

## VI. БЕЛОЕ МОРЕ

### ПРОДУКЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАНКТОНА БЕЛОГО МОРЯ

*В.Я. Бергер, д.б.н., проф., В.Н. Галкина, к.б.н., И.М. Примаков, к.б.н.*

Беломорская биологическая станция ЗИН РАН, мыс Картеж (Карелия)

По числу видов фауна Белого моря беднее баренцевоморской (Дерюгин, 1928), что часто считается причиной промысловой бедности Белого моря. С таким выводом нельзя согласиться, поскольку видовое богатство и объем промысла «...не идентичны, так как относятся к разным уровням биологических явлений и должны анализироваться самостоятельно» (Кудерский, 1965; цит. по: Кудерский, Скарлато, 1986, с. 19). Обсуждение причин депрессии беломорских промыслов не входит в задачу авторов данной статьи, которая посвящена оценке продукции планктона Белого моря. Из-за ограниченности объема статьи мы опустили детали расчетов продукции планктонных организмов. Они указаны в наших предыдущих публикациях, приведенных в списке литературы.

#### Бактериопланктон

Первые данные о плотности, биомассе и продукции бактериопланктона получены лишь в 1982-1983 гг. при изучении потоков органики в местах культивирования мидий в водах Кандалакшского залива (Галкина, 1985). В дальнейшем эти исследования распространились и на другие районы залива. Было показано, что размеры бактериальных клеток варьируют в довольно значительных пределах. В губе Чула их объем был равен 0,18-0,26 мкм<sup>3</sup> (Галкина, 1985), а в проливе Великая Салма — 0,62 мкм<sup>3</sup> (Теплинская, Москвина, 1987). Максимальная плотность планктонных бактерий (4,6 млн клеток/мл) наблюдалась осенью в приповерхностном слое воды толщиной 150 мкм и в придонном горизонте — 3,5 млн клеток/мл (Теплинская, Москвина, 1987). Этот показатель обилия варьировал в толще воды на глубине от 0 до 15 м в зависимости от сезона и характера вод-

Таблица 1

Характеристика летнего бактериопланктона Кандалакшского залива  
в слое 0-15 м (по: Галкина, 1985; Галкина и др., 1988;  
Галкина, Кулаковский, 1993)

Район исследования	Плотность, $10^6$ кл./мл	Биомасса, мг/м <sup>3</sup>	Продукция, мг/м <sup>3</sup>
<i>Открытые участки моря:</i>			
На выходе из губы Чула	11	190	220
Вблизи Сон-острова	0,30	26	30
<i>Прибрежные участки:</i>			
Мыс Картеш	0,34–1,97	128	140
Сон-остров	0,22–0,47	260	380
Оборина Салма	0,50–0,80	126	325

ных масс. Минимальные величины (0,005 млн кл./мл) были отмечены в марте в прибрежных участках моря в районе пролива Оборина Салма (Галкина, Кулаковский, 1993), а максимальная (3,1 млн кл./мл.) зарегистрирована осенью в проливе Великая Салма (Теплинская, 1995). При этом более высокие показатели обилия бактериальных клеток на этих глубинах наблюдались в прибрежных районах, а в открытых частях Кандалакшского залива они были в основном ниже. Аналогичные различия между открытыми и прибрежными участками отмечены и в отношении биомассы и продукции бактериопланктона (табл. 1).

Наиболее полно сезонные изменения продукции бактериопланктона исследованы в районе Сон-острова. Показано, что продукция бактерий была максимальной (340-100 мг/м<sup>3</sup>) в июле-сентябре, но и в другие сезоны не опускалась ниже 58-70 мг/м<sup>3</sup> (Галкина и др., 1988).

По продуктивности бактериопланктона Белое море не только сравнимо с Баренцевым, но и, возможно, несколько превосходит последнее (Байтаз, 1990). Отметим, однако, что для уверенности в подобном заключении необходимы дополнительные исследования.

Исходя из данных, полученных радиоуглеродным методом, была рассчитана величина годовой продукции бактерий — средняя для трех районов Кандалакшского залива (губа Чула, пролив Оборина Салма и акватория у Сон-острова). Она была равна 4,5 г С/м<sup>3</sup>, что эквивалентно 45 ккал/м<sup>3</sup>. Величина продукции бактерий, определенная с помощью кислородного метода, оказалась значительно выше (Галкина, Кулаковский, 1993). Исходя из этих данных, можно также рассчитать величину годовой продукции бактериопланктона. При этом следует указать, что имеющиеся материалы касаются только верхнего 15-метрового слоя воды, годовая продукция бактериопланктона в котором энергетически эквивалентна  $0,6 \cdot 10^{14}$  ккал. Учитывая, что средняя глубина Белого моря равна 60 м (Бабков, Голиков, 1984), нетрудно подсчитать, что годовая продукция бактериопланктона в Белом море составляет  $2,4 \cdot 10^{14}$  ккал. Однако до тех пор, пока не будет получено доста-

точно данных об обилии и продукции планктонных бактерий во всей толще вод, такой расчет может считаться лишь предварительным.

### **Фитопланктон**

Изучение первичной продукции фитопланктона в Белом море началось с попытки ее определения на основе баланса биогенных элементов (Воронков, 1941). Рассчитанная как средняя за три года для трех точек наблюдений годовая продукция оказалась равной 2000 т сырой массы планктонных водорослей на 1 км<sup>2</sup> площади моря. Первое исследование продукции фитопланктона с помощью радиоуглеродного метода, проведенное в Кандалакшском заливе (Кабанова, 1980), показало, что в августе-сентябре 1966 г. суточная продукция фитопланктона колебалась от 0,0001 до 0,218 г С/м<sup>2</sup> при среднем значении 0,112. В дальнейшем, начиная с 1967 г., исследования с применением метода склянок в радиоуглеродной и кислородной модификациях были выполнены различными авторами (Федоров и др., 1974; Бобров и др., 1995; Примаков, 2004а, б; Федоров, 2004; Prіmakov, 2005; и др.). В результате установлено (Rat'kova, Savinov, 2001; Бергер, Примаков, 2007), что суточная продукция фитопланктона по данным, полученным радиоуглеродным методом, варьировала в разные годы и в разных местах Кандалакшского залива от 35 до 301 мг С/м<sup>2</sup>. Средний уровень соответствовал 250 мг С/м<sup>2</sup>. В Бассейне, Горле, Воронке, Онежском и Мезенском заливах эти показатели, полученные тем же методом, дали близкие, хотя и чуть более низкие величины. И только в Двинском заливе первичная продукция была более высокой — 410 мг С/м<sup>2</sup> в сутки. Величины первичной продукции, измеренной кислородным методом, во всех случаях были гораздо выше полученных с помощью изотопного метода, что связано в основном с потерей <sup>14</sup>С в растворенных ассимилятах и разрушением части растительных клеток в процессе фильтрации (Бульон, 1983).

Годовая продукция фитопланктона всего моря, рассчитанная с учетом продолжительности вегетационных периодов в различных частях акватории, составляет около 3 млн т органического углерода (Бобров и др., 1995). Однако, по мнению многих исследователей (Бульон, 1983; Platt et al., 1995; Сапожников, 2005), общепринятые методы определения продукции фитопланктона (в первую очередь радиоуглеродный) имеют значительные погрешности, занижая реальные величины в 1,5-3 раза. Приняв эту, достаточно обоснованную точку зрения, можно заключить (Бергер, 2006; Бергер, Примаков, 2007), что продукция фитопланктона в Белом море эквивалентна приблизительно  $6,0 \cdot 10^{13}$  ккал/год.

### **Зоопланктон**

Работ, связанных с оценкой продуктивности зоопланктона Белого моря, еще меньше, чем исследований продуктивности фитопланктона (Бергер и др., 1995;

Таблица 2

Основные структурно-функциональные показатели зоопланктонных ракообразных (Примаков, Бергер, в печати)

Организмы	N, экз/м <sup>3</sup>	B, мг/м <sup>3</sup>	R	P	K <sub>2</sub>	C <sub>B</sub> сут <sup>-1</sup>	P/B за год
			мг/м <sup>3</sup> за год				
<i>Calanus glacialis</i>	26	46,8	536,7	305,3	0,36	0,018	6,5
<i>Metridia longa</i>	59	20,4	374,5	142,5	0,28	0,019	7,0
<i>Pseudocalanus minutus</i>	2785	86,2	2689,9	882,3	0,25	0,028	10,2
<i>Acartia longiremis</i>	120	2,4	90,1	26,2	0,23	0,029	10,8
<i>Centropages hamatus</i>	236	4,0	184,6	47,7	0,21	0,033	12,0
<i>Temora longicornis</i>	4708	6,6	485,5	80,5	0,14	0,031	12,2
<i>Oithona similis</i>	210	3,0	113,2	33,8	0,23	0,033	11,4
<i>Oncaea borealis</i>	1688	1,3	108,4	15,4	0,12	0,030	12,2
<i>Microsetella norvegica</i>	552	4,7	240,6	50,6	0,17	0,033	10,8
Cladocera	48	0,9	44,2	13,8	0,24	0,040	14,7
Для всех	10432	176	4868	1598	0,25	0,025	9,1

Примаков, 2002; Бергер, 2005, 2006; Трошков, Фролов, 2005). Расчет продукции планктонных копепод, произведенный на основе общепринятого балансового равенства (Алимов, 1989), показал (Примаков, Бергер, в печати), что в целом для Белого моря величина их годовой продукции составляет около 10 млн т, что энергетически эквивалентно  $5,0 \cdot 10^{12}$  ккал.

Валовая продукция мезозоопланктона была рассчитана и иным способом. При средней биомассе около 200 мг/м<sup>3</sup> (Berger et al., 2003) валовая продукция составляет приблизительно 1,1 млн т. Приняв годовой P/B-коэффициент равным 9,1 (табл. 2), а калорийность сырого вещества зоопланктонных организмов — 500 кал/г, получим величину, эквивалентную  $4,9 \cdot 10^{12}$  ккал/год.

Таким образом, расчеты продукции мезозоопланктона, основу которого составляют планктонные Copepoda, выполненные как с помощью годового P/B-коэффициента, так и через среднюю скорость продукции, дали сходные результаты.

Аналогичные расчеты для планктонных инфузорий (Примаков, неопубликованные данные) показали, что скорость продукции микрзоопланктона в Белом море можно приблизительно оценить в 550 мг/м<sup>3</sup> за год. Энергетически годовая продукция микрзоопланктона всего моря эквивалентна  $1,5 \cdot 10^{12}$  ккал.

Таким образом, суммарная величина годовой продукции мезо- и микрзоопланктона составляет около  $6,5 \cdot 10^{12}$  ккал.

Исходя из установленных соотношений (см. табл. 2), рацион всех планктонных ракообразных Белого моря можно, используя балансовое равенство, оценить величиной, эквивалентной  $2,2 \cdot 10^{13}$  ккал/год. Аналогичные расчеты рациона микрзоопланктона ранее не производились из-за недостатка необходимых сведений. Однако, исходя из того, что у растительных форм коэффициенты усвояемости пищи и эффективности продукции равны соответственно 0,6 и 0,20-0,24

(Алимов, 1989), можно приблизительно определить рацион микрозоопланктона равным  $1 \cdot 10^{13}$  ккал/год.

### Заключение

Согласно представленным выше результатам, микро- и мезозоопланктоном за год суммарно потребляется весьма существенная (не менее 1/2) часть энергии, продуцируемой фитопланктоном. На первый взгляд, такие трофические отношения могут показаться слишком напряженными для нормального функционирования экосистем беломорской пелагиали. Однако рассчитывать количественные взаимоотношения между фито- и зоопланктоном путем деления энергетического эквивалента продукции фитопланктона на величину потребления энергии зоопланктоном нельзя. Планктонные микроводоросли — не единственные источники пищи для зоопланктона. Существенную роль в питании последнего составляют бактерии, находящиеся в толще воды в свободном состоянии либо ассоциированные с детритом (Сорокин, 1973; Парсонс и др., 1982; Теплинская, 1995; и др.). Эта точка зрения полностью соответствует современным представлениям о роли «бактериальной петли» в трофике водоемов (см. рисунок).

Таким образом, есть все основания считать, что суммарная продукция бактерио- и фитопланктона, составляющая в Белом море около  $3,0 \cdot 10^{14}$  ккал/год, почти на порядок превышает потребление энергии зоопланктоном. Если к этому добавить продукцию криофлоры, составляющую около 1/3 от продукции фитопланктона (Бергер, 2006), то трофические отношения между консументами первого порядка (основа зоопланктона), с одной стороны, и бактерио- и фитопланктоном, включая криофлору, с другой стороны, не будут казаться напряженными.



Рис. Модель потоков углерода между первичными продуцентами, многоклеточными и микроорганизмами (с изменениями по: Pomeroy, Wiebe, 1988).

Помимо рассчитанных показателей продуктивности экосистем беломорской пелагиали, целесообразно оценить продукционный потенциал Белого моря и по такому показателю, как количество утилизированной солнечной энергии. Количество солнечной радиации, проникающей в его воды за год, составляет около  $25 \text{ ккал/см}^2$ , или  $2,25 \cdot 10^{16}$  ккал в пересчете на все Белое море (Бобров и др., 1995). Если принять продукцию фитопланктона в Белом море равной  $6,0 \cdot 10^{13}$  ккал/год, то утилизация солнечной энергии составит около 0,25%. Такие величины характерны для мезотрофных водоемов (Моисеев, 1989).

Заканчивая на этом статью о продукции планктонных организмов в Белом море, отметим, что по различным показателям (содержанию органических веществ, концентрации хлорофилла, обилию и продукции планктона и ряду других характеристик) Белое море не только не уступает, а в ряде случаев даже превосходит такой весьма продуктивный водоем, как Баренцево море (Бергер, 2005, 2006). Однако при этом следует помнить, что такое заключение справедливо лишь для поверхностной водной массы, хорошо прогреваемой в весенне-осенний период. Глубины Белого моря с их круглогодичными отрицательными температурами, характеризуются низкими обилием и продукцией населяющих их организмов. Этот вывод хорошо согласуется с тем, что неоднократно отмечал в своих работах Л.А. Кудерский. Он сделал это и в докладе (Кудерский, 2007), представленном в 2007 г. на конференции, посвященной 50-летию Беломорской биологической станции Зоологического института РАН, сотрудником которой Леонид Александрович был в начальный период ее существования.

На основании представленных материалов можно сделать еще один важный вывод: нынешний крайне низкий уровень беломорских промыслов обусловлен не продукционными возможностями Белого моря, а иными причинами, носящими, прежде всего, антропогенный характер. К их числу относятся различные нарушения воспроизводства ряда гидробионтов, их нерациональный промысел и др. (Житний, 2007). Однако анализ этих вопросов выходит за рамки задачи, сформулированной в начале статьи.

## Литература

- Алимов А.Ф. 1989. Введение в продукционную гидробиологию. Л., Гидрометеиздат: 152 с.
- Бабков А.И., Голиков А.Н. 1984. Гидробиокомплексы Белого моря. Л., Зоологический институт АН СССР: 103 с.
- Байтаз О.Н. 1990. Сравнительная характеристика количественных и продукционных показателей бактериопланктона губы Дальнезеленецкой и юго-восточной части Баренцева моря. — Экология и биол. продуктивность Баренцева моря. М., Наука: 78-87.
- Бергер В.Я. 2005. Продукционный потенциал и промысловая бедность Белого моря. — В сб.: 30 лет МБС СПбГУ: итоги и перспективы. СПб.: 7-24.
- Бергер В.Я. 2006. Белое море: современное состояние экосистем и пути рационального использования биологических ресурсов. — 9-я Междунар. конф. «Акваторра». СПб.: 64-67.

- Бергер В.Я., Наумов А.Д., Сухотин А.А.* 1995. Заключение. — Белое море. Биол. ресурсы и проблемы их рационального использования. СПб., ЗИН РАН, т. 2: 207-214.
- Бергер В.Я., Примаков И.М.* 2007. Оценка уровня первичного продуцирования в Белом море. — Биология моря, т. 33, № 1: 54-58.
- Бобров Ю.А., Максимова М.П., Савинов В.М.* 1995. Первичная продукция фитопланктона. — Белое море. Биол. ресурсы и проблемы их рационального использования. СПб., ЗИН РАН, т. 1: 92-114.
- Бульон В.В.* 1983. Первичная продукция планктона внутренних водоемов. Л., Наука: 150 с.
- Воронков П.П.* 1941. Подсчет первичной продукции моря методом баланса питательных солей. — Труды н.-и. учреждения ГМС СССР, сер. 5, вып. 2: 195-217.
- Галкина В.Н.* 1985. Роль массовых видов животных в круговороте органических веществ в прибрежных водах северных морей. Автореф. канд. дис. Л., ЗИН АН СССР: 23 с.
- Галкина В.Н., Буряков В.Ю., Рура А.Д.* 1988. Количественное распределение фито- и бактериопланктона в районе Сон-острова в Белом море. — Гидробиол. особенности юго-восточной части Кандалакшского залива в связи с марикультурой мидий на Белом море. Л., ЗИН АН СССР: 40-49.
- Галкина В.Н., Кулаковский Э.Е.* 1993. Влияние мидиевых хозяйств на окружающую среду в Белом море. Бактериопланктон. — Труды ЗИН РАН, т. 253: 101-109.
- Дерюгин К.М.* 1928. Фауна Белого моря и условия ее существования. — Исследования морей СССР, № 7-8. Л.: 512 с.
- Житний Б.Г.* 2007. Биологические ресурсы Белого моря и их промысловое использование. Петрозаводск, КарНЦ РАН: 270 с.
- Кабанова Ю.Г.* 1980. О первичной продукции в Кандалакшском заливе Белого моря. — Донная флора и продукция краевых морей СССР. М.: 118-124.
- Кудерский Л.А.* 1965. К вопросу о фаунистической и промысловой бедности Белого моря. — Вопр. гидробиологии. I съезд Всесоюз. гидробиол. об-ва. М.: 233-234.
- Кудерский Л.А.* 2007. Двойственность биогеографической природы Белого моря и направления исследования его биоты. — Экол. исследования беломорских организмов (материалы 2-й Международной конференции). СПб.: 65-66.
- Кудерский Л.А., Скарлато О.А.* 1986. Эколого-географические и исторические факторы, определяющие фаунистическую и промысловую обедненность Белого моря. — Сб. научных трудов ГосНИОРХ, вып. 252: 19-30.
- Моисеев П.А.* 1989. Биологические ресурсы Мирового океана. М.: 367 с.
- Парсонс Т.Р., Такахаши М., Харгрейв Б.* 1982. Биологическая океанография. М., Легкая и пищевая пром-сть: 432 с.
- Примаков И.М.* 2002. Особенности распределения и жизненные циклы массовых форм зоопланктона Кандалакшского залива Белого моря. Автореф. канд. дис. СПб., ЗИН РАН: 24 с.
- Примаков И.М.* 2004а. Гидрологический режим и первичная продукция в устьевой части губы Чупа Кандалакшского залива Белого моря. — Материалы VI научного семинара «Чтения памяти К.М. Дерюгина». СПб.: 52-60.
- Примаков И.М.* 2004б. Структура планктонного сообщества в устьевой части губы Чупа: опыт многомерного анализа. — Морские и пресноводные биосистемы севера Карелии. Труды Биол. НИИ СПбГУ, вып. 51. СПб.: 138-152.
- Примаков И.М., Бергер В.Я.* 2007. Продукция планктонных ракообразных в Белом море. — Биология моря (в печати).
- Сапожников В.В.* 2005. Проблемы контроля состояния экосистем наиболее продуктивных районов Мирового океана. — Повышение эффективности использования биологических ресурсов Мирового океана. М., ВНИРО: 76-77.

- Сорокин Ю.И.* 1973. Первичная продукция морей и океанов. — Итоги науки и техники (общая экология, гидробиология, биоценология), т. I. М.: 7-46.
- Теплинская Н.Г.* 1995. Бактериопланктон. — Белое море. Биол. ресурсы и проблемы их рационального использования, т. I. СПб.: 63-78.
- Теплинская Н.Г., Москвина М.И.* 1987. Экологические группы в сапрофитном бактериопланктоне Баренцева и Белого морей. — Комплексные океанологические исследования Баренцева и Белого морей. Апатиты, КНЦ РАН: 71-83.
- Трошков В.А., Фролов С.Б.* 2005. К оценке продукционных возможностей пелагиали Двинского залива Белого моря. — Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря. Петрозаводск: 310-313.
- Федоров В.Д.* 2004. Изменения в природных биологических системах. М.: 368 с.
- Федоров В.Д., Корсак М.Н., Бобров Ю.А.* 1974. Некоторые итоги изучения первичной продукции фитопланктона Белого моря. — Гидробиол. журн., т. 10, № 5: 9-14.
- Berger V., Galaktionov K., Dahle S., Kosobokova X., Naumov A., Rat'kova T., Savinov V., Savinova T.* 2001. White Sea. Ecology and Environment. St. Petersburg-Tromsø: 157 p.
- Berger V.Ja., Naumov A.D., Usov N.V., Zubaha M.A., Smolyar I., Tatusko R., Levitus S.* 2003. 36-Years Time-Series (1963-1998) of Zooplankton, Temperature and Salinity in the White Sea. St. Petersburg-Silver Spring: 362 p.
- Platt T., Sathyendranath S., Longhurst A.* 1995. Remote sensing of primary production in the ocean: promise and fulfillment. — Philos. Trans. Roy. Soc. London: 123 p.
- Pomeroy L.R., Wiebe W.J.* 1988. Energetic of microbial food webs. — Hydrobiologia, vol. 159, № 1: 7-18.
- Primakov I.M.* 2005. The impact of hydro-meteorological conditions on primary production. — Zoological Session. Annual Reports. St.-Petersburg: 83-90.
- Rat'kova T., Savinov V.* 2001. Phytoplankton. — White Sea. Ecology and Environment. St.-Petersburg-Tromsø: 23-30.