

Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря.
Материалы IX международной конференции
11-14 октября 2004 г., Петрозаводск, Карелия, Россия
Петрозаводск, 2005. С. 244-248.

АНТРОПОГЕННЫЕ И ПРИРОДНЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ В ЭКОСИСТЕМЕ БЕЛОГО МОРЯ

И.А. НЕМИРОВСКАЯ

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

Приводятся новые данные по содержанию и составу углеводородов (УВ), алифатических и полициклических ароматических в воде, взвесьях, собранных сетью Джеди (с размером ячеек 50 мм) и сепаратором и донных осадках Белого моря. Установлено, что уровень концентраций УВ в водах Белого моря (в среднем 18 мкг/л) остался практически неизменным в последние годы, и сопоставим с их средними концентрациями в шельфовых районах Мирового океана. В воде и донных осадках распределение УВ определяется разгрузкой маргинальных фильтров рек. Здесь происходит осаждение основной массы антропогенных УВ. Поэтому гранулометрический контролирующий фактор исчезает в зоне депоцентра рек (в частности Северной Двины). Этими же причинами, скорее всего, можно объяснить различия в степени геохимических связей между содержанием C_{org} и УВ во взвесьях и донных осадках. После прохождения маргинальных фильтров во всех формах миграции доминируют природные УВ.

I.A. Nemirovskaya. Anthropogenic and natural hydrocarbons in the ecosystem 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. 244-248.

New data for content and composition of hydrocarbons (HC), aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in water, suspended matter (collected by Jede net, 50 μ m, and with the help of onboard separators) and bottom sediments of the White Sea are discussed. It is found that HC concentration in the White Sea waters (18 μ g/l on average) has remained virtually unchanged during the last years, and is comparable with their average concentration in shelf areas of the World Ocean. Marginal river filters govern HC distribution in water and bottom sediments. Great bulk of anthropogenic HC is deposited in this area. Therefore a factor of granulometric control disappears in river depocentre zones (in Northern Dvina River particularly). Most likely the same reasons can explain distinctions in a degree of geochemical couplings between C_{org} and HC contents in suspended matter and bottom sediments. Natural HC prevails in all migrating forms after marginal river filters passing through.

Углеводороды (УВ) в морской среде имеют как биогенную, так и антропогенную природу. В составе нефти и нефтепродуктов они и относятся наиболее распространенным и вредным загрязняющим веществам гидросферы. Загрязнение и природные формы элементов распространяются одновременно во всех сферах. Для установления современных концентраций и генезиса УВ, а также степени их трансформации при переходе из одной сферы в другую, проведено их изучение в аэрозолях, в воде, во взвесьях различных размеров (фильтрационных, выделенной на фильтры GF/F, сепарационных и собранных сетью Джеди) и в донных осадках Белого моря (август 2001 г., 49 рейс НИС «Профессор Штокман»; август 2003 г., 55 рейс НИС «Профессор Штокман»). Особое внимание уделено маргинальному фильтру Северной Двины – главной реки водосбора Белого моря.

В аэрозолях над Белым морем концентрации алифатических УВ (АУВ) - 0.08-0.19 нг/м³ оказались ниже величин, определенных в морских аэрозолях над Юго-восточной Атлантикой весной-летом 2001–2003 гг. - 0.04-7.03 нг/м³ (авторские неопубликованные данные), и значительно ниже концентраций алканов (фракции АУВ) в аэрозолях над Средиземным морем: 5-35 нг/м³ (Gogou, Apostolaki, Stepha-

nou, 1998). Благодаря атмосферной циркуляции, в акваторию Белого моря могут попадать загрязнения из северо-восточной Европы и России, поэтому столь низкие концентрации оказались неожиданными. Возможно, это обусловлены тем, что из-за спада промышленного производства в России произошло уменьшение поступлений загрязняющих веществ в атмосферу Архангельской области. Кроме того, в гумидных областях потоки аэрозолей значительно ниже, чем в аридных (Лисицын, 2001), и в конце лета, с изменением траектории воздушных масс, уменьшается количество включенных в аэрозоли антропогенных УВ.

В поверхностных водах средние концентрации АУВ уменьшались в последовательности: Канда-лакшский залив (25 мкг/л; n=12) > Двинский залив (20 мкг/л; n=6) > Горло (18; n=4) > Бассейн (11 мкг/л; n=10), т.е. как было отмечено ранее (Лебедева, 2001) происходит уменьшение содержания АУВ с удалением от прибрежных промышленных районов в открытую часть моря. Однако, несмотря на то, что концентрации АУВ даже в Двинском и Кандалакшском заливах не достигают величины ПДК для нефтяных УВ, их повышенное содержание в составе липидов, и состав алканов и полициклических ароматических

углеводородов (ПАУ) указывает на влияние антропогенных источников (нефтяных и пирогенных).

В области маргинального фильтра Северной Двины «потери» в концентрациях АУВ при переходе от речных к морским водам значительно ниже, чем для рек умеренных широт (Немировская, 2004), и для растворенной фракции (28-15 мкг/л) больше, чем для взвешенной (24-21 мкг/л). Характерная черта рек Арктики - повышенное содержание растворенных форм органических соединений и железа, так как они, протекают по гумусовым торфяным почвам тундры (Лисицын, 2001). Однако, несмотря на это, распределение АУВ на разрезе Северная Двина – Белое море соответствует трем областям работы маргинального фильтра. В первой - гравитационной области ($S=0.01-0.10\%$), происходит основное осаждение крупнодисперсных фракций, а с ними АУВ и ПАУ; здесь выводится из толщи воды основная часть антропогенных УВ. Во второй области физико-химической ($S=0.1-5.0\%$), при флокуляции и коагуляции происходят основные процессы сорбции и десорбции УВ. В третьей, внешней биологической области ($S=5-17\%$) наблюдается увеличение концентраций УВ.

Для ПАУ также характерна минимальная разница в концентрациях между устьевым и периферийным районами Двинского залива: для растворенной формы соответственно 12.0 нг/л и 11.2 нг/л. В устье Северной Двины зафиксировано максимальное содержание пирогенных полиаренов – пирена (П) и бенз(а)пирена (БП): 3.85 нг/л; 32% от ΣПАУ, при максимальных величинах отношения пирогенных полиаренов пирена и бенз(а)пирена к полиаренам геохимического фона – фенантрону (Ф) и хризену (ХР): $(П+БП)/(Ф+ХР)=0.86$. Изменение суммарной концентрации ПАУ в области маргинального фильтра происходит в большей степени за счет пирогенных полиаренов, которые сорбируются на взвеси и выпадают в зоне смешения.

Обогащение внешней зоны маргинального фильтра АУВ можно считать вполне закономерным, так как фитопланктон и микроорганизмы синтезируют именно этот класс УВ. Напротив, увеличение концентраций ПАУ оказалось неожиданным, так как в последнее время все больше склонялись к тому, что они не синтезируются морскими организмами. Однако рост содержания полиаренов в морской части маргинального фильтра был установлен также в устьевых областях Оби и Енисея (Fernandes, Sicre, 1999). Последнее наблюдение особенно ценно, так как получено не только в устьевых областях разных рек, но и в разных лабораториях и различными методами (ГХ-МС, ВЭЖХ).

В крупных взвесах, собранных сетью Джеди (размер ячейки 50 μm) и сепаратором концентрации органических соединений значительно различались не только между собой, но даже в одном районе. В сепарационной взвеси, при сборе которой происходит гравитационное воздействие на вещество, кон-

центрации всех изучаемых соединений были ниже, по сравнению со взвесью, собранной сетью Джеди, и в пересчете на сухую массу изменялось в интервале: 48.8–172 мг/г для $C_{орг}$, 2.56–40.45 мг/г для липидов и 1.43–9.18 мг/г для АУВ и 94–7687 нг/г для ПАУ. Среди изучаемых органических соединений в сепарационной взвеси наиболее резко изменялись концентрации и состав полиаренов. Их величины резко уменьшались при переходе от Двинского (6460-7686 нг/г) и Кандалакшского заливов (2147 нг/г) в открытую часть моря (94-103 нг/г). В составе ПАУ взвеси (Рис. 1), так же, как и в воде в районе Архангельска возрастала доля пирогенных соединений и отношение $(П+БП)/(Ф+ХР)>1$. Примечательно, что и в Балтийском море также происходило увеличение не только концентраций полиаренов во взвеси, но и в их составе периконденсированных гомологов.

Связь между источниками органических соединений в сепарационной взвеси отражают коэффициенты корреляции, которые уменьшались в последовательности: $r(C_{орг}-\text{липиды})=0.88 > r(\text{липиды}-\text{АУВ})=0.86 > r(C_{орг}-\text{АУВ})=0.81 > r(\text{АУВ}-\text{ПАУ})=0.40 > r(\text{липиды}-\text{ПАУ})=0.27 > r(C_{орг}-\text{ПАУ})=0.18$. В результате естественных процессов синтеза и круговорота ОБ в морскую среду поступают в основном липиды и АУВ. ПАУ являются микрокомпонентами липидной фракции, и их содержание в растительных тканях незначительно. Нефтяные утечки (аварии, судоходство и т.д.) приводят к в большей степени увеличению концентраций АУВ, по сравнению с ПАУ, так как их содержание в нефтях мало: от 10^{-3} до $10^{-1}\%$, а бенз(а)пирена - от 250 до 8050 нг/г. Основным источником ПАУ считаются аэрозольные выпадения из атмосферы (Fernandes, Sicre, 1999; Немировская, 2001). Кроме того, на их состав оказывает влияние терригенное поступление, так как отношение $\text{перилен}/\Sigma\text{ПАУ}$ имеет максимальную величину в устье Северной Двины. Видимо, поэтому наблюдается снижение коэффициентов корреляции между ПАУ и другими органическими соединениями.

В донных осадках содержание УВ варьировало также в широких пределах, что не может объясняться лишь процессами транспорта, распределения и седиментации органического материала, или различными условиями осадконакопления. Концентрации АУВ изменялись от 4.8 до 422 мкг/г, а ПАУ – от 1.2 до 140 нг/г. Коэффициент корреляции между $C_{орг}$ и АУВ для поверхностного слоя осадков Белого моря составил 0.53. Наличие общих черт в площадном распределении этих компонентов вызвано тяготением максимальных концентраций к тонкой фракции. В некоторых случаях станции находились на небольшом расстоянии одна от другой (в частности в Двинском заливе) и среда современного осадконакопления практически не менялась, однако содержание $C_{орг}$ различалось в 3.2 раз, а АУВ - в 2.5 раз. Поэтому флуктуации концентраций органических

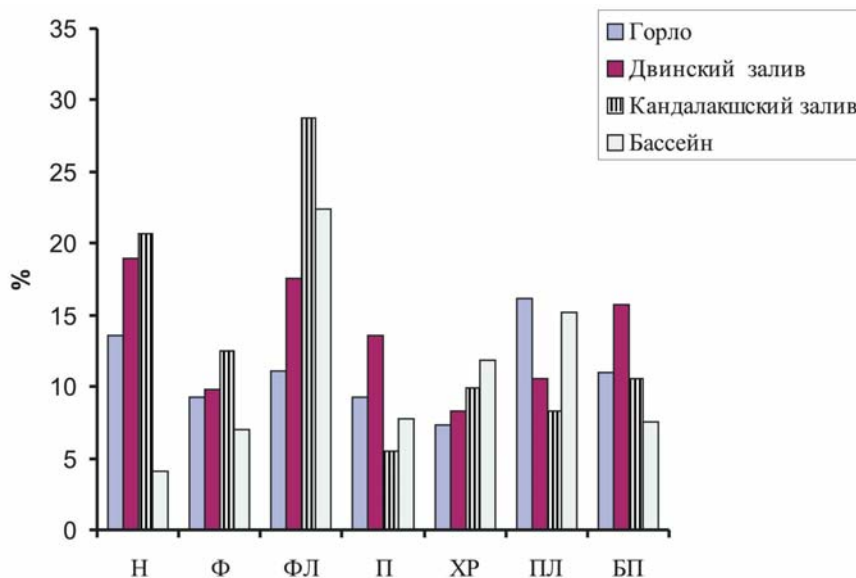


Рис. 1. Состав ПАУ во взвеси, собранной планктонной сетью

Н – нафталин, Ф – фенантрен, ФЛ – флуорантен, П – питрен, ХР – хризен, ПЛ – перилен, БП – бенз(а)пирен

соединений не могут быть связаны со слабыми литологическими изменениями донных отложений в пределах того же гранулометрического типа, а определяются различиями в массе или составе поступающего на дно ОВ, в частности с загрязнением.

В неактивных в сорбционном отношении отложениях осадках – тонкозернистых песчаных алевритов желтовато-серого или ржаво-бурого цвета, содержание было наиболее низким и практически не изменилось в течение двух лет: $C_{орг}$ – от 0.01 до 0.25%, АУВ – 5-35 мкг/г сухой массы (Рис. 2). В алевритово-пелитовых илах концентрации $C_{орг}$ (в среднем 1.6%) возрастали в большей степени, чем АУВ (в среднем 91 мкг/г). Глинистые минералы избирательно сорбируют компоненты ОВ, а восстановительные условия способствуют относительному накоплению более устойчивых АУВ, по сравнению с другими липидными фракциями. Максимальная концентрация АУВ в отличие от $C_{орг}$ наблюдалась в алеврито-пелитовом иле из Кандалакшского залива (в среднем 335 мкг/г) с максимальным количеством в составе ОВ (в среднем 1.76%). Довольно высокое содержание органических соединений установлено в песчано-илистом материале припортовой акватории Архангельска. В этом районе увеличение содержания $C_{орг}$ (в среднем 2.17%) происходит в большей степени, чем АУВ (в среднем 161 мкг/г; 0.74% от $C_{орг}$). Здесь в районе дноуглубительных работ (т.е. в месте разгрузки вод Северной Двины), очевидно, возникает депоцентр лавинной седиментации (Лисицын, 2001), где наряду с нефтепродуктами в осадки поступают неуглеводородные органические соединения от предприятий целлюлозной и бумажной промышленности Архангельска. Было установлено, что количество экстрагируемого органически связанного хлора в устьевой области Се-

верной Двины может достигать 70 мкг/г, и приурочено к осадкам с максимальным содержанием $C_{орг}$ (Троянская и др., 2002).

Концентрации алканов – $\Sigma(C_{15}-C_{40})$ в донных осадках колебались в интервале 0.8-12.3 мкг/г (2-17% от АУВ), что соответствуют их концентрациям в осадках других арктических районов (Немировская, 2004). Состав алканов как в заливах, так и в открытых районах моря указывал на преимущественно биогенный аллохтонный генезис АУВ. В большинстве проб преобладали высокомолекулярные нечетные соединения: отношение низкомолекулярных к высокомолекулярным гомологам изменялось в интервале 0.20-0.74, а значения СРІ в высокомолекулярной области – в интервале 0.8–4.7. Длинноцепочечные высокомолекулярные АУВ обладают большой устойчивостью и большей способностью к гидрофобному связыванию на границе раздела фаз вода – взвесь, по сравнению с короткоцепочечными. Эта группа алканов генетически связана с высшими травянистыми наземными растениями и водными макрофитами. Поэтому в составе алканов, выделенных из осадков станций в центральной части Двинского залива резко доминируют терригенные гомологи. Исключение представляют пробы, отобранные в устьевой части Северной Двины и в кутовой части Кандалакшского залива, где состав алканов наиболее близок к нефтяному. В глинистых осадках периферийной зоны Двинского залива в биологической области маргинального фильтра при довольно высоком содержании АУВ (86.5 мкг/г) вновь происходит увеличение доли автохтонных соединений. Видимо при сравнительно небольших глубинах происходит захоронение АУВ, состав алканов которых ближе к исходному, формирующемуся в результате биосинтеза ОВ.

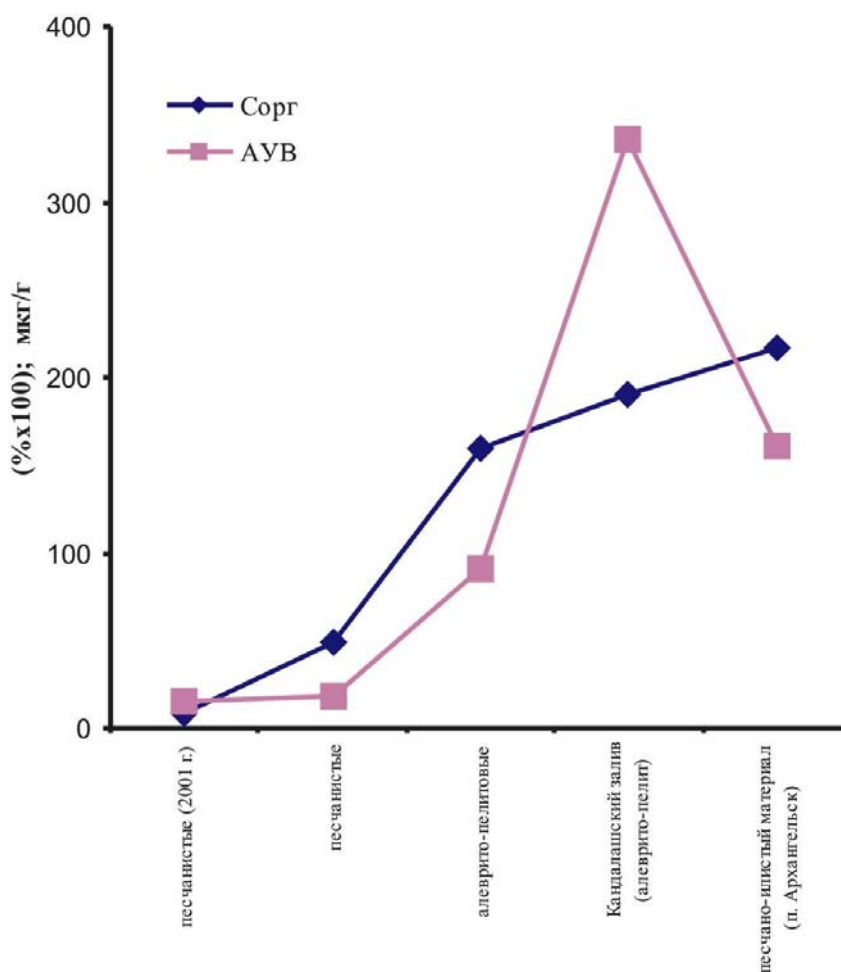


Рис. 2. Распределение Corg (%) и АУВ (мкг/г) в поверхностном слое донных осадков

Сопоставление содержания и распределения молекулярных групп ПАУ в осадках также показало их вариабельность для различных районов Белого моря (6-140 нг/г). Наиболее высокие концентрации установлены в осадках Двинского залива, где в области разгрузки вод Северной Двины суммарная концентрация ПАУ составила 140 нг/г, а на периферии залива в биологической области маргинального фильтра - 114 нг/г. Несмотря на сравнительно высокое содержание, полиарены в осадках этих станций имеют преимущественно природный генезис и величина отношения $(\text{П}+\text{БП})/(\text{Ф}+\text{ХР})$ низкая: 0.10-0.08. К доминирующим гомологам относятся перилен (ПЛ) и фенантрен. Из за повышенной доли перилена, отношение пирен/перилен имеет минимальную величину (0.19). Перилен образуется в осадках в восстановленных условиях при микробном преобразовании органических остатков, обогащенных терригенным растительным материалом. Кроме того высокие концентрации ПЛ (53% от $\Sigma\text{ПАУ}$) в Двинском заливе могут быть также обусловлены накоплением в осадках древесных отходов, так как отношение C/N здесь (>14) выше, чем в среднем для морских осадков (≈ 6) (Savinov et al., 2000). Следо-

вательно, в этом районе значительно влияние биогенной терригенной компоненты.

При переходе от верхнего окисленного к подповерхностному восстановленному слою донных осадков содержание УВ обычно уменьшалось, причем быстрее, чем ОВ. При этом возрастала доля алканов в составе АУВ, а в самих алканах снижалось содержание лабильных низкомолекулярных гомологов. Содержание ПАУ так же, как АУВ традиционно уменьшается с глубиной захоронения. Однако, в устье Северной Двины при неизменном составе донных отложений в слое 1-3 см, их концентрации оказались в 2.6 раз выше, чем на поверхности. Подобные аномалии в распределении концентраций ПАУ были отмечены ранее в донных осадках Рижского залива, в устье Дуная и в Днепро-Бугском лимане (Немировская, 2004).

Резюмируя приведенные данные можно заключить, что, во всех сферах в Белом море преобладают природные терригенные УВ, что обусловлено их большей устойчивостью, по сравнению с автохтонными и нефтяными УВ. Средний уровень АУВ в водах Белого моря (18 мкг/л) с 1993 г. (Лебедева, 2001) остался практически неизменным и сопоставим с их средними концентрациями в шельфовых

районах Мирового океана (Немировская, 2004). Основное количество антропогенных УВ, поставляемых Северной Двиной, выводится в гравитационной части маргинального фильтра. В физико-химической области фиксируются преимущественно биогенные УВ.

Взвесь представляет собой чрезвычайно динамичную форму распространения УВ в море, что объясняется, во-первых, большим сродством его состава с живым ОВ и, во-вторых, существенно большей по сравнению с морской водой биoutilizируемостью. Распределение УВ во взвесьях и их состав тесно связаны с процессами синтеза ОВ фитопланктоном, а транспорт и деградация взвешенного ОВ в седиментогенезе зависят, главным образом, от интенсивности переработки первично синтезированного ОВ зоопланктоном и микрофлорой (Лисицын, 2001). Поэтому состав УВ во взвесьях и донных осадках имеет существенные различия.

В зоне лавинной седиментации маргинального фильтра в осадки депонируются основное количество органических соединений, выносимых рекой (Gogou, Apostolaki, Stephanou, 1998). Поэтому большая часть антропогенных соединений выпадает в мелководной зоне. Кроме того, накопление антропогенных АУВ вместе с терригенными, может быть объяснено плохой сортированностью песчано-илистого материала портовой акватории Архангельска и отложений в устьевой области Северной Двины. Видимо эти процессы играют значительную роль в наблюдаемых зависимостях между концентрациями $C_{орг}$ и УВ.

Наши данные совпали с полученными ранее (в 1992 и 1993 гг.), когда при исследовании загрязнения дельты Северной Двины и Двинского также было установлено мозаичное распределение АУВ в донных осадках (Мосеева и др., 1996). Высокое содержание АУВ было отмечено в устьевой зоне (101-126 мкг/г - гравитационная часть маргинального фильтра), в центральной части залива (120-164 мкг/г в области физико-химического осаждения органических соединений), и на границе с Бассейном (135 мкг/г - биологическая зона маргинального фильтра).

Разгрузка выносов реки, приводящая к снижению концентраций ПАУ в водной толще, сопровождается изменением их состава: повышается доля фенантрена на фоне снижения относительных концентраций пирена и флуорантена. Близкая картина распределения молекулярных масс полиаренов была отмечена в осадках Рижского и Финского заливов Балтийского моря (Немировская, 2004). Следовательно, после прохождения маргинального фильтра происходит стабилизация состава ПАУ в поверхно-

стном слое донных осадков вне зависимости от их первоначальных источников.

В области лавинной седиментации маргинального фильтра наблюдается увеличение концентраций полиаренов в подповерхностном слое донных осадков, что обусловлено повышенным потоком антропогенных ПАУ в донные осадки в 50-тые годы. К настоящему времени произошло снижение эмиссии ПАУ за счет мер, ограничивающих промышленные выбросы и открытое сжигание, а также из-за уменьшения использования угля. Примечательно, что наиболее резко в этих осадках увеличивалось содержание бенз(а)пирена. Однако его концентрации (0.2-4.1 нг/г) значительно ниже величины ПДК (20 нг/г) и его доля в составе ПАУ не превысила 6.3%. В этих же пределах (0.3-4.2 нг/г) изменялось содержание бенз(а)пирена в донных осадках Двинского залива в 1993 г. (Мосеева, 1996).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 02-05-62080; 03-05-64505); НШ-1940.2003.5; проекты «Наночастицы во внутренних и внешних сферах Земли», «LOIRA».

Литература

- Лебедева Е.С. 2001. Загрязнение шельфа морей России нефтяными углеводородами и пестицидами // В кн.: Геоэкология шельфа и берегов морей России. М.: Ноосфера. С. 289-327.
- Лисицын А.П. 2001. Нерешенные проблемы океанологии Арктики. В кн.: Опыт системных исследований в Арктике. М.: Научный Мир. С. 31-74.
- Мосеева Д.П., Троянская А.Ф., Богданович Л.М. и др. 1996. Углеводороды в донных отложениях Двинского залива Белого моря // В кн.: Экологические проблемы Европейского Севера. Екатеринбург. С. 130-146.
- Немировская И.А. 2004. Углеводороды в океане (снег-лед-вода-донные осадки) М.: Научный Мир, 2004. 328 с.
- Троянская А.Ф., Рубцова Н.А., Пунанцева Е.А. и др. 2002. Состав и распределение устойчивых хлорорганических соединений в устьях Северных рек // Экология северных территорий России. Проблемы, прогноз, ситуации, пути развития, решения. Архангельск: 2002. Т. 1. С. 572-575.
- Fernandes M.B., Sicre M.A. 1999. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the Arctic: Ob and Yenisei Estuaries and Kara Sea Shelf // Estuarine, Coastal and Shelf Science. V. 48. P. 725-737.
- Gogou A. I., Apostolaki M., Stephanou E.G. 1998. Determination of organic molecular markers in marine aerosols and sediments: one-step flash chromatography compound class fractionation and capillary gas chromatographic analysis // J. Chromatography. V. 799. P. 215-231.
- Savinov V.M., Savinova T.M., Carrol J., Naes N., Matishov G.G. 2000. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in sediments of the White Sea, Russia // Mar. Poll. Bull. V.40. № 10. P. 807-818.

Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря.
Материалы IX международной конференции
11-14 октября 2004 г., Петрозаводск, Карелия, Россия
Петрозаводск, 2005. С. 249-252.

О НЕКОТОРЫХ АСПЕКТАХ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ РЫБ

Д.С. ПАВЛОВ, Г.Г. НОВИКОВ, А.Н. СТРОГАНОВ

Биологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

Развитие аквакультуры требует хорошо проработанной технологической базы на фоне скрупулезного подбора объектов культивирования и применения интенсификационных технологий, направленных на повышение выживаемости и увеличение продуктивности объектов культивирования.

На кафедре ихтиологии Биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова более двух десятилетий проводятся работы, направленные на оптимизацию методов культивирования хозяйственно ценных видов рыб. Опыт показал, что эксплуатация потенциала экологических методов управления развитием рыб дает возможности как для исследования фундаментальных проблем трансформации вещества и энергии в раннем онтогенезе рыб, так и для решения ряда практических задач, начиная с методов определения перспективных объектов для разведения и заканчивая, выработкой конкретных режимов воздействия экологическими факторами, позволяющими, в конечном счете, получать особей с прогнозируемыми морфофизиологическими параметрами в определенные сроки.

D.S. Pavlov, G.G. Novikov & A.N. Stroganov. On some aspects of ecological methods of management of fish growth and development // 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. 249-252.

In modern aquaculture the biotechnology of management of fish growth and development has a big value, which increases from year to year.

The research on the optimization and elaboration of fish cultivation technologies have been carrying out at the Department Ichthyology, Moscow State University for more than twenty years. The obtained results have shown that the manipulating by ecological methods gives possibilities to select promising for aquaculture objects, modernize traditional technologies and construct new technologies to get fishes with respective morphological and physiological characteristics within defined time period.

Европейский Север России - как исторически сложившийся центр судоходства и рыболовства, характеризуется рядом особенностей, являющихся следствием взаимодействия суммы факторов от природно-климатических до экономических и социально-политических, оказывающих особое влияние на пути и перспективы развития рыбного хозяйства. Рыбный промысел в беломорском регионе вплоть до первой трети XX века, в силу отсутствия развитой инфраструктуры, прежде всего, обеспечивал нужды местного населения. При этом с давних времен населением осуществлялся (говоря современным языком) комплексный подход в хозяйственной деятельности: развивался промысел водорослей, трески, сельди, морского зверя и др. Такая, не акцентированная на отдельные объекты, аквакультура имеет целый ряд положительных характеристик и, в том числе: распределение воздействия промысла на широкий спектр объектов; обеспечение высокого уровня получения валовой продукции и др. Реализация и развитие этого, по сути своей, экстенсивного, но выгодного, в том числе и с экологической точки зрения, способа ведения хозяйства, уже в настоящее время дала в ряде стран мира очень хорошие результаты.

Таким образом, опираясь на исторический опыт, учитывая недостаточность развития на российском Севере инфраструктуры и невысокую, по сравнению с североевропейскими государствами, энерговооруженность труда, прогресс марикультуры на европейском севере России, и, в частности, в беломорском регионе, наиболее лучшие возможности имеет, видимо, на основе комплексного использования природных ресурсов – по принципу создания поликультурных хозяйств.

Успешное, особенно с экономической точки зрения, развитие поликультурных хозяйств, однако, требует достаточно хорошо проработанной технологической базы на фоне скрупулезного подбора объектов культивирования. Более того, в рыночной среде экономическая эффективность является основой существования и развития инновационных проектов, в связи с чем развитие и расширение марикультуры возможно только при условии применения интенсификационных технологий, направленных на повышение выживаемости и увеличение продуктивности объектов культивирования.

На кафедре ихтиологии Биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова более двух де-

сятилетий проводятся работы, направленные на оптимизацию методов культивирования хозяйственно ценных видов рыб, как традиционных, так и новых объектов рыбоводства (лососевые, осетровые, карповые, тресковые и др.). Выполненные исследования наиболее подробно рассматривают ранний период онтогенеза рыб и развивают идеи, заложенные в фундаментальных трудах классиков советской эмбриологической школы: В.В. Васнецова (Васнецов, 1953), С.Г. Крыжановского (Крыжановский, 1948, 1950), С.Г. Соина (Соин, 1968).

Результаты проведенных работ показали, что определение адаптивных возможностей и устойчивости к условиям среды на отдельных этапах онтогенеза открывает пути направленного воздействия экологическими факторами на морфогенетические и метаболические процессы у рыб. Так, например, основываясь на результатах исследования темпа потребления кислорода при разных температурных режимах (при полной акклимации и кратковременной адаптации к температуре) с контролем выживаемости и аномалий, для семги было показано, что диапазон устойчивости от оплодотворения до начала органогенеза ограничен температурами от 1°C до 8°C, а начиная с середины этапа органогенеза и до этапа печеночно-желточного кровообращения нормальное развитие икры возможно при постепенном повышении верхнего предела от 8°C до 14°C. В дальнейшем 14°C остается верхней границей диапазона вплоть до вылупления, при этом нижняя граница температурного диапазона поднимается к этапу вылупления от 1°C до 2°C. Таким образом, в процессе эмбрионального развития семги наблюдается постепенное (начиная с этапа «органогенеза») расширение диапазона устойчивости к температурному фактору в сторону более высоких температур, и на последних этапах развития, длительность которых составляет почти 50% общей продолжительности эмбриогенеза, возможно использование температур (12-14°C), при которых никогда не происходит эмбриональное развитие икры данного вида в природных условиях (Новиков, 1981; Новиков, Строганов, 1992; Строганов, 1987). Результаты проведенных исследований легли в основу создания технологий инкубации икры семги с дискретным температурным режимом в рамках выявленного полигона устойчивости и основанной на последовательном изменении температуры на определенных этапах эмбриогенеза.

Интересно отметить, что феномен изменения диапазона устойчивости эмбрионов в ходе развития у лососей продемонстрирован и в работах Ю.Н.Городилова (Городилов, 2003; Городилов, Мельникова, 2003): горбуша во второй половине эмбрионального развития (практически на тех же стадиях, что и семга) расширяла нижний предел толерантных температур с 10°C до 3-4°C. То есть в данном случае, наблюдая общие тенденции расширения устойчивости к температурному фактору в

ходе эмбриогенеза, мы сталкиваемся с видоспецифичностью приспособления к изменяющимся условиям обитания у различных видов лососевых.

Определение границ толерантности эффективно можно проводить на основе анализа комплекса морфо-физиологических параметров (температура роста, динамика ферментативной активности, энергетический обмен и др.) исследуемого объекта. В ходе исследований ряда видов рыб был разработан способ определения устойчивости организма к факторам среды (Новиков и др., 1984), позволяющий в более короткое время, с использованием небольшого количества экспериментального материала исследовать морфо-функциональные особенности развития нужного объекта, и затем, основываясь на полученных данных, подбирать различные режимы воздействия факторов. Применяя разработанные режимы, можно, например, сократить срок зародышевого развития семги со 180 до 45 суток, повысить выживаемость, увеличить на 30% массу и др.

Зная закономерности влияния факторов среды, в частности температуры, на характер роста, эффективность использования запасных веществ желтка и динамику энергетических затрат в процессе развития рыб, на ранних этапах онтогенеза появляется возможность как регуляции развития (т.е. управления развитием и ростом и, соответственно, выбора режимов инкубации икры и подращивания молоди рыб с целью получения особей не только в заранее планируемые сроки, но и с заданными морфо-функциональными параметрами), так и проведения сравнительных оценок. Используя модифицированные для эмбрионально-личиночного развития: балансовое уравнение Г.Г. Винберга (Винберг, 1956) и коэффициенты использования запасных веществ В.С. Ивлева (Ивлев, 1939, 1954), было проведено сопоставление показателей эффективности расходования запасных веществ у эмбрионов рыб, представляющих различные экологические группы (Табл. 1). Полученные значения «K₂» (эффективность использования метаболизированной энергии резорбированных запасных веществ на рост) показывают, что треска демонстрирует несколько более высокие значения коэффициента по сравнению с другими исследованными видами, несмотря на флуктуации абиотических факторов (температура, соленость) (Куфтина, Новиков, 1986; Строганов, 1987; Новиков, 2000). Таким образом, для целей аквакультуры беломорская треска может быть признана выгодным объектом с точки зрения эффективности использования на рост запасов эндогенного материала.

Нужно отметить, что более высокая эффективность, продемонстрированная для трески не случайна, а является, видимо, следствием того, что треска, как представитель пелагофильной группы, развитие икры которой проходит в благоприятных кислородных условиях и не требует формирования специальных провизорных органов дыхания (Строганов, Но-

виков, 2001), имеет возможность, вследствие этого, дополнительную часть эндогенных питательных ресурсов желточного мешка (по сравнению, например, с литофилами) использовать на рост.

Показатели соотношения валовой продукции в добывающем и «культивирующем» секторах рыбохозяйственной отрасли в мире в последние десятилетия свидетельствуют о том, что идет процесс перехода от рыболовства к аквакультуре. Многовековой опыт развития животноводства показывает, что важным и неперенным аспектом повышения продуктивности является селекционная работа, для проведения которой более предпочтительными являются виды, характеризующиеся высокой генетической изменчивостью, показателями которой, в том числе, являются степень полиморфизма и уровень гетерозиготности. Проведенные на беломорской треске работы (Карпов и др., 1984; Новиков и др., 2002) позволили характеризовать ее как объект, потенциально перспективный для селекции, так как степень полиморфизма, оцененная по изучавшимся

белковым системам: фосфоглюкомутаза (PGM), α -глицерофосфатдегидрогеназа (AGP), фосфоглюкоизомераза (PGI-1 и PGI-2), изоцитратдегидрогеназа (IDH), лактатдегидрогеназа (LDH) в выборках 1999 и 2000 гг. имела высокие значения: 0,83 и 1,00, соответственно. Средний уровень гетерозиготности также характеризовался высокими значениями в исследованных выборках (Табл. 2).

Таким образом, эксплуатируя различные возможности экологических методов управления развитием рыб мы получаем инструментарий, открывающий широкие возможности как для исследования фундаментальных проблем трансформации вещества и энергии в раннем онтогенезе рыб, так и для решения ряда практических задач, начиная с методов определения перспективных объектов для разведения, и, заканчивая, выработкой конкретных режимов воздействия экологическими факторами, позволяющими, в конечном счете, получать особей с прогнозируемыми морфо-физиологическими параметрами в контролируемые сроки.

Таблица 1. Эффективность использования метаболизированной энергии резорбированных запасных веществ на рост («К₂») у исследованных видов рыб (за время развития от оплодотворения до вылупления)

Вид	Условия развития		«К ₂ »
Радужная форель	3,2° C	0‰	0,52
Радужная форель	11,7° C	0‰	0,55
Белорыбица	2,05 °C	0‰	0,45
Семга	8,7 °C	4‰	0,58
Семга	3,5 °C	0‰	0,56
Пинагор	8,5 °C	24‰	0,56
Пинагор	10,0 °C	24‰	0,42
Треска	5,0 °C	24‰	0,63

Таблица 2. Значения гетерозиготности в выборках беломорской трески

Ферментные системы	Гетерозиготность %	
	Выборка 1999 г. N =102	Выборка 2000 г. N =99
PGM	0	12,12
AGP	4,90	10,10
PGI-1	50,0	45,45
PGI-2	2,94	1,01
IDH	0,98	1,01
LDH	33,33	38,38
Среднее значение	15,36	18,01

Литература

- Васнецов В.В. 1953. Этапы развития костистых рыб // В кн.: Очерки по общим вопросам ихтиологии. М.-Л.: АН СССР. С. 207-217.
- Винберг Г.Г. 1956. Интенсивность обмена и пищевые потребности рыб. Минск: БГУ. 254 с.
- Городилов Ю.Н. 2003. О проблеме интродукции тихоокеанских лососей в моря Европейской части России// Вестник СПбГУ. Сер.3, вып. 4. С. 57-63.

- Городилов Ю.Н., Мельникова Е.Л. 2003. Сравнение раннего онтогенеза между лососями атлантических (род *Salmo*) и тихоокеанских (род *Oncorhynchus*) видов.// В кн.: Атлантический лосось: биология, охрана и воспроизводство. Петрозаводск: Пакони. С. 123-135.
- Ивлев В.С. 1939. Энергетический баланс карпов// Зоол. журн. Т.18, вып.2. С. 303-318.
- Ивлев В.С. 1954. Зависимость интенсивности обмена у рыб от веса их тела// Физиол. журн. Т.40, № 6. С. 717-721.

- Карпов А.К., Осипов А.Г., Новиков Г.Г. 1984. Треска *Gadus morhua* (L.) Белого моря, изменчивость по белковым структурам // Вопросы ихтиологии. Том 24, вып. 4. С. 551-560.
- Крыжановский С.Г. 1948. Экологические группы и закономерности их развития // Изв. ТИНРО. Т.27. С. 3-114.
- Крыжановский С.Г. 1950. Теоретические основы эмбриологии // В кн.: Успехи современной биологии. М.-Л.: АН СССР. Т.30, вып.3(6). С. 382-413.
- Куфтина Н.Д., Новиков Г.Г. 1986. Особенности роста зародыша и закономерности утилизации запасного белка желтка в раннем онтогенезе трески *Gadus morhua* L. при разных температурах развития // Вopr. ихтиол. Т.26, вып.4. С. 646-657.
- Новиков Г.Г. 1981. Способ инкубации икры лососевых рыб. Авторское свидетельство №818580. С. 1-5.
- Новиков Г.Г. 2000. Рост и энергетика развития костистых рыб в раннем онтогенезе. М.: Эдиториал УРСС. 296 с.
- Новиков Г.Г., Строганов А.Н., Павлов Д.А., Куфтина Н.Д., Зайцева И.И., Махотин В.В., Тимейко В.Н. 1984. Способ определения оптимальных режимов инкубации икры и/или выращивания личинок рыб. Авторское свидетельство №1253551. С. 1-13.
- Новиков Г.Г., Строганов А.Н. 1992. Об экологических методах управления развитием и принципах создания биотехнологий искусственного воспроизводства костистых рыб // В сб.: «Лососевые: разведение и выращивание». Рыбн.хоз., сер.: Аквакультура. Информ. пакет ВНИЭРХ. Вып. 1. С. 11-30.
- Новиков Г.Г., Строганов А.Н., Зюзина М.А. 2002. О сходстве и различиях трески Белого и Баренцева морей // Труды Беломорской биологической станции МГУ им. Н.А. Перцова. М.: Изд. Русский университет. Т.8. С. 154-164.
- Соин С.Г. 1968. Приспособительные особенности развития рыб. М.: МГУ. 89с.
- Строганов А.Н. 1987. Закономерности изменения потребления кислорода и особенности энергетического обмена у некоторых видов рыб на ранних этапах онтогенеза при различных значениях абиотических факторов. Дисс. ... канд. биол. наук. М.: МГУ. 151с.
- Строганов А.Н., Новиков Г.Г. 2001. Особенности становления дыхательной функции в раннем онтогенезе костистых рыб // В кн.: Экологические проблемы онтогенеза рыб: физиолого-биохимические процессы. М.: МГУ. С. 20-30.

Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря.
Материалы IX международной конференции
11-14 октября 2004 г., Петрозаводск, Карелия, Россия
Петрозаводск, 2005. С. 253-257.

О ПИТАНИИ И СУТОЧНОМ РАЦИОНЕ ТРЕСКИ БЕЛОГО МОРЯ *GADUS MORHUA MARISALBI* DERJUGIN

Л.В. ПАРУХИНА

Северное отделение Полярного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии (СевПИРО), Архангельск

На основе сборов с двух суточных станций, выполненных у Карельского берега Белого моря в июле 1986 г. были рассчитаны суточные рационы беломорской трески. В районе Сонострова треска питалась в основном полихетами, рыбой и икрой рыб. Суточный рацион, рассчитанный по индексу напоя желудка для трески средней длины 25 см составлял 2,4% от массы тела (рассчитанный по фактической массе пищи – 3,38%). В районе пролива Великая Салма треска в основном потребляла полихет и ракообразных. Суточный рацион в этом районе составлял 3,4% от массы тела (рассчитанный по фактической массе пищи – 3,15%) для рыбы средней длиной 22,5 см.

Проведен сравнительный анализ питания трески в районе Сонострова в июне и июле 1986 г. Представлены данные по рациону и интенсивности питания сеголеток длиной 3,8-9,9 см в губе Жемчужная Кандалакшского залива в августе 1996 г.

L.V. Paruhina. Feeding and daily ration of the White Sea cod *Gadus morhua marisalbi* Derjugin // 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. 253-257.

Based on data of two daily stations carried out near Karelian shore of the White Sea in July 1986 daily rations of the White Sea cod are calculated. In the region of Sonostrov cod fed mainly on Polychaeta, fish and fish eggs. Daily ration calculated with the indices of fullness for cod having average length 25,0 cm made up 2,4% of the body weight (calculated with the weight of food – 3,38%). In Velikaya Salma cod consumed Polychaeta and Crustacea. Daily ration in this region amounted to 3,3% of the body weight (3,15% with the weight of food) for fish 22,5 cm in average length.

Comparative assessment of cod feeding in the region of Sonostrov in June and July 1986 is given. Data on diet and intensity of food consumption by one-summer old cod 3,8-9,9 cm in length in the Zhemchuzhnaya inlet of Kandalaksha Bay in August 1996 are presented.

Треска не относится к основным промысловым рыбам Белого моря, однако как объект рыболовства имеет большое значение для местного населения. Считается, что запасы ее недоиспользуются. Уловы этого вида сильно меняются по годам, что связано как с организацией промысла, так и с колебаниями количества трески в прибрежных водах, где в основном ее и промышляют. Известно, что численность рыб зависит от разных причин, например, выживания на ранних стадиях развития, и ряда других, многие из которых до конца невыяснены. Важнейшим фактором, оказывающим влияние на состояние популяции, является обеспеченность пищей. Особое внимание при изучении питания уделяется получению данных, характеризующих количественную его сторону и позволяющих оценить пищевые потребности рыб. К числу таких показателей относятся величины суточных рационов.

В настоящей работе представлены результаты расчетов суточных рационов беломорской трески *Gadus morhua marisalbi* Derjugin, 1920 в июле, в период летнего откорма. Материалом послужили сборы с двух суточных станций, выполненных у Ка-

рельского берега Белого моря летом 1986 г.: в районе Сонострова 18-19 июля и в проливе Великая Салма 27-28 июля. Пробы отбирались через равные промежутки времени - 4 часа. Орудие лова – донная удочка, применявшаяся и ранее для отбора проб на питание (Извекова, 1964). Всего в ходе суточных станций исследовано содержимое желудков у 317 экземпляров трески. Кроме того, проанализировано питание еще у 212 экземпляров, собранных у Сонострова в июне-июле 1986 гг., а также у 31 сеголетка из губы Жемчужной Кандалакшского залива. Сеголетки были пойманы мальковым неводом в августе 1996 г. Материал по питанию отбирали после биологического анализа и обрабатывали по общепринятой методике: устанавливали общую массу содержимого желудка и отдельных компонентов пищи, высчитывали индекс наполнения. Значение отдельных видов и групп в питании трески оценивали в процентах по массе и по частоте встречаемости (Методическое пособие..., 1974). Организмы, обнаруженные в желудках, определялись по возможности до вида. Для расчета суточного рациона использовали метод Г.П. Романовой (1958), усовершенствованный А.В. Коган

(1963) и модифицированный М.И. Тарвердиевой (1982). Согласно этому методу, величина суточного рациона вычисляется как сумма потребленной в течение суток пищи с учетом переваривания, скорость которого устанавливается по спаду в питании.

В пробах преобладала треска в возрасте 3 (66,5%) и 4 лет (19,3%), рыба возраста 2 и 5 лет встречалась реже – 7,2 и 5,3% соответственно, особей старших возрастов было немного – 1,7%. Суточный рацион рассчитывался для наиболее массово представленной в уловах трески – 3 и 4 лет, средней длиной у Сонострова 25,0 см, в проливе Великая Салма – 22,5 см.

Беломорская треска имеет широкий спектр питания, включающий до 79 видов животных (Извекова, 1964). В наших пробах мы обнаружили 46 компонентов питания. Потребляемые организмы относятся в основном к трем группам: рыбы, ракообразные и многощетинковые черви. В небольших количествах встречаются в желудках также иглокожие, моллюски, асцидии, голотурии и водоросли. Молодь трески, как и большинства других видов рыб, питается преимущественно зоопланктоном – рачками из группы *Copepoda*, такими как *Harpacticus* sp., а также представителями *Amphipoda*, *Mysidacea*, личинками *Decapoda* (Сонина, 1957; Извекова, 1964). Так, по нашим данным, сеголетки длиной от 3,8 до 9,9 см в губе Жемчужной в августе 1996 г. активно поедали *Pseudocalanus minutus*, преобладающий в тот период в зоопланктоне. В пищевом комке встречались также рачки *Harpacticus* sp. и *Amphipoda*. Индекс наполнения желудка в среднем составлял 299,4‰, а максимальный – 3083,3‰ отмечен у сеголетка длиной 4,9 см, желудок которого был набит исключительно *Pseudocalanus minutus*.

Подрастая, треска переходит на питание бентосом и рыбой, причем с возрастом и ростом увеличивается доля рыбного питания, а значение ракообразных и многощетинковых червей падает (Кудерский, 1966; Каспирович, Попова, 1968). Эта тенденция

четко прослеживается и в наших материалах (Рис. 1): если у двух-трехгодовиков рыба отмечалась в желудках 9-10% особей, то в возрасте шести лет и старше – у 44,5%, еще столько же (44,4%) потребляли икру рыб. Количество трески, питающейся полихетами, уменьшилось с 76,3% у двухгодовиков до 33,3% у рыб старших возрастов, а ракообразными – с 63,2 до 22,2% соответственно.

В районе Сонострова мы имели возможность сравнить характер питания трески в июне (82 желудка), и в июле (242 желудка, включая данные суточной станции). В июне откорм шел интенсивно, на что указывают высокие индексы наполнения желудков – в среднем 194,2‰, и небольшое количество среди них пустых – 1,2% (Рис. 2). По массе на первом месте среди объектов питания была рыба (69,9%), прежде всего сельдь, в меньшей степени навага, бычок, маслюк и молодь разных видов. Трехиглая колюшка, которой обычно предпочитает питаться треска в этот период, в желудках отсутствовала. Вероятно, в 1986 г. не было массовых скоплений этой мелкой рыбы у берега. Ракообразные и полихеты имели примерно равное значение – доля их по массе в пищевом комке составляла 11,6 и 11,1% соответственно.

В июле интенсивность питания трески понизилась. Средний индекс наполнения составил 116,8‰, а количество пустых желудков возросло до 7,8%. Потребление рыбы сократилось до 18,4%. Количество сельди в желудках уменьшилось, к перечисленным выше видам добавились песчанка и камбала. Полихеты поедались активнее всего – 45,9% по массе, а количество ракообразных осталось практически на том же уровне, что и в июне – 14,4%. Существенную роль в питании трески в июле играла икра пинагора – 17,3%. Эта рыба откладывает довольно крупную, до 2,5 мм в диаметре, икру в мелководной зоне в июне-первой половине июля, располагая ее на дне кучками.

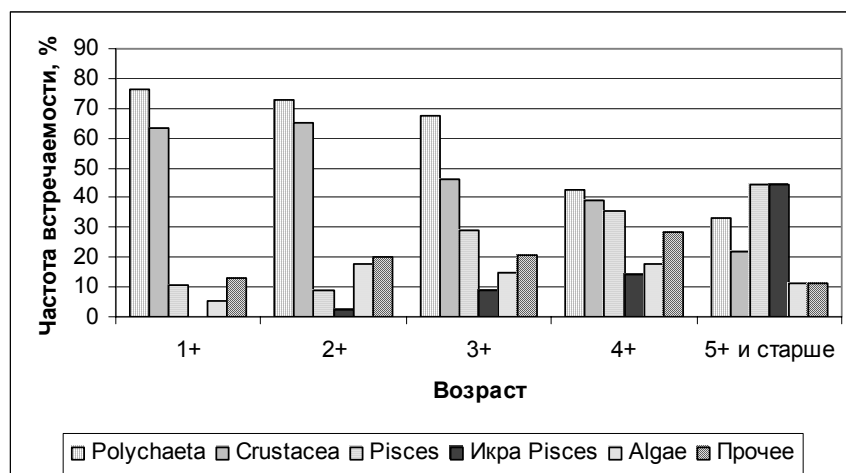


Рис. 1. Изменение состава пищи трески с возрастом. Белое море, лето 1986 г. (% по частоте встречаемости)

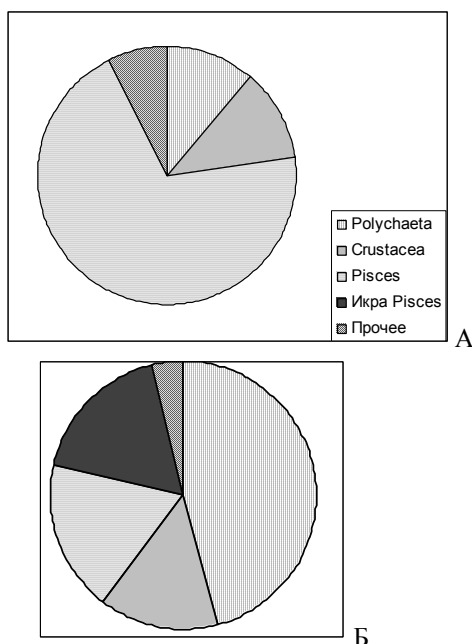


Рис. 2. Характер питания трески в июне (А) и июле (Б) в районе Сонострова, 1986 г.

Снижение интенсивности питания трески в июле обусловлено, по мнению ряда авторов, ухудшением условий ее откорма в этом месяце. В первую очередь это связано с уходом от берега основного компонента питания – колюшки, а также с особенностями жизненных циклов массовых видов кормового бентоса. Определенную роль, вероятно, играет также физиологическое состояние трески. Известно, что интенсивность питания в значительной степени зависит от количества жира, израсходованного в предыдущий период жизни: рыба, у которой его запас исчерпан и содержание в организме невысоко, питается активнее, чем более жирная. Минимальное содержание жира у беломорской трески, как было показано Н.П. Макаровой (1966), наблюдается в мае-июне. Усиленно откармливаясь в этот период, особенно в июне, треска к июлю частично восстанавливает жировые запасы. Возможно, это также является одной из причин последующего уменьшения интенсивности ее питания.

Процесс накопления жира у трески Белого моря занимает 3-4 месяца, заканчиваясь в сентябре, и в июле, несмотря на некоторое понижение, активность ее питания высока.

На суточной станции в районе Сонострова 18-19 июля средний индекс наполнения составил 127,7‰, а количество пустых желудков – 3,5%. В течение суток здесь зарегистрировано два максимума в питании трески – в 02.00 часа (181,3‰) и в 14.00 часов (152,0‰), минимум (83,0‰) отмечен в 10.00 часов (Рис. 3). Наблюдается тесная взаимосвязь ритма питания и приливо-отливной волны.

По двум спадам питания, с 14.00 до 18.00 и с 06.00 до 10.00, была определена скорость переваривания пищи: в среднем она составила 1,265 г. пищи, 35,1‰ за 4 часа. Суточный рацион для трески средней длиной 25,0 см и массой 226,4 г был рассчитан нами ранее по фактической массе пищи (Гнетнева, 1988). В настоящей работе мы произвели расчет рационов и по индексам наполнения желудков. Эти величины не совпали: в первом случае рацион оказался равен 3,38%, во втором – 2,4% от массы тела рыбы. Различие вызвано некоторым разбросом в размерах трески, взятой на анализ. Использование фактической массы пищи оправданно, вероятно, лишь для очень однородного материала, что не всегда достижимо. Расчет рационов по индексу наполнения желудков как показателю накормленности рыб позволяет избежать возможных искажений и во многих случаях дает более верные результаты.

На второй суточной станции, выполненной в проливе Великая Салма 27-28 июля, среднесуточный индекс наполнения составил 115,1‰, а количество пустых желудков – 4,4%. Откорм трески в этом районе происходил несколько иначе: с 16.00 до 20.00 часов интенсивность питания возросла (115,3‰) и до 00.00 часов держалась на одном уровне, затем вновь увеличилась и достигла максимума в 08.00 часов утра (140,6‰). Далее наступил спад, индексы наполнения снизились и в 16.00 часов имели минимальные величины (81,5‰) (Рис. 4). Максимальный индекс наполнения в этом районе был ниже, чем на первой станции (140,6 и 181,3‰ соответственно). Два периода повышения интенсивности

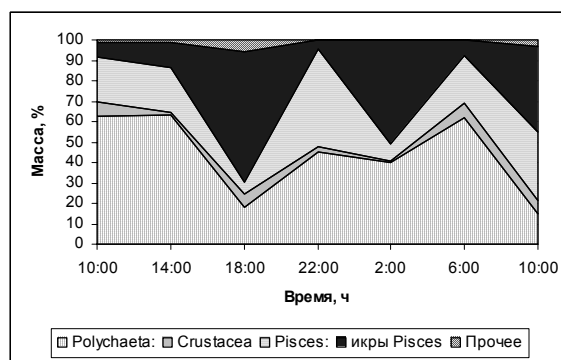
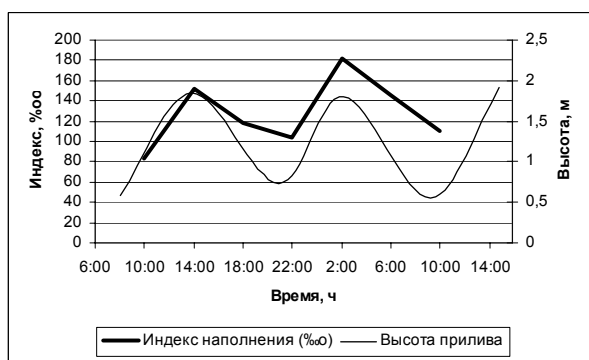


Рис. 3. Суточный ход питания в районе Сонострова:

А – общий индекс наполнения желудка, ‰ (1), приливо-отливная волна (2); Б – состав пищи (в % по массе)

питания в течение суток, отчетливо выраженные у Сонострова, в проливе Великая Салма следовали один за другим, фактически объединяясь в один.

Скорость переваривания пищи в Великой Салме, вычисленная по спаду питания 08.00 до 12.00 часов, была выше, чем у Сонострова – 56,6‰ за 4 часа. Суточный рацион, рассчитанный по индексу наполнения составил 3,3% от массы тела (при расчете по массе пищи он равен 3,15%). Средняя длина трески в этом районе 22,5 см, масса – 174,0 г.

Суточный ход питания во многом определяется условиями откорма. Состав и соотношение компо-

нентов пищи трески в проливе Великая Салма и у Сонострова несколько отличались (Табл. 1).

Это касается, прежде всего, питания рыбой и икрой рыб, а также ракообразными. У Сонострова рыба составляла четверть рациона трески (26,8% по массе). Уже в желудках двухгодовиков присутствовала молодь разных видов. Такую же долю в рационе занимала икра рыб, в основном пинагора (23,2%), которую треска потребляла только в этом районе. В Великой Салме рыбной пищи в желудках было всего 8,8%. В этом районе треска активнее питалась ракообразными (37,5% против 4,5% у Сонострова).

Таблица 1. Состав пищи беломорской трески на суточных станциях, июль 1986 г. (% по массе)

Компонент пищи	Соностров	Великая Салма
<i>Arenicola marina</i>	3,9	14,4
<i>Nereis pelagica</i>	-	3,8
<i>Nereis</i> sp.	27,0	16,6
<i>Polychaeta</i> , неопр.	12,8	12,6
Всего Polychaeta	43,7	47,4
<i>Pandalus annulicornis</i>	0,5	0,9
<i>Eualis gaimardii</i>	0,6	0,3
<i>Pandalus borealis</i>	+	+
<i>Pandalus</i> sp.	-	0,1
<i>Sclerocrangon boreas</i>	0,8	4,3
<i>Crangon crangon</i>	-	0,3
<i>Macrura natantia</i> , неопр.	0,4	1,7
<i>Mysis mixta</i>	0,3	+
<i>Mysis oculata</i>	-	0,1
<i>Mysis</i> sp.	0,1	-
<i>Hyas araneus</i>	-	0,3
<i>Caprella</i> sp.	0,8	28,4
<i>Amphipoda</i> , неопр.	1,0	1,0
<i>Crustacea</i> , неопр.	+	0,1
Всего Crustacea	4,5	37,5
<i>Clupea p. maris-albi</i>	3,0	3,2
<i>Ammodytes marinus</i>	0,6	-
<i>Pholis gunnellus</i>	2,9	2,7
<i>Pleuronectidae</i>	1,2	-
<i>Pisces</i> , juv., неопр.	+	0,1
<i>Pisces</i> , неопр.	15,5	2,8
Всего Pisces	23,2	8,8
икра <i>Cyclopterus lumpus</i>	19,7	-
икра рыб, неопр.	7,1	-
Всего икры	26,8	-
<i>Stegophiura nodosa</i>	0,2	0,4
<i>Ophiopholis aculeata</i>	0,8	-
<i>Ophiuroidea robusta</i>	-	0,2
<i>Ophiuroidea</i> sp.	0,3	0,4
Всего Ophiuroidea	1,3	1,0
<i>Mollusca</i>	-	0,1
<i>Algae</i>	+	4,2
Неопределенные остатки	0,5	1,0
Кол-во желудков, шт.	163	154
Пустые желудки, (%)	3,5	4,4
Индекс наполнения (‰)	127,7	115,1
Средняя длина, см	25,0	22,5
Средняя масса, г	226,4	174,0

Ее излюбленный пищевой объект, рачок *Caprella* sp., имеющий здесь довольно высокую численность, в июле 1986 г. составлял 28,4% от массы пищевого комка, а у Сонострова – менее 1%. Значение полихет в питании трески обоих районов было примерно одинаковым, эта группа животных составляла почти половину рациона (43,7% у Сонострова, 47,4% в Великой Салме). Имелась лишь небольшая разница по отдельным видам: в Великой Салме треска больше употребляла *Arenicola marina*, у Сонострова – представителей рода *Nereis*. Известно, что по составу пищи трески в какой-то мере можно судить о том, какие организмы преобладают в месте ее обитания, т.к. она питается в основном наиболее массовыми видами.

Ритм питания трески у Сонострова, вероятно, обусловили более стабильные условия откорма в этом районе, прежде всего наличие доступной рыбной пищи.

Таким образом, суточный рацион беломорской трески *Gadus morhua marisalbi* Derjugin, рассчитанный методом Г.П. Романовой (1958) в модификации А.В. Коган (1963) и М.И. Тарвердиевой (1982) по индексам наполнения желудка, в июле составил:

- при средней длине 22,5 см, массе 174 г. и питании преимущественно полихетами и ракообразными – 3,3% от массы тела;

- при средней длине 25,0 см, массе 226,4 г. и потреблении, помимо полихет, значительной доли рыбы и икры рыб – 2,4% от массы тела.

При изучении питания трески Белого моря несомненный интерес представляет установление суточных рационов в течение всего периода летнего откорма, особенно в июне, при более высокой интенсивности питания и лучшей обеспеченности пищей.

Важно также исследовать характер питания трески старших возрастов, предпочитающей, по видимому, держаться вдали от берегов. Основным кормом для этой группы является рыба, и выяснение взаимосвязей трески с объектами ее питания (сельдью, корюшкой, песчанкой и пр.), возможно, позволит ближе подойти к пониманию причин колебаний численности этого вида.

Следует отметить, что практически не изучено питание так называемой «осенней» формы беломорской трески, имеющей более высокий темп роста.

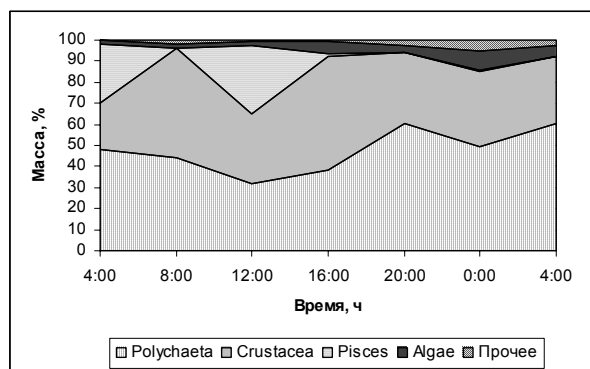
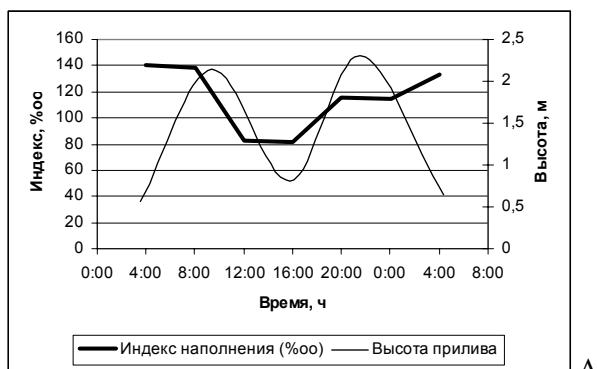


Рис. 4. Суточный ход питания в районе пролива Великая Салма (Условные обозначения как на рис. 3)

Литература

- Гнетнева Л.В. 1988. Суточный рацион и ритм питания трески Белого моря // Тез. докл. всесоюз. конф. «Питание и использование кормовой базы как элементы промыслового прогнозирования». Мурманск. С. 51-52.
- Извекова Э.И. 1964. О питании трески (*Gadus morhua maris-albi* Der.) в западной части Белого моря (Великая Салма) // Вопр. ихтиологии. Т. 4, вып. 2 (31). С. 354-364.
- Каспирович Г.А., Попова О.А. 1968. Некоторые данные о морфометрии и питании трески Белого моря // В кн.: Материалы по экологии трески Северной Атлантики. М.: Наука. С. 70-78.
- Коган А.В. 1963. О суточном рационе и ритме питания леща *Abramis brama* (L) Цимлянского водохранилища // Вопр. ихтиологии. Т. 3, вып. 2 (27). С. 319-325.
- Кудерский А.А. 1966. Изменение питания беломорской трески (*Gadus morhua maris-albi* Derjugin) в зависимости от ее размеров в связи с внутривидовыми пи-

щевыми отношениями // Вопр. ихтиологии. Т. 6, вып. 2 (39). С. 346-351.

Макарова Н.П. 1966. О некоторых закономерностях в изменениях содержания жира у беломорской трески // В кн.: Закономерности динамики численности рыб Белого моря и его Бассейна. М.: Наука. С. 200-217.

Методическое пособие по изучению питания и пищевых отношений рыб в естественных условиях. 1974. М.: Наука. 254 с.

Романова Г.П. 1958. Питание сеголеток судака в Рыбинском водохранилище // Тр. биол. станции «Борок». М.-Л.: Изд-во АН СССР, № 3. С. 273-303.

Сонина М.А. 1957. Треска Белого моря // В кн.: Материалы по комплексному изучению Белого моря. М.-Л.: Изд-во АН СССР, вып. 1. С. 230-242.

Тарвердиева М.И. 1982. Состав пищи, суточный рацион и ритм питания *Champsoccephalus Gunnari* Lonnb. в районе Оркнейских островов // Сб. научн. тр. М.: ВНИРО. С. 69-75.

Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря.
Материалы IX международной конференции
11-14 октября 2004 г., Петрозаводск, Карелия, Россия
Петрозаводск, 2005. С. 258-262.

СТРУКТУРА ТРОФИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ РЫБ В ЭСТУАРНОЙ ЭКОСИСТЕМЕ

С.А. ПОНОМАРЕВ, Г.Г. НОВИКОВ

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

На основе исследований в эстуарии р. Черной и г. Ермолинской (Кандалакшский залив, Белое море) произведена попытка оценки трофических отношений в прибрежной зоне. Предполагается, что некоторые эвригалинные рыбы (*G. aculeatus*, *P. pungitius*) могут осваивать кормовые ресурсы недоступные другим видам в наиболее опресненных эстуарных участках. После чего, уходя в пелагиаль и открытые участки Белого моря они обеспечивают перенос органического вещества продуцируемого в прибрежной зоне в открытые районы моря и вовлечение его в общие циклы круговорота веществ. Оседлые рыбы остающиеся в прибрежной зоне участвуют в формировании локальных круговоротов в пределах заливов.

S.A. Ponomarev & G.G. Novikov. The structure of trophic relations in the ecosystem of an estuary // 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. 258-262.

The estimation of trophic relations in coastal system was conducted for the Chernaya River Estuary and the Ermolinskaya Gulf (the Kandalaksha Bay of the White Sea). It is suggested that some euryhaline fishes (*G. aculeatus*, *P. pungitius*) consume trophic sources in the most oligohaline estuarine zones that inaccessible for other species. Then these species move to the White Sea pelagic zone and, therefore, they responsible for the transfer of organic matter from the coastal zone to the open sea. They provide the involving of organic matter that produced in coastal zone to the global cycles of matter cycling. Settled fishes that remain in the coastal zone participate in formation of the local gyres within the bays.

Прибрежная зона Белого моря богата органическим веществом и биогенными элементами (Максимова, 1991). Самые крупные вклады органического вещества - это органические вещества речного стока и макрофитного происхождения (Максимова, Дацко, 1961; Возжинская, 1970, 1986; Невеский и др., 1977; Бек, 1990а, 1990б). По мнению ряда авторов (Бигон и др., 1989; Lebedev et al., 1989) прибрежная зона характеризуется высокой продуктивностью и вероятно определяет продуктивность всей акватории Белого моря (Бек, 1990б, Бурковский, 1992; Возжинская и др., 1994). В связи с этим интерес вызывают работы предпринимавшие попытки определения места и роли сообщества рыб в данных процессах переноса и аккумуляции органического вещества. Так исследования, проведенные McLusky Donald (2001) в Северном море показали, что эстуарные экосистемы служат для откорма молоди рыб и являются источником поступающих с суши биогенов, Ваггера-Ого (2002), исследуя прибрежные морские сообщества южной Дуги Скотия и у западных берегов Антарктического п-ова, считает прибрежных рыб основным элементом связи нижних (бентос, зоопланктон) и верхних (рыб, птиц и тюленей) уровней пищевой сети.

Настоящая работа является частью исследований проводимых нами на модельных акваториях, с целью изучения пищевых взаимоотношений рыб (Пономарев, 1999, 2002, 2004; Пономарев, Новиков, 2003а, 2003б; Пономарев и др., 1996, 2001, 2003;

Удалов, Пономарев, 2002; Удалов и др., 2004), и представляет собой попытку обобщения результатов исследования пищевых взаимоотношений рыб в прибрежной зоне Кандалакшского залива Белого моря.

Материал и методика

Для проведения исследований было выбрано два участка в прибрежной зоне Кандалакшского залива. Один из них – место впадения реки Черная - является типичным эстуарием, на относительно небольшой протяженности которого (около 3 км) наблюдается значительное разнообразие условий (смена солености от практически пресной, до близкой к морской). Второй участок – район губы Ермолинской представляет собой микроэстуарий в классификации Пантюлина (2002).

Лов рыбы в эстуарии р. Черной проводился на четырех участках, а в губе Ермолинской на пяти. Расположение и характеристики каждого из них представлены на рис.1 а, б.

Перед вскрытием выловленную рыбу подвергали биологическому анализу. Каждый пищевой объект определяли по возможности до вида, после чего пищевые объекты одной систематической группы подсчитывали и взвешивали. Всего обработано содержимое 2562 пищеварительных трактов. При анализе вариабельности структуры бентосного сообщества использовали данные литоральных и сублиторальных сборов макробентоса, проводимых сотрудниками кафедры

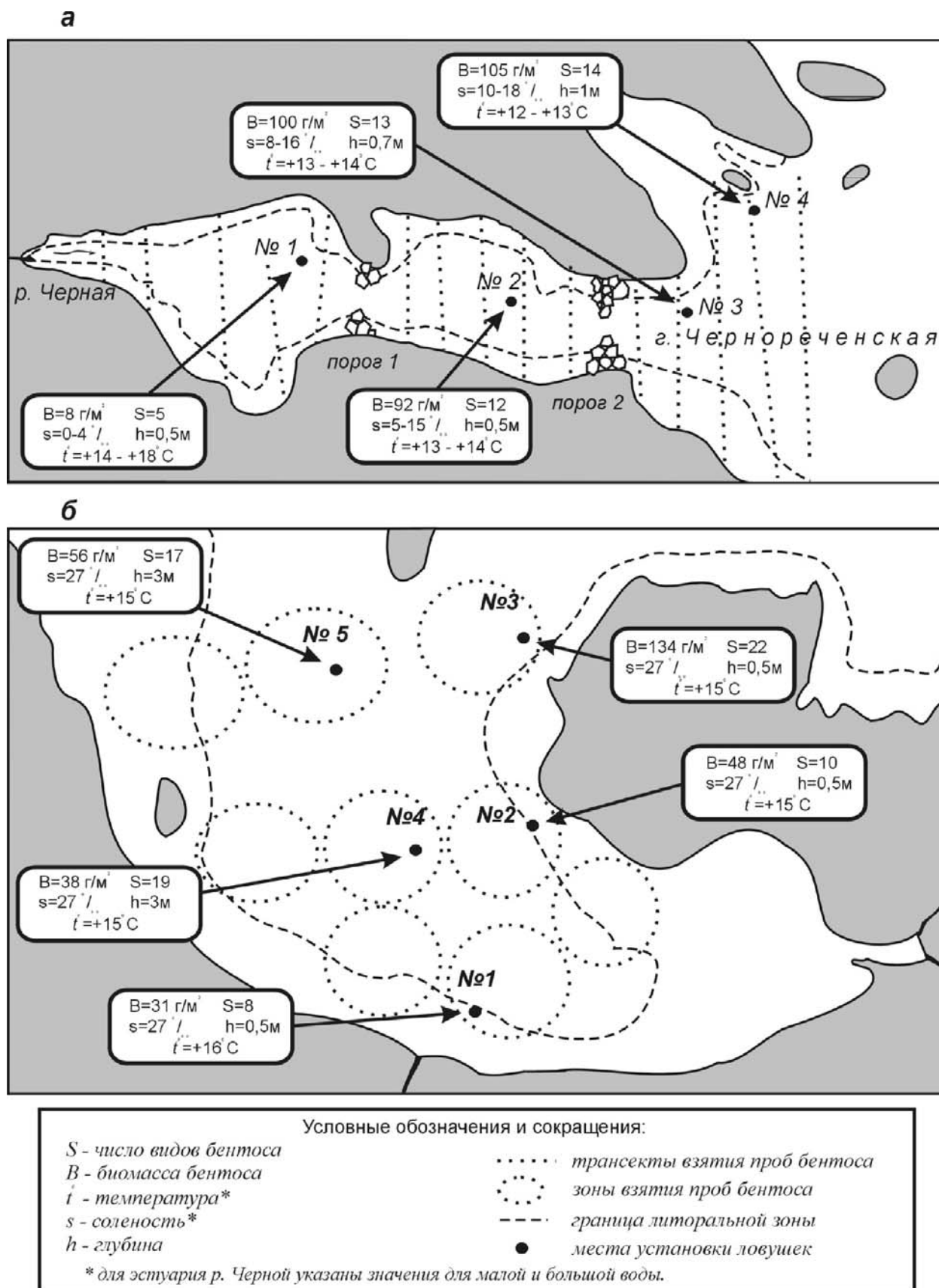


Рис. 1. Карта-схема исследованных участков:
а – эстуарий р. Черная, б – губа Ермолинская

гидробиологии МГУ (Бурковский, 1992; Бурковский, Азовский и др., 1995; Бурковский, Столяров, 1995; Бурковский, Столяров и др., 1997; Столяров, 1994; Столяров, Бурковский, 1996, 1998).

Результаты и обсуждение

В эстуарии р. Черной сообщества рыб представлено *Pungitius pungitius* (Linnaeus) – девятииглой колюшкой, *Gasterosteus aculeatus* Linnaeus – трехиглой колюшкой, *Liopsetta glacialis* (Pallas) – полярной камбалой, *Trigloporus quadricornis* (Girard) – ледовитоморской рогаткой, *Eleginus navaga* (Pallas) – навагой. В гб. Ермолинской кроме них добавляются: *Myoxocephalus scorpius* (Linnaeus) – европейский керчак, *Gadus morhua* Linnaeus – треска, *Zoarces viviparus* (Linnaeus) – европейская бельдюга.

При этом и эстуарий р. Черной, и губа Ермолинская имеют доминирующие виды (девяти- и трехиглая колюшки, полярная камбала), численность которых значительно превышает численность остальных. Особенностью является то, что на одних участках изученных акваторий вид может доминировать, на других – нет, и наоборот – вид не доминирующий на одних станциях может преобладать на других. Есть также и виды, численность которых невелика.

Результаты исследования особенностей питания большинства исследованных нами видов рыб опубликованы ранее (Пономарев, 1999, 2002, 2004; Пономарев и др., 2001, 2003). Используя наши собственные и литературные данные, можно представить следующую обобщенную схему потоков органического вещества (Рис. 2). Благодаря материковому стоку и продукции макрофитов, прибрежные воды обогащаются органическим веществом. Повышение интенсивности материкового стока в весенне-летний период способствует массовому развитию фитопланктона и зоопланктона – основе кормовой базы молоди практически всех видов рыб Белого моря (Герасимова, 1987, 1991).

Наибольшее развития биомассы этих организмов приходится на конец весны – первую половину лета, т.к. талыми водами в море сносится значительное количество органики. В это время наблюдается массовый подход девяти- и трехиглой колюшек в прибрежную зону и заход их в устья рек (в нашем случае эстуарий р. Черной), где происходит их интенсивный откорм и нерест. Являясь видами эвригалинными, они могут выдерживать значительные колебания солености и подниматься достаточно высоко в устья рек, становясь, таким образом, недоступными для хищников (рогатка, керчак, навага, треска), которые подобные колебания солености выдерживают значительно хуже. В этот период колюшки не только питаются, но и оставляют потомство, которое растет и развивается за счет ресурсов этой части прибрежного сообщества, недоступной для других видов. Впоследствии (к концу лета) взрослая колюшка, а также генерация этого года отходит из зоны максимального опреснения в более

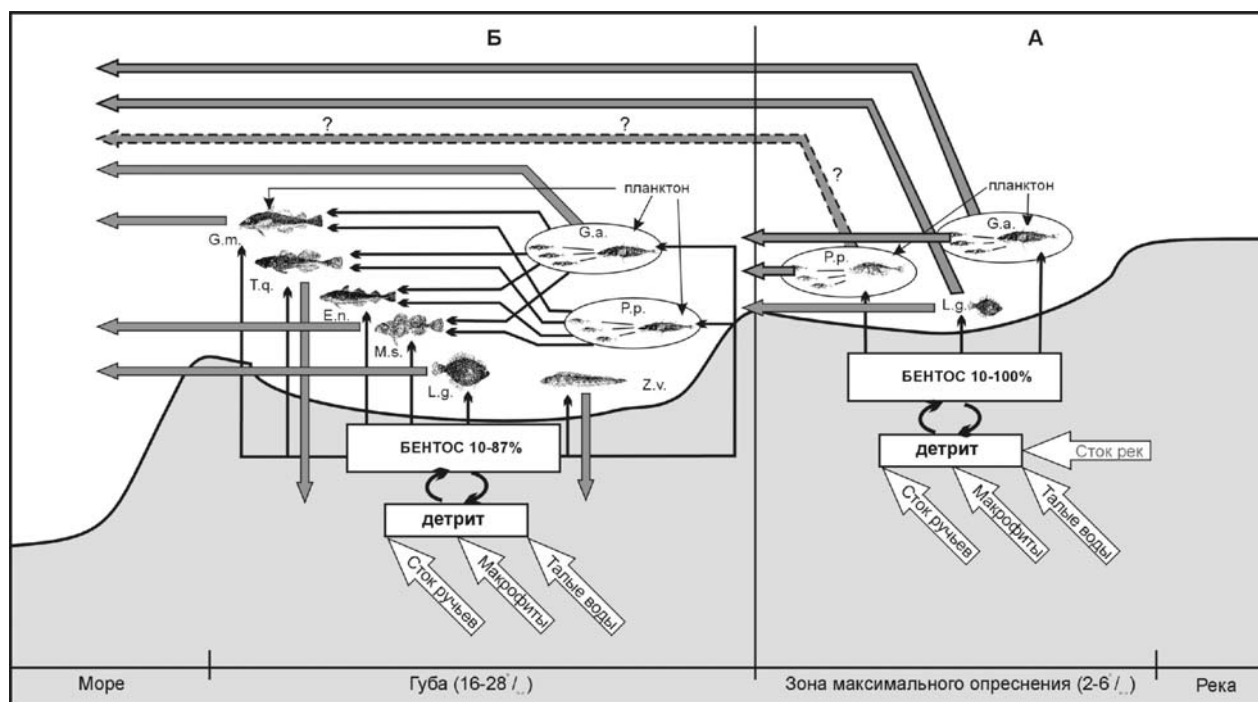
мористые части побережья и на глубину (Мухомедияров, 1966), становясь доступной для других видов рыб. Таким образом, оба вида колюшки являются своего рода «накопителями» и «переносчиками» органического вещества, продуцируемого в наиболее опресняемых частях эстуариев и недоступного для других видов рыб, в открытые районы моря, с последующим включением этого органического вещества в другие трофические циклы (Рис. 2А).

В прибрежной зоне менее подверженной влиянию опреснения (губа Ермолинская, мористые части эстуария р. Черной), существование бентосного сообщества, также во многом определяется органическим веществом попадающим, как со стоком (ручьи, таяние снега), так и с продукцией макрофитного происхождения (Рис. 2Б).

Структура сообщества рыб в этой зоне усложняется: если на опресненных участках рыбы хищники ихтиофаги присутствовали скорее случайно (эстуарий р. Черная ст.1-2), то теперь их становится больше, разнообразие их повышается. Большая часть рыб откочевывает на зиму, на глубину: трехиглые колюшки (Мухомедияров, 1966), полярная камбала (Стасенков, 1991), керчак (Мочек, 1987; Никольский, 1971; Паракецов, 1966), навага, треска (Мочек, 1987); а остаются только рогатка и бельдюга (Андряшев, 1954). Таким образом, в короткий летний период ряд беломорских рыб откармливается в прибрежной зоне, после чего они уходят в пелагиаль и более открытые участки Белого моря. Этим обеспечивается отток органического вещества, продуцируемого в прибрежной зоне, в пелагиаль и вовлечение его в другие циклы круговорота веществ. Виды рыб, остающиеся в прибрежной зоне, оказываются вовлеченными в локальные трофические сети и, соответственно, в локальный круговорот органического вещества.

Заключение

Анализ полученных данных по питанию рыб позволяет представить общую схему трансформации органического вещества в эстуарной зоне. В короткий летний период ряд беломорских рыб нагуливается в прибрежной зоне, после чего они уходят в пелагиаль и открытые участки Белого моря. При этом обеспечивается перенос органического вещества, продуцируемого в прибрежной зоне, в открытые районы моря и вовлечение его в общие циклы круговорота веществ. Оседлые рыбы, остающиеся в прибрежной зоне, участвуют в формировании локальных круговоротов в пределах заливов. Характерной особенностью изученных экосистем является наличие настоящих эвригалинных рыб, осваивающих кормовые ресурсы, недоступные другим видам. Наши исследования подтверждают высказываемую гипотезу о том, что продуктивность мелководных эстуарных участков является важным фактором, определяющим формирование численности и роста молоди рыб на ранних этапах онтогенеза.



Сокращения: P.p. - *P. pungitius*; G.a. - *G. aculeatus*; L.g. - *L. glacialis*; T.q. - *T. quadricornis*; M.s. - *M. scorpius*; E.n. - *E. navaga*; G.m. - *G. morhua*; Z.v. - *Z. viviparus*.

Рис. 2. Основные пути трансформации органического вещества в прибрежных экосистемах.

Литература

- Андряшев А.П. 1954. Рыбы северных морей СССР. // М.-Л. 567 с.
- Бек Т.А. 1990а. Прибрежная зона в экосистеме Белого моря // Журн. общ. биологии. Т. 51. №1. С. 116-124.
- Бек Т.А. 1990б. Трофическая структура прибрежного сообщества Белого моря. // Биологические ресурсы Белого моря. М.: Изд-во Моск. ун-та. С. 55-70.
- Бигон М, Харпер Дж., Таунсенд К. 1989. Экология. Особи, популяции и сообщества // М.: Мир. Т. 2. С. 477.
- Бурковский И.В. 1992. Структурно-функциональная организация и устойчивость морских донных сообществ // Из-во МГУ. М. 208 с.
- Бурковский И.В., Азовский А.И., Столяров А.П., Обрико С.В. 1995. Структура макробентоса беломорской литорали при выраженном градиенте факторов среды // Журн. общ. биол. Т.56, Вып. 1. С. 59-70.
- Бурковский И.В., Столяров А.П. 1995. Особенности структуры макробентоса в биотопе с выраженным градиентом солености // Зоол. журн., Т. 74. Вып. 2. С. 32-46.
- Бурковский И.В., Столяров А.П., Колобов М.Ю. 1997. Пространственная гетерогенность структуры макробентоса песчано-илистой литорали Белого моря // Успехи совр. биол. Т. 117, Вып. 4. С. 466-479.
- Возжинская В.Б. 1970. Продуктивность макрофитобентоса Белого моря // Основы биологической продуктивности океана и ее использование: М.
- Возжинская В.Б. 1986. Донные макрофиты Белого моря // М.: Наука. 188 с.
- Возжинская В.Б., Бек Т.А., Щербаков Ф.А., Кузин В.С., Чистикова А.В. 1994. Некоторые результаты исследования изменений состава органического вещества макрофитов литорали Белого моря // Известия АН СССР. Сер. биологическая. №6. С. 929-935.
- Герасимова О.В., Подражанская С.Г. 1987. Условия питания и перспективы исследований пищевых взаимоотношений рыб Белого моря // Пробл. изуч., рационал. использования и охраны природн. ресс. Белого моря. Тезисы докл. III регион. конф. Кандалакша. С. 269-274.
- Герасимова О.В., Подражанская С.Г. 1991. Условия питания и особенности трофических связей промысловых рыб Белого моря. // Биологические основы распределения промысловых и кормовых морских животных. Сб. научн. тр. ВНИИРО. С. 116-125.
- Максимова М.П. 1991. Гидрохимия // Океанографические условия и биологическая продуктивность Белого моря, Мурманск: ПИНРО. С. 79-115.
- Максимова М.П., Дацко В.Г. 1961. Ориентировочный баланс органического вещества в водах Белого моря // Труды Карельского филиала АН СССР. Вып.31. С. 126-131.
- Мочек А.Д. 1987. Этологическая организация морских рыб // М.: Наука. 270 с.
- Мухомедияров Ф.Б. 1966. Трехиглая колюшка (*Gasterosteus aculeatus* L.) Кандалакшского залива Белого моря // Вопр. ихт., Т. 6, Вып.3 (40). С. 454-467.
- Невесский Е.Н., Медведев В.С., Калинин В.В. 1977. Белое море: Седиментогенез и история развития в голоцене // М.: Наука. 236 с.
- Никольский Г.В. 1971. Частная ихтиология. М. 472 с.
- Пантюлин А.Н. 2002. Белое море как эстуарная экологическая система // Труды Белом. биол.ст. МГУ Т. VIII, М.: «Русский ун-т». С. 164-167.

- Паракецов И.А. 1966. Некоторые данные по экологии рыб литорали Белого моря // Закономерности динамики численности рыб Белого моря и его бассейна.
- Пономарев С.А. 1999. Особенности питания трехиглой (*Gasterosteus aculeatus*) и девятииглой (*Pungitius pungitius*) колюшек в Ермолинской губе Белого моря // IV научная конференция Беломорской биологической станции МГУ: Материалы. М.: Изд. Беломорской биол. ст. Моск. ун-та. С. 81-82.
- Пономарев С.А. 2002. Некоторые особенности биологии ледовитоморской рогатки и европейского керчака в различных типах прибрежных биотопов // Тез. докл. Всероссийской конференции молодых ученых, посвященной 140-летию со дня рождения Н.М. Книповича. 23-25 апреля 2002 г. ПИНРО: Мурманск. С. 165-167.
- Пономарев С.А. 2004. Особенности сообщества рыб эстуария р. Черной и г. Ермолинской // Труды Беломорской биостанции биологического факультета МГУ – в печати.
- Пономарев С.А., Бурковский И.В., Столяров А.П., Новиков Г.Г. 2003. Особенности питания трех- и девятииглой колюшек с учетом их микробиотопического распределения в эстуарии р. Черной (Кандалакшский залив, Белое море) // Успехи современной биологии. Т.123. №6. С. 609-617.
- Пономарев С.А., Новиков Г.Г. 2003. Роль молоди некоторых рыб в трансформации органического вещества в эстуарии на примере р. Черной (Кандалакшский залив, Белое море) // Экологические проблемы бассейнов крупных рек – 3. Тольятти, Россия, 15-19 сентября 2003 г. РАН. Тольятти. С. 229.
- Пономарев С.А., Новиков Г.Г. 2003. Место рыб в трофической сети эстуария р. Черной (Кандалакшский залив, Белое море) // Экологические проблемы бассейнов крупных рек – 3. Тольятти, Россия, 15-19 сентября 2003 г. РАН. Тольятти. С. 228.
- Пономарев С.А., Новиков Г.Г., Бурковский И.В., Столяров А.П. 2001. Питание полярной камбалы *Liopsetta glacialis* в эстуарии реки Черной (Кандалакшский залив, Белое море) // Вopr. ихтиологии. Т.41. №3. С. 347-352.
- Стасенков В.А. 1991. Камбалы // Океанографические условия и биологическая продуктивность Белого моря, Мурманск: ПИНРО. С. 142-144.
- Столяров А.П. 1994. Зональный характер распределения макробентоса эстуария р. Черной (Кандалакшский залив, Белое море) // Зоол. журн., Т. 73, Вып. 4. С. 65-71.
- Столяров А.П., Бурковский И.В. 1996. Сезонные изменения в структуре макробентоса беломорского эстуария (при выраженном градиенте солености) // Журн. общ. биол. Т.57, №2. С. 95-111.
- Столяров А.П., Бурковский И.В. 1998. Межгодовые изменения структуры макробентоса в эстуарии р. Черной (Белое море) // Зоол. журн. Т. 77, Вып. 7. С. 755-762.
- Удалов А.А., Бурковский И.В., Мокиевский В.О., Столяров А.П., Мазей Ю.А., Чертопруд М.В., Чертопруд Е.С., Сабурова М.А., Колобов М.Ю., Пономарев С.А. 2004. Изменение основных характеристик микро-, мейо- и макробентоса по градиенту солености в эстуарии Белого моря // Океанология. 44(4). С. 549-560.
- Удалов А.А., Пономарев С.А. 2002. Влияние взаимодействий организмов бентали и пелагиали на размерную структуру бентосного сообщества // Тез. докл. Всероссийской конференции молодых ученых, посвященной 140-летию со дня рождения Н.М. Книповича. 23-25 апреля 2002 г. ПИНРО: Мурманск. С. 201-202.
- Barrera-Oro E. 2002. Review. The role of fish in the Antarctic marine food web: Difference between inshore and offshore waters in the southern Scotia Arc and west Antarctic peninsula // Antarct. Sci. N 4, V.14. P. 293-309.
- Lebedev V., Aizatulin T., Khailov K. 1989. The living ocean // Moscow.: Progress publishers. H. 326 p.
- McLusky Donald S. 2001. North Sea estuaries // Senckenberg Conference "North Sea 2000 / Burning Issues of North Sea Ecology", Wilhelmshaven, 8-12 May, 2000, Senckenberg.marit. V.31, N 2. P.177-186.

Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря.
Материалы IX международной конференции
11-14 октября 2004 г., Петрозаводск, Карелия, Россия
Петрозаводск, 2005. С. 263-268.

СТАБИЛИЗАЦИЯ ФЕНОТИПИЧЕСКОГО И ГЕНОТИПИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ МОЛОДИ СЕМГИ (*SALMO SALAR* L.) В АКВАКУЛЬТУРЕ ПУТЕМ КРАТКОВРЕМЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЛИЧИНOK ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Э.К. ПОПОВА¹, В.С. АРТАМОНОВА², О.Н. ХОЛОД², А.А. МАХРОВ²

¹ Государственный природный заповедник «Кивач», Республика Карелия

² Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, г. Москва

На личинок семги воздействовали излучением гелий-неонового лазера (вариант «ЛГН») или магнито-инфракрасно-лазерным излучением (вариант «МИЛТА»). Изучалась морфологическая, физиологическая и генетическая изменчивость молоди семги в возрасте 2+ и 3. Реакцией семги на фотобиологическую стимуляцию в постэмбриональный период стало ускорение роста самок. Уровень варибельности большинства изученных показателей у самок и многих показателей у самцов опытных групп ниже, чем у рыб контрольной выборки. Показано, что при выращивании молоди семги на рыбноводном заводе происходит неконтролируемый отбор по локусу *MEP-2**. В экспериментальных группах различия в жизнеспособности между рыбами с разными генотипами снижаются и неконтролируемый отбор идет менее интенсивно. Это показывает, что воздействие на рыб в раннем онтогенезе лазерным или магнито-инфракрасно-лазерным излучением в определенном дозовом интервале способствует сохранению генетического разнообразия искусственно выращиваемой молоди семги.

E.K. Popova, V.S. Artamonova, O.N. Kholod & A.A. Makhrov. Stabilization of morphological and genetic variability of the hatchery Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) parrs by laser treatment of larvae // 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. 263-268.

Salmon larvae were exposed to helium-neon laser (HNL group) or infra-red laser (IRL group) radiation. Morphological, physiological and genetic variability was studied for young salmon of 2+ and 3 year old. There was found that female:male rate is increased in HNL group. Increasing of female growth and decreasing of morphological variability are revealed in both experimental groups. Unintentional selection is found for *MEP-2** allele locus in control group by dwarf males mortality but not in HNL or IRL groups.

Молодь семги, выращиваемая на рыбноводных заводах, отличается от природной молоди по целому ряду адаптивно-важных признаков. Физиологические недостатки «заводских» рыб хорошо изучены, предложены методики их коррекции (обзоры: Щуров, 1987; Черницкий, Лоевко, 1990; Никоноров, Витвицкая, 1993). Есть данные и о значительных морфологических отличиях «заводской» и «дикий» молоди семги (Вернидуб, 1977; Щуров, 1981; Казаков, Семенова, 1986; Салманов, 1986, 1989; Казаков, 1990; Черницкий, Лоевко, 1990; Артамонова, Махров, 2000; Юрцева и др., наст. сборник), в том числе и о морфологических аномалиях у «заводских» рыб (Зелинский, 1979; Зубченко и др., 1989; Михайленко, 1990). Способы коррекции морфологии семги пока не разработаны.

Кроме того, на рыбноводных заводах может идти так называемый неконтролируемый отбор, вызванный избирательной гибелью рыб определенных генотипов в искусственных условиях. Он выявлен на Кандалакшском, Умбском, Выгском семужских заводах (Никоноров и др., 1989; Артамонова, Махров, 2002; Крамаренко и др., 2002). Этот процесс опасен, поскольку ведет к разрушению генетических адап-

таций, необходимых для существования популяции в природе. При регулярной сортировке молоди такой отбор идет менее интенсивно (Дирин, 1981), но она требует значительных трудозатрат и большого количества выростных сооружений.

Особенно важно сохранение морфологического и генетического разнообразия «заводской» рыбы в тех случаях, когда естественное воспроизводство подавлено. Река Кереть относится к числу таких неблагополучных рек. С 1990 г. здесь начался спад численности нерестового стада, вызванный вселением паразита *Gyrodactylus salaris* и возросшим пресом браконьерского лова (Щуров, 1998). В настоящее время популяция семги поддерживается в основном Выгским и Кемским рыбноводными заводами (Мовчан, Сохнов, 2002). Потомки производителей из Керети и были объектом нашего исследования.

С целью получения высококачественной рыбноводной продукции нами предложен фотобиологический метод стимуляции икры и личинок рыб (Попова, 1990; 2000; Попова, Осташков, 2000).

Материал и методы

Работа выполнена на Кемском лососевом рыбо-водном заводе Карелрыбвода. В 2001 г. через несколько дней после вылупления личинок на них воздействовали излучением гелий-неонового лазера с энергетической экспозицией $3,0 \cdot 10^{-2}$ Дж/см² (вариант «ЛГН») или магнито-инфракрасно-лазерным излучением, генерируемым аппаратом МИЛТА, с частотой импульсов 5 Гц (вариант «МИЛТА»). Молодь, не подвергавшаяся таким воздействиям и развивавшаяся в обычных условиях, служила контролем.

Зависимость изменчивости фенотипических признаков от параметров лазерного излучения исследовали у семги в возрасте три года. Анализ морфологических признаков проводили по стандартным методикам (Правдин, 1966). Основным критерием изменчивости признаков служил коэффициент вариации (Рокицкий, 1967, Кирпичников, 1987). Доверительный интервал для признаков «доля самок», «доля карликовых самцов» определяли с помощью ф-преобразования Фишера (Рокицкий, 1967).

Пробы мышц и печени семги в возрасте 1. (от живых рыб и отхода), 2+ и 3. (от живых рыб) замораживали и доставляли в лабораторию в жидком азоте. Электрофорез белков в геле проводили по ранее отработанным методикам (Skaala et al., 1998). Активность ферментов (в скобках указаны кодирующие их гены): аспаратаминотрансферазы (ААТ-4*), эстеразы Д (ESTD*), изоцитратдегидрогеназы (IDHP-3*), сорбитолдегидрогеназы (IDDH-2*) и малик-энзима (МЕР-2*) выявляли на гелях по стандартным методикам (Aebersold et al., 1987).

Все данные были обработаны с использованием программы BIOSYS (Swofford, Selander, 1981). Значимость различий в частотах аллелей между выбор-

ками определяли с использованием программы CHIRXC (Zaykin, Pudovkin, 1993).

Результаты и обсуждение

Изменчивость фенотипа

Одной из реакций семги на фотобиологическую стимуляцию в постэмбриональный период стало ускорение роста самок. Размеры и масса самцов из контрольного и двух опытных вариантов значимо не различаются. Оценивая изменчивость морфологических признаков, можно отметить сходство экстерьера трехгодовиков семги из разных вариантов опыта и контроля, однако уровень вариабельности большинства изученных показателей у самок и многих показателей у самцов опытных групп ниже, чем у рыб контрольной выборки. В таблице 1 приведены данные только по тем признакам, по которым были обнаружены значимые различия между опытными и контрольной группами.

Как и в случае других видов лососевых рыб, испытавших в раннем онтогенезе действие малых доз лазерного излучения (Попова, 2004), в выборке «ЛГН» отмечено некоторое преобладание самок. Частота встречаемости самок в этом варианте оказалась выше, чем в контрольной группе и в группе рыб из варианта «МИЛТА» (Рис. 1).

В условиях нашего эксперимента наибольшая доля карликовых самцов семги в возрасте 1+ оказалась в выборке из варианта «ЛГН», что, по-видимому, связано с ускорением роста и созревания, вызванных действием лазерного излучения на личинок. Среди других возрастных групп рыб из этого варианта количество созревающих самцов меньше, чем в контроле и варианте «МИЛТА» (Рис. 2).

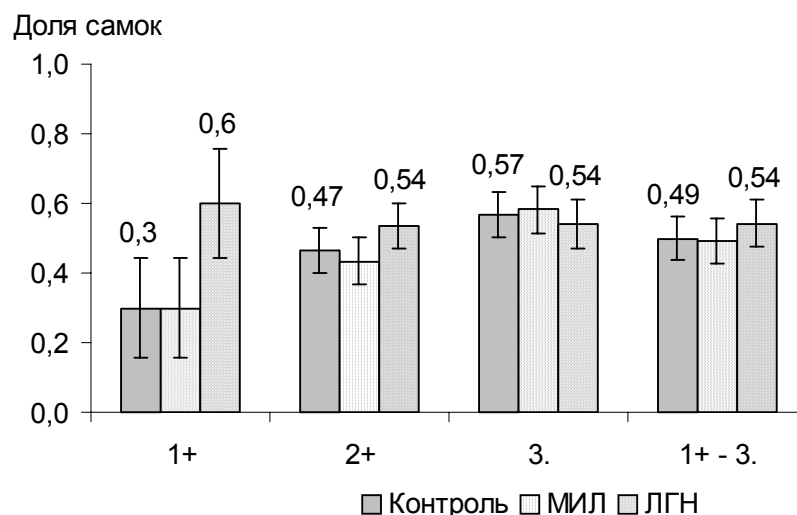


Рис. 1. Доля самок в выборках молоди семги из разных вариантов опыта

Таблица 1. Морфометрические характеристики молоди семги (3.)

Варианты опыта	♀♀				♂♂			
	$\bar{x}_{\text{ср}} \pm S_{\text{ср}}$	σ	V, %	p	$\bar{x}_{\text{ср}} \pm S_{\text{ср}}$	σ	V, %	p
<i>Масса тела, г</i>								
Контроль	77,7 ± 3,0	17,4	22,4		70,9 ± 4,6	23,32	32,9	
МИЛТА	90,9 ± 4,8	27,3	30,0	< 0,05	64,6 ± 6,1	29,09	45,0	–
ЛГН	95,3 ± 4,7	24,5	25,8	< 0,01	81,9 ± 5,6	26,80	32,7	–
<i>Длина тела ас, см</i>								
Контроль	20,1 ± 0,31	1,56	7,8		19,3 ± 0,43	2,20	11,4	
МИЛТА	21,2 ± 0,45	2,28	10,8	< 0,05	18,2 ± 0,55	2,62	14,2	–
ЛГН	21,3 ± 0,37	1,86	8,7	< 0,05	19,9 ± 0,51	2,45	12,3	–
<i>Число тычинок на первой жаберной дуге, шт</i>								
Контроль	18,4 ± 0,25	1,27	6,9		18,2 ± 0,23	1,16	6,41	
МИЛТА	17,9 ± 0,20	1,02	5,7	–	17,8 ± 0,30	1,44	8,1	–
ЛГН	17,5 ± 0,27	1,36	7,8	–	17,3 ± 0,26	1,26	7,3	< 0,05
В процентах длины по Смитту (ас)								
<i>Длина тела ad</i>								
Контроль	94,5 ± 0,09	0,51	0,54		94,3 ± 0,15	0,77	0,81	
МИЛТА	94,6 ± 0,08	0,46	0,49	–	93,9 ± 0,11	0,53	0,57	< 0,05
ЛГН	94,4 ± 0,07	0,36	0,39	–	94,3 ± 0,30	1,45	1,53	–
<i>Длина тела od</i>								
Контроль	75,1 ± 0,25	1,43	1,90		74,5 ± 0,28	1,43	1,92	
МИЛТА	75,4 ± 0,15	0,85	1,12	–	73,6 ± 0,29	1,41	1,92	< 0,05
ЛГН	75,3 ± 0,24	1,25	1,66	–	74,8 ± 0,28	1,78	1,78	–
<i>Длина головы</i>								
Контроль	20,4 ± 0,16	0,95	4,63		20,7 ± 0,19	0,95	4,59	
МИЛТА	20,3 ± 0,09	0,53	2,61	–	21,5 ± 0,15	0,73	3,42	< 0,01
ЛГН	20,0 ± 0,10	0,54	2,70	< 0,05	20,7 ± 0,21	0,99	4,79	–
<i>Наименьшая высота тела</i>								
Контроль	6,8 ± 0,07	0,40	5,86		6,7 ± 0,06	0,29	4,36	
МИЛТА	6,9 ± 0,07	0,39	5,60	–	7,1 ± 0,07	0,36	5,04	< 0,001
ЛГН	6,8 ± 0,06	0,32	4,77	–	6,8 ± 0,09	0,43	6,34	–
<i>Антедорсальное расстояние</i>								
Контроль	40,2 ± 0,17	0,95	2,36		40,3 ± 0,17	0,88	2,18	
МИЛТА	40,3 ± 0,14	0,82	2,03	–	41,3 ± 0,16	0,78	1,90	< 0,001
ЛГН	39,8 ± 0,18	0,96	2,40	–	41,0 ± 0,25	1,21	2,96	< 0,02
<i>Антевентральное расстояние</i>								
Контроль	47,5 ± 0,19	1,10	2,31		47,9 ± 0,20	1,01	2,10	
МИЛТА	47,7 ± 0,19	1,06	2,22	–	49,0 ± 0,22	1,04	2,13	< 0,001
ЛГН	47,4 ± 0,16	0,82	1,74	–	47,8 ± 0,29	1,41	2,96	–
<i>Вентроанальное расстояние</i>								
Контроль	19,7 ± 0,21	1,18	6,03		19,7 ± 0,14	0,72	3,64	
МИЛТА	19,9 ± 0,17	0,96	4,83	–	19,2 ± 0,16	0,77	4,04	< 0,02
ЛГН	20,0 ± 0,13	0,66	3,29	–	19,7 ± 0,19	0,90	4,58	–
<i>Высота спинного плавника</i>								
Контроль	11,4 ± 0,26	1,50	13,25		11,6 ± 0,28	1,45	12,46	
МИЛТА	10,4 ± 0,33	1,85	17,77	< 0,05	12,2 ± 0,23	1,11	9,13	< 0,05
ЛГН	10,3 ± 0,43	2,22	21,5	< 0,05	10,4 ± 0,49	2,35	22,46	–
<i>Длина грудного плавника</i>								
Контроль	14,0 ± 0,20	1,13	8,07		14,4 ± 0,26	1,34	9,33	
МИЛТА	13,4 ± 0,14	0,82	6,08	< 0,05	15,3 ± 0,27	1,31	8,60	< 0,02
ЛГН	13,6 ± 0,17	0,87	6,44	–	14,3 ± 0,30	1,45	10,07	–
В процентах длины головы								
<i>Высота головы у затылка</i>								
Контроль	67,6 ± 0,47	2,71	4,00		67,1 ± 0,52	2,65	3,96	
МИЛТА	67,5 ± 0,48	2,70	4,00	–	65,9 ± 0,70	3,34	5,06	–
ЛГН	69,1 ± 0,46	2,40	3,48	< 0,05	68,6 ± 0,51	2,47	3,59	< 0,05

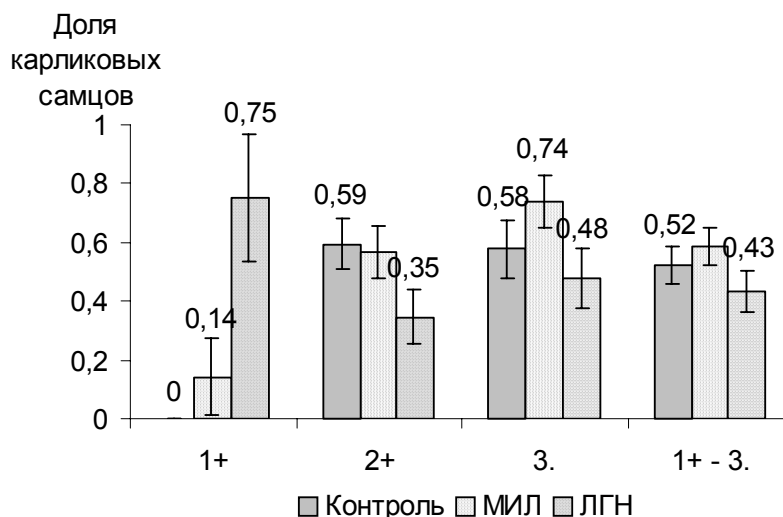


Рис. 2. Доля карликовых самцов в выборках самцов семги из разных вариантов опыта

Генетическое разнообразие

Между выборками, собранными в разные годы, различий в частотах аллелей генов не выявлено (Табл. 2), однако в выборке 2004 г. был отмечен статистически значимый дефицит гетерозигот по локусу МЕР-2* ($p < 0.01$). Дальнейший анализ показал, что наиболее ярко процесс отбора проявлялся в контрольной группе. Только выборка из контроля, взятая в 2004 г., значимо ($p = 0.037$) отличалась от выборки, взятой в 2002 году: частота «быстрого» аллеля МЕР-2* здесь оказалась ниже.

Так как среди рыб, взятых в 2004 г., отмечено уменьшение доли самцов, были рассчитаны частоты аллелей отдельно в группах самок, неполовозрелых и карликовых самцов. Дефицит гетерозигот по локусу МЕР-2* оказался значимым только в группе неполовозрелых самцов ($p < 0.01$). Кроме того, частоты «быстрого» аллеля этого локуса были

значимо ($p = 0.02$) выше в группе неполовозрелых самцов, по сравнению с группой карликовых (Табл. 3). Сопоставляя эти факты, разумно предположить, что в условиях рыбоводного завода гетерозиготные самцы быстрее созревают, а после созревания гибнут.

Таким образом, нами показано, что при выращивании молоди семги на рыбоводном заводе происходит неконтролируемый отбор по локусу МЕР-2*. Повышенная смертность гетерозигот по этому локусу была отмечена и на других рыбоводных заводах (Семенова и др., 1981). При этом для Кемского рыбоводного завода изменение генетического разнообразия отмечено только в случае, когда семгу выращивали более чем два года (в условиях производственного эксперимента). При стандартном цикле выращивания (до двухгодовика) такие изменения незначимы.

Таблица 2. Частоты аллелей 100* в изученных выборках

Год сбора	Варианты опыта	n	AAT-3*	ESTD*	IDDH-2*	IDHP-3*	MEP-2*
2002	Контроль	70	0.899	0.964	0.594	0.500	0.364
	Отход	73	0.906	0.966	0.672	0.438	0.356
2003	Контроль	60	0.875	0.892	0.642	0.550	0.458
	МИЛТА	54	0.898	0.935	0.676	0.500	0.407
	ЛГН	58	0.914	0.957	0.698	0.500	0.405
	В целом	172	0.895	0.927	0.672	0.517	0.424
2004	Контроль	60	0.900	0.925	0.625	0.508	0.500
	МИЛТА	55	0.909	0.964	0.609	0.473	0.400
	ЛГН	50	0.900	0.890	0.650	0.500	0.440
	В целом	165	0.903	0.927	0.627	0.494	0.448

Таблица 3. Частоты аллелей 100* в выборках особей разного пола и стадии зрелости

Группа	n	AAT-3*	ESTD*	IDDH-2*	IDHP-3*	MEP-2*
Карликовые самцы	88	0.898	0.943	0.630	0.500	0.506
Незрелые самцы	74	0.939	0.926	0.669	0.466	0.365
Самки	174	0.882	0.910	0.649	0.526	0.428

В экспериментальных группах различия в жизнеспособности между рыбами с разными генотипами снижаются и неконтролируемый отбор идет менее интенсивно. Это показывает, что воздействие на рыб в раннем онтогенезе лазерным или магнитоинфракрасно-лазерным излучением в определенном дозовом интервале способствует сохранению генетического разнообразия искусственно выращиваемой молоди семги.

Авторы благодарны коллективу Кемского рыбобоводного завода и Карелрыбвода, и особенно Л.П. Труновой, Н.П. Ивановой и В.А. Мовчану, за большую помощь в проведении работы. Финансовую поддержку оказывали Фонд содействия отечественной науке, РФФИ (гранты № 02-04-49224, 04-04-63135), Программа поддержки ведущих научных школ (НШ 1698.2003.4), программы «Научные основы сохранения биоразнообразия России» (Госконтракт №103), «Фундаментальные основы управления биологическими ресурсами» (Госконтракт №10002-251) и «Динамика генофондов растений, животных и человека».

Список литературы

- Артамонова В.С., Махров А.А. 2000. Корреляция числа пятен на жаберной крышке с заболеваемостью нерозом плавников и дефектами жаберной крышки у заводской молоди семги (*Salmo salar* L.) // Марикультура северо-запада России. Тез. докл. научно-практич. конф. 25-27 октября 2000. Мурманск. С. 14-15.
- Артамонова В.С., Махров А.А. 2002. Адаптивная роль гетерозиготности по локусу ESTD*, проявляющаяся у семги (*Salmo salar* L.) в условиях рыбобоводного завода // Материалы научн. генетич. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения А.Р. Жебрака и 70-летию образования кафедр генетики в Московской сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева. 26-27 февраля 2002 г. М. С. 17-19.
- Вернидуб М.Ф. 1977. Экстерьер молоди семги и его изменения в процессе роста // Тр. ПИНРО. вып. 32. С. 119-131.
- Дирин Д.К. 1981. Вопросы селекции в рыбобоводстве в свете генетической обусловленности флюктуаций лососей // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера. 11-я сессия Ученого Совета, ноябрь 1981 г. Петрозаводск. С. 128-129.
- Зелинский Ю.П. 1979. О промысловом возврате семги заводского воспроизводства // Рыбное хозяйство. №11. С. 30.
- Зубченко А.В., Воробьева Н.К., Горшкова Г.Л., Анохина В.С., Черепанов Г.О., Коваленко Е.Е. 1989. Влияние температуры инкубации икры на эмбриональное, личиночное развитие и рост ранней молоди семги // Ранний онтогенез объектов марикультуры. М.: ВНИРО. С. 71-81.
- Казаков Р.В. 1990. Искусственное формирование популяций проходных лососевых рыб. М.: Агропромиздат, 239 с.
- Казаков Р.В., Семенова О.В. 1986. Морфологическая характеристика заводской и природной молоди семги *Salmo salar* L. // Тр. Зоол. Ин-та АН СССР. Т. 154. С. 75-86.
- Кирпичников В.С. 1987. Генетика и селекция рыб. Л.: Наука. 520 с.
- Крамаренко И.Я., Лапочкина Н.И., Артамонова В.С., Махров А.А. 2002. Опыт создания пресноводного маточного стада семги (*Salmo salar* L.) // Проблемы воспроизводства, кормления и борьбы с болезнями рыб при выращивании в искусственных условиях. Матер. научн. конф. 14-18 октября 2002 г. Петрозаводск. С. 68-72.
- Михайленко В.Г. 1990. Аномалии эмбрионов и личинок лососевидных рыб на рыбобоводных заводах Карелии // Рыбобоводство в естественных водоемах Карелии. Мурманск. С. 54-67.
- Мовчан В.А., Сохнов В.В. 2002. Состояние и перспективы искусственного воспроизводства ценных видов рыб в Республике Карелия // Воспроизводство ценных видов рыб и проблемы отрасли: Мат. совещ., г. Ростов-на-Дону, 15-19 октября 2001 г. / Вопросы рыболовства. Приложение 2. М. С. 144-152.
- Никоноров С.И., Витвицкая Л.В. 1993. Эколого-генетические проблемы искусственного воспроизводства осетровых и лососевых рыб. М.: Наука. 254 с.
- Никоноров С.И., Офицеров М.В., Витвицкая Л.В., Лоевко А.А. 1989. Неконтролируемый генетический отбор лососей // Рыбное хозяйство. № 1. С. 54-55.
- Попова Э.К. 1999. Повышение уровня компенсаторной адаптации молоди лосося *Salmo salar* L. morpha sebago Girard путем воздействия лазерного излучения на организм // Адаптация и эволюция живого населения полярных морей в условиях океанического перигляциала / Под ред. Г.Г. Матишова. Апатиты. С. 196-206.
- Попова Э.К. 2000. Эффективность воздействия лазерного и сочетанного магнито-инфракрасно-лазерного излучения на рост и развитие лосося *Salmo salar* morpha sebago Girard // Атлантический лосось (биология, охрана и воспроизводство) / Международная конференция, Петрозаводск, 4-8 сентября 2000 г.: Тез. докл. Петрозаводск. С. 46-47.
- Попова Э.К. 2004. Эффекты лазерного воздействия на рыб в раннем онтогенезе. Петрозаводск. 126 с. (в печати).
- Попова Э.К., Осташков О.А. 2000. Экологически чистая лазерная технология в рыбобоводстве // Современные средства воспроизводства и использования водных биоресурсов / Научно-технический симпозиум 7-й Международной выставки «Инрыбром- 2000»: Тез. докл., т. 4. СПб. С. 171-174.
- Правдин И.Ф. 1966. Руководство по изучению рыб. М.: Пищ. промышленность. 376 с.
- Рокицкий П.Ф. 1967. Биологическая статистика. Изд. 2-е, испр. Минск: Высшая школа. 326 с.
- Салманов А.В. 1986. Остеологические особенности заводской и природной молоди семги (*Salmo salar* L.) из р. Лувеньга // Тр. Зоол. Ин-та АН СССР. Т. 154. С. 87-98.
- Салманов А.В. 1989. Анализ изменчивости морфометрических показателей у заводской и природной молоди атлантического лосося (*Salmo salar* L.) // Тр. Зоол. Ин-та АН СССР. Т. 192. С. 126-144.
- Семенова С.К., Слынько В.И., Ермоленко Л.Н., Рудминайтис Э.А. 1981. Морфологическая неоднородность заводской молоди семги и полиморфизм малакциозы // Генетика, селекция и гибридизация рыб. Тез. докл. II Всес. совещ. Ростов-на-Дону, 16-20 марта 1981. Ростов-на-Дону. С. 153.

- Черницкий А.Г., Лоевко Л.А. 1990. Биология заводской молоди семги после выпуска в реку. Апатиты. 118 с.
- Щуров И.Л. 1981. Использование показателя «плавательная способность» для оценки качества заводской молоди семги // Матер. семинара по проблеме «Биол. ресурсы Белого моря и внутр. водоемов Европейск. Севера». 23-25 января 1980 г., г. Петрозаводск. Петрозаводск. С. 167-170.
- Щуров И.Л. 1987. Проблемы повышения качества заводской молоди атлантического лосося *Salmo salar* L. // Сб. научн. тр. ГосНИОРХ. Вып. 260. С. 28-37.
- Щуров И.Л. 1998. Атлантический лосось реки Керети (естественное и искусственное воспроизводство) // Проблемы лососевых на Европейском Севере. Петрозаводск. С. 51-63.
- Aebersold P.B., Winans G.A., Teel D.J., Milner G.B., Utter F.M. 1987. Manual for Starch Gel Electrophoresis: A Method for the Detection of Genetic Variation // NOAA Technical Report NMFS 61. 19 p.
- Skaala O., Makhrov A.A., Karlsen T., Jorstad K.E., Altukhov Y. P., Politov D.V., Kuzishin K.V., Novikov G.G. 1998. Genetic comparison of salmon from the White Sea and north-western Atlantic Ocean // J. Fish Biol. Vol. 53. №3. P. 569-580.
- Swofford D.L., Selander R.B. 1981. BIOSYS-1: a FORTRAN program for the comprehensive analysis of electrophoretic data in population genetics and systematics // J. Heredity. Vol. 72. P. 281-283.
- Zaykin D.V., Pudovkin A.I. 1993. Two programs to estimate Chi-square values using pseudo-probability test // J. Heredity. Vol. 84. P. 152.

Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря.
Материалы IX международной конференции
11-14 октября 2004 г., Петрозаводск, Карелия, Россия
Петрозаводск, 2005. С. 269-273.

БЕЛОМОРСКИЕ ПРОМЫСЛОВЫЕ ВОДОРΟΣЛИ: СЫРЬЕВАЯ БАЗА, ПРОМЫСЕЛ И ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ

О.А. ПРОНИНА, О.И. РЕПИНА

Северное отделение Полярного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии (СевПИНРО), Архангельск

В статье представлены результаты исследований 2000-2003 гг. по оценке состояния запасов промысловых водорослей. Приводятся общие данные о распределении наиболее плотных скоплений всех промысловых видов и даются цифры запасов по обследованным и выделенным для промысла районам Белого моря. Проанализированы современные технологии обработки и способы использования бурых водорослей в различных областях национальной экономики.

O.A. Pronina & O.I. Repina. Commercially valuable algae of the White Sea: stock, trade and processing technologies // 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. 269-273.

The paper presents the results of 2000-2003 years research on evaluation of marketable algae species. It reveals the reasons of stock non-development and briefly describes the distribution of main brown seaweeds in the White Sea. The modern techniques of processing and ways of use of brown seaweeds in different branches of national economy are examined.

В связи с расширением ассортимента продукции, получаемой из морских водорослей в различных российских регионах, остаются актуальными проблемы оценки сырьевой базы и выявление причин недоосвоения имеющихся запасов промысловых видов, совершенствования существующих и разработки новых технологий их переработки. Как и в предыдущие годы, в настоящее время в Белом море для промысла используются два вида ламинариевых водорослей (ламинарии сахаристая и пальчаторассеченная), фукоиды (аскофиллум узловатый, фукусы пузырчатый и двусторонний) и красная водоросль - анфельция складчатая.

Исследования, связанные с оценкой состояния запасов промысловых макрофитов в последние годы, их распределением и изучением биологических особенностей развития отдельных видов носят систематический характер. Основу их составляют исследования, связанные с совершенствованием методических подходов при выполнении работ, а также мониторинговые исследования состояния ламинариевых, фукусовых и гигартиновых водорослей в различных районах Белого моря (Пронина, 2001а; 2002; 2003). В результате этих исследований вырабатывается система рациональной организации промысла, на достоверной основе определяются объемы допустимого улова и разрабатываются рекомендации по освоению каждого промыслового участка.

С учетом разработанной секторной системы организации промысла (Пронина, 2001б) по ламинариевым водорослям выделено 83 сектора, по фукусовым – более 53-х вдоль всех побережий Белого

моря. В настоящее время в связи с сокращением добычи водорослей механизированными средствами и с учетом малодоступности отдельных районов (вдоль Терского берега и в Горле моря) реально ежегодно рекомендуются для промысла ламинарии около 30 секторов и 15-18 секторов – по фукусовым водорослям.

Согласно разработанной системы мониторинга в летний полевой сезон 2000 г. были обследованы районы Кандалакшского залива Белого моря: от о-ва Волей (Карельский берег) до губы Калгалакша; в 2001 г.: часть р-нов Поморского берега, о-ва Большой и Малый Жужмуи, о. Жижгин, Летний берег от м. Горболукского до реки Усть-Яренье; в 2002 г.: часть р-нов Карельского берега, Соловецкие острова (кроме о. Анзер), в Онежском заливе – о-ва Кондостров, Вороньи, Угморин; в 2003 г. Лумбовский залив, часть р-нов у Терского берега. Недообследованными остаются: часть акватории вдоль Терского берега, куты Онежского и Кандалакшского заливов. Т.е. в последнее пятилетие выполнена оценка запасов ламинариевых и фукусовых водорослей практически вдоль всех побережий Белого моря. Подробные сведения о промысловых характеристиках зарослей, биологических особенностях видов изложены в отчетах и рекомендациях по организации промысла водорослей в Белом море и находятся в институте. В статье приводятся лишь общие данные о распределении наиболее плотных скоплений всех промысловых видов и даются цифры запасов по обследованным и выделенным для промысла районам (Табл. 1, 2).

Таблица 1. Промысловый запас и допустимые объемы добычи ламинарии в обследованных районах Белого моря (2000-2003 гг.)

Районы	Год исследований	Преобладающая категория зарослей	Запас, т (сырец)
гб. Калгалакша	2000	2	11692.5
гб. Гридина	2000	2	250.2
гб. Чупа	2000	1 и 2	5063.3
гб. Кив и гб. Красная	2000	2	2502.0
гб. Кузокоцкая	2000	2	1247.7
гб. Черная и гб. Кислая	2000	2	1241.0
гб. Ругозерская	2000	2	2324.5
гб. Ковда	2000	2 и 3	3489
гб. Ковда - гб. Нищевская	2000	2	1149.0
гб. Нищевская – гб. Княжая	2000	2	321.2
гб. Княжая – о. Волей	2000	3	330.9
Сумская губа	2001	3	870.7
Шуерецкие шхеры	2001	2	9799.9
О-ва Жужмуи	2001	2	4475.1
О. Жижгин	2001	2	4556.8
Летний берег	2001	2	1570.2
Онежский берег	2001	2	3750.4
Соловецкие о-ва	2002	1.2 и 3	72846
Кондостров	2002	3	4378
Лумбовский залив	2003	2 и 3	167898
Терский берег (обследованные р-ны)	2003	2 и 3	32414
Кемские шхеры	2003	2 и 3	9010

Таблица 2. Промысловые запасы фукусовых литоральных водорослей по обследованным в 2002-2003 гг. секторам

Сектор	Год исследований	Категория зарослей	Запас (сырец, т)
Соловецкие о-ва	2002	2 и 3	12035
Кондостров	2002	3	1078
Лумбовский залив	2003	2	1918
Терский берег	2003		12696
Кемские шхеры	2003	2 и 3	3047

Ламинариевые водоросли. Преимущественное распространение вдоль всех побережий имеют заросли с проективным покрытием дна 50-70%. Средняя биомасса растений колеблется от 2,0 до 8,0 кг/м². Доминирующим видом по плотности поселения является в основном ламинария сахаристая, по биомассе – ламинария пальчаторассеченная. Ламинария сахаристая распространена в основном на глубинах от 1,5 до 5-6 м, ламинария пальчаторассеченная опускается на глубину до 10-12 м. Фитоценозы ламинариевых водорослей в основном полидоминантные, трехъярусные, многолетние. Распределение наиболее плотных скоплений неоднородно вдоль различных побережий Белого моря.

Плотные заросли ламинарии распространены у Летнего берега в районе м. Горболукского, вдоль Онежского берега на участке между м. Ухтнаволок и м. Горболукским, юго-западнее м. Ухтнаволок и в районе Летней Золотицы, от гб. Конюхова вплоть до м. Чесменского. У Поморского берега плотные заросли находятся в районе Шуерецких шхер, у материкового побережья они имеют разреженный вид. Одни из самых продуктивных зарослей ламинарии выявлены вокруг всего о. Соловецкого, в районе о. Жижгинский у юго-восточного побережья, в акватории о-ов Большой и Малый Жужмуи - вдоль северо-восточного побережья и в районе о. Кондостров. В Кемских шхерах плотные заросли ламинарии отмечены на участках у о-ов Русский Кузов и Немецкий Кузов, у Карельского берега в

гб. Поньгома и в гб. Калгалакша, а также на подходах к гб. Чупа и вокруг о-ов Кереть, Пешостров до м. Кузокоцкого. Наиболее плотные скопления отмечены вокруг о. Сидоров, в гб. Ругозерской и южнее о. Великий, в гб. Ковда и в районе о. Вачев. Вдоль Кандалакшского берега плотные заросли обнаружены в гб. Пильской и в районе Умбы, у Терского берега на участке севернее Поноя и до гб. Качковской, но наиболее плотные скопления сконцентрированы в Лумбовском заливе. На остальных участках побережий ламинариевые заросли менее плотные.

Фукусовые водоросли. Распространены практически вдоль всех побережий Белого моря, исключая зоны сильного распреснения. Плотность произрастания различна и колеблется от 3-5% покрытия дна до 100%, преимущественно составляя 40-60%. Доминирующее значение по биомассе в основных промысловых районах в верхней части литоральных зарослей имеет фукус пузырчатый со средней биомассой от 0,5 до 8-9 кг/м², в средней и нижней частях – аскофиллум узловатый с биомассой 4-10 кг/м². Фитоценозы фукоидов в основном бидоминантные в верхней и средней частях литорали, и полидоминантные – в нижней зоне литорали и верхней сублиторали. Основные скопления сосредоточены вдоль Карельского и Поморского берегов. Вдоль Карельского берега плотные заросли фукоидов сосредоточены в гб. Ругозерской, в гб. Ковда и на участке до гб. Княжая, в р-не о-ва Вачев, вдоль Поморского берега в гб. Вирма, в Сумской губе, в районе Юково и в районе Шуерецких шхер. У Онежского берега наиболее плотные заросли фукоидов отмечены в районе от гб. Летняя Золотица до м. Толстые Корги, в районе Соловецких островов – у южного побережья о-ов Большая и Малая Муксалма. В меньших объемах обнаружены скопления фукоидов у о. Жижгинский и у о-ов Большой и Малый Жужмуй. В Кемских шхерах плотные заросли у о. Русский Кузов. На других участках и у остальных побережий фукоиды встречаются более разреженно.

Гигартиновые (красные) водоросли. К промысловым видам относится анфельция складчатая. Состояние сообществ этого вида в последние годы детально не изучалось, поэтому при оценке сырьевой базы в основном используются данные съемок 70-х годов.

В последние годы отмечено, что заросли анфельции имеют сильно разреженный характер, представляя собой локально расположенные поло-

сы, площадки и пятна, расположенные преимущественно на глубинах 0,5-3,0 м. Биомасса водорослей колеблется 0,05 до 2,0 кг/м². Преимущественное покрытие дна составляет 5-15%. Небольшие заросли анфельции отмечены вдоль Поморского берега – на участке от м. Пономарев Нос до м. Краснощелье, в Сумской губе (в основном у северного, западного и восточного побережья Сумострова, Разострова, Седострова), в Сорокской губе вдоль ее северо-западного побережья и о-ов Тумище, Риш-Луды, Осинка и пр., в районе Шуерецких шхер (у о-вов Кималище, Парусницы, Медвежий, Частухи), вдоль Карельского берега – на участке от м. Марк-Наволоок до м. Поньгам-Наволоок, в гб. Поньгома, в гб. Чупа, в районе о. Великий, в гб. Кузокоцкой, Черной и Красной. Разреженные заросли выявлены вдоль Летнего берега на участках от м. Лопшеньгского до м. Горболукского и от м. Горболукского до м. Пярт-Наволоок. У Онежского берега скопления анфельции находились на участке от м. Пярт-Наволоок до м. Чесменского, у побережья о. Жижгинский (у северного и восточного побережий) и в районе о-ов Большой и Малый Жужмуй (вдоль юго-западного и северо-восточного побережий), у Соловецких островов у северного и северо-восточного побережья, у северного и южного побережья о. Анзерский. У Терского берега скопления анфельции отмечались на участке от м. Павлов Нос до устья р. Каменки. На остальных участках побережий анфельция встречалась разреженно.

На ближайшие годы в условиях сокращения промысла добывающими организациями величина запаса основных промысловых видов водорослей существенно не изменится и будет определяться в основном климатическими факторами.

Освоение ОДУ (Табл. 3) остается низким и составляет по ламинариевым водорослям не более 17%. Среднегодовой сбор фукоидов стабилен, но намного ниже уровня заготовок 1980-х годов. Самое существенное снижение объемов промысла связано с заготовками анфельции как архангельскими, так и карельскими добывающими организациями.

Причин существенного неосвоения выделенного ОДУ несколько и все они определяются, в основном, не состоянием сырьевой базы водорослей (за исключением анфельции), а экономическими проблемами заготовительных организаций: отсутствием

Таблица 3. Объемы заготовки основных промысловых видов водорослей в 1998-2003 гг. (в тоннах)

Год	Ламинариевые (сырец)	Фукоиды (сухая масса)	Анфельция (сухая масса)
1998	1386	161	47
1999	1761	340	23,7
2000	2436	496	26,2
2001	2653	353	33,3
2002	2939	249	7,8
2003	2006	232	16,6

экологически безопасных орудий промысла достаточно высокой производительности, и специализированных судов для организации экспедиционного промысла в удаленных и незадействованных участках труднодоступность некоторых участков акваторий (Терский берег, Лумбовский залив. Шхерные р-ны), несоответствие цены за сырье затратам на его заготовку и отсутствие рекламной деятельности по использованию водорослей на должном уровне.

В настоящее время для бурых водорослей существуют комплексные схемы их переработки, в основе которых может лежать спиртовое, водное или щелочное экстрагирование водорослей:

1. Щелочное экстрагирование бурых водорослей направлено на получение альгинатов. В основе получения альгината лежат следующие общие операции: подготовка водорослей, щелочная их обработка и очистка щелочных экстрактов, извлечение из них альгиновой кислоты и получение альгината натрия. Наиболее высокими функциональными свойствами обладает высокомолекулярный альгинат. Альгинаты широко используются в различных отраслях промышленности. В пищевой промышленности их используют при приготовлении заливных продуктов, в качестве средств, тормозящих черствение хлебобулочных и кондитерских изделий и т.д. В фармацевтической промышленности альгинаты используют в качестве склеивающих и разрыхляющих веществ при производстве таблеток, пилюль, драже и других лекарственных форм, в качестве компонентов основ мазей и паст. В медицине их используют в качестве гемостатических средств при местном применении. Важнейшим свойством альгинатов также является их способность задерживать всасывание радиоактивного стронция в кишечнике человека, предотвращая накопление этого радионуклида в организме.

2. Водное экстрагирование направлено на извлечение водорастворимых полисахаридов, у бурых водорослей – это, в первую очередь, ламинараны и фукоиданы. В основе получения водорастворимых полисахаридов лежат следующие основные операции: подготовка водорослей, водное экстрагирование, очистка водных экстрактов, извлечение из них водорастворимых полисахаридов. Водорастворимые полисахариды широко используются в медицине. Ламинараны оказывают ингибирующее действие на рост и развитие вирусов, обладают свойствами антикоагулянта, удлиняют время свертывания крови. Ламинараны уменьшают содержание липидов, в том числе холестерина, в сыворотке крови. Фукоиданы также представляют огромный практический интерес, поскольку проявляют разнообразные виды биологической активности: антикоагулянтную (Chaubet et al., 2000), противовирусную, противоязвенную (Shibata et al., 2000), противовоспалительную, противоопухолевую, антипролиферативную и др. Все эти биологические свойства фукоиданов связывают главным образом с их способностью избирательно

реагировать с некоторыми белками и специфически модифицировать клеточную поверхность.

3. Спиртовое экстрагирование бурых водорослей нацелено, в первую очередь, на получение маннита. Технологический процесс получения маннита состоит из следующих основных операций: спиртового экстрагирования, отгонки спирта, очистки водного раствора маннита-сырца, упаривания водного раствора, кристаллизации маннита.

Как показывают исследования последних лет, из водорослей Белого моря можно получать огромное разнообразие продукции. В первую очередь – это биологически активные вещества медицинского и профилактического назначения, а также пищевые продукты, использование которых позволяет значительно снижать отрицательное воздействие сложной экологической обстановки на население нашего региона.

Ламинариевые водоросли традиционно в течение многих лет использовались для получения солей альгиновой кислоты и маннита. В СевПИПРО были проведены работы по расширению ассортимента вырабатываемых альгинатов за счет введения в состав альгиновых кислот различных катионов, были разработаны технологии получения альгинатов с катионами калия и магния. Проведенные медико-биологические исследования полученных альгинатов показали их высокую биологическую активность, была определена возможность их использования в составе медицинских и фармацевтических средств. Еще одним продуктом переработки ламинариевых водорослей, разработанным в СевПИПРО, является водорастворимый полисахарид Суполан. Препарат обладает ярко выраженным противоопухолевым эффектом. Технологическая схема получения Суполана основана на экстрагировании водорослей водой и является одной из ступеней их комплексной переработки. Проведенные медико-биологические и клинические испытания препарата показали, что по фармакологическому действию он относится к группе иммуностимуляторов. Способность Суполана образовывать исключительно прочные и вязкие слизи может быть использована для получения стабильных суспензий и эмульсий.

Фукоиды. Благодаря высокому содержанию специфических биополимеров, не имеющих аналогов в высших растениях, фукусковые водоросли сегодня рассматриваются как перспективный источник сырья для производства биологически-активных веществ и пищевой промышленности. Результаты медико-биологических исследований полученных продуктов – концентрированных экстрактов фукусов и проэкстрагированных водорослей – из промысловых видов *Fucus vesiculosus* и *Ascophyllum nodosum*. подтвердили их высокую биологическую активность. Экстракты фукусов абсолютно не подвержены микробиологическому заражению. Они богаты минеральными веществами (до 43% золы), в том числе калием, кальцием, магнием, натрием, цинком, содержат маннит (19%).

Воздушно-сухая водоросль после спиртового экстрагирования содержит значительные количества минеральных элементов (зола до 18%) и альгиновых кислот (38%), которые обладают широким спектром благотворного воздействия на организм. Высокое содержание легкогидролизуемых полисахаридов (21%) указывает на биологическую активность данного продукта. Рекомендуются для профилактики заболеваний сердечно-сосудистой системы, атеросклероза, при нарушениях липидного обмена, хронических вялотекущих инфекционных заболеваниях, при диетотерапии с целью снижения веса, при пониженной работоспособности и ослабленном иммунитете.

На основе результатов медико-биологических и клинических исследований установили, что пищевые продукты на основе продукции переработки фукоидов (экстракта и крупки) обладают выраженными противорадионуклидными свойствами и существенным образом влияют на обмен йода у детей, что говорит о целесообразности их использования в качестве лечебно-профилактических средств у населения, проживающего на радиоактивно загрязненных и эндемических по йоду территориях. На основе экстракта из фукоидов были созданы обогащенные йодом напитки и сиропы, наполнителями в которых служат местные ягоды – брусника, клюква, боярышник и шиповник. Полученные напитки и сиропы сбалансированы по содержанию йода и витамина С, они содержат весь комплекс макро- и микроэлементов, белков и полисахаридов водорослей, а также комплекс витаминов, содержащихся в северных ягодах. Кроме того, с бурыми водорослями разработаны рецептуры салатов и создана биоло-

гически-активная добавка «Марин АМ», в состав которой входят и водоросли, и северные ягоды. Также сотрудниками Киевского торгово-экономического университета разработаны технологические карты блюд с использованием фукусовой крупки и экстракта фукоидов, вошедшие в «Сборник рецептур блюд и кулинарных изделий», готовящийся к изданию в г. Киеве.

Литература

- Пронина О.А. 2001а. Современное состояние сырьевых ресурсов водорослей Белого моря // Тез. докл. VII рег. конф. «Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря». Архангельск. С. 20-22.
- Пронина О.А. 2002. Сырьевые ресурсы и промысел водорослей Белого моря // Рыбное хоз-во, № 4. С. 44-47.
- Пронина О.А. 2003. Результаты исследований сырьевой базы промысла водорослей Белого моря в 200-2002 гг. // Тез. докл. отчетн. сессии ПИНРО и Сев-ПИНРО по итогам НИР в 2001-2002 гг. С. 63-65.
- Пронина О.А. 2001б. Современная методика оценки и состояния запасов промысловых водорослей Белого моря. // Тез. докл. VIII съезда гидробиол. об-ва РАН. Калининград. С. 66-67.
- Chaubet F., Chevolut L., Jozefonvicz J., Durand P., Boisson – Vidal C. 2000. In Bioactive Carbohydrate Polymers; Paulsen B.S., Ed. Relationships between chemical characteristics and anticoagulant activity of low molecular weight fucans from marine algae. Kluwer academic Publishers: Netherlands. P. 59-84.
- Shibata H., Kimura-Takagi I., Nagaoka M., Nashimoto S., Aiyama R., Iha M., Ueyama S., Yokokura T. 2000. Properties of fucoidan from *Cladosiphon okamuranus* Tokida in gastric mucosal protection // BioFactors, 11. P. 235-245.

Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря.
Материалы IX международной конференции
11-14 октября 2004 г., Петрозаводск, Карелия, Россия
Петрозаводск, 2005. С. 274-279.

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ МАЛОПОЗВОНКОВЫХ СЕЛЬДЕЙ РОДА *CLUPEA* ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА И ВНЕШНИХ РАЙОНОВ БЕЛОГО МОРЕЙ

А.В. СЕМЕНОВА¹, А.П. АНДРЕЕВА¹, А.К. КАРПОВ¹, С.Н. ТАРАСОВ², Н.И. СТАСЕНКОВА²,
К. ЙОРСТАД³, Г.Г. НОВИКОВ¹

¹ *Московский Государственный университет им. М.В. Ломоносова*

² *Северное отделение Полярного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии (СевПИНРО), Архангельск*

³ *Институт Морских Исследований, Берген, Норвегия*

Проведен анализ генетической изменчивости и размерно-возрастной структуры нерестового стада малопозвонковых сельдей рода *Clupea* юго-восточной части Баренцева моря, Мезенского залива и Горла Белого моря в 1995-2002 гг. Выявлена стабильность генетических характеристик нерестовых скоплений сельдей в течение нескольких лет. Достоверных различий по частотам аллелей 4 полиморфных локусов между сельдями с различных нерестилищ не обнаружено, уровень межпопуляционного генного разнообразия $Gst=0,26\%$. Показаны генетические различия малопозвонковых сельдей европейского севера от многопозвонковых сельдей Атлантического океана.

A.V. Semyenova, A.P. Andreeva, A.K. Karpov, S.N. Tarasov, N.I. Stasenkov, K. Jorstad & G.G. Novikov. Genetic and biological differentiation of low-vertebrate herrings of the genus *Clupea* from the south-east Barents Sea and White Sea external areas // 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. 274-279.

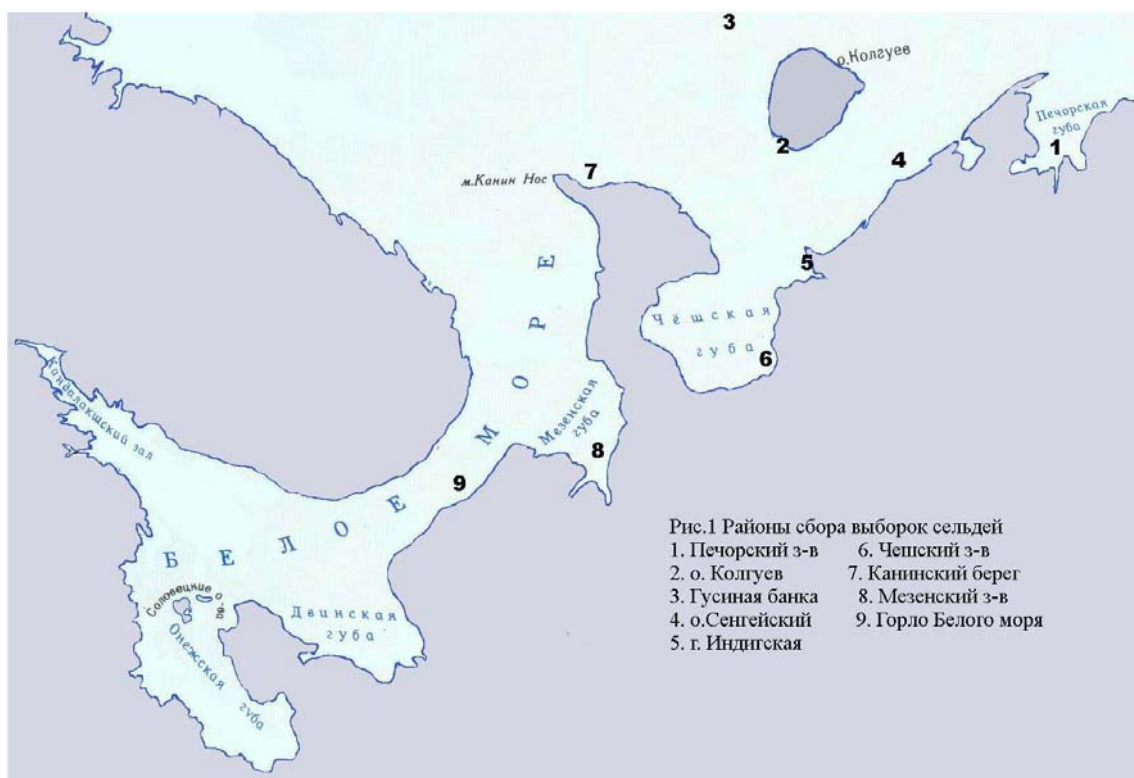
Genetic variation and the size and age structure of spawning groups of low-vertebrate herrings of the genus *Clupea* caught in south-eastern part of the Barents Sea, Mezen Gulf and Gorlo of the White Sea in 1995-2002 is analysed. The genetic characteristics of spawning aggregations of herrings are stable during several years. No significant differences by frequencies of alleles of 4 polymorphous loci between samples of herring from different spawning grounds is found, the value of the interpopulational genetic differences make $Gst=0,26\%$. It is shown the genetic differentiation between groups of low-vertebrate herring of the European North and high-vertebrate herring from Atlantic Ocean.

В пределах всего юго-восточного мелководья Баренцева моря от Канина Носа до Карских ворот обитают малопозвонковые сельди. По морфо-биологическим и экологическим параметрам они сходны с сельдями внутренних заливов Белого моря, Мезенского залива и Горла Белого моря, а также малопозвонковыми сельдями Тихого океана (Мартин, 1952; Световидов, 1952). В настоящее время нет единого мнения относительно популяционной структуры малопозвонковых сельдей европейского севера. Одни исследователи признают существование самостоятельных локальных форм этих сельдей в отдельных районах юго-восточной части Баренцева моря, вплоть до придания некоторым стадам собственного таксономического статуса (Рабинерсон, 1927; Макушок, 1934, 1935; Есипов, 1938; Дмитриев, 1946). Другие рассматривают малопозвонковых сельдей Баренцева моря как единое стадо – чешско-печорскую сельдь, к которой относят также и сельдей Мезенского залива (Рыженко, 1938; Световидов, 1952). Несомненно, что изучения только морфометрических и биологических параметров недостаточно

для решения вопроса дифференциации малопозвонковых сельдей. Кроме того, вызывает интерес возможность репродуктивного взаимодействия и генетического влияния огромной по численности популяции многопозвонковых атлантических сельдей, находящихся в тесном географическом соседстве с малопозвонковыми сельдями.

Материал и методика

Материал для исследований был собран с 1995 по 2002 гг. на основных нерестилищах малопозвонковых сельдей в юго-восточной части Баренцева моря. Значительная часть материала была любезно предоставлена нам сотрудниками СевПИНРО. Большинство проб были собраны во время нереста сельдей, но несколько выборок представлено нагульными скоплениями сельдей, что учитывалось при анализе результатов (Рис. 1). Всего были проанализированы 22 выборки сельдей, общее количество исследованных особей составило 1383 экз. Методом электрофореза в полиакриламидном и крахмальном гелях было исследовано около 30 структурных



турных ферментных белковых систем, из которых четыре, *LDH-1**, *LDH-2**, *MDH-4**, *GPI-1** - локализованные в мышцах, оказались полиморфными и на их основании проводили анализ генетической дифференциации сельдей. Все особи подвергались общему биологическому анализу: определялись длина тела по Смитту (АС), пол, стадия зрелости гонад, возраст, просчитывалось число позвонков (без уростилия). Статистическую обработку данных проводили с помощью критерия χ^2 , F- критерия Фишера. Анализ генного разнообразия (Nei, 1973) проведен с помощью программы GENESTAT-PC (Lewis, Whitkus, 1989).

Результаты и обсуждение

Для отнесения изучаемых нами сельдей к определенной группе (малопозвонковых или многопозвонковых) был проведен подсчет позвонков. Однако необходимо принимать во внимание, что этот признак не является абсолютным при дискриминации малопозвонковых и многопозвонковых сельдей, поскольку число позвонков у этих групп может значительно перекрываться (47-57 и 51-60 соответственно) (Световидов, 1952). Большинство особей оказались малопозвонковыми (49-56 позвонков) (Табл. 1). В выборках из районов о-ва Колгуев, Канинского берега отмечены единичные экземпляры, имеющие 57-58 позвонков. Достоверных различий по этому признаку между сельдями в выборках не выявлено.

В результате исследований, проведенных в течение нескольких лет в период нереста сельдей на основных нерестилищах в Чешско-Печорском районе и внешних районах Белого моря, было обнаружено

Таблица 1. Среднее число позвонков у сельдей

Район сбора	Дата поимки	Ср. число позвонков
о. Колгуев	июнь 1996	53,71
	июнь 1997*	53,60
	июль 1997*	54,35
о. Сенгейский	июнь 1996	53,30
г. Индигская	июнь 1996	53,45
г. Чешская	июнь 1996	53,45
	июнь 2002*	53,75
	июль 2002*	53,10
Канинский берег	июль 2002*	53,90
Мезенский залив	июнь 1996	53,24
Горло Белого моря	июнь 1996	53,46

Примечание: *выборки собраны во время нагула

что сельди, размножающиеся на одном нерестилище, а также группировки из различных нерестилищ очень близки друг другу по размерам (Рис. 2). В нагульных скоплениях дисперсия сельдей по размерам больше, так как в их составе много молоди рыб. Возраст сельдей на нерестилищах от 5 до 11 лет, преобладают рыбы 6–8 летнего возраста. Нагульные скопления сельдей представлены, также, и молодь 1-2- летнего возраста (Табл. 2).

Размерно-возрастная структура сельдей на нерестилищах в этом районе (на основании анализа собственных и литературных данных) остается стабильной на протяжении 40-50 лет (Табл. 3, 4).

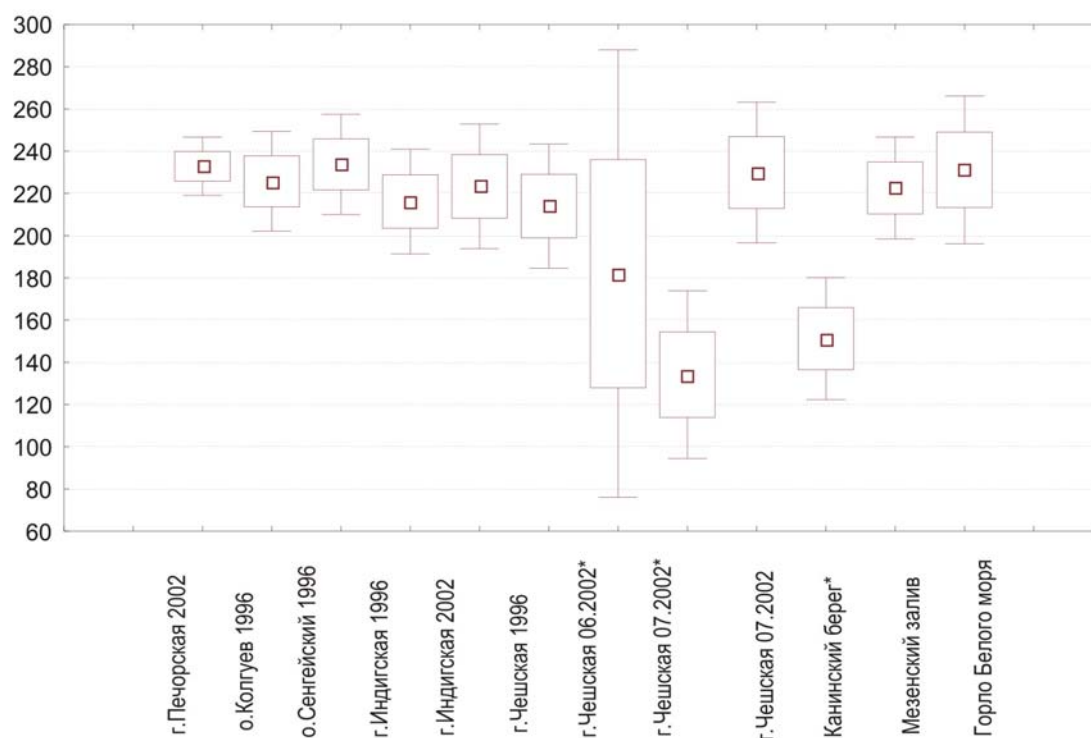


Рис. 2. Размерный состав сельдей их юго-восточной части Баренцева моря (АС, мм)

Таблица 2. Возрастной состав сельдей исследованных районов (%)

Районы	Возраст (годы)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
г. Печорская					5	26	53	11	5		
о-в Колгуев				1,9	3,8	15,3	47,1	30,7	0,9		
о-в Сенгейский						12,6	47,3	38,9	1		
г. Индигская					2,3	7,1	52,3	38,1			
Канинский берег*	5	67	23	2	2	1					
г. Чешская 07.2002					10	31	33	15	7	3	1
г. Чешская 06.2002*	7	10	20	12	24	7	5				
г. Чешская 07.2002*	4	78	12	2	1		1				
Мезенский залив					1	7	61	28		1	1
Горло Белого моря					4,4	8,7	49,4	36,2			1,1

Примечание: * - выборки собраны во время нагула.

Таблица 3. Размерно-возрастной состав (по наблюдаемым данным) сельдей в 1995-2002гг. (АС, мм.)

Район сбора	Время поимки	Возраст							
		2	3	4	5	6	7	8	9
Печорский з-в	Июнь				222	228	238	241	
г. Чешская	Июнь				214	223	225	240	
г. Индигская	Июнь				193	215	222	236	
о. Колгуев	Июль			161	186	213	225	234	236
Горло	Июнь				199	216	226	246	
Мезенский з-в	Июнь				203	218	230	243	

Таблица 4. Размерно-возрастной состав сельдей в 1950-1970 гг. (по Марти, 1952; Тамбовцеву, 1957) (АС, мм)

Район сбора	Время поимки	Возраст							
		2	3	4	5	6	7	8	9
Печорский з-в	Июнь				217	221	230	252	
г. Чешская	Июнь	125	164	181	204	218	231	245	256
Мезенский з-в	Июнь	120	157	175	197	213	223	235	259

Распределения фенотипов во всех выборках сельдей, собранных во время нереста, соответствовало теоретическому распределению Харди-Вайнберга. В то время как в выборках, которые были собраны в период нагула, во многих случаях были обнаружены отклонения от равновесного распределения по локусам *LDH-1** и *LDH-2** (обнаружен дефицит гетерозигот). Неравновесность была обнаружена в выборках из Гусиной банки - $p < 0.01$, о-ва Колгуев (июнь и июль 1997 г.) - $p < 0.05$, губы Чешской (июнь и июль 2002 г.) - $p < 0.01$, Канинского берега $p < 0.01$. Во всех этих выборках отклонения были связаны с присутствием особей, имеющих редкие для малопозвонковых сельдей фенотипы *LDH-1*160160* и *LDH-2*100100*. Количество таких особей в выборках было незначительно – от 1 до 5, кроме улова из района Канинского берега, где число рыб с указанными фенотипами составило около 30% общего объема выборки. Все эти особи были половозрелыми в возрасте одного – двух лет. Принимая во внимание почти полное доминирование аллелей *LDH-1*160* и *LDH-2*100* у атлантических многопозвонковых (Grant, 1984; Jorstad et al., 1994) сельдей, можно рассматривать особей, гомозиготных по таким аллелям, как молодь атлантических сельдей, попавших в нашу выборку. В тех случаях, когда количество особей, имеющих «атлантические» фенотипы в выборках было незначительно, такие экземпляры из анализа были исключены, после чего распределения фенотипов в этих выборках стали соответствовать теоретическому соотношению Харди-Вайнберга. Выборка из района Канинского берега была исключена из анализа дифференциации малопозвонковых сельдей.

Недостоверность отличий от равновесного распределения фенотипов по всем локусам в большинстве выборок косвенно подтверждает корректность генетической трактовки электрофоретической картины и позволяет характеризовать эти группы частотами аллелей (Табл. 5).

Исследования генетической изменчивости сельдей, проводимые на одних и тех же нерестилищах в течение нескольких лет, показывают стабильность генетических характеристик нерестовых стад (Табл. 5), сельди из одного района весьма близки из года в год по частотам аллелей полиморфных локусов. В то же время, нагульные группировки сельдей в некоторых случаях отличаются от нерестовых стад из того же района. Так сельди с нерестилища из губы Чешской 1997 г. отличаются ($p < 0.05$, *LDH-2**) от

нагульного скопления особей, выловленных в этом районе в июне 2002 г.

Помимо стабильности генетических параметров нерестовых группировок на отдельных нерестилищах в течение нескольких лет нерестовые стада сходны и по своим биологическим показателям. Что, вероятно, свидетельствует о географической приуроченности группировок сельдей к определенным нерестилищам. Поэтому вполне правомерно объединить выборки разных лет, и сельдей из одного района характеризовать средневзвешенными значениями частот аллелей (Табл. 5).

При попарном сравнении группировок сельдей по частотам аллелей полиморфных локусов достоверных различий между сельдями из различных районов обнаружено не было. Анализ генного разнообразия (*Gst*), проведенный на основании 4 полиморфных локусов, показал, что большая часть генного разнообразия распределена внутри популяций – 99,74%, и только 0,26% приходится на межпопуляционные различия, что свидетельствует об очень низком уровне генетической дифференциации малопозвонковых сельдей в юго-восточной части Баренцева моря и отсутствии репродуктивной изоляции стад в каждом из районов.

Исследуя дифференциацию малопозвонковых сельдей северо-восточной Атлантики, не следует забывать, что они находятся в тесном соседстве с группой многопозвонковых сельдей и возможность генетического контакта между ними не исключена. Одной из проблем является дискриминация их друг от друга. По генетическим характеристикам между малопозвонковыми и многопозвонковыми сельдями были обнаружены различия. В локусах *LDH-1**, *LDH-2**, *IDHP-2**, *GPI-1** у них практически фиксированы разные аллели, а по частотам некоторых других локусов они достаточно четко различаются (Jorstad et al., 2001; Семенова и др., 2004).

Нами были обнаружены экземпляры молоди многопозвонковых сельдей в нагульных сборах, но на нерестилищах особи, имеющие генотипы, характерные для многопозвонковых сельдей, не отмечены. Это согласуется с данными экологических наблюдений о заходах молоди атлантических сельдей в Чешско-Печорский район и Белое море и не противоречит мнению большинства авторов об отсутствии нереста атлантических сельдей на нерестилищах малопозвонковых сельдей (Аверинцев, 1927; Тамбовцев, 1966). В связи с этим нам кажется важным оценить генетическую близость сельдей Чешско-Печорского района к другим популяциям мало-

Таблица 5. Частоты аллелей полиморфных локусов у сельдей исследованных районов

Район сбора	Дата поимки	LDH-1*		LDH-2*			MDH-4*		GPI-1*				
		*200	*160	*120	*100	*70	**100	*70	*200	*150	*100	*70	*50
г. Печорская	июнь 1995	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,967	0,033	0,333	0,600	0,067	0,000	0,000
		n=15			n=15		n=15				n=15		
	июнь 1995	0,980	0,020	0,980	0,020	0,000	0,990	0,010	0,270	0,690	0,040	0,000	0,000
		n=50			n=50		n=50				n=50		
	июнь 1997	1,000	0,000	0,884	0,116	0,000	0,961	0,038	0,346	0,577	0,077	0,000	0,000
тест на гомогенность		n=12			n=13		n=13				n=13		
	июнь 2002	1,000	0,000	0,950	0,050	0,000	1,000	0,000	0,300	0,700	0,000	0,000	0,000
		n=20			n=20		n=20				n=20		
	F	p>0,05			p>0,05		p>0,05				p>0,05		
	χ^2	p>0,05			p>0,05		p>0,05				p>0,05		
q		0,989	0,011	0,964	0,036	0,000	0,985	0,015	0,296	0,663	0,040	0,000	0,000
p		97		98	98		98				98		
о. Колгуев	июнь 1995	0,988	0,012	0,962	0,038	0,000	0,963	0,037	0,269	0,717	0,013	0,000	0,000
		n=40			n=40		n=41				n=39		
	июнь 1996	0,0979	0,021	0,974	0,026	0,000	0,968	0,031	0,312	0,677	0,005	0,005	0,000
		n=97			n=96		n=96				n=96		
	июнь 1997*	1,000	0,000	0,992	0,007	0,000	0,970	0,030	0,181	0,775	0,029	0,000	0,014
тест на гомогенность		n=67			n=67		n=67				n=67		
	июнь 1997*	1,000	0,000	0,986	0,135	0,000	0,993	0,007	нет данных				
		n=74			n=76		n=79						
	июль 2002	1,000	0,000	0,900	0,100	0,000	1,000	0,000	0,350	0,650	0,000	0,000	0,000
		n=10			n=10		n=10				n=10		
F		p>0,05			p>0,05		p>0,05				p>0,05		
χ^2		p>0,05			p>0,05		p>0,05				p>0,05		
q		0,991	0,009	0,977	0,023	0,000	0,976	0,024	0,265	0,714	0,014	0,002	0,004
p		287		289	289		293				212		
Гусиная банка	июнь 1998*	1,000	0,000	0,925	0,075	0,000	0,980	0,020	0,280	0,710	0,005	0,005	0,000
		n=100			n=100		n=100				n=100		
о. Сенгейский	июнь 1996	1,000	0,000	0,948	0,052	0,000	0,974	0,026	0,343	0,640	0,016	0,000	0,000
		n=95			n=96		n=96				n=96		
г. Индигская	июль 2002	1,000	0,000	0,925	0,075	0,000	0,975	0,025	0,400	0,600	0,000	0,000	0,000
		n=20			n=20		n=20				n=20		
	июнь 1996	0,988	0,012	0,965	0,035	0,000	0,988	0,012	0,392	0,595	0,012	0,000	0,000
		n=42			n=42		n=42				n=42		
	F	p>0,05			p>0,05		p>0,05				p>0,05		
χ^2		p>0,05			p>0,05		p>0,05				p>0,05		
q		0,992	0,008	0,954	0,046	0,000	0,984	0,016	0,395	0,597	0,008	0,000	0,000
p		62		62	62		62				62		
г. Чешская	июнь 1996	0,984	0,016	0,968	0,031	0,000	0,974	0,026	0,255	0,734	0,010	0,000	0,000
		n=96			n=96		n=96				n=96		
	июнь 1997	0,971	0,029	0,943	0,057	0,000	0,971	0,028	0,271	0,721	0,071	0,000	0,000
		n=70			n=70		n=70				n=70		
	июль 1997	1,000	0,000	0,988	0,012	0,000	0,988	0,012	нет данных				
тест на гомогенность		n=42			n=42		n=42						
	июнь 2002*	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,958	0,042	0,294	0,618	0,088	0,000	0,000
		n=37			n=35		n=36				n=34		
	июль 2002*	1,000	0,000	0,949	0,051	0,000	0,984	0,015	0,213	0,723	0,032	0,032	0,000
		n=99			n=99		n=99				n=94		
F		p>0,05			p>0,05		p>0,05				p>0,05		
χ^2		p>0,05			p>0,05		p>0,05				p>0,05		
q		0,992	0,008	0,966	0,034	0,000	0,979	0,021	0,259	0,690	0,042	0,009	0,000
p		434		432	432		432				383		
Канинский берег	июль 2002*	0,881	0,119	0,730	0,255	0,015	0,890	0,110	0,173	0,540	0,199	0,051	0,036
		n=100			n=100		n=100				n=98		
Мезенский залив	июнь 1996	0,984	0,016	0,958	0,042	0,000	0,979	0,021	0,307	0,682	0,010	0,000	0,000
		n=96			n=96		n=96				n=96		
Горло Белого моря	июнь 1996	0,995	0,005	0,947	0,053	0,000	0,967	0,032	0,289	0,705	0,005	0,000	0,000
		n=96			n=96		n=93				n=95		

Примечание: · средневзвешенные частоты аллеле, * - выборки сельдей собраны во время нагула.

F – критерий Фишера, χ^2 – тест на гомогенность.

позвонковых и многопозвонковых сельдей. Для этого мы сопоставили их по частотам аллелей исследованных нами полиморфных систем, на основании которых были вычислены показатели генетического сходства – стандартные генетические расстояния по Нею (Nei, 1972). На основании литературных сведений и собственных данных было проведено сравнение генетических характеристик сельдей, обитающих в бассейнах Атлантического и Тихого океанов, Белом море и Канинско - Печорском районе. Анализ показал (Табл. 6), что все выборки многопозвонковых сельдей, собранные в бассейне Атлантического океана (районы северной Америки, Норвежского, Балтийского морей) являются чрезвычайно сходными между собой по генетическим характеристикам ($D=0$).

Генетические расстояния между выборками тихоокеанских сельдей (р-н Британской Колумбии), беломорских и канинско-печорских сельдей гораздо меньше, чем между ними и атлантическими многопозвонковыми сельдями. Наиболее близки между

собой чешско-печорские и беломорские сельди. Однако, данные генетических различий нельзя формально трактовать в систематическом плане.

Выводы

1) Показана стабильность биологических параметров малопозвонковых сельдей на протяжении 40-50 лет.

2) Обнаружен полиморфизм у сельдей по 4 ферментным локусам: *LDH-1**, *LDH-2**, *MDH-4**, *GPI-1**.

3) Выявлена стабильность генетических параметров нерестовых стад сельдей в течение 2-5 лет.

4) Генетических различий по исследованным локусам между сельдями внешних районов Белого моря (Мезенского залива и Горла) и юго-восточных районов не обнаружено.

5) Показаны генетические различия малопозвонковых сельдей европейского севера от многопозвонковых сельдей Атлантического океана.

Таблица 6. Стандартные генетические расстояния (по Нею) между сельдями рода *Clupea* на ареале (по данным Grant, 1984; Jorstad et al., 1994; Семенова и др., 2004)

	Северная Америка	Норвежское море	Балтийское море	Британская Колумбия	Белое море
Сев. Америка					
Норвежское море	0,0000				
Балтийское море	0,0000	0,0000			
Брит. Колумбия	1,0991	1,1211	1,1260		
Белое море	1,5190	1,5038	1,5014	0,1360	
Чешско-Печорский р-н	1,5890	1,5800	1,5749	0,1248	0,0016

Литература

- Аверинцев С.В. 1927. Сельди Белого моря // Труды НИИ рыбного хозяйства и океанографии. Т. 2. Вып. 1. С. 41-47.
- Дмитриев Н.А. 1946. Биология и промысел сельди в Белом море. М. Пищепромиздат. С. 1-88.
- Есипов В.К. 1938. О малопозвонковых сельдях Карского и Баренцева морей // Тр. ПИНРО. Вып.1. С. 149-159.
- Макушок М.Е. 1934. Сельди Печорского моря // За рыбн. индустрию Севера. №8. С. 12-15.
- Макушок М.Е. 1935. Сельди Карского моря // За рыбн. индустрию Севера. №1. С. 2-7.
- Марти Ю.Ю. 1952. Семейство сельдевых // Промысловые рыбы Белого и Баренцева морей. Л. С. 42-75.
- Рабинерсон А.И. 1927. Беломорская сельдь и ее биологические особенности // Карело-Мурманский край. №12. С. 36-49.
- Рыженко М.И. 1938. Предварительные результаты исследований сельди Печорского моря // Рыбн. хоз-во. №4-5. С. 34-41.
- Световидов А.Н. 1952. Фауна СССР. Рыбы. Сельдевые. М. Л. Т.2. Вып. 1. 331 с.
- Семенова А.В., Андреева А.П., Карпов А.К., Фролов С.Б., Феоктистов Е.И., Новиков Г.Г. 2004. Генетическая изменчивость сельдей рода *Clupea* Белого моря // Вопр. ихтиологии. Т. 44. №2. С. 207-217.
- Тамбовцев В.М. 1957. Биологическое обновление промысла беломорской сельди // Труды ПИНРО. Вып. 9. С. 234-242.
- Тамбовцев В.М. 1966. О заходах атлантической сельди (*Clupea harengus harengus*) в Белое море // Труды ПИНРО. Вып.17. С. 223-236.
- Grant W.S. 1984. Biochemical population genetics of Atlantic herring *Clupea harengus* // Copeia. №2. P. 357-364.
- Jorstad K.E., Dahle G., Paulsen O.I. 1994. Genetic comparison between Pacific herring (*Clupea pallasii*) and Norwegian fjord stock of Atlantic herring (*Clupea harengus*) // Can. J. Fish. Aquat. Sci. V. 51. Suppl. 1. P. 233-239.
- Jorstad K.E., Novikov G.G., Stasenkov N.J., Rottingen I., Stasenkov V.A., Wennelik V., Golubev A.N., Karpov A.K., Telitsina L.A., Andreeva A.P., Stroganov A.N. 2001. Interminingling of herring stocks in the Barents sea area // Herring: Expectations for a New Millenium. University of Alaska Sea Grant, AK-SG-01-04, Fairbanks. P. 629-633.
- Lewis P., Whitkins R. 1989. GENESTAT-PC (version 2.1). Dept. of Botany, Ohio State University Columbus, Ohio.
- Nei M. 1972. Genetic distance between populations // Am. Nat. 106. P. 283-292.

Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря.
Материалы IX международной конференции
11-14 октября 2004 г., Петрозаводск, Карелия, Россия
Петрозаводск, 2005. С. 280-284.

ЗНАЧЕНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКИХ БАРЬЕРНЫХ ЗОН В ФОРМИРОВАНИИ ЭКОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД БЕЛОГО МОРЯ

Л.Э. СКИБИНСКИЙ

Институт экологических проблем Севера Уральского отделения РАН, Архангельск

Речной сток играет важную роль в формировании режимных характеристик моря. Устьевые области рек и примыкающие к ним прибрежные воды являются глобальным фильтром взвешенного и растворенного веществ. В зоне смешения речных и морских вод происходит перераспределение растворенных и взвешенных форм биогенных элементов, изменяются гидрохимические характеристики. Усиление загрязненности речных вод ведет к увеличению концентраций, накоплению загрязняющих веществ в устьях рек и примыкающим к ним прибрежной зоне моря. Белое море, по сути, является огромным маргинальным фильтром, глобальной геохимической барьерной зоной (ГБЗ), в которой действует не один, а множество различных геохимических барьеров, усиливая или ослабляя действия друг друга.

В работе рассмотрены процессы накопления химических веществ в зонах постоянного контакта: «берег-море»; «река-море»; «вода-дно» а акваториях различного морфометрического типа. В Белое море впадают три крупные реки: Северная Двина, Онега и Мезень. Объем их годового стока составляет около 200 км³. Кроме того, в море впадают множество средних и малых хозяйственно значимых рек. Поэтому роль ГБЗ «река-море», как части маргинального фильтра, огромна. Для Арктических морей, включая и Белое море, маргинальный фильтр обладает рядом особенностей, связанные с влиянием на протяжении большей части года льдов на поверхности моря и впадающих рек, снежного покрова, а также мерзлоты на водосборе. Изучались распределения концентраций гидрохимических показателей, ряда тяжелых металлов, нефтяных углеводородов, биогенных элементов в воде и грунтах в зонах смешения вод и влияние их выноса, в различные сезоны года, на формирование эколого-гидрохимического состояния Белого моря. Исследована роль Горла Белого моря как барьера, определяющего физико-химические, биологические процессы и уникальность экосистемы Белого моря.

L.E. Skibinsky. Geochemical barriers and their role in the formation of ecological-chemical state of water in 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. 280-284.

Ecological role of the geochemical barriers in the pollution of the White Sea was studied. We have considered some geochemical barriers: "river-sea", "coast-sea" and other in the various estuaries and coastwater morphological type. The average value of the chemistry characteristics and pollution was estimated. The role of the channel Gorlo of the White Sea as geochemical barrier was evaluated.

Исследование эколого-химического состояния морских экосистем представляет собой сложную комплексную задачу, включающую изучение уровней накопления, распространения и циркуляцию загрязняющих веществ (ЗВ) в биотических и абиотических компонентах морской среды. Динамичность среды распространения определяет значительную изменчивость концентраций химических показателей, включая ЗВ. В данной работе рассматриваются гидрохимические характеристики, уровень и механизмы загрязнения прибрежных и устьевых акваторий Белого моря.

Прибрежные акватории Белого моря являются местом зверобойного и рыбного промысла, нерестилищем и местом нагула промысловых рыб, через них проходят пути миграции лососевых рыб, которые заходят в реки и ручьи региона. Шхерные и фиордовые губы южной части Белого моря удобны для промышленного развития марикультуры. Интенсификация добычи органических и минеральных ресурсов, введение регулярных маршрутов танкерных перевозок, строительство терминалов, нефте- и газопроводов могут привести к резкому увеличению поступления ЗВ в воды морей, что скажется на биологических ресурсах. Исследуемые акватории морей имеют приоритетное значение с точки зрения проблем геополитики, экономики и охраны природной среды. Вследствие этого необходимо выработать взвешенный научный подход к разработке природных ресурсов Белого моря, основанный на реальной и комплексной информации.

Дельты рек и в особенности эстуарии, служат весьма эффективными седиментационными ловушками, в них отлагается значительная часть поступающих наносов. Для Арктики работа маргинального фильтра имеет свои уникальные особенности, связанные с ледообразованием на поверхности морей и впадающих в них рек на протяжении значительного периода времени.

Дельты рек и в особенности эстуарии, служат весьма эффективными седиментационными ловушками, в них отлагается значительная часть поступающих наносов. Для Арктики работа маргинального фильтра имеет свои уникальные особенности, связанные с ледообразованием на поверхности морей и впадающих в них рек на протяжении значительного периода времени.

тельного периода года, уменьшением речного стока в зимнюю межень, падением биологической активности (Лисицын, 1994).

Процессы химического преобразования вещества и формирование особенности гидрохимического режима (форм миграции и концентрации химических элементов) происходят не равномерно, а локализуются в активных зонах, слоях и активных поверхностях получивших названия ГБ или геохимических барьерных зон ГБЗ. В 1926 г. на наличие барьеров в водной среде обратил внимание В.И. Вернадский (1960). Зоны контакта «атмосфера-вода» и «вода-дно» выделены и происходящие в них процессы описаны в работе Хорна (1972). Впоследствии были выявлены другие поверхности и границы раздела. Под ГБЗ понимают естественную границу участка моря или океана, по разные стороны которой существуют различные условия накопления донных осадков. Вследствие этого происходит изменение концентрации химических элементов, причем действует не один, а несколько различных барьеров, взаимодействуя друг с другом (усиливая или ослабляя), в некоторых случаях эти барьеры действуют последовательно.

Основной количественной характеристикой геохимических барьеров является градиент

$$G = C^1 - C^2 / L \quad (1)$$

где: C^1 - концентрация элемента перед барьером, C^2 - значение (концентрация) элемента после барьера, L - ширина барьера.

Считают, что пограничный слой кончается там, где влияние границы с удалением от нее уменьшается до 10-20% (Емельянов 1984). Те участки и слои воды, в которых ГБ проявляются слабо, но которые находят четкое выражение в виде граней разных типов донных осадках или границ разных литолого-осадочных районов или провинций названы ЛГБЗ (Емельянов, 1986). Выделение границ экосистем (геобарьеров) - важный этап при изучении ассимиляционной емкости экосистем (Израэль, Цыбань, 1988).

ГБ, ГБЗ и ЛГБЗ подразделяют по масштабности проявления на глобальные (универсальные), региональные, локальные. По положению в пространстве: на горизонтальные, вертикальные, а также не зависящие от положения в пространстве (автономные). По изменчивости во времени: непрерывные, дискретные, периодические. Классификация основных ГБ и ГБЗ встречающихся в прибрежных водах разработана согласно работам (Емельянов, 1986; Израэль, Цыбань, 1988; Емельянов, 1998; Перельман, 1999; Скибинский, 2001) и приведена в табл. 1.

Основные процессы накопления загрязняющих веществ (ЗВ) происходят на границах первого порядка. Это зоны постоянного контакта: «берег-море»; «река-море»; «вода-дно», как правило, эти барьеры взаимосвязаны (Емельянов, 1998).

Одной из зон со сложнейшей структурой геохимических процессов является береговая зона моря, где в контакт входят поверхности разного про-

исхождения. Вследствие этого здесь наблюдается активность гидрофизических, гидрохимических, биохимических, биологических процессов. Граница «берег-море» в штиль - урез воды, однако во время штормов она меняется, поэтому считают, что граница «берег-море» это зона от максимального заплеска волн до глубин 15-20 м, где волновые процессы еще обуславливают размыв дна и переотложение донных осадков. Протяженность береговой линии Белого моря от м. Святой Нос до м. Канин Нос составляет 5093 км, площадь морских мелководий, ограниченных отдельными изобатами 0-20 м, 33 тыс. км², что показывает влияние ГБ «берег-море» на формирование режима Белого моря. В целях исследования ГБ «берег-море» получены статистические характеристики ряда параметров качества вод и грунтов для отдельных акваторий Беломорского мелководья.

Граница «вода-дно» это поверхностный слой донных осадков и является конечным пунктом ЗВ, которые осаждаются на дне. Под влиянием штормов донные осадки взмучиваются, в результате происходит вторичное загрязнение вод.

Граница «река-море» - это полоса, которая соответствует зоне смешения речных вод с морскими. Со стороны моря она заканчивается там, где соленость не зависит от речного стока и совпадает с изогалиной, характерной для вод данного моря.

Согласно существующей классификации Белое море относится к внутренним «замкнутым» морям и является зоной интенсивного контакта суши и моря, рек и моря, характеризующейся как интенсивным кругооборотом основных солей, биогенных веществ, микроэлементов, так и поступлением огромной массы ЗВ, в том числе и ксенобиотиков.

В Белое море впадают три крупные реки: Северная Двина, Онега и Мезень. Объем их годового стока составляет около 200 км³. Кроме того, имеется густая речная сеть: в регионе насчитывается около 46 хозяйственно значимых рек. Поэтому роль ГБ «река-море» огромна. По сути, Белое море является огромным маргинальным фильтром, глобальной геохимической барьерной зоной (ГБЗ), в которой действует не один, а множество различных геохимических барьеров, усиливая или ослабляя действия друг друга.

Реки региона, на водосборах которых преобладают суглинки и супеси, входят в зону избыточного увлажнения, что определяется типом выветривания. Реки характеризуются низкой мутностью воды и достаточно высоким содержанием растворенных веществ. Сток взвешенных наносов в исследуемые устьевые области рек может оцениваться по весьма ограниченному данным наблюдений. Загрязнение донных отложений на устьевом участке реки по механизму формирования отличается от процессов на устьевом взморье и заливе, поскольку области смешения речных и морских вод представляют собой один из главных геохимических барьеров между морем и материком. Академик Н.М. Страхов уже более 30 лет назад указывал на важность исследований

Таблица 1. Классификация ГБ и ГБЗ, имеющих в прибрежных акваториях

Зависимость от положения в пространстве	Характер форм миграции химических элементов и седиментогенеза	Вид ГБ
Геохимические барьеры, зависящие от положения в пространстве (А).	Механические (гидродинамические)	1-ый механический барьер – прибрежная (прибойная) зона (литораль) или «берег-море». 2-ой механический барьер - зона резкого уменьшения повторяемости явления асимметрии волновых придонных скоростей. 3-ий механический барьер - зона действия сильных придонных течений основного потока бассейна, или граница смены обломочных осадков глинистыми.
	Физико-химические Барьеры	Щелочно-кислотный барьер pH барьер Окислительно-восстановительный Eh- барьер: 1. Редокс барьер Eh в воде, или переходной слой O^2-H^2S ; 2. Редокс барьер Eh- в осадках (+ 200-+400 мВ).
	Солевые барьеры	1. Река-море 2. Морская вода - рассолы 3. Очаги разгрузки пресных подземных вод в море 4. Галоклин
	Температурный и динамический барьеры	Термоклин Температура замерзания Испарительный барьер Изменения состояния вещества при изменении давления
	Световой барьер	
Геохимические барьеры, не зависящие от положения в пространстве (Б)	Физико-химические и биохимические	1. Вода - биота 2. Вода-взвесь
Геохимические барьеры и зоны (ГБЗ), где присутствует влияние группы барьеров. (В)	Механические (гидродинамические)	1. Вода-атмосфера 2. Лед-вода
	Физико-химические и биохимические Солевые барьеры Температурный и динамический барьеры	3. Гидрофронт и дивергенции 4. Слой фотосинтеза 5. Слой скачка (термоклин-галоклин-пикноклин) 6. Вода-дно 7. Гидротерма - морская вода 8. Очаги субмариной разгрузки 9. Море-берег 10. Река-море

процессов на стыке материковых и морских вод для теории осадкообразования (Страхов, 1954). Он считал, что количественные и качественные изменения осадочного материала, транспортируемого реками, в зоне смешения определяется, главным образом, разбавлением речной воды морской; подпором речного потока и вследствие этого осаждением наиболее крупных частиц речной взвеси; биологическим извлечением из воды ряда компонентов планктонным фильтром.

Лабораторией экологии моря ИЭПС УрО РАН изучалось поведение различных растворенных и взвешенных веществ в устьях крупных рек региона таких как: Сев. Двина, Онега, Мезень и Печора, а также в акваториях различного морфометрического типа в различные сезоны. Исследования проводились в акваториях с различной степенью водообмена. Рассматривались Унская губа (замкнутые акватории); устье реки Северная Двина (полузакмнутые

акватории); Золотичский участок и устье реки Золотица, Горло Белого моря (открытые акватории).

Были рассмотрены процессы накопления различных загрязняющих веществ, в том числе биогенных элементов (БЭ), нефтяных углеводородов (НУ) и тяжелых металлов (ТМ) в зонах постоянного контакта: «берег-море»; «река-море»; «вода-дно». Большое внимание было уделено изучению процессов в ГБЗ «река-море». Эта геобарьерная зона соответствует зоне смешения речных и морских вод и во многом определяет действие маргинального фильтра. Со стороны моря она заканчивается там, где соленость не зависит от речного стока и совпадает с изогалиной, характерной для вод данного моря (приемного водоема).

По данным наших исследований маргинальный фильтр для крупных рек региона состоит из 3 зон и имеет следующий вид. В наиболее сложной второй зоне (зоне смешения вод) выделяются 3 участка.

В первом участке (иловой пробке) концентрации взвесей и скорость ее седиментации значительно превышают исходную речную и тем более величину седиментации на морской границе. Второй участок (элементоорганическая пробка или органо-минеральная) локализуется между соленостью воды 1-2‰ и 10-15‰. Для него характерно то, что основная органическая масса фульфо и гуминовых кислот, растворенных в речной воде на контакте с морской водой, флокулирует и переходят во взвесь, забирая при этом с собой значительное количество металлов и др. веществ. В третьей участке (биологическая пробка) отмечается максимальное развитие фитопланктона, который служит кормовой базой зоопланктона (водных фильтраторов), а также зообентоса (донных фильтраторов) солоноватых вод. Биофильтр располагается между изогалинами 8 и 25‰.

Зона смешения характеризуется наибольшими горизонтальными и вертикальными градиентами солености воды. Протяженность ее меняется в зависимости от расхода реки (сезона), солености вод моря, гидродинамики и морфометрических характеристик прибрежных акваторий (Табл. 2.). Пространственное положение внутренней и внешней границ

зоны смешения речных и морских вод в устьях рек зависит от сезонной изменчивости объема стока пресных вод, стонно-нагонных и приливо-отливных явлений.

В исследуемых устьях рек наблюдаются ярко выраженные приливы, имеющие неправильный полусуточный характер. Под воздействием этих приливо-отливных явлений, границы зоны смешения речных и морских вод дважды в сутки меняют свое место положение. В этой связи, для выявления пространственной динамики этих границ наиболее репрезентативными являются данные, полученные в результате измерений на полусуточных станциях.

Река Северная Двина, на водосборе которой преобладают суглинки и супеси, входит в зону избыточного увлажнения, что определяет тип выветривания. Река характеризуется низкой мутностью воды и достаточно высоким содержанием растворенных веществ. В зоне смешения Северной Двины, в гранулометрическом составе взвешенных наносов в устье Сев. Двины доминирует песчаная фракция - до 58%, с преобладающим диаметром частиц 0,1-0,5 мм. Очевидно, что в условиях стратифицированных вод дельты р. Северная Двина значительная часть речного материала выносится в сторону моря. Водный сток неравномерно распределен в течение года. Максимальные расходы воды наблюдаются в период половодья, минимальные - в период летней и зимней межени. В осенний период наблюдаются паводки. В этот период водность выше водности летней и зимней межени. Межгодовая изменчивость гидрохимических характеристик определяется также флуктуацией объема речного стока.

В поверхностном опресненном слое воды растворенные и взвешенные вещества в стоке, подвергаются процессам коагуляции и флокуляции, которые протекают в интервале солености 15-20‰. В устье Северной Двины зона максимума седиментации мигрирует и в среднем находится в районе п. Лапоминка. Эта зона интенсивной аккумуляции, приуроченная к локальному геохимическому барьеру, близкому к речной границе. В ней происходит интенсивное выпадение грубодисперсной речной взвеси, это примерно 50-60%. Зона находится между

Таблица 2. Основные гидрологические и морфометрические характеристики (Скибинский, 2001)

Наименование реки	Тип [59]	Площадь дельты, км ²	Средний на РГ сток вод, м ³ /год	Высший сизигийный прилив, м	Максимальный нагон, м	Средняя S ‰ на МГ	Зона смешения, км	Проникновение морских вод, км
Северная Двина	IV	900	108	1.3	1.9	26	25	25
Мезень	II	0	24.4	8.5	1.8	24	30	35
Онега	I	0	15.4	2.8	1.8	25	10	5

поселком Лапоминка и островами Кошка – Скандия. Повышение содержания тяжелых металлов, нефтяных углеводородов и биогенных элементов также наблюдается в воде в протоке Кузнечика, в районе сброса сточных вод Соломбальского ЦБК (реки Хатарица).

Из рек, впадающих в Горло, некоторый вклад в загрязнение акватории вносит река Золотица. Кроме того, на Золотицком участке Горла Белого моря площадью 760 км² планируются масштабные горные работы по добычи алмазов (до 5 млн. м³/год). В Горле Белого моря на траверзе реки Золотица отмечается повышенное содержание ТМ, как в районе бара, так и на глубинах 5-10 м, в зоне максимального влияния волнового прибоя. По результатам полигонных съемок отмечено незначительное загрязнение НУ придонных вод юго-западной части мелководья и около устья р. Золотица. Наблюдается небольшая площадная аномалия по содержанию в воде железа и марганца в прибрежном районе р. Золотица - м. Инцы (максимальное содержание этих элементов в водах Горла). Именно в этой части Горла в донных осадках наблюдалось значительное количество железомарганцевых конкреций и корок (Скибинский, Таптыгин, Брызгалов, 2000).

Акватория Унской губы территориально принадлежит Унскому биологическому заказнику. Основными источниками ее загрязнения являются п. Пертоминск, расположенный на выходе из губы, а также деревни Луда и Уна, расположенные в низовьях одноименных рек, впадающих в кутовую часть Унской губы. Следует отметить, что от вышеупомянутых деревень помимо хозяйственных стоков в водную среду поступают отходы с животноводческих ферм, расположенных в непосредственной близости от уреза воды, что влияет на концентрацию биогенных веществ, pH и т.д. Концентрация ТМ в губе определяется гидродинамикой вод и природными факторами.

Литература

- Вернадский В.И.* Изб. сочинения. Т.5. Биосфера. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 85 с.
- Емельянов Е.М.* Важнейшие геохимические барьерные зоны в океане (на примере Атлантического океана). М.: Известия АН СССР. Геогр. серия. № 3. 1984. С. 39-53.
- Емельянов Е.М.* Геохимические барьеры и барьерные зоны и их роль в седиментогенезе // Геохимия осадочного процесса в Балтийском море. М.: Наука. 1986. С. 5-24.
- Емельянов Е.М.* Барьерные зоны в океане. Калининград: Изд-во «Янтарный сказ». 1998. 411 с.
- Израэль Ю.А., Цыбань А.В.* Антропогенная экология океана. Л.: Гидрометеиздат. 1988. 528 с.
- Лисицын А.П.* Маргинальный фильтр океанов // Океанология, 1994. Том 34. № 5. С. 735-737.
- Малютин А.Н., Лапин И.А.* распределение растворенных форм металлов и органического вещества гумусовой природы в эстуарии р. Северная Двина – Двинская губа Белого моря // Водные ресурсы, 1991. №1 С. 73 -77.
- Перельман А.И.* Геохимия ландшафта М.: Изд-во «Астрель-2000». 1999. 763 с.
- Скибинский Л.Э.* Роль геохимических барьеров в переносе и накоплении загрязняющих веществ в устьевых и прибрежных биотопах Белого моря // VIII Региональная практическая конференция. Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря. Архангельск. 2001. С. 49-51.
- Скибинский Л.Э., Таптыгин М.Ю., Брызгалов В.В.* Гидрофизическая характеристика современного состояния биотопа Горла Белого моря // Сборник научных трудов посвященных 10-летию ИЭПС УрО РАН. Север: экология. / Под. ред. Ф.Н. Юдахина. Екатеринбург, 2000. С. 128-145.
- Страхов Н.М.* Осадкообразование в Черном море // Образование осадков в современных водоемах. М.: Изд. АН СССР, 1954. С. 81-136.
- Хорн Р.* Морская химия. М.: Мир, 1972. 399 с.