrongyloides winchesi*.

В видовом отношении у *S. araneus* на островах Северного архипелага преобладают ленточные черви, особенно представители сем. *Hymenolepididae* (6 видов). Среди них по показателям встречаемости и численности у обыкновенной бурозубки доминирует *D. diaphana* (табл. 1). Вторым по встречаемости является *S. furcata*. Остальные виды цестод характеризуются низкими показателями уровня инвазии.

Фауна нематод обыкновенной бурозубки в видовом отношении несколько уступает цестодам. Однако по индексам встречаемости и численности значительно их превосходит. Наибольшее распространение у нее получили нематоды р. *Longistriata*. Среди них наиболее часто встречаются *L. codrus* и *L. didas* с максимальными значениями ИО (Табл. 1).

Небольшое число отловленных на островах Северного архипелага средних бурозубок не позволяет провести достоверный анализ ее гельминтофауны. Отметим только бедность видового состава гельминтов (4 вида), представленного доминирующими видами нематод бурозубок в районе исследования (табл. 2).

Зараженность бурозубок гельминтами различных систематических групп варьирует в значительных пределах на каждом из исследованных островов. Максимальное распространение на островах Северного Архипелага у бурозубок получили нематоды. Зараженность ими бурозубок колеблется от 35,0 до 100% с высоким индексом обилия (2,5–40,2 экз.). Цестоды у зверьков встречаются значительно реже (10,0–72,25%) и с более низкой численностью (0,8–17,1 экз.).

Наибольшее видовое разнообразие гельминтов у обыкновенной бурозубки выявлено на островах Куричек и Девичья луда (по 10 видов), минимальное (7) – на о. М. Ломнишный. Из 8 видов цестод, обнаруженных у нее, только два вида (*D. diaphana* и *S. furcata*) встречаются на всех обследованных островах. Из нематод – три вида (*C. kutori*, *L. codrus* и *L. didas*). Почти на всех островах для них характерны высокие уровни инвазии. Максимальные показатели встречаемости гельминтов и их численности отмечены на о. Девичья луда, минимальные – на о. Гульмаха (Табл. 1).

Доминирующее положение в сообществе гельминтов в целом и среди нематод в частности, у бурозубок на островах, занимают нематоды *L. codrus* и *L. didas*, имеющие три способа проникновения в организм хозяина. Во-первых, вместе с кормом, во-вторых, через кожные покровы и, наконец, через резервуарных хозяев, в роли которых выступают дождевые черви (*Dendrobaena octaedra*), депонирующие яйца и личинок лонгистриат. Полученные нами данные по спектру питания бурозубок на островах Северного архипелага показали, что дождевые черви являются первостепенным кормом обыкновенной бурозубки на всех островах и обеспечивают поддержание у нее высокой численности нематод (Аниканова и др., 2004).

Вторым по значению кормом в питании обыкновенной бурозубки являются различные виды Coleoptera. Эта группа насекомых служит промежуточным хозяином паразитирующих у нее цестод. С их участием развиваются такие цестоды как *D. diaphana*, *N. schaldybini*, *S. furcata*, составляющие ядро фауны цестод на островах. Остальные виды цестод встречаются редко или единично, что, по-видимому, связано с низкой численностью их промежуточных хозяев.

Ни на одном из исследованных островов нами у бурозубок не выявлены представители класса Trematoda. Широко распространенная у бурозубок Палеарктики цестода *Monocercus arionis* обнаружена только на двух островах с низкими показателями инвазии, что наш взгляд, прежде всего, определяет-

Таблица 1. Видовой состав и показатели численности гельминтов обыкновенной бурозубки островов Северного Архипелага Белого моря

Вид гельминта	о. Куричек n = 18		о. Гульмаха n = 20		о. Девичья Луда n = 18		о. Ряшков n = 31		о. М. Ломнишный n = 15	
	ЭИ, %	ИО, экз.	ЭИ, %	ИО, экз.	ЭИ, %	ИО, экз.	ЭИ, %	ИО, экз.	ЭИ, %	ИО, экз.
<b>ЦЕСТОДЫ</b>										
<i>Ditestolepis diaphana</i>	5,6	0,55	5,0	0,33	50,0	14,6	12,9	1,29	6,6	1,06
<i>D. tripartita</i>	--	--	--	--	5,6	0,33	--	--	--	--
<i>Neoskrjabinolepis schaladybini</i>	16,6	0,16	10,0	0,17	--	--	3,2	0,06	6,6	0,07
<i>Spasskylepis ovaluteri</i>	--	--	--	--	11,1	0,55	--	--	6,6	0,13
<i>Lineolepis scutigera</i>	11,1	0,44	5,0	0,25	5,6	0,16	--	--	--	--
<i>Staphylocystis furcata</i>	5,6	0,38	5,0	0,11	44,4	1,0	3,2	0,03	6,6	0,06
<i>Dilepis undula</i>	5,6	0,06	--	--	--	--	3,2	0,03	6,6	0,06
<i>Monocercus arionis</i>	--	--	5,0	0,05	11,1	0,44	--	--	--	--
<b>НЕМАТОДЫ</b>										
<i>Capillaria kutori</i>	16,6	0,5	5,0	0,05	5,6	0,06	16,1	0,32	26,6	0,4
<i>Parastrongyloides winchesi</i>	5,6	0,1	5,0	1,6	--	--	--	--	--	--
<i>Longistriata codrus</i>	61,1	11,8	5,0	0,11	83,3	17,5	77,4	7,0	66,6	6,0
<i>L. depressa</i>	16,6	0,72	--	--	22,2	0,44	35,4	0,7	--	--
<i>L. didas</i>	61,1	19,2	15,0	0,55	27,7	1,6	80,6	8,12	26,6	0,8

Таблица 2. Видовой состав и показатели численности гельминтов средней бурозубки островов Северного Архипелага Белого моря

Вид гельминта	о. Ряшков, n = 2		о. М. Ломнишный, n = 1	
	ЭИ, %	ИО, экз.	ЭИ, %	ИО, экз.
<b>ЦЕСТОДЫ</b>				
<i>Neoskrjabinolepis schaladybini</i>	--	--	1	1
<b>НЕМАТОДЫ</b>				
<i>Capillaria kutori</i>	--	--	1	4
<i>Longistriata codrus</i>	1 (2)	3,5	1	10
<i>L. didas</i>	1 (2)	2,5	--	--
<i>Longistriata sp.</i>	1 (2)	1,5	--	--

ся бедным видовым составом моллюсков и ихнизкой численностью на островах (Бызова и др., 1986). Не отмечены моллюски и в кормовом спектре обыкновенной бурозубки (Аниканова и др., 2004), что также подтверждает высказанное нами предположение о причинах отсутствия трематод у бурозубок на островах Северного Архипелага.

Сравнительный анализ данных этого исследования с результатами изучения гельминтофауны бурозубок на Карельском берегу Кандалакшского заповедника, а также в регионах, расположенных южнее (Карелия), показал обеднение видового разнообразия гельминтов и снижение значений уровня их инвазии у зверьков, обитающих на островах Северного Архипелага (Рис.) (Аниканова и др., 2001).

Таким образом, фауна гельминтов бурозубок, обитающих на островах Северного архипелага пред-

ставлена гельминтами двух систематических групп. Наибольшим видовым разнообразием характеризуются цестоды. По численности доминирующее положение занимают нематоды. Ядро фауны гельминтов бурозубок составляют нематоды р. *Longistriata* и два вида цестод (*D. diaphana* и *S. furcata*). Наибольшее видовое разнообразие гельминтов выявлено у обыкновенной бурозубки – доминирующего вида насекомоядных островов Северного архипелага. Обитание бурозубок в высоких широтах в условиях островной изоляции сопровождается снижением видового разнообразия гельминтов и их численности. Различия видового состава гельминтов бурозубок определяются кормовым спектром почвенных биоценозов островов Северного архипелага.

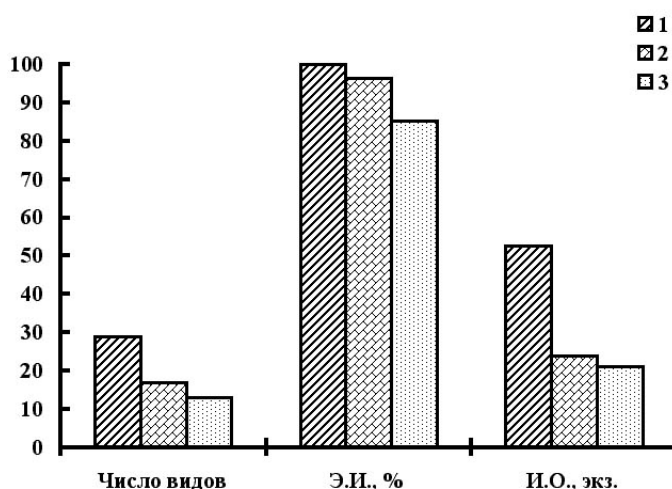


Рис. Географические особенности зараженности гельминтами бурозубок Северного архипелага Белого моря

1 – Южная Карелия; 2 – Карельский берег Кандалакшского заповедника; 3 – острова Северного архипелага Белого моря

## Список литературы

- Аниканова В.С., Беспятова Л.А., Бугмырин С.В. Паразиты обыкновенной бурозубки (*Sorex araneus* L.) Южной Карелии // В кн.: Эколого-паразитологические исследования животных и растений Европейского Севера. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2001. С. 78-85.
- Аниканова В.С., Бойко Н.С., Иешко Е.П. Гельминтофауна бурозубок рода *Sorex* (SORICIDAE, INSECTIVORA) островов Кандалакшского залива. Териологический сборник. СПб.: 2004. С. 48-63.
- Бойко Н.С. 1999. Насекомоядные (Insectivora) островов и побережий Кандалакшского залива // Тез. докл. международной конференции «Биология насекомоядных млекопитающих». Кемерово: Кузбассвуиздат. С.39-40.
- Бойко Н.С. 2001. Динамика видового разнообразия *Micromammalia* на островах Кандалакшского залива (Белое море). // Тез. докл. международной конференции «Биоразнообразие Европейского Севера: теоретические основы изучения, социально-правовые аспекты использования и охраны». Петрозаводск. С. 26-27.
- Бойко Н.С. 2002. Видовое разнообразие и численность млекопитающих (MAMMALIA L., 1758) на территории и акватории Кандалакшского заповедника. // IV-V Международные семинары «Рациональное использование прибрежной зоны северных морей». Кандалакша. С. 70-93.
- Бызова Ю.Б., Уваров А.В., Губина В.Г., Залеская Н.Т., Захаров А.А., Петрова А.Д., Суворов А.А., Воробьева Е.Г. 1986. Почвенные беспозвоночные беломорских островов Кандалакшского заповедника. М.: Наука. 312 с.
- Генов Т. 1984. Хелминты на насекомоядные бозайници и гризачите в България. София: Изд-во БАН. 348 с.
- Долгов В.А. 1985. Бурозубки Старого света. М.: Изд-во МГУ. 221 с.
- Thomas R. J. 1953. On the Nematode and Trematode parasites of some small mammals from the Inner Hebrides. // J. Helminth. Vol. 27. № ¾ P. 119-128.
- Vaucher C. Les Cestodes parasites des Soricidae d'Europe Etude anatomique, revision taxonomique et biologique. // Rev. Suisse de Zool. 1971. Vol. 78, № 1. P. 1-113.

Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря.  
Материалы IX международной конференции  
11-14 октября 2004 г., Петрозаводск, Карелия, Россия  
Петрозаводск, 2005. С. 39-43.

## ФОРМИРОВАНИЕ ПАРАЗИТОФАУНЫ ГОРБУШИ *ONCORHYNCHUS GORBUSCHA* (WALBAUM, 1792) В УСЛОВИЯХ АККЛИМАТИЗАЦИИ

Ю.Ю. БАРСКАЯ, Е.П. ИЕШКО, О.В. НОВОХАЦКАЯ

*Институт биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск*

Паразитофауна акклиматизированной горбуши, исследованной в р. Кереть (бассейн Белого моря), насчитывает 13 видов. Основу фауны составляют морские виды (10 видов). Пресноводные представлены паразитами, активно инвазирующими хозяина. Отмечается обеднение паразитофауны горбуши в бассейне Белого и Баренцева морей по сравнению с таковой в естественном ареале обитания. Паразитофауна акклиматизированной горбуши формируется за счет видов, встречающихся у проходных лососевидных Кольского полуострова и Карелии. Наибольший коэффициент сходства фауны паразитов выявлен для семги и горбуши.

**Yu.Yu. Barskaya, E.P. Ieshko & O.V. Novokhatskaya. Formation of parasite fauna of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792) under acclimatization** // The study, sustainable use and conservation of natural resources of the White Sea. Proceedings of the IXth International Conference, October, 11-14, 2004. Petrozavodsk, Karelia, Russia. Petrozavodsk, 2005. P. 39-43.

The parasite fauna of pink salmon acclimatized to the River Keret (the White Sea basin) includes 13 species. Marine species are prevailed (10 species). Freshwater species are presented by species actively infected a host. Diversity of pink salmon parasite fauna from the White and Barents Sea basins was decreased as compared with parasite fauna of natural fish populations. The parasite fauna are formed due to parasites of anadrom salmonidae fish of Kola Peninsula and Karelia. The highest resemblance of parasite faunas was determinate for Atlantic salmon and pink salmon.

Горбуша является представителем тихоокеанских лососей рода *Oncorhynchus*. Работы по интродукции этого вида в Белое море начались в 1957 году и до настоящего времени продолжаются. При этом до сих пор отсутствуют явные доказательства, свидетельствующие об окончательной натурализации этого вида в водоемы Российского Севера (Зубченко, Веселов, Калюжин, 2004). В связи с этим неоднократно поднимался вопрос о целесообразности акклиматизации горбуши. На этот счет существуют диаметрально противоположные точки зрения, но еще ни одна из них не подтверждена достаточным фактическим материалом (Наумов, Бергер, 2004). Имеющиеся на сегодняшний день данные пока не позволяют оценить степень влияния горбуши на состояние гидробиоценозов бассейнов Белого и Баренцева морей.

Целью данного исследования стало выявление особенностей формирования паразитофауны горбуши в условиях акклиматизации.

### Материал и методика

В основе данной работы лежат материалы паразитологических исследований горбуши, проводившихся на реке Кереть в сентябре 2003 года. Методом полного паразитологического вскрытия (Быховская-Павловская, 1985) изучено 15 экземпляров горбуши из садка рыбоучетного заграждения, расположенного в низовье реки.

При рассмотрении процессов становления паразитофауны видовые списки паразитов анализируются исходя из предположения, что число видов паразитов, а также в целом видовой состав не являются случайным, а представляют собой организованную структуру, которая формируется экологическими и историческими факторами (Догель, 1962; Джиллер, 1988). Предложенный подход дает представление о паразитофауне, как о системе, состоящей из следующих функциональных частей:

**Ядро паразитофауны** содержит виды обязательно присутствующие в списке видов, каждого из сравниваемых видов (выборки) хозяев.

**В сектор перекрытия** паразитофауны входят виды общие лишь для части сравниваемых видов (выборки) хозяев.

**Периферическую часть** составляют виды, обнаруженные в паразитофауне только одного вида (выборки) хозяина (Barskaya, Ieshko, 2004).

При анализе процессов формирования паразитофауны использовались как оригинальные материалы по паразитофауне горбуши р. Кереть, так и литературные данные о составе паразитофауны акклиматизированной горбуши Кольского Полуострова и Севера Карелии (Малахова, 1972; Митенев, 1997), а также сведения о фауне паразитов дальневосточных лососей в естественном ареале обитания (Мамаев и др., 1959; Стрелков, 1960; Трофименко, 1962; Коновалов, 1971).

### Результаты и обсуждение

Впервые паразитофауна горбуши р. Кереть была исследована Р.П. Малаховой в 1960-ых годах (Малахова, 1972). Было выявлено 10 видов паразитов. Большинство видов, за исключением глосидий *Unionoidea* sp. и рачка *Ergasilus sieboldi*, являются представителями морской фауны. Доминирующий вид – цестода *Scolex pleuronectis* (100/1980)\* (\* здесь и далее: первая цифра – процент заражения, вторая – индекс обилия). Также отмечалось значительное заражение трематодами *Brachyphallus crenatus* (100/52), *Lecithaster gibbosus* (100/284). В целом, автором отмечено, что паразитофауна горбуши включает всех типичных паразитов взрослой семги р. Кереть, но заражена ими в меньшей степени (Малахова, 1972).

При исследовании паразитофауны горбуши в 2003 г. выявлено 13 видов: *Cestoda* – 3, *Trematoda* – 6, *Nematoda* – 3, *Crustacea* – 1 (Табл. 1).

Морские виды составляют основу фауны. Это кишечные и полостные паразиты, которыми горбуша заражается в море при питании бентосом, зоопланктоном и рыбой. Как известно, морская фауна частично сохраняется во время миграций рыб в реки (Догель, Петрушевский, 1935). Сравнивая наши материалы с данными, полученными ранее (Малахова, 1972), отмечается снижение количественных показателей заражения морскими паразитами. Вероятно, это является следствием продолжительного пребывания горбуши в речных садках.

Пресноводная фауна представлена исключительно паразитами, активно инвазирующими хозяина (*Diplostomum* sp., *Ichthyocotylurus erraticus*, *Ergasilus sieboldi*). Заражение ими незначительно (Табл. 1).

Таблица 1. Паразитофауна горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* р. Кереть (сентябрь 2003)

Вид паразита	%	мин.	макс.	ИО
<i>Eubothrium crassum</i>	26	1	4	0,7
<i>Scolex pleuronectis</i>	67	1	104	12,7
<i>Cestoda</i> l. gen. sp.	87	1	92	5,7
<i>Brachyphallus crenatus</i>	46	1	18	3,9
<i>Derogenes varicus</i>	66	1	55	7,3
<i>Lecithaster gibbosus</i>	46	1	77	3,0
<i>Podocotyle atomon</i>	13	1	1	0,1
<i>Diplostomum volvens</i>	33	1	6	1
<i>Ichthyocotylurus erraticus</i>	20	1	2	0,3
<i>Anisakis simplex</i>	26	1	6	0,8
<i>Pseudoterranova decipiens</i>	26	1	1	0,3
<i>Hysterothylacium aduncum</i>	40	1	10	1,3
<i>Ergasilus sieboldi</i>	7	1	1	0,1
Вскрыто рыб, экз.			15	
Всего видов			13	

Анализ данных о фауне паразитов акклиматизированной горбуши и паразитов горбуши в естественном ареале обитания показал, что в бассейнах Баренцева и Белого морей отмечается обеднение паразитофауны. Снижение разнообразия паразитофауны происходит за счет дальневосточных видов. Эти виды расположены в периферической части схемы (Рис. 1). В первую очередь, к ним относятся виды, паразитирующие у рыб родов *Oncorhynchus* и *Salvelinus* (*Myxidium obscurum*, *Zschokkella orientalis*, *Leptothecca krogusis*, *Laminiscus strelkowi*), паразиты, инвазирующие преимущественно лососевидных рыб (*Parahemiurus merus*, *Tubulovesicula lindbergi*,

*Genarches mülleri*, *Syncoelium filiferum*, *Phyllobothrium caudatum*, *Philonema oncorhynchi*, *Ascaro-phus skrjabini*, *Rhadinorhynchus trachuri*), а так же виды, встречающиеся у широкого круга хозяев (*Nybelinia surmenicola*, *Bolbosoma caenoforme*).

Общие виды для паразитофауны горбуши в естественном ареале обитания и акклиматизированной горбуши – это широкоспецифичные морские виды, за исключением *Eubothrium crassum* – цестоды лососевых рыб (Рис. 1). Именно эти виды формируют ядро паразитофауны проходных лососевидных Кольского полуострова и Карелии (Рис. 2).



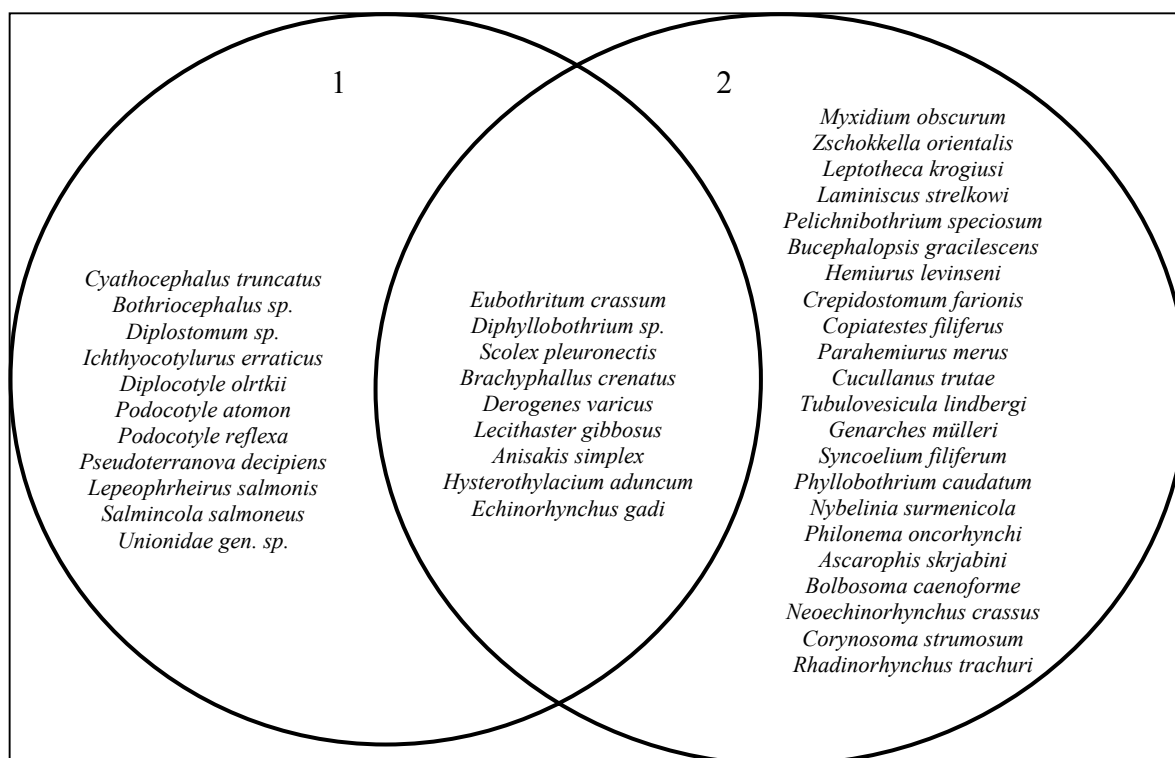


Рис. 1. Паразитофауна горбуши *Oncorhynchus gorbuscha*  
 1 – акклиматизированной в бассейны Белого и Баренцева морей, 2 - в естественном ареале обитания

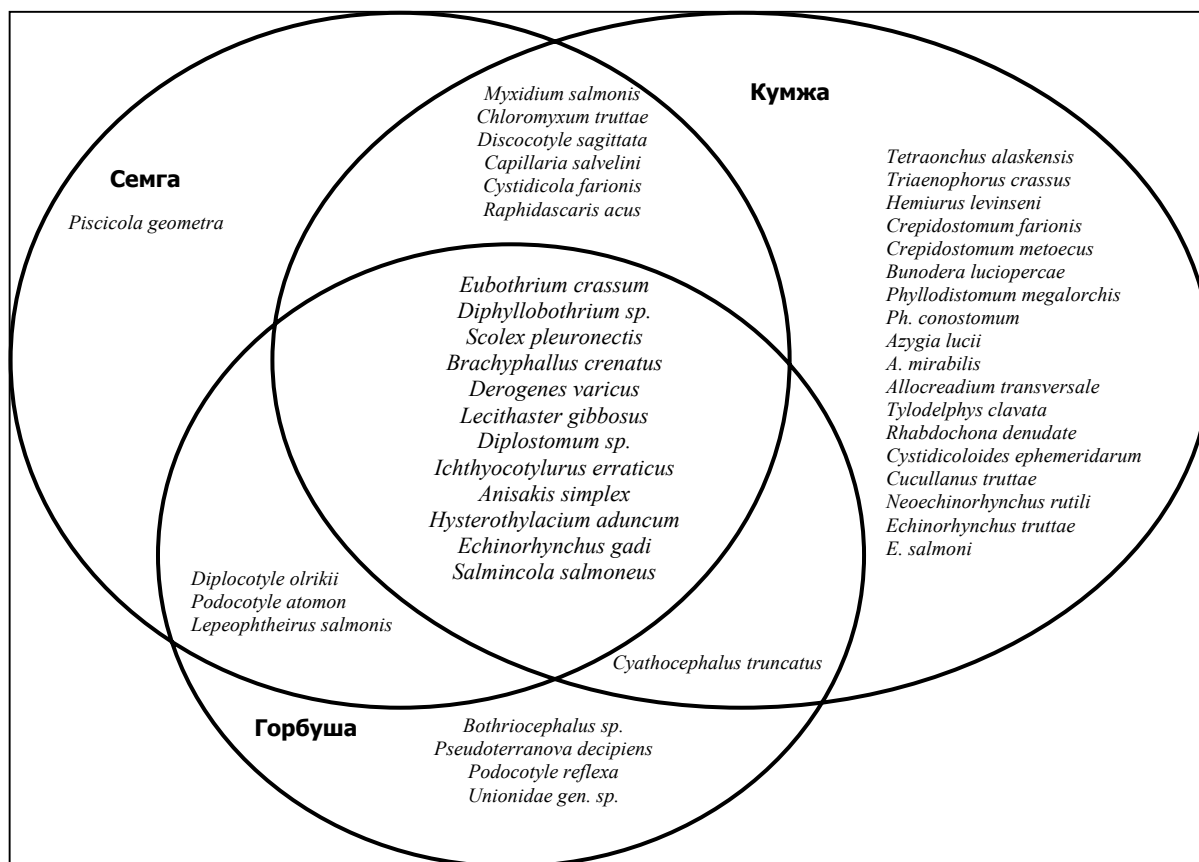


Рис. 2. Схема формирования паразитофауны проходных лососевых рыб севера Карелии и Кольского полуострова

В водоемах бассейнов Баренцева и Белого морей наибольшее сходство паразитофауны отмечается для семги и горбуши (Рис. 3).

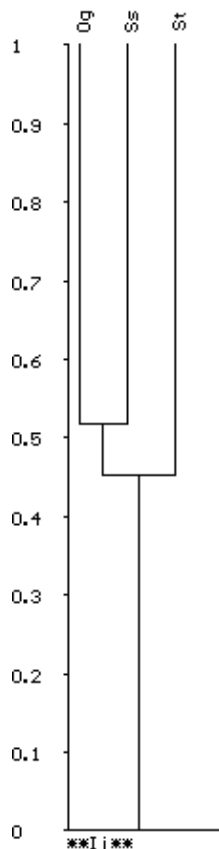


Рис. 3. Дендрограмма сходства паразитофауны семги *Salmo salar*<sup>1</sup>, кумжи *Salmo trutta*<sup>1</sup>, горбуши *Oncorhynchus gorbusha*<sup>1,2,3</sup> рек бассейна Белого и Баренцева морей  
<sup>1</sup> – по Митеневу (1997), <sup>2</sup> – по Малаховой (1972), <sup>3</sup> – наши данные. Og – горбуша, Ss – семга, St – кумжа

Паразитофауна кумжи отличается значительной долей и разнообразием пресноводных видов (Рис. 2), представленных в периферической части схемы. Это обусловлено двумя моментами: во-первых, кумжа, по сравнению с семгой и горбушей, не совершает длительных морских миграций, что позволяет ей сохранять часть паразитофауны, приобретенной в реке; во-вторых, в отличие от семги и горбуши, кумжа во время нерестового хода продолжает питаться, что способствует пополнению фауны пресноводными паразитами.

По количеству пресноводных видов семга занимает промежуточное положение между кумжей и горбушей (Рис. 4). При этом все пресноводные виды, обнаруженные у семги, отмечены в паразитофауне кумжи (Рис. 2). Пресноводные паразиты приобретаются семгой во время речного периода жизни, составляющего 4–5 лет. Горбуша, скатывающаяся в море в первый год после выклева, вероятно, имеет меньше шансов заразиться ими. Однако, как было

показано при исследовании горбуши из тихоокеанского бассейна (Мамаев и др., 1959), молодь может заражаться пресноводными видами до ската в море.

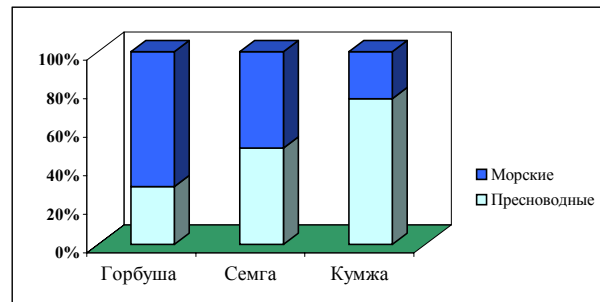


Рис. 4. Доля морских и пресноводных видов в паразитофауне горбуши, семги и кумжи

Что касается морских паразитов, то здесь наблюдается обратная тенденция. Самое большое число видов обнаружено у горбуши. Чуть меньше морских паразитов встречается у семги. Наименьшее разнообразие морских видов отмечено для фауны паразитов кумжи.

Таким образом, поскольку экология горбуши сходна с экологией проходных лососей рода *Salmo*, то закономерно, что в случае интродукции, горбуша заражается теми же видами, что семга и кумжа. Выявленный для семги и горбуши высокий коэффициент сходства паразитофауны обеспечивается за счет морских видов, представленных как в ядре, так и в секторе перекрытия паразитофауны семги и горбуши (Рис. 2). Это указывает на сходство кормовой базы лососей в нагульный период. Однако на основании этого сложно судить о пространственном перекрытии паразитофауны горбуши и семги в рамках такой большой экосистемы, как море. Этот вопрос требует дополнительных исследований, возможно с использованием метода паразитологических меток.

Кроме того, чтобы в полной мере оценить характер взаимоотношений горбуши и других лососевидных рыб, в первую очередь семги, необходимо получить данные о паразитофауне молоди горбуши.

*Выражаем благодарность к.б.н. Б.С. Шульману за помощь в сборе материала и ценные замечания.*

### Литература

- Ахмеров А.Х. 1955. О паразитофауне рыб Камчатки // Изв. ТИНРО, т. 43, С. 99-137.
- Быховская-Павловская И.Е. 1985. Паразиты рыб. Руководство по изучению. Л.: Наука. 121 с.
- Джиллер П. 1988. Структура сообществ и экологическая ниша. М.: Мир, 184 с.
- Догель В.А. 1962. Общая паразитология, Л. 465 с.
- Догель В.А., Петрушевский Г. К. 1935. Опыт экологического исследования паразитофауны беломорской семги // Вопросы экологии и биоценологии. С. 137-169.
- Зубченко А.В., Веселов А.Е., Калюжин С.М. 2004. Горбуша (*Oncorhynchus gorbusha*): проблемы акклиматизации на Европейском севере России. Петрозаводск-Мурманск: «Фолиум». 82 с.

- Коновалов С.М. 1971. Дифференциация локальных стад нерки. Л. 228 с.
- Малахова Р.П. 1972. Паразитофауна семги, горбуши, кумжи и сига в бассейне Белого моря // В кн.: Лососевые (*Salmonidae*) Карелии. Петрозаводск, вып. 1. С. 21–26.
- Мамаев Ю.Л., Патрухин А.М., Баева О.М., Ошмарин П.Г. 1959. Гельминтофауна дальневосточных лососей в связи с вопросом о локальных стадах и путях миграции этих рыб. Владивосток. С. 73.
- Митенев В.К. 1997. Паразиты пресноводных рыб Кольского Севера. Мурманск: Изд-во ПИНРО. 199 с.
- Наумов А.Д., Бергер В.Я. 2004. Колонизация Белого моря различными видами в голоцене: естественная и антропогенная составляющие // В кн. Биологические инвазии в водных и наземных экосистемах. М.-СПб. С. 222-231.
- Стрелков Ю.А. 1960. Эндопаразитические черви морских рыб восточной Камчатки // Тр. ЗИН. Т. 28. С. 147-196.
- Трофименко В.Я. 1962. Материалы по гельминтофауне пресноводных и проходных рыб Камчатки // Тр. ГЕЛАН. Т. 12. С. 232-262.
- Barskaya Y.Y., Ieshko E.P. The parasite fauna of brown trout *Salmo trutta*, white fish *Coregonus lavaretus* and grayling *Thymallus thymallus* from waterbodies of Karelia // Wiadomosci Parazytologiczne. Tom 50, z., 2004. P. 595-602.

Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря.  
Материалы IX международной конференции  
11-14 октября 2004 г., Петрозаводск, Карелия, Россия  
Петрозаводск, 2005. С. 44-46.

## ВЛИЯНИЕ МЕСТООБИТАНИЯ НА СЕРДЕЧНУЮ АКТИВНОСТЬ МИДИЙ *MYTILUS EDULIS* L.

И.Н. БАХМЕТ<sup>1</sup>, В.В. ХАЛАМАН<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск

<sup>2</sup> Беломорская биологическая станция Зоологического института РАН

Исследовались особенности сердечной ритмики сублиторальных (аквакультура) и литоральных мидий *Mytilus edulis* L. Работа проводилась в районе Кандалакшского залива Белого моря. Моллюски содержались в константных условиях: соленость – 25 ‰, температура – +10°C. Уровень сердечной активности сублиторальных животных достоверно превышал частоту сердечных сокращений у литоральных. Наряду с этим, была обнаружена ярко выраженная вариабельность сердечного ритма, как у литоральных, так и у сублиторальных мидий. Показаны периоды покоя у моллюсков обеих групп, протяженность которых варьировала от 1 до 4 часов.

**I.N. Bakhmet, V.V. Khalaman. Cardiac activity of blue mussels *Mytilus edulis* L. in different habitats //** The study, sustainable use and conservation of natural resources of the White Sea. Proceedings of the IXth International Conference, October, 11-14, 2004. Petrozavodsk, Karelia, Russia. Petrozavodsk, 2005. P. 44-46.

The heart rate (Hr) of blue mussels *Mytilus edulis* L. from the White Sea was tested by means of distant registration. It was shown that Hr of subtidal mussels was lower than that of intertidal ones. Besides periodical fluctuation of the mussel cardiac activity was shown.

При изучении адаптаций животных к изменяющимся факторам среды наиболее часто исследуются такой показатель, как потребление кислорода (Проссер, 1977; Newel, 1979; Dye, 1987; Berger, Kharazova, 1997; и др.). Многие другие интегральные физиологические характеристики оцениваются гораздо реже, прежде всего из-за методических сложностей. Так, например, широкое использование такого информативного показателя, как скорость сердцебиения (Segal, 1956; 1961; Pickens, 1965; Bayne, 1973) было затруднено из-за различных артефактов, вызванных имплантацией электродов и другими повреждающими воздействиями. В последнее время этот недостаток был преодолен, благодаря использованию новой методики дистантной регистрации частоты сердечных сокращений (Depledge, Andersen, 1990; Marshall, McQuaid, 1993)

Использование этого метода позволило авторам провести исследование сердечной ритмики моллюсков – мидий *Mytilus edulis* L. из разных биотопов.

### Материал и методы

Работа была выполнена в июне-августе 2003 г на Беломорской биологической станции им. О.А. Скарлато Зоологического института РАН. Мидии, стандартизованные по размеру, были собраны в бухте Круглой губы Чупа Кандалакшского залива Белого моря: сублиторальные – с искусственных субстратов, используемых для культивирования мидий (глубина 2 м), литоральные – в среднем горизонте приливо-отливной зоны. Сразу после сбора моллюски были помещены в аквариумы с аэрируемой морской водой соленостью 25 ‰, которые рас-

полагались в изотермической комнате при температуре 10±1°C. Кормление не производилось. Вода сменялась ежесуточно на 80-90 %. Моллюски были использованы в работе через две недели после адаптации к аквариальным условиям. Для исследования брали по 9 литоральных и сублиторальных особей.

Частоту сердечных сокращений (ЧСС) моллюсков исследовали при помощи методики дистантной регистрации изменения объема сердечной мышцы (плетизмограмма). Она основана на излучении инфракрасного света в область расположения сердца и записи отраженных лучей (Depledge, Andersen, 1990). В нашей работе были использованы оптические сенсоры CNY-70. С помощью специально разработанного усилителя с системой фильтров и портативного цифрового осциллографа Fluke™ 125 сигнал передавался на персональный компьютер. Его запись и обработка производились при помощи программы FlukeView 3.0 (De Pirro et al., 1999; Santini et al., 2000).

Регистрация ЧСС мидий производилась через 1 ч в течение 1-ых суток, через каждые 6 ч – на вторые сутки и через 12 ч – в дальнейшем. Через 7 суток регистрация ЧСС осуществлялась каждый час в течение 2-х суток.

ЧСС измерялась в герцах (Гц), т.е. количестве сокращений в секунду. В таблице приведены средние арифметические значения (M) и средние квадратические ошибки (m). Кроме того, поскольку распределение ЧСС литоральных и сублиторальных мидий не было нормальным (Curtis et al., 2000), при усреднении данных рассчитана и медиана (Me), а при сравнении выборок использовался непарамет-

рический критерий Колмогорова-Смирнова ( $\lambda$ ). Для сглаживания варьирования данных применяли метод скользящего среднего (Лакин, 1990).

### Результаты и обсуждение

ЧСС сублиторальных мидий достоверно превышала этот показатель у литоральных моллюсков. При этом следует подчеркнуть, что коэффициент вариации в обеих группах не превышал 20 %, что позволяет оценить уровень варибельности сердечного ритма, как средний (Лакин, 1990) (Табл., рис. 1, 2). В то же время, варибельность ЧСС литоральных животных была больше.

Таблица. ЧСС сублиторальных и литоральных мидий (в Гц)

Показатель	Литоральные	Сублиторальные
Me	0.171	0.230
M $\pm$ m	0.179 $\pm$ 0.029	0.239 $\pm$ 0.026

ЧСС литоральных мидий варьировала от 0 до 0,25 Гц. У каждого из животных наблюдалась периодическая остановка сердца длительностью от 1 до 4 часов. Мидий, находящихся в этом состоянии, мы условно назвали «молчачими». Их количество варьировало от 0 до 25 %, составляя в среднем 10 %.

У сублиторальных мидий ЧСС варьировала от 0 до 0,32 Гц. Доля «молчачих» мидий была большей (14 %) по сравнению с таковой у литоральных моллюсков. Кроме того, и варибельность этого показателя была выше, чем у литоральных мидий: от 0 до 50 %.

ЧСС как литоральных, так и сублиторальных мидий постепенно снижалась. Так, у литоральных моллюсков за 9 суток регистрации она понизилась на 29 % от начального уровня (Рис. 1). У сублиторальных животных понижение сердечной активности было большим - 45 % (Рис. 2).

На фоне общего постепенного снижения ЧСС наблюдались значительные колебания этого показателя со средним периодом порядка 17 ч у сублиторальных и 18 ч у литоральных мидий. Амплитуда колебаний варьировала от 0,055 до 0,150 Гц у сублиторальных и от 0,027 до 0,159 Гц у литоральных моллюсков.

Обращает на себя внимание пониженная варибельность ЧСС сублиторальных мидий. В данном случае, сердечная активность хорошо согласуется с природными условиями обитания моллюсков, поскольку литоральные мидии испытывают воздействие более широкого диапазона природных факторов. Отсюда и выраженная варибельность в вегетативных функциях.

Снижение ЧСС как литоральных, так и сублиторальных мидий по мере пребывания в лабораторных условиях, на наш взгляд, является следствием общего угнетения их функциональной активности из-за недостаточного питания. Подобный эффект в экспериментах на двустворчатых моллюсках отмечался ранее (Clausen, Riisgard, 1996). Однако это предположение без специальной проверки следует считать предварительным.

В данной работе мы не будем обсуждать периодичность и амплитуду обнаруженных колебаний ЧСС мидий. Анализ этих вопросов, потребовавший дополнительных материалов и специальной методологии, будет выполнен в другой работе авторов.

В заключение хотелось бы подчеркнуть, что сердечный ритм мидий хорошо зарекомендовал себя как инструмент по отслеживанию реакций моллюсков в зависимости от условий обитания. Можно предположить, что использование данной методики будет оправданно и при выборе других, абиотических и биотических факторов.

Работа выполнена при поддержке программы ОБН РАН «Оценка состояния и динамики важнейших биологических ресурсов, научные основы управления биоресурсами на уровне видов, сообществ и экосистем. Морские сообщества».

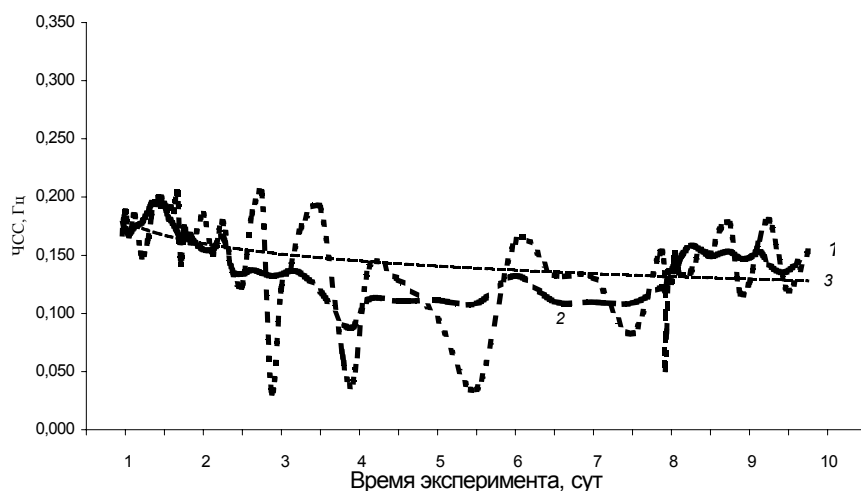


Рис. 1. Изменение ЧСС литоральных мидий во время эксперимента

1 – пунктир – значения ЧСС, 2 – точка-тире – скользящее среднее ЧСС; 3 – сплошная тонкая – линия тренда

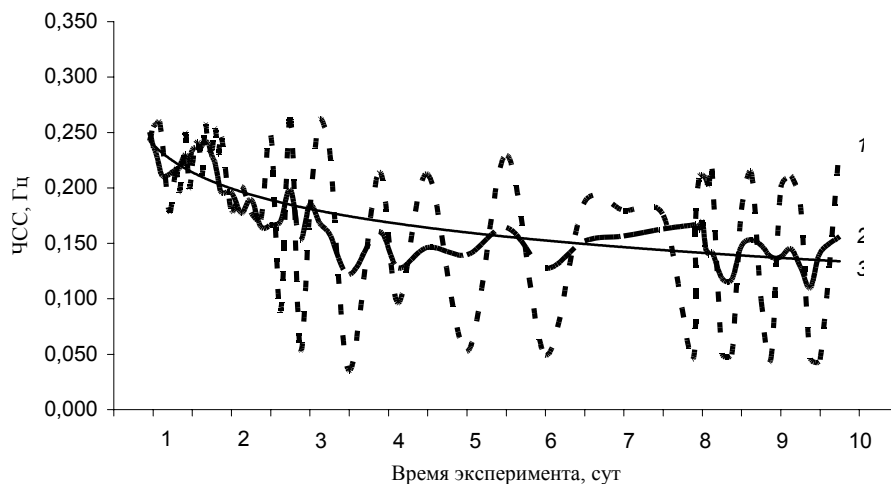


Рис. 2. Изменение ЧСС сублиторальных мидий во время эксперимента

1 – пунктир – значения ЧСС, 2 – точка-тире – скользящее среднее ЧСС; 3 – сплошная тонкая – линия тренда

### Литература

- Лакин Г.Ф. Биометрия. 1990. М.: Высш. шк. 352 с.
- Проссер К.Л. Сравнительная физиология животных. В 3-х т. М.: Мир. 1977. Т. 2. 571 с.
- Berger V.J., Kharazova A.D. Mechanism of salinity adaptation in marine mollusks // *Hydrobiologia*. 1997. 355. P. 115-126.
- Bayne B.L. The responses of three species of bivalve mollusks to declining oxygen tension at reduced salinity // *Comp. Biochem Physiol.* 1973. 45A. P. 393-406.
- Clausen I., Riisgard H.U. Growth, filtration and respiration in the mussel *Mytilus edulis*: no evidence for physiological regulation of the filter-pump to nutritional needs // *Marine Ecology Progress Series*. 1996. 141. P. 37-45.
- Curtis T.M., Williamson R., Depledge M.H. Simultaneous, long-term monitoring of valve and cardiac activity in the blue mussel *Mytilus edulis* exposed to copper // *Mar. Biol.* 2000. Vol. 136, № 5. P. 837-846.
- De Pirro M., Santini G., Chelazzi G. Cardiac responses to salinity variations in two differently zoned Mediterranean limpets // *Journal of Comparative Physiology B*. 1999. Vol. 169, Is. 7. P. 501-506.
- Depledge M.H., Andersen B.B. A computer-aided physiological monitoring system for continuous, long-term recording of cardiac activity in selected invertebrates // *invertebrates // Comp. Biochem. Physiol.* 1990. P. 474-477.
- Dye A.H. Aerial and aquatic oxygen consumption in two siphonated limpets (Pulmonata: Siphonariidae) // *Comp. Biochem. Physiol.* 1987. 87A. P. 695-698.
- Kinne O. Salinity – animals – invertebrates. In: *Marine ecology*. London etc. Vol. 1, № 2. 1971. P. 820-995.
- Marshall D.J., McQuaid C.D. Effects of hypoxia and hyposalinity on the heart beat of the intertidal limpets *Patella granularis* (Prosobranchia) and *Siphonaria capensis* (Pulmonata) // *Comp. Bio-chem Physiol.* 1993. A. 106. P. 65-68.
- Newell R.C. *Biology of intertidal animals*. Marine Ecological Survey, Faversham. 1979. 123 p.
- Pickens P. Heart rate of mussels as a function of latitude, intertidal height and acclimation temperature // *Physiol. Zool.* 1965. Vol. 38, № 4. P. 390-405.
- Santini G., Williams G. A., Chelazzi G. Assessment of factors affecting heart rate of the limpet *Patella vulgata* on the natural shore // *Marine Biology*. 2000. V. 137, №2. P. 291-296.
- Segal E. Macrogeographic variation as a thermal acclimation in an intertidal mollusca // *Biol. Bull.* 1956. Vol. 111. №1. P. 129-152.
- Segal E. Acclimation in mollusks // *Amer. Zoologist*. 1961. Vol. 1, №2. P. 235-244.

Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря.  
Материалы IX международной конференции  
11-14 октября 2004 г., Петрозаводск, Карелия, Россия  
Петрозаводск, 2005. С. 47-50.

## ЛИПИДНЫЙ СОСТАВ АМФИПОД БЕЛОГО МОРЯ ПРИ РАЗНЫХ ТИПАХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

В.В. БОГДАН<sup>1</sup>, Н.Н. НЕМОВА<sup>1</sup>, Т.Р. РУОКОЛАЙНЕН<sup>1</sup>, Г.А. ШКЛЯРЕВИЧ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск

<sup>2</sup> Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск

Исследовали изменения липидного, фосфолипидного и жирнокислотного состава литоральных амфипод из различных по загрязненности районов Белого моря. Показаны общие и специфические особенности в изменении указанных показателей относительно контроля при действии разных типов токсикантов. Отмечена адаптивная направленность липидного обмена при действии смеси токсикантов и веществ органической природы. Показано дестабилизирующее действие нефтепродуктов на липидный состав мембран.

**V.V. Bogdan, N.N. Nemova, T.R. Ruokolainen & G.A. Shklyarevich. Lipid composition in amphipods from the White Sea under various types of anthropogenic influence** // The study, sustainable use and conservation of natural resources of the White Sea. Proceedings of the IXth International Conference, October, 11-14, 2004. Petrozavodsk, Karelia, Russia. Petrozavodsk, 2005. P. 47-50.

Variability of lipid metabolism indices such as total lipids content, phospholipid content and their fatty acid compositions in amphipods from some littoral sites of the White Sea with different levels of anthropogenic contamination was investigated. General and specific differences in the dynamics of indicated parameters comparing to the control values under effects of various contaminant types were shown. An adaptive trend in lipid turnover alteration under the effect of complex mixture of toxicants and organic compounds was observed. Certain instability in membrane lipid composition at oil products contamination was indicated.

В последние годы изучение биологических ресурсов Белого моря особенно актуально в связи с изменением стабильности его экосистемы вследствие интенсивного антропогенного воздействия в условиях низких температур. Кандалакшская губа Кандалакшского залива испытывает значительный прессинг от ежегодного ливневого стока более чем 2 тысяч тонн загрязняющих веществ различной природы (нефтяные углеводороды, органические вещества, фенолы и тяжелые металлы) (Мискевич, Чугайнова, 2001). На водоем обычно действует целый комплекс факторов, поэтому натурные исследования эффектов воздействия токсикантов являются более объективными, чем модельные.

Показано, что для оценки загрязнения морских экосистем Севера наиболее информативными и удобными объектами являются макробеспозвоночные (Погребов, 2001). Многолетние межгодовые исследования сообществ литорального макрозообентоса в Кандалакшском заливе Белого моря показывают наличие резких флюктуирующих тенденций различных направлений основных количественных показателей. Это явление особенно четко наблюдается у беломорских литоральных амфипод, обладающих широкой экологической пластичностью, коротким жизненным циклом и довольно высокой плодовитостью (Фауна ..., 2003).

Для оценки эффектов загрязнения водных экосистем используются различные методы биологического анализа состояния водных организмов. В по-

следнее время все большее внимание уделяется биохимическим исследованиям, которые позволяют глубже понять механизмы адаптивного ответа организмов на действие различных стресс-факторов и наблюдать изменения в обмене веществ в организме, наступающие, как правило, до появления физиологических, морфологических и других отклонений от нормы.

Учитывая вышесказанное, изучали изменения липидного и жирнокислотного составов у амфипод при токсическом воздействии комплексного бытового и промышленного загрязнения Кандалакшского залива Белого моря.

### Материалы и методы

Объектом исследования служили амфиподы (*Amphipoda: Crustacea*), в основном (до 90%) представители вида *Lagunogammarus oceanicus* (Sege-stale, 1974), выловленные осенью на литорали некоторых районов Кандалакшского залива Белого моря, загрязненных различными токсикантами. В районе Лупчь-острова отмечено комплексное загрязнение органическими и неорганическими веществами, в частности, тяжелыми металлами, и частично нефтепродуктами. Литораль в зоне механического завода (г. Кандалакша) сильно загрязнена токсикантами органической природы. Преимущественное действие нефтепродуктов отмечено в акватории Малого острова. Контролем служили особи из сравнительно чистой зоны Белого моря (Турий мыс).

Липиды экстрагировали из зафиксированных сборных проб амфипод (30 экз.) смесью хлороформа с метанолом (2:1) (Кейтс, 1975). Фракционирование липидов проводили методом тонкослойной хроматографии на пластинках «Силуфол» в системе растворителей: петролейный эфир – диэтиловый эфир – уксусная кислота (90:10:1). Количественно липидные фракции определяли гидроксаматным методом (Сидоров и др., 1972). Холестерин определяли по реакции с цветным реагентом (Engelbrecht, 1974). Разделение основных классов фосфолипидов осуществляли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (Arguini et al., 1996).

Метилловые эфиры жирных кислот общих липидов получали прямым метилированием в абсолютном метаноле, содержащем 8% хлористого ацетила (Цыганов, 1971), и анализировали на газофазном хроматографе «Хром-41» на полярной фазе – 15%-ный Reoplex-400 на Хроматоне N-AW-DMCS в изотермическом режиме при 190°C. Идентификацию жирных кислот проводили сравнением со временами удерживания метчиков, а также по совпадению вычисленных эквивалентных длин цепей молекул с табличными данными (Jamieson, 1975). Относительное содержание отдельных кислот определяли по Бартлетту и Айверсону (Bartlett, Iverson, 1966) и рассчитывали в процентах от суммы всех жирных кислот.

## Результаты

Результаты анализа липидов показали определенные изменения в содержании общих липидов и отдельных липидных фракций у амфипод под влиянием загрязнителей разной природы (Рис. 1). Количество общих липидов при расчете к сухому веществу оказалось в 1,3 раза выше при действии органических веществ и незначительно увеличилось под влиянием смеси токсикантов. При преимущественном действии нефтепродуктов наблюдалось снижение количества общих липидов относительно контроля.

Уровень фосфолипидов под влиянием органических веществ и смеси токсикантов оказался в 1,8 и 1,4 раза выше по сравнению с чистой зоной. При нефтяном загрязнении содержание фосфолипидов было наименьшим, составляя 85% от контроля. Уровень холестерина оказался выше при всех токсических воздействиях, особенно при комбинированном загрязнении. Что касается запасных липидов: триацилглицеринов и эфиров холестерина, то их суммарное содержание было меньше во всех изученных вариантах (Рис. 1). При этом уровень эфиров холестерина снижался относительно контроля, особенно значительно при комбинированном загрязнении. Содержание триацилглицеринов превысило контрольные значения при действии органики и смеси токсикантов (на 50% и 30% соответственно). Минимальное увеличение (на 6%) отмечено при нефтяном воздействии.

Анализ мембранных липидов показал изменения в соотношениях индивидуальных фосфолипидов при разных типах воздействия по сравнению с чистой зоной (Рис. 2). Относительное содержание фосфатидилэтаноламина (ФЭА) уменьшалось во всех вариантах опыта, но более существенно при нефтяном загрязнении. Повышение уровня лизофосфатидилхолина (ЛФХ) было наибольшим при комбинированном воздействии на фоне снижения содержания фосфатидилхолина (ФХ). При нефтяном загрязнении также наблюдалась тенденция к уменьшению концентрации фосфатидилхолина. Под влиянием органики и смеси веществ относительное содержание сфингомиелина (СФМ) снижалось, в то время как нефтяное загрязнение вызывало повышение его концентрации. Органическое загрязнение существенно увеличивало содержание фосфатидилсерина (ФС) по сравнению с контролем, наряду с которым при нефтяном загрязнении повысился и уровень фосфатидилинозитола (ФИ). Концентрация кардиолипина (КЛ) была выше у опытных амфипод, особенно при действии веществ органической природы.

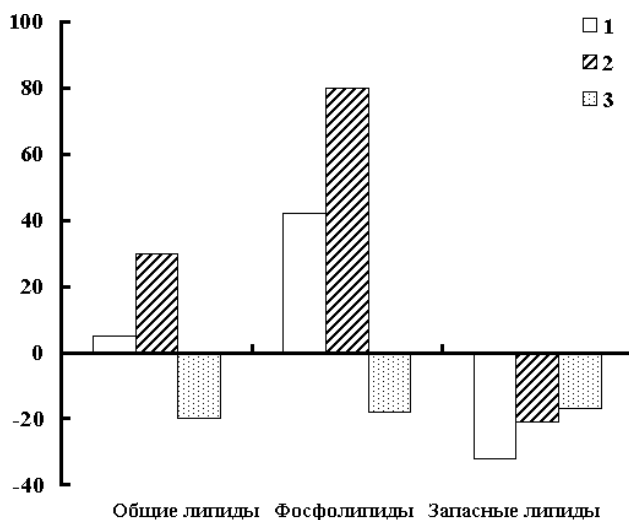


Рис. 1. Изменение липидного состава амфипод (в % к контролю) при разных типах токсического воздействия

1- комбинированное, 2- органическое, 3-нефтяное



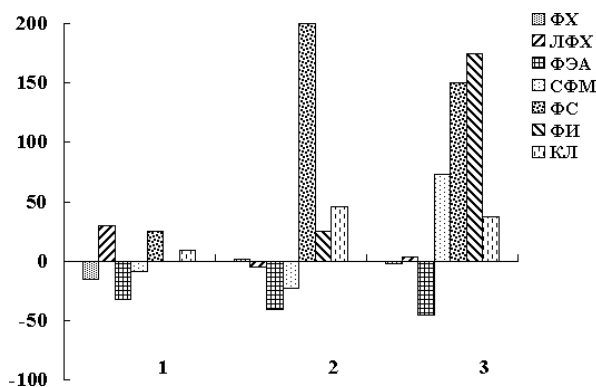


Рис. 2. Изменение состава индивидуальных фосфолипидов (в % к контролю) при разных типах токсического воздействия  
1- комбинированное, 2- органическое, 3- нефтяное

Результаты исследования жирнокислотного состава общих липидов показали, что амфиподы из всех загрязненных районов содержали меньше насыщенных кислот, чем контрольные. Воздействие органических веществ приводило к некоторому увеличению доли ненасыщенных длинноцепочечных кислот. Смесь токсикантов вызывала повышение уровня моноеновых кислот при неизменном содержании полиеновых кислот в липидах относительно контрольных значений. При действии нефтепродуктов доля полиеновых кислот в липидах амфипод оказалось несколько меньше, чем в контроле. Следует отметить, что во всех исследуемых вариантах альтерации в содержании отдельных кислот составляли в среднем 2-4%. Известно, что для модификации свойств мембраны важна не величина отклонений от нормы, а направленность изменений (Бурлакова, 1977).

### Обсуждение

Анализ исследованных показателей липидного обмена у амфипод показал специфические различия в содержании структурных и запасных компонентов клеток при разных типах загрязнителей. При сильном загрязнении органическими веществами отмечено увеличение количества фосфолипидов - функциональных компонентов мембран. Незначительное повышение концентрации фосфолипидов наблюдалась под влиянием смеси токсикантов. Подобная адаптивная реакция, связанная с активацией синтеза мембранных липидов, отмечалась у беспозвоночных при загрязнении воды веществами различной природы (Регеранд, 2001). Между тем, при действии нефтепродуктов обнаружено уменьшение содержания фосфолипидов. Ранее отмечалось, что изменения в фосфолипидно-белковом комплексе мембран относятся к числу характерных аномалий, возникающих в клетке под влиянием нефти (Пфайфере, Платипира, 1986). Как показали экспериментальные исследования, из компонентов нефти наибольшее токсическое действие на бокоплавов оказывали полиароматические углеводороды (ПАУ), обладающие максимальной растворимостью (Миронов, 1990). При действии ПАУ в экспериментальных исследованиях обнару-

жено уменьшение линейных размеров амфипод (Михайлова, 2002). Это может быть связано с дефицитом как фосфолипидных, так и белковых компонентов клеточных структур. Следствием обнаруженного нами при нефтяном загрязнении уменьшения мембранных фосфолипидов может быть снижение соматического роста исследуемых беспозвоночных, что считается важным показателем нарушения функционирования морских экосистем.

Во всех опытных вариантах обнаружено уменьшение содержания запасных липидов за счет эфиров холестерина при сохранении триацилглицеринов. Гидролиз эфиров холестерина создает резерв холестерина, необходимого при стрессе для перестройки мембран и обмена веществ в целом (Сидоров, 1983). Снижение уровня эфиров холестерина при соответствующем увеличении концентрации холестерина относительно контроля наиболее выражено при комбинированном загрязнении и менее значительно - при действии нефти.

При изученных токсических воздействиях в мембранных липидах отмечены перестройки, связанные с изменениями в соотношениях индивидуальных фосфолипидов, затрагивающие клеточные и субклеточные структуры. Известно, что отдельные фосфолипиды, как доминирующие, так и минорные, могут выступать в качестве эффекторов и кофакторов различных метаболических процессов (Бурлакова, 1977). Поэтому отклонения их содержания от нормы отражают специфические изменения в различных звеньях метаболизма в клетках в зависимости от типа ксенобиотика.

Адаптивная роль липидов определяется модификациями их жирнокислотных составов с повышением доли высоконасыщенных радикалов. Известно, что ненасыщенные жирные кислоты влияют на физические свойства мембраны, ее проницаемость, транспортные свойства и активность многих мембраносвязанных ферментов (Крепс, 1981). При комбинированном загрязнении практически не обнаружено различий в уровнях жирных кислот по сравнению с контролем, что свидетельствует о более слабом действии смеси токсикантов в суще-

ствующих концентрациях на метаболизм жирных кислот. Аналогичные результаты были получены нами при исследовании действия различных тяжелых металлов, нитритов и нитратов на осетровых рыб, когда суммарный токсический эффект оказался ниже ожидаемого аддитивного (Богдан и др., 2001). Следует отметить, что при непродолжительном действии сублетальных доз тяжелых металлов на моллюсков различий в концентрациях жирных кислот в липидах мембранных структур относительно контроля также не было обнаружено (Бельчева, Челомин, 1988). Увеличение доли полиеновых ацилов на фоне существенного повышения уровня фосфолипидов у амфипод при сильном загрязнении органическими веществами должно приводить к повышению ненасыщенности мембранных липидов и их функциональной активности, что обеспечивает биохимические механизмы адаптационного процесса. Негативные изменения в мембранах были более выражены при преимущественном действии на амфипод нефтяного загрязнения, когда на фоне значительного уменьшения содержания фосфолипидов в них был ниже и коэффициент ненасыщенности. Указанные альтерации в липидной компоненте мембран могут приводить к уменьшению проницаемости, изменению активного транспорта ионов, модуляции активности ферментов энергетического обмена и другим негативным эффектам, сопровождающим деструктивные процессы в клетке.

### Выводы

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о наличии как общих, так и специфических особенностей в ответной реакции метаболизма на уровне липидного обмена у амфипод на воздействие отдельных типов ксенобиотиков. Показано, что под влиянием смеси токсикантов разной природы на фоне увеличения количества общих фосфолипидов отмечалось стабильное соотношение жирных кислот по сравнению с контролем, что позволяет организму поддерживать оптимальный уровень различных биохимических процессов. При преимущественном действии загрязнителей органической природы отмечено увеличение ненасыщенных фосфолипидов, отражающее адаптивную направленность пластического обмена. Дестабилизирующие процессы при действии нефтепродуктов связаны, главным образом, с уменьшением содержания фосфолипидов и уровня полиеновых жирных кислот.

*Авторы выражают глубокую благодарность администрации Кандалакиского заповедника за оказанное содействие при сборе полевого материала.*

*Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации «Ведущие научные школы» (проект НШ - 894. 2003.4).*

### Литература

Бельчева Н.Н., Челомин В.П. 1988. Влияние сублетальных доз тяжелых металлов на обмен гидрофобного матрикса мембранных структур клеток жабр морского

двусторчатого моллюска. Владивосток. ДСП ВИНТИ 15.12.88. № 8781-1388.

Богдан В.В., Сидоров В.С., Зекина Л.М. 2001. Липиды рыб при адаптации к различным экологическим условиям // Экологические проблемы онтогенеза рыб: физиолого-биохимические аспекты. М.: МГУ. С. 188-202.

Бурлакова Е.Б. 1977. Влияние липидов мембран на ферментативную активность // Липиды. Структура, биосинтез, превращения и функции. М.: Наука. С. 16-27.

Кейтс М. 1975. Техника липидологии. М.: Мир. 322 с.

Крепс Е.М. 1981. Липиды клеточных мембран. Л.: Наука. 339 с.

Мионов О.Г., Писарева Н.А., Щекатурина Т.Л., Латин Б.П. 1990. Исследование состава аренов в черноморских мидиях методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) // Гидробиол. журн. Т.26, № 4. С. 59-62.

Мискевич И.В., Чугайнова В.А. 2001. Характеристика загрязнения вод Белого моря в период весна-осень 2000 г. // Проблема изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря. Архангельск: Правда Севера. С. 48-49.

Михайлова Л.В. 2002. Регламентация нефти в донных отложениях пресноводных водоемов // Совр. проблемы водной токсикологии. Борок. С. 117.

Погребов В.Б. 2001. Биоиндикационные возможности бентоса в отношении антропогенного загрязнения морей Российской Арктики и Севера // Современные проблемы биоиндикации и биомониторинга. Сыктывкар. С. 150-151.

Пфейфере М.Ю., Платинира В.П. 1986. Углеводороды и морская микрофлора // Эксперим. водная токсикология. Рига: Зинатне. Вып. 11. С. 37-43.

Регеранд Т.И. 1995. Изменение липидного обмена некоторых представителей зообентоса р. Кенти под влиянием инфильтрационных вод // Влияние техногенных вод горно-обогатительного комбината на водоемы системы реки Кенти. Петрозаводск: ИВПС КНЦ РАН. С. 25-33.

Сидоров В.С. 1983. Экологическая биохимия рыб. Липиды. Л.: Наука. 240 с.

Сидоров В.С., Лизенко Е.И., Болгова О.М., Нефедова З.А. 1972. Липиды рыб. I. Методы анализа // Лососевые (Salmonidae) Карелии. Петрозаводск. С. 152-163.

Фауна беспозвоночных Карского, Баренцева и Белого морей (информатика, экология, биогеография). 2003. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. 385 с.

Цыганов Э.П. 1971. Метод прямого метилирования липидов после ТСХ без элюирования с силикагеля // Лабораторное дело. №8. С. 490-493.

Arduini A., A. Peschiera, S. Dottori, A. Sciarroni, F. Serafini, M. Calvani. 1996. High performance liquid chromatography of long-chain acylcarnitine and phospholipids in fatty acid turnover studies // J. of Lipid Research. V.37. P. 684-689.

Bartlett J., Iverson J.L. 1966. Estimation of fatty acid composition by gas chromatography using peak heights and retention time // J. Assoc. Office Analytical Chem. Vol. 49, № 1. P. 21-27.

Engelbrecht F.M., Mori F., Anderson I.T. 1974. Cholesterol determination in serum/A rapid direct method // S.A. Med. J. 48. P. 250-256.

Jamieson G.R. 1975. GLC-identification techniques for long-chain unsaturated fatty acids // J. Chromatogr. Sci. Vol. 13, №10. P. 491-497.

Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря.  
Материалы IX международной конференции  
11-14 октября 2004 г., Петрозаводск, Карелия, Россия  
Петрозаводск, 2005. С. 51-54.

## ВЛИЯНИЕ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ БЕЛОГО МОРЯ НА ЛИПИДЫ ЛИТОРАЛЬНЫХ БОКОПЛАВОВ

В.В. БОГДАН<sup>1</sup>, Г.А. ШКЛЯРЕВИЧ<sup>2</sup>, Т.Р. РУОКОЛАЙНЕН<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск

<sup>2</sup> Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск

Исследовали влияние нефтяного загрязнения Белого моря на липидный состав литоральных бокоплавов. В мембранных липидах отмечено уменьшение уровня фосфолипидов при увеличении концентрации холестерина и отличия в соотношениях индивидуальных фосфолипидов по сравнению с нормой. Показана разная направленность в изменении уровня связанных полиеновых кислот при сильном и слабом нефтяном воздействии.

V.V. Bogdan, G.A. Shklyarevich & T.R. Ruokolainen. The effect of oil pollution of the White Sea on lipids of littoral *Gammarids* // The study, sustainable use and conservation of natural resources of the White Sea. Proceedings of the IXth International Conference, October, 11-14, 2004. Petrozavodsk, Karelia, Russia. Petrozavodsk, 2005. P. 51-54.

The effect of oil pollution of the White Sea on the lipid composition of littoral gammarids was studied. The decrease in the level of phospholipids, increase in cholesterol concentration and changes in the ratio of individual phospholipids compared to control was detected. Different directions in alteration of the level of binding polyunsaturated fatty acids under weak and strong oil effect was shown.

В последнее время проблема нефтяного загрязнения морских водоемов вызывает все больший интерес в связи с усиливающимся воздействием нефтяных компонентов на экосистемы морей. В морской воде происходит биодеградация и превращения нефти, приводящие к появлению широкого набора веществ с различными свойствами. Особая опасность для гидробионтов Северных водоемов связана с их низкой чувствительностью и высокой уязвимостью (Харламова, Новиков, 1997), а также особенностями воздействия токсикантов в условиях низких температур.

Нефтяное загрязнение Белого моря, при ежегодном сбрасывании в воду до 40 тонн нефтепродуктов, можно отнести к наиболее сильным антропогенным воздействиям, приводящим к наблюдаемой трансформации прибрежных морских экосистем. Исследование действия нефти на различных беспозвоночных и рыб достаточно обширно, однако проведены в основном в аквариальных условиях, что не позволяет объективно прогнозировать ее влияние на гидробионтов в хронически загрязненных акваториях. При высокой концентрации нефтяных компонентов в прибрежной зоне, обитающие здесь беспозвоночные, обладая коротким жизненным циклом, являются наиболее информативными объектами для оценки токсичности нефти на водные экосистемы. Наиболее перспективный и адекватный метод индикации состояния морских литоральных организмов и степени воздействия на них техногенного загрязнения – изучение биохимических показателей по сравнению с фоновыми значениями.

Цель настоящей работы – изучение липидного состава литоральных бокоплавов Кандалакшского залива Белого моря при хроническом действии нефтепродуктов.

### Материал и методы

Объектом исследования служили литоральные бокоплавцы (*Amphipoda: Crustacea*), в видовом отношении представленные в основном (до 90%) *Lagunogammarus oceanicus* (Segehal, 1974), выловленными осенью в акватории Малого острова, сильно загрязненной преимущественно нефтепродуктами. Контролем служили особи из сравнительно чистой зоны Белого моря (Турий мыс).

Для анализа липидов сборные пробы амфипод (30 экз.) фиксировали 96%-ным этанолом и хранили при 4°C. Липиды экстрагировали смесью хлороформа с метанолом (2:1) (Кейтс, 1975). Фракционирование липидов проводили методом тонкослойной хроматографии на пластинках «Силуфол» в системе растворителей: петролейный эфир - серный эфир - уксусная кислота (90:10:1). Количественно липидные фракции определяли гидроксаматным методом (Сидоров и др., 1972). Холестерин определяли по реакции с цветным реагентом (Engelbrecht, 1974). Разделение основных классов фосфолипидов осуществляли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (Arduini et al., 1996) на стальной колонке Nucleosil 100-7. Детектирование проводили по степени поглощения света при 206 нм.

Метилловые эфиры жирных кислот общих липидов получали прямым метилированием в абсолютном метаноле, содержащем 8% хлористого ацетила (Цыганов, 1971) и анализировали на газожидкостном хроматографе «Хром-41» на полярной фазе - 15%-ный Reoplex-400 на Хроматоне N-AW-DMCS в изотермическом режиме при 190°C. Идентификацию жирных кислот проводили сравнением со временами удерживания метчиков, а также по совпадению вычисленных эквивалентных длин цепей молекул с табличными данными (Jamieson, 1975). Относительное содержание отдельных кислот определяли по Бартлетту и Айверсону (Bartlett, Iverson, 1966) и рассчитывали в процентах от суммы всех жирных кислот.

## Результаты

Результаты анализа липидов показали определенные изменения в содержании общих липидов и отдельных липидных фракций у бокоплавов под влиянием нефтяного загрязнения. Количество фосфолипидов при расчете от суммы практически не менялось, концентрация триацилглицеринов и холестерина увеличивалась, эфиров холестерина – снижалась. При расчете к сухой массе (Рис. 1) количество общих липидов у опытных бокоплавов уменьшилось относительно контрольных значений. Наибольшие отклонения от нормы обнаружены в содержании мембранных липидов. При этом концентрация фосфолипидов (ФЛ) снизилась до 85% при повышении в 2 раза уровня холестерина (Х), вследствие чего величина отношения Х/ФЛ увеличилась. Содержание запасных липидов - триацилглицеринов у опытных бокоплавов несколько повысилось, в то время как концентрация эфиров холестерина (ЭХ) уменьшилась на 30%. Величина отношения ЭХ/Х оказалась в 2,8 раза ниже контрольных величин.

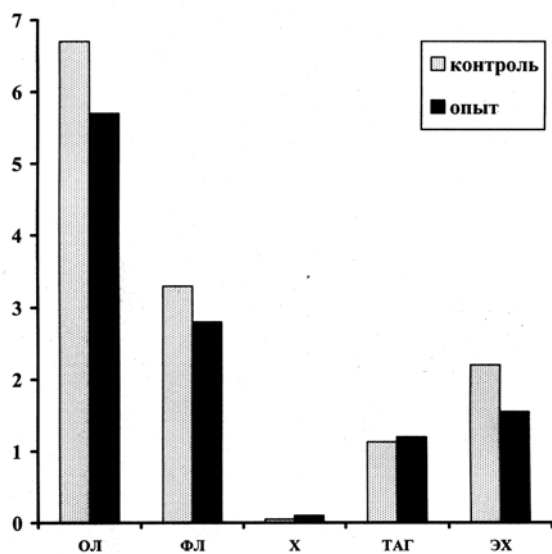


Рис. 1. Липидный состав бокоплавов в норме и при нефтяном воздействии (в % к сухой массе):

ОЛ- общие липиды, ФЛ- фосфолипиды, Х- холестерин, ТАГ- триацилглицерины, ЭХ- эфиры холестерина

Результаты количественного анализа индивидуальных фосфолипидов показаны изменения в соотношениях как доминирующих, так и минорных фракций при нефтяном воздействии по сравнению с чистой зоной (Рис. 2). Обнаружено значительное снижение (почти в 2 раза) относительного содержания фосфатидилэтаноламина от контрольных величин. На фоне некоторого уменьшения концентрации фосфатидилхолина отмечено также незначительное увеличение содержания его лизоформы. Уровень всех других фракций относительно контроля оказался повышенным. Наиболее значительно увеличилась концентрация фосфатидилинозитола (в 2,7 раза) и фосфатидилсерина (в 2,5 раз).

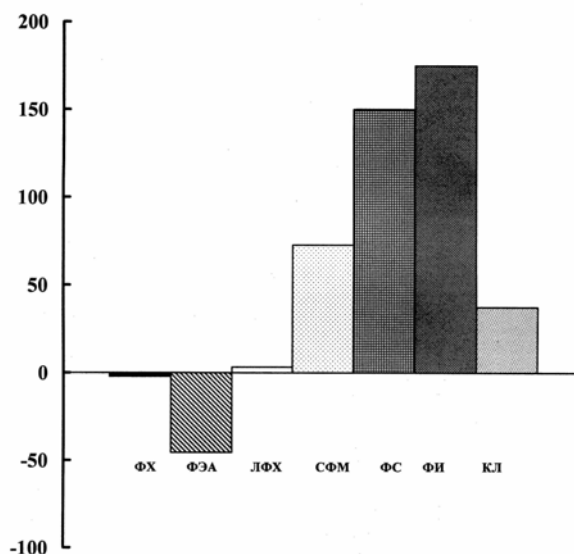


Рис. 2. Фосфолипидный состав бокоплавов при нефтяном воздействии (в % относительно контроля):

ФХ – фосфатидилхолин, ФЭА – фосфатидилэтаноламин, ЛФХ – лизофосфатидилхолин, СФМ – сфингомиелин, ФС – фосфатидилсерин, ФИ – фосфатидилинозитол, КЛ – кардиолипин

Анализ жирнокислотных радикалов показал изменения в соотношении отдельных и сгруппированных по степени ненасыщенности кислот при воздействии нефтепродуктов. Уменьшилось содержание насыщенных кислот: пальмитиновой, стеариновой и арахидиновой кислот у опытных особей. Доля моноеновых кислот увеличилась за счет олеиновой кислоты, количественно преобладающей в липидах бокоплавов. Суммарное содержание полиеновых кислот оказалось несколько меньше, чем в контроле. Следует отметить, что альтерации в содержании отдельных тетра-, пента- и гексаеновых длинноцепочечных кислот были незначительны, составляя в среднем 2-4%.

Для сравнения биохимической реакции ракообразных на разную степень нефтяного загрязнения интересными представляются данные по жирнокислотным спектрам бокоплавов из района о. Ряшкова. Несмотря на то, что этот район считается чистой зоной, рядом проходит форватер и загрязнение неф-

тепродуктами имеет место. В липидах бокоплавов, выловленных летом в этом районе, наблюдалось некоторое увеличение доли полиеновых (в среднем на 4%) и насыщенных жирных кислот при снижении моноеновых по сравнению с контрольными величинами сезона. Коэффициент ненасыщенности при сильном нефтяном воздействии составил 3,8, при слабом – 4,5.

### Обсуждение

Полученные результаты анализа липидов литоральных ракообразных - бокоплавов показали изменения в содержании мембранных и запасных липидов при действии нефтепродуктов. В частности, отмечено существенное снижение уровня фосфолипидов у опытных экземпляров по сравнению с контрольными. Ранее отмечалось, что изменения в фосфолипидно-белковом комплексе мембран относятся к числу характерных аномалий, возникающих в клетке под влиянием нефти (Патин, 1979). На уровне липидного обмена это может быть связано с уменьшением синтеза фосфолипидов.

Известно, что в морской воде происходит биодеградация и превращения нефти, приводящие к появлению широкого набора веществ с различными свойствами. При этом из компонентов нефти наибольшее токсическое действие на гидробионтов оказывают ароматические углеводороды, обладающие максимальной растворимостью, а среди них наиболее опасны соединения бензольного ряда и полициклические ароматические соединения (Миронов и др., 1990). Как показали экспериментальные исследования, при действии полиароматических углеводородов (ПАУ) происходило уменьшение линейных размеров амфипод (Михайлова, 2002). Отмечалось снижение темпов роста многих рыб и в природной среде, загрязненной углеводородами (Глубоков, 1990). Это может быть связано с дефицитом мембранных компонентов клеток. Приведенные выше данные показали уменьшение содержания фосфолипидов у опытных бокоплавов, следствием чего может быть снижение соматического роста особей при хроническом действии нефтепродуктов. Снижение темпов роста морских беспозвоночных считается важным показателем нарушения функционирования морских экосистем в условиях нефтяного загрязнения.

Что касается запасных липидов, то у опытных бокоплавов было обнаружено значительное снижение уровня эфиров холестерина. Уменьшение количества запасных липидов могло происходить вследствие снижения пищевой мотивации, отмеченной у гидробионтов в среде, загрязненной углеводородами нефти (Moles et al., 1981). В то же время, гидролиз эфиров холестерина создает резерв холестерина, необходимого при стрессе для перестройки мембран и обмена веществ в целом (Сидоров, 1983), увеличение уровня которого отмечено у амфипод при нефтяном загрязнении.

В мембранных липидах отмечены перестройки, связанные с изменениями в соотношениях индиви-

дуальных фосфолипидов при токсическом воздействии. Вследствие значительного снижения концентрации доминирующего в количественном отношении фосфолипида: фосфатидилэтоноламина, величина ФХ/ФЭА у опытных бокоплавов составила 3,2 по сравнению с 2,9 у контрольных. Существенные отличия обнаружены и в концентрациях всех других фосфолипидных компонентов. Известно, что отдельные фосфолипиды, как количественно доминирующие, так и минорные, могут выступать в качестве эффекторов и кофакторов различных метаболических процессов (Бурлакова, 1977). Поэтому отклонения их уровня от нормы отражают специфические изменения в различных звеньях метаболизма в клетках при токсическом воздействии. Так, кислые фосфолипиды, к которым относятся фосфатидилинозитол и фосфатидилсерин, участвуют в регуляции водно-солевого обмена за счет изменения активности Na,K-АТФазы. Значительное повышение концентрации этих фосфолипидов у бокоплавов при хроническом действии нефтепродуктов может свидетельствовать об усилении активного транспорта ионов. В экспериментах на беспозвоночных обнаружено резкое нарушение водно-солевого обмена при критических концентрациях нефти (Михайлова, 2002).

В липидах амфипод обнаружено также некоторое снижение уровня длинноцепочечных ненасыщенных кислот при сильном хроническом воздействии нефти. Их важная адаптивная роль заключается в способности к изменению степени насыщенности, и следовательно, физико-химических свойств фосфолипидов и условий функционирования мембранных белков. Уменьшение концентрации полиеновых кислот в липидах наряду с отмеченным выше увеличением отношения Х/ФЛ при нефтяном воздействии может приводить к повышению вязкостных свойств мембран, снижению их функциональной активности и адаптивных возможностей организма в целом.

В результате уменьшения высоконенасыщенных фосфолипидов у бокоплавов при нефтяном воздействии может быть снижена двигательная активность, взаимосвязь которой с уровнем полиеновых жирных кислот в липидах рыб была ранее установлена исследованиями Г.Е. Шульмана с соавторами (1990). Подтверждением этому служит малая подвижность амфипод, которая отмечалась при действии нефтепродуктов в остром и хроническом эксперименте (Лаптева, 1995) и в природных условиях (Миронов, 1976). Угнетение двигательной активности на фоне ухудшения биохимических параметров тканей отмечалось и у молоди рыб при воздействии водорастворимых фракций нефти. Сходное действие на рыб оказывали водорастворимые фракции из разных месторождений (Folmar et al., 1981).

При меньшей интенсивности нефтяного воздействия у бокоплавов наблюдалась другая направленность в изменении жирнокислотных соотношений, чем при сильной интоксикации, при этом отмечена тенденция к увеличению доли полиеновых

жирных кислот в липидах. Учитывая их важную биоэффекторную роль, такие изменения можно считать адаптивно-компенсаторной реакцией на незначительное по силе стрессовое воздействие, повышающей резистентность организма. Следует отметить, что реакция амфипод Белого моря на другие типы загрязнителей также характеризовалась более высокой ненасыщенностью липидов, чем при сильном нефтяном воздействии (Богдан и др., 2003).

Таким образом, проведенные исследования показали изменения в составе липидов у литоральных бокоплавов при действии нефтепродуктов, связанные, главным образом, с уменьшением фосфолипидов при повышении уровня холестерина, а также изменениями в соотношениях индивидуальных фосфолипидных фракций. Обнаруженные альтерации в липидной компоненте мембран могут вызывать нарушение проницаемости, изменение транспорта ионов, модуляцию активности мембраносвязанных ферментов и другие негативные эффекты, приводящие к снижению устойчивости организма. Результатом фосфолипидного дефицита может быть снижение соматического роста литоральных ракообразных в условиях загрязнения, считающегося важным показателем функционирования морских экосистем. Показана разная направленность в изменении уровня связанных полиеновых кислот при сильном и слабом нефтяном воздействии.

*Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ «Ведущие научные школы» (НШ-894.2003.4).*

### Литература

- Богдан В.В., Руоколайнен Т.Р., Шкляревич Г.А. 2003. Влияние антропогенного воздействия на липидный состав амфипод Белого моря // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера. Тез. межд. конф. Сыктывкар. Стр. 114.
- Бурлакова Е.Б. 1977. Влияние липидов мембран на ферментативную активность // Липиды. Структура, биосинтез, превращения и функции. М.: Наука. С. 16-27.
- Глубоков А.И. 1990. Рост трех видов рыб в ранние периоды онтогенеза в норме и в условиях токсического воздействия // Вопр. ихтиологии. Т. 3, вып. 1. С. 137-143.
- Кейтс М. 1975. Техника липидологии. М.: Мир. 322 с.
- Лантева А.М. 1995. Закономерности реагирования бокоплавов на изменение химического состава воды // Проблемы рыбохозяйственной науки в творчестве молодых. Мурманск. Изд-во ПИНРО. С. 197-206.
- Миронов О.Г. 1976. Загрязнение нефтью. Общая экология. Биоценология. Гидробиология // М.: ВИНТИ. Т.3. С. 81-104.
- Миронов О.Г., Писарева Н.А., Щекатурина Т.Л., Латин Б.П. 1990. Исследование состава аренов в черноморских мидиях методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) // Гидробиол. журн. Т.26, № 4. С. 59-62.
- Михайлова Л.В. 2002. Регламентация нефти в донных отложениях пресноводных водоемов // Совр. проблемы водной токсикологии. Борок. С. 117.
- Патин С.А. 1979. Влияние загрязнения на биологические ресурсы и продуктивность Мирового океана. М. Пищ. пром-сть. 304 с.
- Сидоров В.С. 1983. Экологическая биохимия рыб. Липиды. Л.: Наука, 240 с.
- Сидоров В.С., Лизенко Е.И., Болгова О.М., Нефедова З.А. 1972. Липиды рыб. I. Методы анализа // Лососевые (Salmonidae) Карелии. Петрозаводск. С. 152-163.
- Харламова М.А., Новиков М.А. 1997. К вопросу об уточнении понятий чувствительности, устойчивости и стабильности экосистем // Биоиндикация и оценка повреждения организмов и экосистем. Петрозаводск. Стр. 163-167.
- Цыганов Э.П. 1971. Метод прямого метилирования липидов после ТСХ без элюирования с силикагеля // Лабораторное дело. №8. С. 490-493.
- Шульман Г.Е., Юнева Т.В. 1990. Роль докозагексаеновой кислоты в адаптациях рыб (Обзор) // Гидробиол. журн. Т. 26, № 4. С. 43-51.
- Arduini A., A. Peschiera, S. Dottori, A. Sciarroni, F. Serafini, M. 1996. Calvani. High performance liquid chromatography of long-chain acylcarnitine and phospholipids in fatty acid turnover studies // J. of Lipid Research. V.37. P. 684-689.
- Bartlett J., Iverson J.L. 1966. Estimation of fatty acid composition by gas chromatography using peak heights and retention time // J. Assoc. Office Analytical Chem. V. 49, № 1. P. 21-27.
- Engelbrecht F.M., Mori F., Anderson I.T. 1974. Cholesterol determination in serum/A rapid direct method // S. A. Med. J. V. 48. P. 250-256.
- Jamieson G.R. 1975. GLC-identification techniques for long-chain unsaturated fatty acids // J. Chromatogr. Sci., V. 13, № 10. P. 491-497.
- Folmar L.C., Claddock D.R., Blackwell J.W. 1981. Effects of petroleum exposure on predatory behavior of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) // Bull. Environ. Contam. Toxicol. V. 27. P. 458-462.
- Moles A., Bates S.D., Korn S. 1981. Reduced of growth of coho salmon fry exposed to two petroleum compounds toluene and naphthalene in fresh water // Trans. Amer. Fish. Soc. V. 110. P. 430.

Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря.  
Материалы IX международной конференции  
11-14 октября 2004 г., Петрозаводск, Карелия, Россия  
Петрозаводск, 2005. С. 55-61.

## ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИБРЕЖНОЙ АКВАТОРИИ БЕЛОГО МОРЯ НА ВНУТРИКЛЕТОЧНЫЙ ПРОТЕОЛИЗ У БЕНТОСНЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ

Л.А. БОНДАРЕВА<sup>1</sup>, Н.Н. НЕМОВА<sup>1</sup>, Е.И. КЯЙВЯРЯЙНЕН<sup>1</sup>, М.Ю. КРУПНОВА<sup>1</sup>, Г.А. ШКЛЯРЕВИЧ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск

<sup>2</sup> Кандалакиский государственный природный заповедник, Мурманская обл.

Исследовали влияние комплексного загрязнения (органические вещества, тяжелые металлы, нефтепродукты) на ферменты внутриклеточного протеолиза у амфипод *G. duebeni* и мидий *M. edulis*, выловленных в зонах прибрежной акватории Белого моря в летний период. Параметры белкового обмена являются достаточно информативными показателями изменений статуса организма, обусловленных факторами внешней среды. Показаны изменения в протеолитической активности у беспозвоночных, отражающие степень загрязнения акватории. Отмечено, что при т.н. «умеренном» уровне загрязнения среды обитания бентосных организмов характер изменения активности исследуемых ферментов имеет, по-видимому, адаптивное значение. У особей из зоны с высокой антропогенной нагрузкой наблюдаются изменения в протеолизе, характерные для развития патологического процесса: перераспределение  $Ca^{2+}$ -зависимой протеолитической активности между белковыми фракциями с различным молекулярным весом, лабилизация ферментных белков. Вероятнее всего, в ответной реакции клеток водных организмов на воздействие поллютантов участвуют генетически обусловленные механизмы модификации белкового метаболизма.

L.A. Bondareva, N.N. Nemova, E.I. Kaivarainen, M.Yu. Krupnova & G.A. Shklyarevitch. The effect of the White Sea coastal waters contamination on intracellular proteolysis in benthic invertebrates // The study, sustainable use and conservation of natural resources of the White Sea. Proceedings of the IXth International Conference, October, 11-14, 2004. Petrozavodsk, Karelia, Russia. Petrozavodsk, 2005. P. 55-61.

The effect of complex contamination (by organic substances, heavy metals, oil products) on intracellular proteolytic enzymes in amphipods *G. duebeni* and mussels *M. edulis* from some coastal zones of the White Sea in summer period was investigated. The parameters of protein turnover are rather informative at estimation of the alterations in the organism status caused by environmental factors. The modifications in proteolytic activity in the invertebrates are shown to reflect the pollution level of the area of water. It was shown that at so-called "slight" contamination the dynamics of the studied enzymes in benthic organisms has obviously adaptive significance. The features characterizing the development of pathological process, such as the redistribution in  $Ca^{2+}$ -dependent proteolytic activity between protein fractions of various molecular weight and the native enzyme instability, were detected in specimens from highly contaminated zone. Presumably, the genetically derived mechanisms of cellular protein metabolism modification participate in observed response reaction of the aquatic organisms at the effect of contamination.

### Введение

Представители макрозообентоса являются удобными и часто используемыми объектами экологических и экотоксикологических исследований, благодаря их повсеместному распространению в водоемах неустойчивого соленостного режима и ключевой трофической роли как промежуточного звена между первичными продуцентами и высшими звеньями пищевой цепи (Moloney, Ryan, 1995; Loeb et al., 1997). Водная биота эстуариев проявляет устойчивость к широкому диапазону температур, солености и доступности кислорода (Ritz, 1980; Shearer, 1983). Имея такую выраженную устойчивость к абиотическим факторам, беспозвоночные прибрежной зоны могут быть преадаптированы к жизнедеятельности в загрязненных водоемах (Gray, 1981). Существует и иное мнение (McLusky et al., 1986): эстуарные виды, обитая на пределе своего диапазона устойчивости, могут быть более чувствительны к какому-либо дополнительному стрессу. В любом случае, их ответные реакции на воздействие

поллютантов более информативны, чем у видов, обитающих в открытом море, постоянство условий среды обитания которых приводит к отсутствию приспособлений к изменяющимся факторам и неразвитости механизмов устойчивости (Fisher, 1991; Ozoh, 1994; Lawrence, Poulter, 1998). Поллютанты доступны для амфипод как из растворенного вещества на поверхности соприкосновения осадка и воды, так и через пищу и последующее всасывание в пищеварительном тракте (Lawrence, Poulter, 1998). Моллюски поглощают загрязнители как из воды, так и из суспендированных частиц вещества, при этом исследования показывают, что доминантный путь поступления - вода (Pruell et al., 1986; Bergen et al., 1993; Bruner et al., 1994).

Прибрежные морские экосистемы Кандалакшского залива Белого моря подвержены трансформации вследствие значительного антропогенного загрязнения. В изучаемой части Белого моря существуют локальные проблемы органической перегрузки и эвтрофикации (Bryazgin, Klimov, 1995), являю-

щиеся результатом сбросов бытовых сточных вод небольших населенных пунктов. Другой тип загрязнения - тяжелые металлы: Cu, Ni, Zn, Cr, Pb, которые накапливаются по трофической цепи. Определенную опасность представляет также нефтяное загрязнение Белого моря: кроме химического воздействия, нефть образует пленку на поверхности, препятствующую газообмену между морем и атмосферой. По этим показателям Кандалакшский залив признан сравнительно неблагополучной зоной (Наумов, 1981). Ряд зон прибрежной акватории с наименьшей антропогенной нагрузкой могут расцениваться как условно «чистые» (мыс Турий, губа Порья).

При изучении беспозвоночных в качестве эко-токсикологического объекта в первую очередь принимаются к рассмотрению показатели популяционного благополучия, такие как численность и биомасса, а также поведенческие ответные реакции. Такие показатели, однако, не в полной мере отражают влияние факторов на данные организмы (Шкляревич, 2002). Целесообразно для систематического биомониторинга оценивать изменение показателей клеточного метаболизма организмов на биохимическом уровне. Насыщение среды ксенобиотиками нарушает эволюционно сформированное взаимодействие между организмом и средой, что приводит к негативным последствиям, проявляющимся первично на биохимическом, а в последствии - на более высоких уровнях организации жизни. Известно, что практически все метаболические реакции катализируются ферментами, поэтому регуляция метаболизма сводится к регуляции типа и интенсивности ферментативных функций (Хочачка, Сомеро, 1988). Протеиназы действуют на первом, ключевом этапе мобилизации белковых резервов клетки, поэтому велика их роль в механизмах биохимических адаптаций (Bohley, 1987; Немова, 1996). Реактивность системы внутриклеточного протеолиза в условиях поступления ксенобиотиков имеет выраженные межвидовые различия, зависящие от степени аккумуляции загрязнителя, интенсивности детоксикационных процессов, степени изменения свойств макромолекул генетического аппарата и ферментных систем клетки (Хочачка, Сомеро, 1988; Немова, 1996).

Учитывая вышесказанное, была изучена активность ферментов внутриклеточного протеолиза у типичных представителей макрзообентоса Беломорского побережья: ракообразных амфипод и двустворчатых моллюсков мидий из различных по степени загрязнения зон Кандалакшского залива Белого моря.

### Материалы и методы

Исследовали влияние комплексного загрязнения на некоторые биохимические показатели у амфипод *Gammarus duebeni* (Lilljeborg, 1851) и мидий *Mytilus edulis* (L., 1758), собранных в определенных зонах прибрежной акватории в летний период. Параметры внутриклеточного протеолиза, такие как активность внутриклеточных протеиназ (лизосомальных катепсинов В и D, Ca<sup>2+</sup>-зависимых ней-

тральных протеиназ цитозоля, или кальпаинов), содержание и спектр водорастворимых белков, являются достаточно информативными показателями изменений белкового обмена, обусловленными факторами внешней среды и отражающими статус организма в условиях загрязнения (Немова, 1996).

Зоны отбора проб расположены на различном расстоянии от населенных пунктов (Таблица 1). Кроме того, они могут быть дифференцированы по принципу близкого расположения к: (а) эстуариям крупных рек, которые могут выступать в качестве мест повышенной аккумуляции загрязнителей среды, включая тяжелые металлы (точки 3, 4); (б) стокам гавани, обогащенным соединениями кальция и фосфора из состава апатитового концентрата (точки 5-8); (в) местам локального радиоактивного загрязнения (точки 9,10); (г) источникам нефтяного загрязнения (точки 11, 12) и/или (д) районам интенсивной промышленной активности (точка 13). Контролем служили особи из условно чистых прибрежных зон Белого моря - мыс Турий и губа Порья (точки 1, 2).

Реакцию лизосомального аппарата водных беспозвоночных оценивали по изменению активности основных протеиназ лизосом - катепсинов В и D. Готовили 10%-ные гомогенаты тканей в 0.25 М сахарозе с добавлением детергента тритон X-100 (0.1%). Активность катепсина В определяли по расщеплению 0.065 М раствора этилового эфира гидрохлорида N-бензил L-аргинина в 0.2 М ацетатном буфере (pH 5.0) (Matsuda, Misaka, 1974), а катепсина D - модифицированным методом Ансона по гидролизу 1% р-ра бычьего гемоглобина в 0.2 М ацетатном буфере (pH 3.6) (Алексеев, 1968) во фракции лизосом после дифференциального центрифугирования исходных гомогенатов тканей (Покровский, Тутельян, 1976). Единица активности катепсинов В и D определялись в единицах изменения оптического поглощения (E<sub>525</sub> и E<sub>280</sub>, соответственно) на 1 г сырой массы ткани за время инкубации (37°C).

Активность Ca<sup>2+</sup>-зависимых протеиназ цитозоля (кальпаинов) определяли после предварительной гель-хроматографии образцов на колонках (5×95 см) с Sephacryl S200, на которые наносили 25%-ные супернатанты цитозольных фракций тканей (105 тыс.г.×60 мин) в буфере А, содержащем 0.25М сахарозы (pH 7.5). Элюцию белков проводили со скоростью 24 мл/ч буфером А (10 mM трис-HCl (pH 7.5), содержащим 50 mM NaCl, 4 mM EDTA, 5 mM меркаптоэтанол). Во фракциях элюента объемом 4.0 мл определяли Ca<sup>2+</sup>-зависимую протеолитическую активность стандартным методом по гидролизу казеина в 50 mM имидазол-HCl буфере (pH 7.5) (Murachi et al., 1981). Единица активности кальпаинов определялась как количество фермента во фракции, вызывающее увеличение на 1.0 оптического поглощения (E<sub>280</sub>) за 1ч инкубации (30°C).

Количественное содержание водорастворимого белка в тканях (мг/мл центрифугата) определяли спектрофотометрически (E<sub>595</sub>) методом Брэдфорд (Bradford, 1976).



Таблица 1. Характеристика зон сбора бентосных макрозообеспозвоночных *G. duebeni* и *M. edulis* в Кандалакшском заливе Белого моря

№	Зона сбора	Близость к населенным пунктам	Преобладающий тип загрязнения
1.	мыс Турий	150 км от г. Кандалакша и 30 км от пос. Умба	наиболее чистый район
2.	губа Порья	90 км от г. Кандалакша и 30 км от пос. Умба	чистый район
3.	о. Ряшков	5 км от пос. Умба	бытовые сточные воды
4.	пос. Лувеньга	побережье пос. Лувеньга	бытовые сточные воды, агрохимия
5.	о. Большой Березовый	5 км от г. Кандалакша	бытовые сточные воды, повышенное содержание соединений Са и Р из апатитового концентрата от морского порта в г. Кандалакша
6.	о. Еловый	5 км от г. Кандалакша	
7.	губа Овечья	4 км от г. Кандалакша	
8.	о. Большой Лупчостров	1 км от г. Кандалакша	
9.	Большая Половинница	2 км от г. Кандалакша	радиоактивное точечное загрязнение $^{90}\text{Sr}$ и $^{90}\text{Y}$ (апрель 2001 г.)
10.	о. Малый	1,4 км от г. Кандалакша	
11.	корга у о. Оленьего	2,5 км от нефтебазы	нефтепродукты
12.	о. Олений губа Коровья	3 км от нефтебазы	
13.	механический завод	в городской черте г. Кандалакша	неорганические кислоты от аккумуляторов, нефтепродукты, опилки древесные с лесозавода, бытовые стоки

Результаты исследований обработаны статистически с применением непараметрического критерия различий Вилкоксона-Манна-Уитни (Гублер, Генкин, 1969).

### Результаты и обсуждение

#### Активность лизосомальных протеиназ.

Показаны изменения в протеолитической активности лизосом у беспозвоночных, отражающие степень загрязнения акватории моря. У амфипод (Табл. 2) зафиксировано снижение активности кислых протеиназ лизосом (катепсинов D и B).

Для мидий характерна достоверная активация катепсина D (аспартильной протеиназы) и снижение

активности катепсина B (цистеиновой протеиназы) (Рис. 1 а, б). В данном случае лизосомальный аппарат клетки, по-видимому, участвует не только в процессах биотрансформации ксенобиотиков, но и в адаптивной перестройке белкового обмена клетки. Об этом свидетельствуют также многочисленные результаты, полученные ранее на рыбах при изучении действия различного рода токсикантов и их смесей, а также при патологиях, вызванных бактериальными и вирусными инфекциями (Немова, Сидоров, 1990; Немова, 1991; Немова и др., 1994; Немова, 1996; Высоцкая, 1999).

Таблица 2. Активность катепсинов D и B, содержание водорастворимого белка в гомогенатах цельных амфипод *G. duebeni* из различных по степени антропогенной нагрузки зон Белого моря (точки сбора приведены в порядке возрастания степени загрязнения)

Зоны сбора амфипод	Катепсин D, $E_{280}/\text{г ткани/ч}$	Катепсин B, $E_{525}/\text{г ткани/30 мин}$	Белок, мг/мл центрифугата
мыс Турий (контроль)	$1,3 \pm 0,1$	$7,60 \pm 0,4$	$2,18 \pm 0,2$
о. Ряшков	$1,43 \pm 0,1$	$11,65 \pm 0,7^*$	$1,22 \pm 0,1^*$
дер. Лувеньга	$1,97 \pm 0,2^*$	$9,20 \pm 0,6$	$1,40 \pm 0,1$
о. Большой Березовый	$1,20 \pm 0,1$	$5,25 \pm 0,3$	$0,92 \pm 0,1^*$
о. Еловый	$1,11 \pm 0,1$	$4,80 \pm 0,2^*$	$1,48 \pm 0,1$
губа Овечья	$0,88 \pm 0,1^*$	$4,05 \pm 0,3^*$	$1,12 \pm 0,1^*$
о. Большая Половинница	$1,12 \pm 0,1$	$6,20 \pm 0,3$	$1,62 \pm 0,3$
о. Малый	$1,19 \pm 0,3$	$5,50 \pm 0,4$	$1,04 \pm 0,1^*$
о. Большой Лупчостров	$0,38 \pm 0,1^*$	$11,60 \pm 0,7^*$	$1,74 \pm 0,2$
корга у о. Оленьего	$0,54 \pm 0,1^*$	$5,40 \pm 0,3$	$1,12 \pm 0,1^*$
о. Олений, губа Коровья	$0,97 \pm 0,2$	$6,05 \pm 0,4$	$1,10 \pm 0,1^*$
«механический завод»	$1,45 \pm 0,1$	$16,20 \pm 0,9^*$	$4,88 \pm 0,2^*$

\* достоверность отклонения при  $P \leq 0,05$

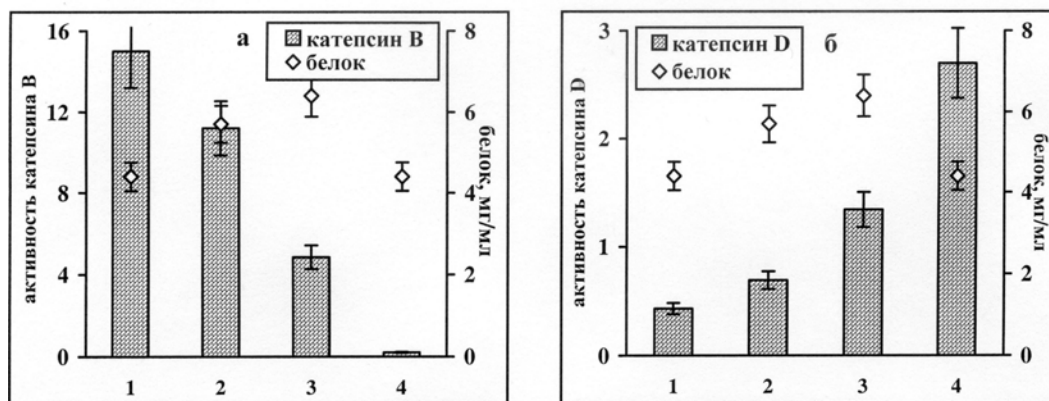


Рис. 1. Активность катепсина В ( $E_{525}$ /г ткани/30 мин) (а), катепсина D ( $E_{280}$ /г ткани/ч) (б) и содержание водорастворимого белка (мг/мл) в гомогенатах мидий *M. edulis* из зон Белого моря:

1 - губа Порья, 2 - о.Ряшков, 3 - корга у о.Телячий, 4 - о.Овечий (в порядке возрастания степени загрязнения)

Разнонаправленная тенденция в изменении активности цистеиновой протеиназы (катепсина В) у разных объектов может являться указанием на отсутствие специфического взаимодействия загрязнителей с реакционными SH-группами активного центра фермента. Многие ксенобиотики, включая металлы, аккумулируются в лизосомах, вызывают повышение проницаемости лизосомальных мембран, что ускоряет гидролиз белков и обуславливает клеточную атрофию (Lowe, Clarke, 1989). Степень лабильности мембран пропорциональна силе стресса (Moore, 1985; Nicholson, 1999), и эта цитологическая реакция является первичным цитотоксическим эффектом действия загрязнителей.

#### Активность $Ca^{2+}$ -зависимых протеиназ цитозоля

$Ca^{2+}$ -зависимая протеолитическая активность у амфипод и мидий после гель-хроматографического разделения тканевых белков на Sephacryl S200 элюируется в трех пиках с  $M_r$  110, 80 и 65 кДа (Рис. 2). В исходном центрифугате активность не регистрируется из-за наличия в цитозоле эндогенного ингибитора - кальпастина (наличие определено во фракции с  $M_r \sim 130$  кДа) (Suzuki, 1988). Значения рН оптимума, ингибиторный анализ, абсолютная зависимость протеолитической активности от присутствия  $Ca^{2+}$  позволяют идентифицировать выделенные протеиназы как цистеиновые кальцийактивируемые нейтральные протеиназы цитозоля - CANP, или кальпаин-подобные ферменты. По значениям  $M_r$  и термостабильности эти фракции могут быть отнесены, соответственно, к гомологам кальпаинов высших животных: кальпаина II (активируемого mM  $[Ca^{2+}]_i$ ), кальпаина I (активируемого  $\mu M$   $[Ca^{2+}]_i$ ) и каталитически активной субъединицы (Murachi et al., 1981; Мухин, 1998). Следует отметить, что значительное сходство выделенных ферментов беспозвоночных с кальпаинами из тканей рыб и млекопитающих (Dayton et al., 1976; Toyohara, Makinodan, 1989; Melloni et al., 1992; Немова, 1996) указывает на их определенную эволюционную консервативность.

Уровень активности  $Ca^{2+}$ -зависимых протеиназ морских беспозвоночных в норме сравним с таковым у исследованных ранее рыб и млекопитающих. Обмен белков в цитозоле включает как посттрансляционную модификацию синтезированных de novo белков, так и реакции ограниченного протеолиза, имеющие регуляторное значение при развитии биохимических адаптаций. Выявлена специфика ответной реакции кальпаинов при воздействии изучаемых факторов среды, обусловленная различным сродством к активатору - кальцию. Для амфипод и мидий из загрязненных акваторий характерна активация  $Ca^{2+}$ -зависимых протеиназ (Рис. 3 а, б). Достоверное возрастание общей  $Ca^{2+}$ -зависимой активности при этом происходит в основном за счет активации кальпаин I-подобной протеиназы ( $\mu M$ -формы), наблюдается лабильность ферментных белков (прирост субъединичной активности), что указывает на повышение общего уровня обмена белков. У амфипод из прибрежной зоны моря с высокой антропогенной нагрузкой («механический завод») зафиксировано перераспределение  $Ca^{2+}$ -зависимой протеолитической активности между фракциями фермента с различными  $M_r$  (Рис. 4). Ранее для позвоночных животных было показано, что экспрессия кальпаина II, активируемого нефизиологично высокой mM  $[Ca^{2+}]_i$ , возрастает именно при патологических изменениях в тканях (Johnson, 1990; Немова, 1996). Вместе с тем, для тканей, в которых зафиксировано развитие адаптивных перестроек и отсутствие нарушений кальциевого гомеостаза, характерна активация кальпаина I.

Имеющиеся в литературе данные о разнообразии биологических процессов с участием кальпаинов, а также об их высокой протеолитической способности у водных беспозвоночных (Mykles, Skinner, 1990) (по данным авторов до 60% белков мышечной ткани беспозвоночных гидролизуются  $Ca^{2+}$ -зависимыми протеиназами в цитозоле) позволяют предположить их участие в развитии адаптивных реакций у исследованных нами беспозвоночных Белого моря в ответ на изменение среды обитания.

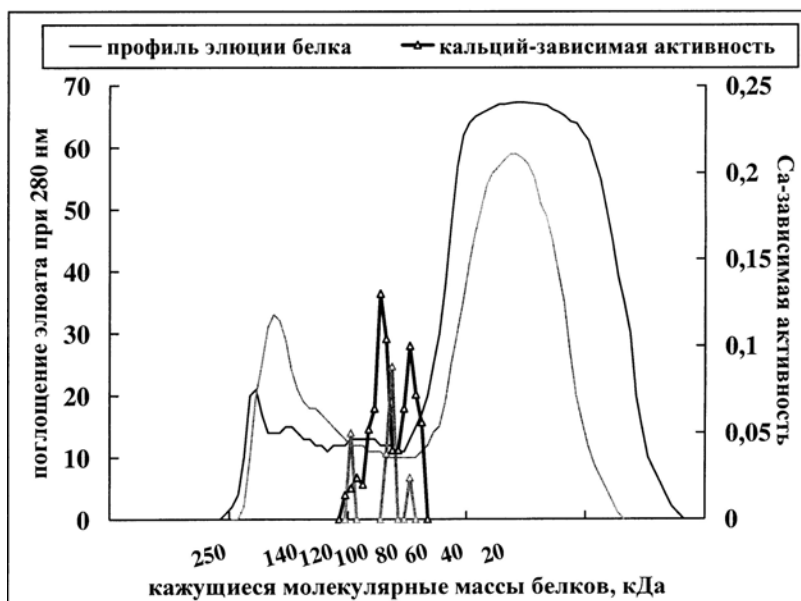


Рис. 2. Профиль элюции водорастворимых белков и уровень  $Ca^{2+}$ -зависимой протеолитической активности ( $E_{280}/г$  ткани/ч) в гомогенатах цельных амфипод *G. duebeni* (—) и мидий *M. edulis* (—) после гель-хроматографии на колонках с Sephacryl S200

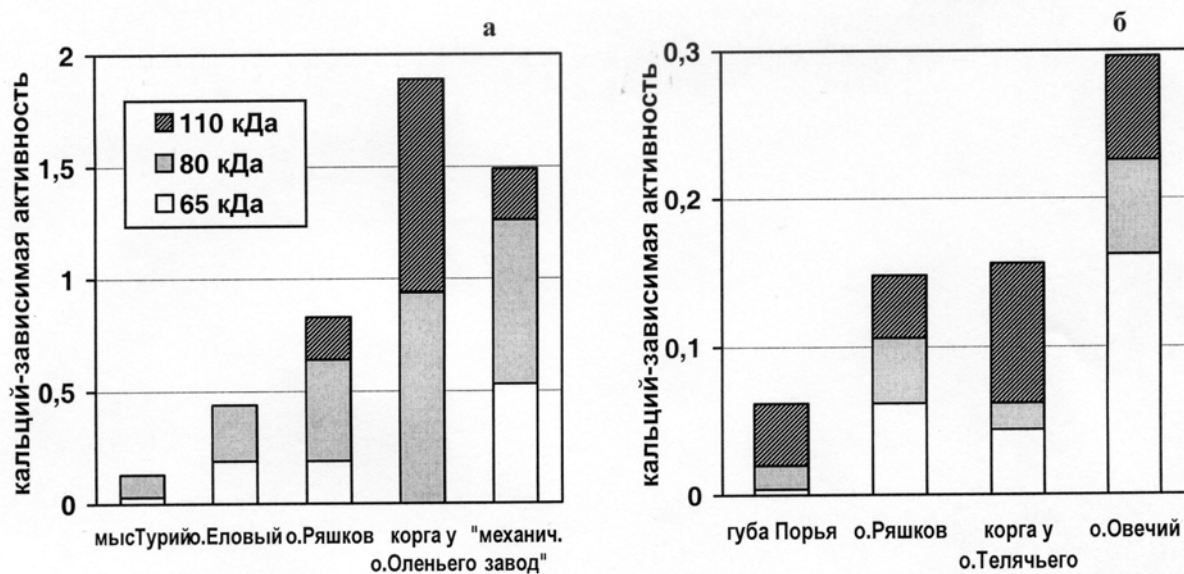


Рис. 3.  $Ca^{2+}$ -зависимая протеолитическая активность ( $M_r$  65, 80 и 110 кДа) ( $E_{280}/г$  ткани/ч) в гомогенатах цельных амфипод *G. duebeni* (а) и мидий *M. edulis* (б) из различных по степени антропогенной нагрузки зон Бе лого моря (зоны приведены в порядке возрастания уровня загрязнения)

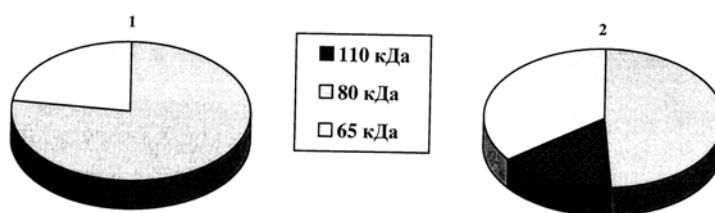


Рис. 4. Распределение общей  $Ca^{2+}$ -зависимой протеолитической активности между молекулярными формами кальпаин-подобных протеиназ ( $M_r$  65, 80 и 110 кДа) в гомогенатах цельных амфипод *G. duebeni*: 1 - в норме (мыс Турий - контроль) и 2 - при воздействии загрязнителей (зона «механический завод»)

### Содержание белка

Характерно, что у беспозвоночных из наиболее загрязненных зон акватории на фоне высокого уровня активности протеиназ происходит накопление высокомолекулярных белков (Табл. 2). Этот эффект показан также Porte с сотр. (Porte et al., 2001): наибольшее «истощение» низкомолекулярных соединений наблюдается в течение первой фазы воздействия поллютанта на мидий, напротив, высокомолекулярные белки значительно индуцируются при действии загрязнения. Наиболее важны не столько количественные, сколько качественные изменения состава тканевых белков: так, для ракообразного *G. marinogammarus olivii* из зоны городского стока показано снижение числа белковых фракций (Руднева, 2000). Изменения белкового состава могут быть как следствием действия неблагоприятных факторов среды на генетический аппарат, приводящего к изменениям структуры и физико-химических свойств белков, нарушению метаболических процессов так и непосредственной модификации белков в результате их повреждения или комплексообразования с ксенобиотиками и их метаболитами. Первый путь является долговременным, его результаты проявляются у достаточно большого числа особей популяции, в течение десятилетий находящихся под воздействием фактора/ов, тогда как второй путь иллюстрирует оперативную ответную реакцию организма на загрязнение среды.

### Заключение

Вероятнее всего, наблюдаемые изменения в активности ферментов внутриклеточного протеолиза у беспозвоночных Белого моря, обитающих в зонах комплексного загрязнения, являются следствием модификации белкового метаболизма клеток как части развития механизмов биохимической адаптивной реакции организмов, выработанной и закрепленной в ходе эволюции. Об этом также свидетельствует значительное сходство в специфике ответной реакции протеолиза у исследованных в данной работе морских беспозвоночных и ранее изученных водных организмов (Строганов, 1979; Немова и др., 1994). Реактивность показателей обмена белков у водных беспозвоночных позволяет предложить их в качестве дополнительного биотеста при оценке качества вод обитания гидробионтов.

*Работа поддержана проектами РФФИ (02-04-48451), грантом Президента РФ «Ведущие научные школы» НШ-894.2003.4.*

### Литература

Алексеев Л.П. 1968. Определение активности протеиназ по расщеплению белковых субстратов // В кн.: Современные методы в биохимии. М.: Медицина. Т. 2. С. 112-137.

Войскокая Р.У. 1999. Лизосомальные ферменты у рыб и влияние на них природных, антропогенных и патогенных факторов. Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Петрозаводск. 42 с.

Гублер Е.В., Генкин А.А. 1969. Применение критериев непараметрической статистики для оценки различий двух групп наблюдений в медико-биологических исследованиях. М.: Медицина. С. 9-24.

Мухин В.А. 1998. Протеолитические ферменты в тканях некоторых морских беспозвоночных: Дис. ... канд. биол. наук. Москва.

Наумов А.Д., Оленев А.В. 1981. Зоологические экскурсии на Белом море. Под ред. А.А. Стрелкова. Л.: Изд-во Ленингр. Ун-та. 176 с.

Немова Н.Н. 1991. Свойства и физиологическая роль внутриклеточных протеиназ в тканях рыб // Усп. совр. биол. Т. III, вып. 6. С. 948-954.

Немова Н.Н. 1996. Внутриклеточные протеолитические ферменты у рыб. Петрозаводск: изд-во КНЦ РАН. С. 56-83.

Немова Н.Н., Крупнова М.Ю., Кяйвярайнен Е.И., Волков И.В. 1994. Влияние токсических факторов на протеолитическую активность в икре и ранних личинках рыб // Известия РАН. Сер. биол. № 4. С. 605-610.

Немова Н.Н., Сидоров В.С. 1990. Влияние некоторых токсических факторов на лизосомальные протеиназы пресноводных рыб // Гидробиол. журнал. Т. 26. № 4. С. 69-73.

Покровский А.А., Тутельян В.А. 1976. Лизосомы. М.: Наука. С. 244-294.

Руднева И.И. 2000. Ответные реакции морских животных на антропогенное загрязнение Черного моря. Автореф. ... докт. биол. наук. М.

Строганов Н.С. 1979. Моделирование возможных изменений экосистемы при загрязнениях по чувствительности гидробионтов к токсикантам. Л.: Изд-во Ленингр. Ун-та. С. 142-149. Хочачка П., Сомеро Дж. 1977. Стратегия биохимической адаптации. М.: Мир. 260 с.

Bergen B.J., Nelson W.G., Pruell R.J. 1993. Bioaccumulation of PCB congeners by blue mussels (*Mytilus edulis*) deployed in New Bedford Harbor, Massachusetts // Environ. Toxicol. Chem. Vol. 12. P. 1671-1681.

Bohley P. 1987. Intracellular proteolysis // Hydrolytic enzymes. Biomedical division. P. 307-332.

Bradford M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding // Anal. Biochem. Vol. 72. P. 248-254.

Bruner K.A., Fisher S.W., Landrum P.F. 1994. The role of zebra mussels, *Dreissena polymorpha*, in contaminant accumulation from algae and suspended particles, and transfer to the benthic invertebrate, *Gammarus fasciatus* // J. Great Lakes Res. Vol. 20. P. 735-750.

Bryazgin, V., Klimov A. 1995. Evaluation of the present state of the Pomor and Karelian coast and the Onega Bay of the White Sea // In: The Projects of the Investment Programs developed for the Republic of Karelia by NEFCO/AMAP. Information Paper. Petrozavodsk. P. 6.

Dayton W.R., Revill W.J., Goll D.E., Stromer M.H. 1976. A Ca<sup>2+</sup>-activated protease possibly involved in myofibrillar protein turnover. Purification from porcine muscle // Biochem. Vol. 15. № 10. P. 2150-2158.

Fisher S.W. 1991. Changes in the toxicity of three pesticides as a function of environmental pH and temperature // Bull. Environ. Contam. Toxicol. Vol. 46. P. 197-202.

Gray J.S. 1981. The ecology of marine sediments. Cambridge: Cambridge University Press. 217 p.

Johnson P. 1990. Calpains (intracellular calcium - activated cysteine proteinases): structure - activity relationships

- and involvement in normal and abnormal cellular metabolism // *Int. J. Biochem.* Vol. 22. № 8. P. 811-822.
- Lawrence A.J., Poulter C.* 1998. Development of a sub-lethal pollution bioassay using the estuarine amphipod *Gammarus duebeni* // *Wat. Res.* Vol. 32. № 3. P. 569-578.
- Loeb V., Siegel V., Holm-Hansen O., Hewitt R., Fraser W., Trivelpiece W., Trivelpiece S.* 1997. Effects of sea-ice extent and krill or salp dominance on the Antarctic food web // *Nature.* Vol. 387. P. 897-900.
- Lowe D.M., Clarke K.R.* 1989. Contaminant-induced changes in the structure of the digestive epithelium of *Mytilus edulis* // *Aquat. Toxicol.* Vol. 15. P. 345-358.
- Matsuda K., Misaka E.* 1974. Studies on cathepsin D of rat liver lysosomes. I. Purification and multiple forms // *Biochem.* Vol. 76. P. 639-649.
- McLucky D., Bryant V., Campbell R.* 1986. The effects of temperature and salinity on the toxicity of heavy metals to marine and estuarine invertebrates // *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* Vol. 24. P. 481-520.
- Melloni E., Salamino F., Sparatore B.* 1992. The calpain - calpastatin system in mammalian cells: properties and possible functions // *Biochem.* Vol. 74. №3. P. 217-223.
- Moloney C.L., Ryan P.G.* 1995. Antarctic marine food webs // In: *Encyclopedia of Environmental Biology.* Nierenberg, W.A. (Ed.). Vol. 1. Academic Press, San Diego.
- Moore M.N.* 1985. Cellular responses to pollutants // *Mar. Pollut. Bull.* Vol. 16. P. 134-139.
- Murachi T., Hatanaka M., Yasumoto Y., Tanaka K.* 1981. A quantitative distribution study on calpain and calpastatin in rat tissues and cells // *Biochem. Int.* Vol. 2. № 6. P. 651-656.
- Mykles D.L., Skinner D.M.* 1990. Atrophy of crustacean somatic muscle and the proteinases that do the job // *J. Crust.* Vol. 10. № 4. P. 577-594.
- Nicholson S.* 1999. Cardiac and lysosomal responses to periodic copper in the mussel *Perna viridis* // *Mar. Pollut. Bull.* Vol. 38. P. 1157-1162.
- Ozoh P.T.E.* 1994. The effect of salinity, temperature and time on the accumulation and depuration of copper in ragworm, *Nereis diversicolor* (O.F. Muller) // *Environ. Monitor. Assess.* Vol. 29. P. 155-166.
- Porte C., Biosca X., Sole M., Albaiges J.* 2001. The integrated use of chemical analysis, cytochrome P450 and stress proteins in mussels to assess pollution along the Galician coast (NW Spain) // *Environ. Pollut.* Vol. 112. P. 261-268.
- Pruell R.J., Lake J.L., Davis W.R., Quinn J.G.* 1986. Uptake and depuration of organic contaminants by blue mussels (*Mytilus edulis*) exposed to environmentally contaminated sediment // *Mar. Biol.* Vol. 91. P. 497-507.
- Ritz D.A.* 1980. Tolerance of amphipods to fluctuating conditions of salinity, oxygen and copper // *J. Mar. Biol. Ass. UK.* Vol. 60. P. 489-498.
- Sheader M.* 1983. The reproductive biology and ecology of *Gammarus duebeni* (Crustacea: Amphipoda) in southern England // *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* Vol. 63. P. 517-540.
- Suzuki K., Imajoh S., Emori Y., Kawasaki H., Minami Y., Ohno S.* 1988. Regulation of activity of calpain // *Adv. Enz. Reg.* Vol. 27. P. 153-162.
- Toyohara H., Makinodan Y.* 1989. Comparison of calpain I and calpain II from carp muscle // *Comp. Biochem. Physiol.* Vol. 92. № 3. P. 577-581.

Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря.  
Материалы IX международной конференции  
11-14 октября 2004 г., Петрозаводск, Карелия, Россия  
Петрозаводск, 2005. С. 62-66.

## ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ПОПУЛЯЦИЙ СИГОВ БАССЕЙНА БЕЛОГО МОРЯ

Е.А. БОРОВИКОВА, Н.Ю. ГОРДОН, Д.В. ПОЛИТОВ

*Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, Москва*

С помощью метода рестриктоного анализа ПЦР-амплифицированного фрагмента митохондриальной ДНК (мтДНК), кодирующего субъединицу 1 NADH-дегидрогеназного комплекса (ND 1), получены данные о генетической дифференциации популяций сига *Coregonus lavaretus* (L.) бассейна Белого моря. Описан полиморфизм популяций по сайтам 17 эндонуклеаз рестрикции. Выявлены генетические различия взятых в анализ популяций: при UPGMA-кластеризации сига р. Умбы, Сев. Двины, Кубенского оз. (Вологодская обл.) образуют одну группу, в то время как сига р. Кереть и Сязозера (Карелия) – другую. Полученные данные свидетельствуют о возможности существования в Бело-Баренцевоморском приледниковом убежище собственной расы сига, давшей начало современным популяциям сигов Сев. Двины и р. Умбы.

**E.A. Borovikova, N.Yu. Gordon & D.V. Politov. Genetic differentiation of the European whitefish *Coregonus lavaretus* (L.) populations of the White Sea basin** // The study, sustainable use and conservation of natural resources of the White Sea. Proceedings of the IXth International Conference, October, 11-14, 2004. Petrozavodsk, Karelia, Russia. Petrozavodsk, 2005. P. 62-66.

Restriction fragment length polymorphisms (RFLPs) in the PCR-amplified NADH-dehydrogenase-1 gene of the mtDNA have been used to analyse variability within and between seven populations of the European whitefish *Coregonus lavaretus* (L.) of the White Sea basin. Analysis of genetic divergence among whitefish populations revealed two distinguished groups: 1) Umba River (Murmansk region), Severnaya Dvina River (Arkhangelsk region), Kubenskoe Lake (Vologda region) and 2) Keret' River, Lake Syamozero (Karelia). These data evidence for the origin of whitefish populations of Umba River, Severnaya Dvina River and Kubenskoe Lake from distinct White Sea – Barents Sea refugial race, which differs from the Baltic and Siberian lineages.

### Введение

Сиговые рыбы (подсем. *Coregoninae*, отр. *Salmoniformes*) широко распространены в ледовито-морском и балтийскоморском бассейнах, являясь важным компонентом экосистем и объектом рыбного промысла местного значения. Сложная внутривидовая дифференциация сиговых обусловлена их высокой пластичностью и способностью приспосабливаться к меняющимся условиям среды, а также легкостью гибридизации между разными формами (Решетников, 1977, 1980; Пирожников, 1975; Лебедев, 1982; Сендек, 2000, 2003, 2004). Наиболее широко распространены сига полиморфного комплекса форм *Coregonus lavaretus* (L.). В частности, на Северо-Западе России сига этого комплекса представлены множеством морфологических (много- и малотычинковых) и экологических (речных или озерных, жилых или проходных, ранне- или позднерестующих) форм. Особый интерес с точки зрения дифференциации представляют популяции сигов бассейна Белого моря, поскольку здесь при отступлении ледника шла гибридизация с балтийскоморскими формами (Правдин, 1947; Новиков, 1951). Кроме того, именно с водоемами бассейна Белого

моря связано проникновение сигов с территории Сибири в Европейскую часть России (Решетников, 1977, 1980; Шапошникова, 1977).

В свете объективной сложности идентификации и установления родственных взаимоотношений сигов, связанных с использованием морфоэкологических критериев (Берг, 1948; Решетников, 1977, 1980; Китаев, 1976, 1981) в последнее время все большее значение приобретают молекулярно-генетические методы (Bodaly et al., 1994; Politov et al., 2000, 2002, 2004; Сендек, 2000, 2003; Sendek, 2004).

Настоящее исследование посвящено генетической дифференциации сигов бассейна Белого моря в свете данных анализа полиморфизма длин рестриционных фрагментов (ПДРФ) амплифицированного в полимеразной цепной реакции (ПЦР) ND1-фрагмента мтДНК.

### Материал и методика

Для исследования были взяты семь выборок сига обыкновенного *Coregonus lavaretus* (L.) из водоемов бассейна Белого моря. Места взятия выборок показаны на карте-схеме (рис. 1).

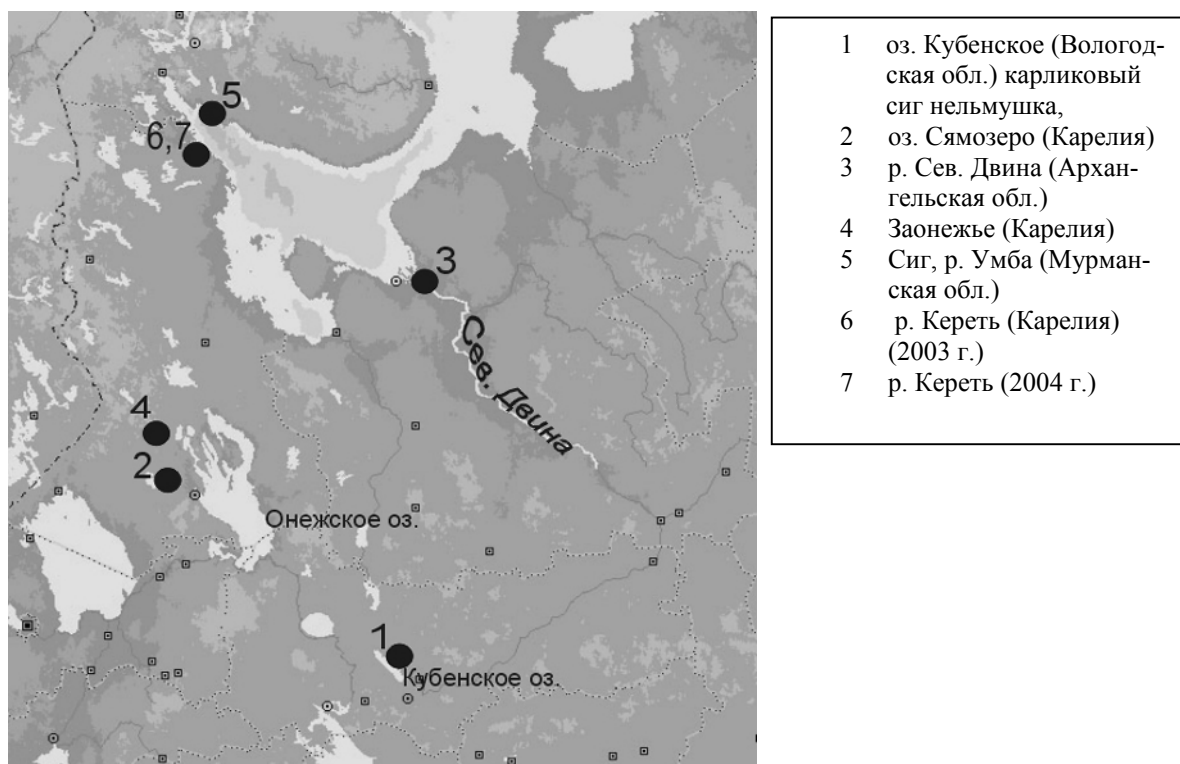


Рис. 1. Места взятия выборок

Препараты тотальной ДНК выделяли из тканей, фиксированных этиловым спиртом, по общепринятой методике (Маниатис и др., 1984), включающей лизис ткани 1% SDS в присутствии протеиназы К и депротенинизацию фенолом. Исследовали изменчивость мтДНК с помощью ПЦР-ПДРФ анализа фрагмента ND-1. Для амплификации использовались олигонуклеотидные праймеры LGL381 и LGL563 (Cronin et al., 1993). Полимеразную цепную реакцию проводили в реакционной смеси объемом 25 мкл, содержащей по 10 пМ каждого праймера, 10-кратную смесь dNTP (10 мМ), 10-кратный Taq-буфер, 1,5 ед. активности Taq-полимеразы и 100-200 нг тотальной ДНК. Режим протекания реакции был следующим: предварительная денатурация ДНК – 5 мин. при 95°C; 32 цикла составляли денатурация – 1 мин. при 95°C; гибридизация праймеров – 50 сек. при 54°C; элонгация – 1 мин. 45 сек. при 72°C; завершающее наращивание продукта – 5 мин. при 72°C. Фрагмент ND-1 обрабатывали рестрикционными эндонуклеазами в условиях, рекомендованных изготовителем («Сибэнзим», г. Новосибирск; Fermentas, Литва). В работе были использованы следующие рестриктазы: Ase I, Ava II, BsaJ I, Bsp 1286 I, BstN I, BstU I, Dde I, Dpn II, Hae III, Hha I, Hinc II, Hinf I, Hph I, Nci I, Rsa I, Msp I, Taq I. Фрагменты рестрикции фракционировали с помощью метода электрофореза в горизонтальной камере в 2,5 %-ном агарозном геле и визуализировали после окрашивания бромистым этидием в УФ-свете. Размер фрагментов определяли с помощью ДНК-маркеров 1 тыс. п.н. и 100 п.н. («Сибэнзим»; Fermentas). При идентификации гаплотипов исходили из получен-

ных ранее данных и системы обозначений (Politov et al., 2000, 2004). Анализ данных выполнен при помощи компьютерной программы TFGA (Miller, 1997). Для построения дендрограмм применен метод UPGMA-кластеризации по величинам генетических расстояний  $D_N$  (Nei, 1978).

### Результаты

Данные, полученные в результате ПЦР-ПДРФ анализа ND1 фрагмента мтДНК, показали, что по сайтам семи рестриктирующих эндонуклеаз все выборки сегов мономорфны (табл. 1). В выборках разных лет из популяций сига р. Кереть обнаружен полиморфизм по сайтам 6 рестриктаз, популяция нельмушки, сямозерского сига, сига С. Двины – по сайтам 5 рестриктаз, популяция сига р. Умбы – по сайтам 4 рестриктаз. Интерес представляет тот факт, что полиморфными у сегов разных популяций оказались сайты различных эндонуклеаз рестрикции. Так у нельмушки полиморфны сайты Dpn II, Dde I, BstN I, Hph I, Rsa I; у сига Сев. Двины – Ava II, Dde I, Dpn II, Hph I; у сига Сямозера – Ava II, Bsp 1286 I, Dpn II, Hae III, Rsa I; у сига р. Умба – Ava II, BsaJ I, Msp I, Rsa I; у сегов р. Кереть разных лет полиморфны – Ava II, Bsp 1286 I, Dpn II, Hae III, Rsa I, Msp I. В целом отмечен низкий уровень полиморфизма: доля полиморфных сайтов рестрикции не превышает 29%. Для сегов р. Кереть доля полиморфных сайтов составила 35%. Всего среди семи популяций было идентифицировано 16 гаплотипов (Табл. 1). Наибольшее разнообразие гаплотипов наблюдается в популяции нельмушки: среди 25 особей встречается семь гаплотипов.

Генетическая подразделенность популяций сига невелика: показатель межпопуляционной дифференциации  $F_{ST}$  по всем рестриктазам равен 0,2860. Наиболее сильно дифференцируются популяции по рестриктазам Ava II, Bsp1286 I, Dpn II, Hae III, Rsa I, Msp I, Dde I, Hph I. Генетические дистанции Нея между популяциями представлены в таблице 2.

Кроме того, в ходе работы описаны новые гаплотипы по рестриктазам Msp I – (сиг р. Умба, сиг р. Кереть) – гаплотип N<sub>w</sub>; Rsa I – гаплотип К (сиги р. Кереть); Hph I – гаплотип С (нельмушка); Dde I – гаплотип В1 (нельмушка, сиг Сев. Двины).

Таблица 1. Частоты встречаемости 16 обобщенных гаплотипов среди семи популяций сига бассейна Белого моря (гаплотипы описаны на основании анализа данных по 17-ти рестриктазам: Ase I, Ava II, BsaI I, Bsp 1286 I, BstN I, BstU I, Dde I, Dpn II, Hae III, Hha I, Hinc II, Hinf I, Hph I, Msp I, Nci I, Rsa I, Taq I)

№	Гаплотип	Выборка*							Общее число
		1	2	3	4	5	6	7	
I	GWGWABAWGAWAWA	8		1					9
II	GWGWABAWGAWGAWA	3	1	4		23	3	4	38
III	GWWGO <sub>1</sub> AB <sub>1</sub> AWGAWGAWA	1							1
IV	GWGWAB <sub>1</sub> AWGAWGAWA	10		1					11
V	GWGWAB <sub>1</sub> AWGAWCWA	1							1
VI	GWGWABBWGAWGAWA	1	3						4
VII	GWWGO <sub>1</sub> ABAWGAWGAWA	1							1
VIII	GRWWWABAO <sub>1</sub> GAWGAWA		3		3		4	10	20
IX	GWGWABBWGAWGAWA		3	1					4
X	GGGWABBWGAWGAWP			1					1
XI	GWGWABAWGAWGN <sub>w</sub> AWA					4	2		6
XII	GGGWABAWGAWGAWA					1	1		2
XIII	GW <sub>1</sub> GOABAWGAWGAWA					1			1
XIV	GWGWABBWGAWGAWA							10	10
XV	GRWWWABAO <sub>1</sub> GAWGN <sub>w</sub> AWA							3	3
XVI	GWGWABBWGAWGN <sub>w</sub> AW <sub>1</sub> A						1		1
Всего		25	10	8	3	29	11	27	113

\* Номера выборок в таблице соответствуют номерам выборок на рисунке 1

Таблица 2. Генетические дистанции  $D_N$  между популяциями сига бассейна Белого моря (по Nei, 1978)

Популяция	1	2	3	4	5	6	7
1	*****						
2	0,0629	*****					
3	0,0123	0,0217	*****				
4	0,2281	0,1224	0,1990	*****			
5	0,0249	0,0461	0,0085	0,2010	*****		
6	0,0486	0,0086	0,0204	0,0862	0,0237	*****	
7	0,0852	0,0124	0,0484	0,0731	0,0617	0,0085	*****

Номера выборок в таблице соответствуют номерам выборок на рисунке 1.

UPGMA-кластеризация выборок сига бассейна Белого моря представлена на рис. 2.



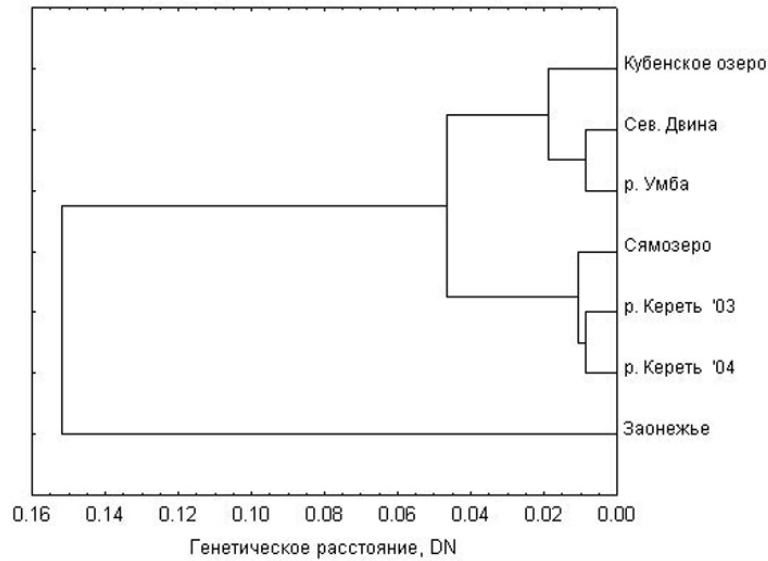


Рис. 2. UPGMA-дендрограмма на основе матрицы генетических расстояний (Nei, 1978) между выборками из популяций сига бассейна Белого моря

## Обсуждение

### 1

ПЦР-ПДРФ анализ фрагмента ND1 мтДНК выявил несколько интересных особенностей в генетической дифференциации популяций сига бассейна Белого моря. Согласно данным анализа можно выделить две группы популяций сига. Первая группа включает в себя сига р. Умбы, Сев. Двины и эндемичную популяцию карликового сига-нельмушки – жилой формы Кубенского озера (Вологодская обл.). Вторую группу составляют сига р. Кереть, а также сига Сямозера. Таким образом, генетические данные настоящего исследования согласуются с данными анализа аллозимной изменчивости (Сендек, 2000, 2003, 2004) и могут служить подтверждением выводов о возможности существования в Бело-Баренцевоморском приледниковом убежище собственной расы сига, давшей начало современным популяциям сига Сев. Двины и р. Умбы. Жилая форма Кубенского озера – карликовый сиг нельмушка согласно молекулярно-генетическим данным происходит от исходной бело-баренцевоморской расы сига и близок в своем происхождении малотычинковым сигам Сев. Двины, о чем писал еще В.Г. Лебедев на основе анализа морфоэкологических данных (Лебедев, 1982). Происхождение и близость друг другу сига р. Кереть и Сямозера можно объяснить с одной стороны, исходя из данных палеолимнологических (Квасов, 1975) и ихтиологических (Кудерский, 1987) исследований, согласно которым на короткий промежуток времени при отступлении ледника сток из приледниковых озер шел в направлении с востока на запад через систему Верхне-Воложских озер через Вытегорское и Белое озера в восточную часть котловины оз. Онежское. Возможно как раз в это время с востока на запад проникли предковые формы сига р. Кереть, Сямозера. Кроме наших данных сходство сига-пыжьяна и сямозерского сига отмечено в ряде более ранних срав-

нительных исследований белков и ферментов (Локшина, 1981). Однако есть данные о возможном вселении отдельных элементов ихтиофауны Белого моря из бассейна Балтийского моря (Осинов, Берначе, 1996; Махров и др., 1999; Кудерский, 1961; Первозванский, 1986; Махров, Иешко, 2001; Makhrov et al., 2002). Возможно, что сходство сямозерских сига и сига р. Кереть – результат расселения их в поздние и послеледниковый периоды, когда пресноводные водоемы бассейнов Белого и Балтийского морей были связаны (Квасов, 1975; Демидов, 1993).

Таким образом, наблюдаемая генетическая дифференциация популяций *Coregonus lavaretus* (L.) бассейна Белого моря в значительной мере отражает пути заселения Европейского севера России предковыми формами сига. Дальнейший прогресс в филогеографической реконструкции истории расселения сига комплекса *C. lavaretus* должен базироваться на расширении набора исследуемых молекулярно-генетических маркеров, тщательном сравнительном анализе генетических, морфологических и экологических данных, географии и численности выборок.

*Работа поддержана программами Российской академии наук «Динамика генофондов», «Биоразнообразии», а также программой «Поддержка научных школ». Авторы благодарят В. Артамонову, Н.Л. Болотову, Н.В. Гордееву, Н.В. Думнич, А.Ф. Коновалова, А.А. Махрова, О.П. Стерлигову, А.Ф. Шарова и Ю.Н. Шарову за помощь в сборе материала.*

## Литература

- Берг Л.С. 1948. Рыбы пресных вод и сопредельных стран. М.; Л.: Изд-во АН СССР. Ч. 1. 467 с.  
Демидов И.Н. 1993. Строение ленточных глин и особенности дегляциации Центральной Карелии // Вопросы

- геологии докембрия Карелии. Петрозаводск. С. 127-151.
- Квасов Д.Д. 1975. Позднечетвертичная история крупных озер и внутренних морей Восточной Европы.
- Кутаев С.П. 1976. Морфоэкологическая структура вида *Coregonus lavaretus* (L.) // Институт биологии карельского филиала АН СССР. Лососевые (*Salmonidae*) Карелии. Петрозаводск. С. 42-46.
- Кутаев С.П. 1981. О систематике сиговых рыб Европы // Тез. докл. Второго Всесоюз. совещ. по биологии и биотехнике разведения сиговых рыб. Петрозаводск. С. 11-13.
- Кудерский Л.А. 1961. Некоторые особенности географического распространения рыб в водоемах западной части бассейна Белого моря // Материалы по зоогеографии Карелии. Петрозаводск. Вып. 1. С. 3-7.
- Кудерский Л.А. 1969. Роль приледниковых водоемов в формировании пресноводной ихтиофауны Северо-Запада европейской части СССР // В сб.: Восьмая сессия ученого Совета по проблеме «Биологические ресурсы Белого моря и внутр. водоемов Карелии» (тезисы докл.). Петрозаводск.
- Лебедев В.Г. 1982. Происхождение и систематическое положение нельмушки *Coregonus lavaretus nelmuschka* Pravdin // Сб. научн. трудов ГосНИОРХ. Л. Вып. 183. С. 58-70.
- Локишина А.Б. 1981. Сравнительное электрофоретическое исследование белков изоферментов сигов // Тез. докл. Второго Всесоюз. совещ. по биологии и биотехнике разведения сиговых рыб. Петрозаводск. С. 17-18.
- Маниатис Т., Фрич Э., Сэмбрук Дж. Методы генетической инженерии. Молекулярное клонирование. М.: Мир, 1984. 480 с.
- Махров А.А., Кузицин К.В., Новиков Г.Г. 1999. Генетическая дифференциация кумжи *Salmo trutta* L. из водоемов бассейна пролива Великая Салма (Белое море) // Генетика. Т. 35. №7. С. 969-975.
- Махров А.А., Иешко Е.П. 2001. Генетическая дифференциация и послеледниковое расселение кумжи (*Salmo trutta* L.) бассейна Белого моря // Тр. КарНЦ РАН. Петрозаводск, вып. 2. С. 176-179.
- Новиков П.И. 1951. О нахождении сигов балтийскоморского происхождения в западной части бассейна Белого моря // Известия Карело-финского филиала АН СССР. № 1. С. 89-91.
- Осинов А.Г., Берначе Л. 1986 «Атлантическая» и «дунайская» филогенетические группы кумжи *Salmo trutta* complex: генетическая дивергенция, эволюция, охрана // Вопросы ихтиологии. Т.36. № 6. С. 762-786.
- Первозванский В.Я. 1986. Рыбы водоемов района Костомукшского железнорудного месторождения. Петрозаводск «Карелия». 261 с.
- Правдин И.Ф. 1947. Морфо-биологическая классификация и генезис сигов (род *Coregonus* s. str.) Ладожского озера // Известия Карело-финской научно-исследовательской базы АН СССР. № 1-2. С. 75-85.
- Пирожников П.Л. и др. 1975. О таксономическом ранге и филогении сиговых (*Coregonidae*, *Pisces*) // Известия ГосНИОРХ. Л., Т. 104. С. 5-16.
- Решетников Ю.С. 1977. Сложные вопросы таксономии сиговых рыб и проблемы зоогеографии // Основы классификации и филогении лососевых рыб. Л. С. 71-78.
- Решетников Ю.С. 1980. Экология и систематика сиговых рыб. М.: Наука. 300 с.
- Сендек Д.С. 2000. Филогенетический анализ сиговых рыб сем. *Coregonidae* методом белкового электрофореза. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. СПб.: ГосНИОРХ. 22 с.
- Сендек Д.С. 2003. О происхождении трех симпатрических форм европейского сига (*Coregonus lavaretus* L.) Ладожского озера по данным сравнительного генетического анализа популяций сигов Северо-Запада России // Тез. докл. междунар. конф. «Биол. ресурсы Белого моря и внутр. водоемов Европейского Севера». Сыктывкар. С. 77-78.
- Шапошникова Г.Х. 1977. История расселения сигов полиморфного вида *Coregonus lavaretus* (L.) и некоторые соображения о его внутривидовой дифференциации // Основы классификации и филогении лососевых рыб. Л. С. 78-86.
- Bodaly R.A., Vuorinen J.A., Reshetnikov Yu.S. & Reist J.D. 1994. Genetic relationships of five species of coregonid fishes from Siberia // J. of Ichthyology. Vol. 34. P. 117-130.
- Cronin M. A., Spearman W.J., Wilmot R.L., Patton J.C. & Bickham J.W. Mitochondrial DNA variation in chinook (*Oncorhynchus tshawytscha*) and chum salmon (*O. keta*) detected by restriction enzyme analysis of polymerase chain reaction (PCR) products. // Canad. J. of Fish. and Aquatic Sci. 1993. V. 50. P. 708-715.
- Makhrov A.A., Skaala O. & Altukhov Yu.P. 2002. Alleles of sAAT-1,2 isoloci in brown trout: potential diagnostic marker for tracking routes of post-glacial colonization in northern Europe. // J. of Fish Biology. Vol. 61. P. 842-846.
- Miller M.P. 1997. TFPGA (Tools for Population Genetic Analyses). V.1.3. Department of Biological Sciences, Northern Arizona University.
- Nei M. 1978. Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals // Genetics. Vol. 89. P. 583-590.
- Politov D.V., Gordon N.Yu. Afanasiev K.I., Altukhov Yu. P. and Bickham J.W. Identification of paleartic coregonid fish species using mtDNA and allozyme genetic markers // J. of Fish Biol. 2000. V. 57. (Suppl. A). P. 51-71.
- Politov D.V., Gordon N. Yu. & Makhrov A.A. Genetic identification and taxonomic relationships of six Siberian species of *Coregonus*. // Arch. Hydrobiol. Spec. Issues Advanc. Limnol. 2002. V. 57. P. 21-34.
- Politov D.V., Bickham J.W. & Patton J.C. Molecular phylogeography of Palearctic and Nearctic ciscoes. // Ann. Zool. Fennici. 2004. V. 41. P. 13-23.
- Sendek D.S. 2004. The origin of sympatric forms of European whitefish (*Coregonus lavaretus* (L)) in Lake Ladoga based on comparative genetic analysis of populations in North - West Russia // Ann. Zool. Fennici. Vol. 41. P. 25-39.

Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря.  
Материалы IX международной конференции  
11-14 октября 2004 г., Петрозаводск, Карелия, Россия  
Петрозаводск, 2005. С. 67-71.

## CRUSTACEA МЕЛКОВОДИЙ ПОРЬЕЙ ГУБЫ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

В.Ф. БРЯЗГИН<sup>1</sup>, Г.А. ШКЛЯРЕВИЧ<sup>2</sup>, С.В. РАЗНОВСКАЯ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Карельский государственный педагогический университет, Петрозаводск

<sup>2</sup> Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск

В августе 2001 г. на одном из участков Порьей губы в районе о. Горелого были проведены сборы макробентоса на 14 станциях на глубинах от 6 до 43 м.

В работе приводятся сведения по видовому составу, размерно-весовой и половой структуре поселений амфипод подотряда *Gammaridea*. В результате обработки материала, собранного в августе 2001 г. в Порьей губе обнаружено 17 видов ракообразных, относящихся к 15 родам, 12 семействам и 4 отрядам, из них 9 видов оказались новыми для списка этой части акватории ракообразных, относящихся к 6 дополнительным родам, 4 дополнительным семействам и 1 дополнительному отряду. Впервые отмечены для Порьей губы в 2001 г. такие ракообразные, как *Diastylis rathkai*, *Mysis oculata* и *Pandalus annulicornis*.

V.F. Bryazgin, G.A. Shklyarevich & S.V. Raznovskaja. *Crustacea from shallow water of the Porja inlet of Kandalaksha Bay of the White Sea* // The study, sustainable use and conservation of natural resources of the White Sea. Proceedings of the IXth International Conference, October, 11-14, 2004. Petrozavodsk, Karelia, Russia. Petrozavodsk, 2005. P. 67-71.

As a result of processing the material collected in August, 2001 in the Porja inlet of the White sea it is revealed 19 species Amphipoda-Gammaridea concerning to 16 generals, 13 families and 5 orders, from them 9 species considered to be new in the area of the research. There are the data on Gammaridea's size, weight and sexual structure.

Несмотря на многие годы исследований, биоценозы Белого моря изучены еще недостаточно, поэтому в сводках, как по фауне этого уникального водоема, так и по особенностям количественного распределения донного населения, в основном содержатся лишь общие сведения. Требуется накопление данных о сезонных изменениях бентоса, о многолетней структуре донных ценозов, их перестройке и продукционных свойствах экосистем.

Многие задачи теоретического и практического плана можно решить только на данных многолетнего ряда наблюдений, при выяснении «нормы реакции» биологических систем при естественном ходе популяционных и биоценологических изменений. Направленность этих процессов особенно наглядно выявляется при проведении мониторинга и экспертизы в «отсекаемых» участках бережных экосистем.

Губа Порья, находящаяся под охраной Кандалакшского природного заповедника, один из наиболее пригодных для этих целей районов Белого моря. Она расположена на южном побережье Кольского полуострова в Кандалакшском заливе Белого моря (Рис. 1).

По геоморфологическому строению эта губа является шхерным фьордом с максимальными глубинами до 129 м. Площадь ее акватории превышает 140 кв. км. Сложно расчлененный рельеф шхер создает своеобразные гидродинамические условия. В районе Порьей губы происходит интенсивное поднятие глубинных холодных вод и это редкое для Белого моря явление в сочетании со сложным и раз-

нородным рельефом дна, а также многообразием гидродинамических условий обуславливает широчайший спектр температурно-солевого режима морской воды и адекватное уникальное своеобразие морской биоты. Кроме того, Порья губа удалена от населенных пунктов и связанных с ними промышленных объектов, поэтому антропогенное влияние и загрязнение здесь минимально.

Гидробиологические исследования Порьей губы далеко недостаточны. В небольшом объеме были проведены сборы материалов летом 1977 года экспедицией Мурманского морского биологического института (Денисов, 1977, 1978). В дальнейшем проведено несколько экспедиций специалистами Кандалакшского заповедника (Шкляревич, 1999). Список обнаруженных ими животных включает 244 вида, из которых 49 ракообразные (*Arthropoda*).

Ракообразные имеют большое значение в мелководных биоценозах Порьей губы. Из 8 отрядов *Malacostraca* как в Белом море в целом, так и в отдельных его районах преобладают амфиподы.

В августе 2001 г. на одном из участков Порьей губы в районе о. Горелого были проведены сборы макробентоса на 14 станциях на глубинах от 6 до 43 м (Рис. 1). Для более глубокого анализа фауны беспозвоночных Порьей губы все беспозвоночные (кроме *Porifera*, *Sipuncula* и *Bryozoa*) были собраны и идентифицированы.

В настоящей работе приводятся сведения по видовому составу, размерно-весовой и половой структуре поселений амфипод подотряда *Gammaridea*.

Продолжен предварительный анализ списка, подготовленного В.Ф. Брызгиным для определителя бокоплавов Белого моря, списка ракообразных мак-

розообентоса Кандалакшского заповедника (Гришанков и др., 2000) и аналогичного списка, составленного для Порьей губы (Шкляревич, 1999).

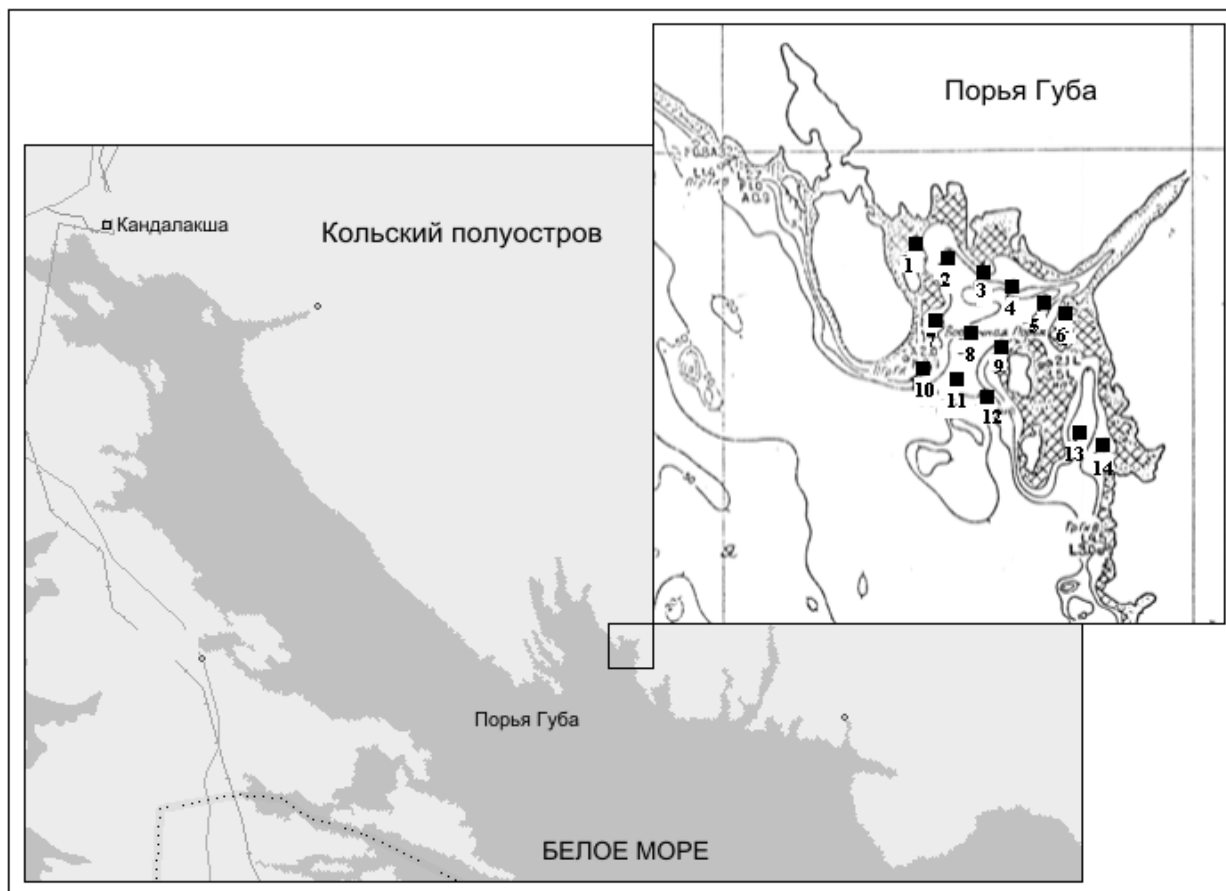


Рис. 1. Карта-схема расположения мест исследования в 2001 году

#### Материал и методы исследований.

На каждой станции бентос собирался ручной драгой, глубина измерялась эхолотом, температура придонной воды - опрокидывающимся термометром, вода из придонного слоя отбиралась батометром объемом 0,75 см<sup>3</sup>. Соленость определялась ареометрированием; перевод плотности исследуемой воды в соленость производился по океанологическим таблицам (Зубов, 1957).

Для идентификации беспозвоночных авторы пользовались определителями (Гаевская - ред., 1948; Гостиловская, 1978; Гурьянова, 1951; Малахов, Адрианов, 1995; Наумов, Оленев, 1981; Скарлато - ред., 1987; Ушаков, 1972, 1982; Цветкова, 1975; Цетлин, 1980; Barnard, 1969; Lincoln, 1979).

Материал по амфиподам был исследован более детально. Все ракообразные были измерены и взвешены. Длина тела определялась от кончика рострума до основания тельсона. Масса тела каждой особи определялась после обсушивания на фильтровальной бумаге на торсионных весах с точностью до 0,1 мг. Пол определялся по наличию у самцов семенных мешков на вентральной части последнего пере-

онального сегмента и по наличию элементов марсупиальных сумок у самок. Стадия зрелости амфипод определялись по Kjennerud, 1952 с изменениями (Брызгин, 1973).

Как уже отмечалось (Брызгин, Шкляревич, 2001), в Белом море идентифицировано к настоящему времени 2 класса, 9 отрядов, 53 семейства, около 100 родов и 188 видов ракообразных. В Кандалакшском заливе и в Порьей губе закономерно последовательно уменьшается количество отрядов, семейств, родов и видов (Рис. 2).

Предварительный анализ таксономического состояния бентических Crustacea и разнообразных условий их существования в Порьей губе по данным 1980 – 1990 гг. (Брызгин, Шкляревич, 2001) позволили предположить, что в этом районе должно быть значительно большее видовое разнообразие Crustacea. В результате обработки материала, собранного в августе 2001 г. в Порьей губе, обнаружено 19 видов ракообразных, относящихся к 16 родам, 13 семействам и 5 отрядам, из них 9 видов оказались новыми для списка этой части акватории ракообразных, относящихся к 6 дополнительным родам, 4

дополнительным семействам и 1 дополнительному отряду. В табл. 1 новые виды амфипод выделены жирным шрифтом. Впервые отмечены для Порьей губы в 2001 г такие ракообразные, как *Diastylis rathkei*, *Mysis oculata* и *Pandalus annulicornis*.

Г.С. Гурвич и И.И. Иванов (1939) в 1933 г. для района реки Умбы приводят список ракообразных, состоящий из 42 видов. По всей вероятности, теперь список ракообразных для акватории Порьей губы является достаточно полным, однако не исключено обновление видового состава беспозвоночных этого таксона в большей или меньшей степени в зависи-

мости от существенных или резких межгодовых колебаниях условий окружающей среды.

Интересно отметить, что соотношение различных таксономических групп по материалам, собранным в августе 2001 г., было несколько не типичным (необычным) для Белого моря в целом, где наибольшим разнообразием видов представлены мшанки и многоротковые черви, затем следуют бокоплавы и брюхоногие моллюски (Бабков, Голиков, 1984). В Порьей губе первое место по количеству встреченных видов занимали моллюски, затем черви и амфиподы (Рис. 3).

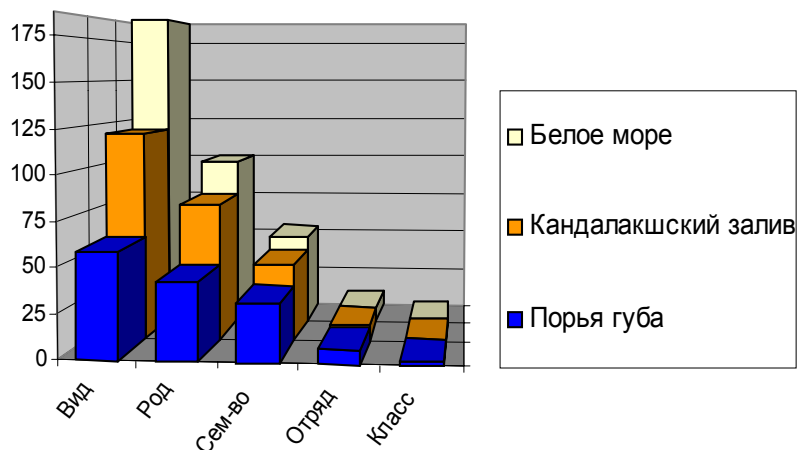


Рис. 2. Таксономическое состояние Arthropoda Белого моря и его сопредельных районов

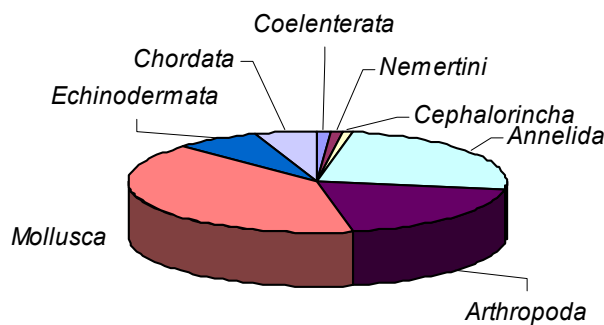


Рис. 3. Соотношение различных таксономических групп беспозвоночных в Порьей губе в 2001 г.

Из 39 видов моллюсков и 23 видов червей, обнаруженных в 2001 г., новыми для списков этих групп оказались 15% и 4% соответственно, а из 19 видов ракообразных – 47%.

Анализ полученных данных по распределению и размерной характеристике амфипод, пойманных в районе исследований, хорошо согласуются с материалами Н.Л. Цветковой (1985) по району губы Чупа Белого моря (Табл. 1).

Большинство видов было встречено на смешанных каменисто-песчаных заиленных грунтах с алевропелитовыми включениями. Наиболее массовыми видами из всех встреченных амфипод оказа-

лись *Pontoporeia femorata*, *Monoculodes borealis* и *Corophium bonelli*.

Встречаемость амфипод в наших материалах относительно высока – всего 3 вида - *Rozinante fragilis*, *Protomedeia fasciata* и *Pleustomesus medius*, имеют частоту встречаемости 7,2%. Впервые встреченный *Monoculodes borealis* имеет максимальную частоту встречаемости 57,2%.

Таким образом, поскольку ракообразные являются короткоцикловыми и самыми подвижными из всех остальных бентосных животных Порьей губы с четко выраженным преферентным поведением, то в процессе изменяющихся год от года условий окружающей

Таблица 1. Видовой состав, распределение и размерная характеристика амфипод в районе о. Горелого

Вид	Количество, экз.		Частота встречаемости, %	Глубина, м.	Температура придонной воды, °С	Соленость, ‰	Грунт	Размер		Вес	
	всего	♂ / ♀ / juv						Lim / M ± m	Lim / M ± min		
<i>Atylus carinatus</i>	26	11 / 15 / -	28,6	7-15	12,2-12,7	23,03-23,16	г, в, и, гли, п, р	6,0-20,0/12±0,94	0,005-0,142/0,038±0,007		
<i>Rozinante fragilis</i>	2	2 / - / -	7,2	41-43	-	-	-	8,0-9,0/8,5±0,70	0,009-0,012/0,010±0,0021		
<i>Corophium bonelli</i>	41	1 / 40 / -	42,8	6-20	5,5-12,7	22,77-24,76	г, в, и, гли, п, р	4,0-7,0/5,3±0,14	0,002-0,005/0,003±0,0001		
<i>Anonyx nugax</i>	5	3 / 2 / -	28,6	6-20	5,5-11,8	22,77-24,76	г, в, гли, и, п, р, гр	7,0-13,0/10,0±1,27	0,005-0,054/0,021±0,0094		
<i>Orchomenella minutus</i>	10	8 / 2 / -	42,8	7-31	5,3-12,7	23,03-23,42	г, с, в, гли, и, п, р, гр	3,0-7,0/5,1±0,39	0,003-0,009/0,0054±0,0005		
<i>Monoculodes borealis</i>	44	25 / 19 / -	57,2	12-43	2,8-12,8	22,5-24,98	г, в, и, гли, п, р, гр, с	4,0-12,0/7,4±0,26	0,003-0,012/0,006±0,0003		
<i>Aceroides latipes</i>	8	6 / 2 / -	14,3	28-31	2,8-6,5	23,42-24,76	г, гли, и, п, р, гр	4,0-8,0/6,6±0,63	0,003-0,009/0,006±0,0007		
<i>Paroedicerus lynceus</i>	17	5 / 12 / -	50	7-31	2,8-12,7	23,16-24,98	г, гли, в, и, п, р, гр	6,0-17,0/11,5±0,84	0,005-0,058/0,031±0,0042		
<i>Phoxocephalus holbolli</i>	9	3 / 7 / -	42,8	8-25	5,3-12,7	23,03 -24,98	г, в, гли, и, п, р	4,0-7,0/5,8±0,38	0,004-0,007/0,005±0,0003		
<i>Protomedeia fasciata</i>	1	- / 1 / -	7,2	15-20	5,5	24,76	г, в, и, п, гр	-	-		
<i>Pleustomesus medius</i>	1	1 / - / -	7,2	11-13	10,3	24,74	г, п, и, гли, р	-	-		
<i>Pontoporeia femorata</i>	125	20 / 37 / 68	21,4	6-11	11,8-12,7	22,77-23,16	г, в, гли, и, п, р, гр	3,0-13,0/5,4±0,21	0,0005-0,037/0,007±0,0007		

Примечание. Гранулометрическая характеристика грунтов: в – валуны, гли – глина, г – галька, гр – гравий, и – ил, п – песок, с – скала, р – ракуша.

среды более кардинально, чем у беспозвоночных других таксономических групп, меняется их видовой состав и преобладающие по численности виды.

### Литература

- Бабков А.И., Голиков А.Н. 1984. Гидробиокомплексы Белого моря. Л. изд. Зоол. Ин-та АН СССР. 104 с.
- Брызгин В.Ф. 1973. Амфиподы (*Amphipoda*, *Gammaridea*) Баренцева моря. Автореф. дисс. канд. биол. наук. Петрозаводск. 19 с.
- Брызгин В.Ф., Шкляревич Г.А. 2001. Разнообразие макробентических Arthropoda Белого моря. // Тез. докл. Конф. Биоразнообразие Европейского Севера. Петрозаводск. С. 30-31.
- Гришанков А.В., Нинбург Е.А., Шкляревич Г.А. 2000. Макрозообентос Кандалакшского заповедника. Флора и фауна заповедников, вып. 83. Москва. 74 с.
- Гурвич Г.С., Иванов И.И. 1939. Количественный учет донной фауны района реки Умбы // Тр. гос. гидрологического института. Л.-М.: Гидрометеорологическое изд-во. Вып. 8. С. 164-182.
- Гурьянова Е.Ф. 1951. Бокоплавы морей СССР и сопредельных вод (*Amphipoda*, *Gammaridea*). // Определители по фауне СССР. Т. 41. Л. 1029 с.
- Денисов Н.Е. 1977. Экология донной фауны Баренцева моря. Изучение пространственной структуры и экологии бентоса Белого и Баренцева морей // (промежуточный отчет). Рукопись. Дальние Зеленцы. 58 с.
- Денисов Н.Е. 1978. Разработка руководящих материалов по выполнению гидробиологической съемки и рекомендаций по отображению гидробиологической информации на морских топографических картах шельфа // Краткий отчет по экспедиционным работам 1978 г. Беломорского отряда ММБИ. Рукопись. Дальние Зеленцы. 7 с.
- Зубов Н.Н. 1957. Океанологические таблицы // Гидрометеорологическое издательство. 406 с.
- Малахов В.В., Адрианов А.В. 1995. Головохоботные (*Cephalorhyncha*) – новый тип животного царства. КМК Scientific Press LTD. М. 199 с.
- Моллюски Белого моря. 1987. Определители по фауне СССР, вып. 151. Скарлато О.А. (ред.) Л.: Наука. 324 с.
- Наумов А.Д., Оленев А.В. 1981. Зоологические экскурсии на Белом море // Л.: Изд-во Ленинградск. ун-та. 174 с.
- Определитель фауны и флоры северных морей СССР. 1948. Гаевская Н.С. (ред.) М.: Советская наука. 740 с.
- Ушаков П.В. 1972. Многощетинковые черви подотряда *Phyllodoceformis* Полярного бассейна и северо-западной части Тихого океана. Л.: Наука. 272 с.
- Ушаков П.В. Многощетинковые черви подотряда *Aphroditiformis* Северного Ледовитого океана и северо-западной части Тихого океана. 1982. Л.: Наука. 271 с.
- Цветкова Н.Л. 1975. Прибрежные гаммариды северных и дальневосточных морей СССР и сопредельных вод // Л.: Наука. 257 с.
- Цветкова Н.Л. 1985. Фауна, экология, Сезонная динамика численности и роль в биоценозах бокоплавок (*Amphipoda*, *Gammaridea*) губы Чупа (Белое море) // Биоценозы губы Чупа Белого моря и их сезонная динамика. (Исследования фауны морей; Т. 31 (39), Л.: «Наука». С 120-160.
- Цетлин А.Б. 1980. Практический определитель многощетинковых червей Белого моря. М.: изд. МГУ. 114 с.
- Шкляревич Г.А. 1999. Водоросли и беспозвоночные животные мелководий Порьей губы. Апатиты. 70 с.
- Barnard J.L. 1969. The families and Genera of Marine Gammaridean Amphipoda // Bull.U.S. Nat. Mus. P. 1-535.
- Lincoln R.J. 1979. British marine *Amphipoda*: *Gammaridea*. British Museum (Nat. History). London. P. 658.