

### Глава III РОЛЬ БАКТЕРИОПЛАНКТОНА В ПРОДУКТИВНОСТИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ И МЕТОД ЕЕ ОЦЕНКИ

Основные закономерности распределения общей численности и биомассы бактериопланктона, а также гетеротрофных, нефтеокисляющих и железо-марганцевых микроорганизмов в Каспийском море были подробно изучены М.И. Новожиловой и др. (1985), М.А. Салмановым (1999), А.Ф. Сокольским (1999). Однако вопросы оценки первичной и бактериальной продукции, их утилизации требуют дополнительных исследований и новых подходов к расчетам. Такая работа осуществлена нами в середине 80-х годов (Сокольский и др., 1987). Было установлено, что развитие бактериопланктона летом достигает максимальных значений (табл. 9).

Таблица 9  
Численность (млн./мл - числитель) и биомасса (в углеродных единицах: гС/м<sup>3</sup> - знаменатель) бактериопланктона в различных районах Северного Каспия

Годы	Восточный			Центральный			Западный		
	весна	лето	осень	весна	лето	осень	весна	лето	осень
1982	0.91	2.0	1.64	0.64	1.81	1.46	0.99	3.74	2.60
	0.39	0.37	0.19	0.14	0.34	0.11	0.13	0.67	0.23
1983	1.40	1.20	1.99	1.28	1.83	3.34	2.81	4.36	2.90
	0.08	0.24	0.60	0.06	0.32	0.56	0.15	0.57	0.64
1984	3.63	2.66		2.20	3.22		2.50	3.89	
	0.35	1.07		0.25	1.27		0.26	1.56	

Весной по всей акватории моря бактериопланктон распространен практически однородно. Летом его общая численность закономерно уменьшается с запада на восток. Осенью западная и центральная части Северного Каспия лишь немного богаче бактериопланктоном, чем восточная.

Анализ данных по биомассе бактериопланктона в различных районах Северного Каспия приводит к таким же выводам.

Согласно материалам 1983 г., в восточной части моря летом общая биомасса бактериопланктона превосходила таковую в весенний период в 3.1 раза, в центральной - в 5.3, в западной - в 3.8 раза. Аналогичная сезонная динамика общей биомассы бактериопланктона наблюдалась в центральной и западной частях Северного Каспия в 1982 г., а также во всех районах в 1984 г.

*В.П. Иванов и А.Ф. Сокольский*

В 1982 г. в восточной части моря летом суточная продукция бактериопланктона была в 8,5 раза выше, чем весной (табл. 10).

Таблица 10  
Суточная продукция бактериопланктона в различных районах Северного Каспия, гС/м<sup>3</sup>

Годы	Восточный			Центральный			Западный		
	весна	лето	осень	весна	лето	осень	весна	лето	осень
1982	0,02	0,179	0,07	0,116	0,113	0,06	0,05	0,02	0,04
1983	0,024	0,347	0,298	0,03	0,262	0,325	0,02	0,132	0,418
1984	0,058	0,311		0,03	0,246		0,08	0,106	

В западной и центральной частях летом и весной продукция практически не различалась. В 1983-1984 гг. летом суточная продукция бактериопланктона значительно (в 1,4-14,4 раза) превышала таковую весной на всей акватории Северного Каспия. Осенью она была больше, чем летом (кроме восточной части моря).

Валовая суточная первичная продукция фитопланктона имела тенденцию к росту от весны к лету в восточной и центральной частях Северного Каспия, а в западной части летом обычно была меньше, чем весной (табл. 11).

Таблица 11  
Валовая суточная первичная продукция фитопланктона в различных районах Северного Каспия, гС/м<sup>3</sup>

Годы	Восточный			Центральный			Западный		
	весна	лето	осень	весна	лето	осень	весна	лето	осень
1982	0,268	0,720	0,960	0,369	0,212	0,559	0,727	0,472	0,160
1983	0,390	0,530	0,410	0,345	0,360	0,475	0,320	0,380	0,470
1984	0,675	0,400		0,394	0,430		0,445	0,349	

Из таблицы видно, что отношение среднесуточных показателей первичной продукции фитопланктона летом и весной во всех частях Северного Каспия в основном не превышало 1,4.

В сравниваемые годы весной главным продуцентом органического вещества являлся фитопланктон (табл. 12).

Таблица 12  
Отношение суточной бактериальной продукции к эффективной первичной продукции в различных районах Северного Каспия, %

Годы	Восточный			Центральный			Западный		
	весна	лето	осень	весна	лето	осень	весна	лето	осень
1982	9,79	31,1	9,1	39,3	66,6	13,4	8,6	5,3	31,3
1983	7,7	81,8	90,9	10,9	91,0	85,5	7,8	43,4	111,2
1984	10,7	97,2		9,5	71,5		22,5	38,0	

В летне-осенний период продукция бактериопланктона соизмерима, а в ряде случаев превосходит первичную продукцию фитопланктона, определяя тем самым наряду с ней трофический статус Северного Каспия.

Г.Г. Винберг (1976) считает, что более полную картину дает сопоставление эффективной первичной продукции не с продукцией бактериопланктона, а с количеством ассимилируемой последним за тот же промежуток времени пищи. Если принять, что коэффициент эффективности использования пищи на рост ( $K_p$ ) равен 0,3 (Винберг, 1976), то при среднесуточной бактериальной продукции весной 1983 г. в восточной части Северного Каспия 0,024 гС/м<sup>3</sup> количество ассимилируемой на рост бактериями пищи ( $A_b$ ) ~ 0,08 гС/м<sup>3</sup>. Летом в этой части моря среднесуточная бактериальная продукция ( $P_b$ ) составляет 0,35, а  $A_b$  ~ 1,16 гС/м<sup>3</sup>. Как следует из табл. 13, весной во всех частях Северного Каспия первичная продукция фитопланктона полностью обеспечивает пищевые потребности бактериопланктона.

Таблица 13  
Сопоставление ассимилированной за сутки бактериопланкtonом  
пищи ( $A_b$ ) с эффективной первичной продукцией  
фитопланктона ( $P_f$ ) в Северном Каспии (1983 г.)

Часть моря	Сезон наблюдений	$P_f$ , гС/м <sup>3</sup>	$A_b$ , гС/м <sup>3</sup>	$A_b : P_f \times 100\%$
Восточная	весна	0,31	0,08	25,6
	лето	0,42	1,16	371,0
	осень	0,33	0,99	318,0
	весна	0,28	0,10	36,2
Центральная	лето	0,29	0,87	303,0
	осень	0,38	1,08	284,2
Западная	весна	0,26	0,06	26,0
	лето	0,30	0,44	145,0
	осень	0,38	1,39	370

В летне-осенний период первичной продукции фитопланктона явно недостаточно для питания бактериопланктона, следовательно его пищевые потребности удовлетворяются за счет других источников органических веществ (аллохтонных). Таким образом, при расчете количества корма для организмов следующего трофического уровня в эти сезоны продукция бактериопланктона может суммироваться с первичной продукцией фитопланктона. Недоучет

продукции бактериопланктона при определении биологической продуктивности Северного Каспия приводит к ее занижению примерно в два раза (табл. 13).

Проверка обоснованности данного положения была осуществлена нами с помощью предложенного Ю.М. Брумштейном (1984) конечно-элементного подхода (КЭ-подхода) для оценки интегральных характеристик полей параметров. В отличие от представленного выше метода сравнения первичной и бактериальной продукции по отдельным точкам (или среднеарифметическим значениям показателей для точек в пределах разреза или части акватории) КЭ-подход позволяет оценить значение показателей по всей области, где отбирались пробы. В летнюю съемку 1984 г. такая область составила 20,3 тыс.км<sup>2</sup>, а соответствующая ей суточная первичная продукция - 26,44x10<sup>1</sup> гС. Для всего Северного Каспия (90,4 тыс.км<sup>2</sup>) эта величина равна 117,12x10<sup>1</sup> гС. Оценка суточной бактериальной продукции на той же площади летом дала цифру 28,41x10<sup>1</sup> гС. Если принять, что объем первичной продукции, произведенной летом за сутки фитопланктоном, примерно в 100 раз меньше, чем за весь сезон, и такое же допущение сделать для продукции бактериопланктона, появляется возможность вычислить общее количество органического вещества, синтезируемого водорослями и бактериями в Северном Каспии. В 1984 г. этот показатель составлял 271,2x10<sup>1</sup> гС. В полученном объеме органического вещества на долю продукции бактериопланктона приходится 56,82%, эффективной первичной продукции - 43,18%, что наглядно убеждает в справедливости высказанного предположения.

Первичная продукция всех частей Каспийского моря на протяжении многих лет изучалась М.А. Салмановым (1999). Ученому удалось рассчитать годовую продукцию фитопланктона Северного, Среднего и Южного Каспия, а также моря в целом (табл. 14).

Последние данные имеют важное практическое значение, на что ранее указывал и А.Г. Касымов (1994), так как позволяют рассчитать приемную мощность Каспийского моря по кормовой базе. Проще всего выполнить расчеты для идеального случая, когда вся продукция каждого звена пищевой цепи целиком потребляется следующим звеном и когда на всех этапах энергия утилизируется с одинаковой эффективностью (табл. 15).

Напомним, что для суждения о коэффициентах использования энергии ( $K_i$ ) в природных условиях, и в частности в морских экосистемах, этот показатель еще недостаточно изучен.

Таблица 14

Годовая продукция фитопланктона в Каспийском море, тыс. тс

Районы моря	Продукция фитопланктона (по результатам прямых измерений)		Валовая первичная продукция ( $P \times 1,25$ )	
	1971	1988	1971	1988
Северный Каспий	22 700	37 700	28 370	47 000
Средний Каспий	51 000	65 600	63 750	82 000
Южный Каспий	41 000	71 600	51 250	89 500
Все море	114 700	175 000	143 370	218 500

Таблица 15

Относительные величины продукции отдельных звеньев пищевой цепи при разных коэффициентах использования энергии (в идеальных условиях), %

Звено пищевой цепи	Коэффициент использования энергии				
	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
1	100	100	100	100	100
2	20	30	40	50	60
3	4	9	16	25	36
4	0.8	2.7	6.4	12.5	21.6
5	0.16	1.1	2.6	6.3	13.0

Если за первый этап, или 100%, взять энергию, использованную при фотосинтетическом построении органических веществ (валовая первичная продукция фитопланктона), то вторая строка таблицы будет представлять собой эффективную продукцию фитопланктона. Известно, что при оптимальных условиях эффективная продукция фитопланктона может достигать 90% валовой; соответственно, больше будут все последующие величины. Например, если эффективная продукция равна 90% валовой, а для всех последующих звеньев пищевой цепи  $K=0,60$ , то продукция третьего звена (потребителя фитопланктона – например, зоопланктона) составит 54, четвертого (планктоноядные рыбы) - 32.4, пятого (хищные рыбы, тюлень) - 19.4% от валовой первичной продукции. Естественно, это максимально возможные значения в идеальном случае. Реально в Каспийском море много источников "потерь" энергии, или боковых пищевых цепей. В соответствии с этим и фактическая продукция на каждом из этапов меньше приведенных максимальных величин (рис. 4).



Рис. 4. Трофические связи в Северном Каспии  
(по Ардабьевой и др., 1987)

По рисунку видно, что в рыбной продукции в любом случае может аккумулироваться доля энергии, заключенной в валовой первичной продукции фитопланктона.

Интересно рассмотреть отношение первичной продукции фитопланктона к деструкции планктона во всех трех частях Каспийского моря (табл. 16).

Из табл. 16 очевидно, что в Северном Каспии деструкция значительно превосходит продукцию, что, по мнению М.А. Салманова, является результатом поступления органического вещества с речным стоком. Приведенные данные подтверждают правильность сделанного нами выше вывода о значительной роли бактериопланктона в трофике этой части моря.

В Среднем Каспии (табл. 17), наоборот, продукция фитопланктона несколько превышает деструкцию планктона.

Таблица 16

Среднесуточная продукция фитопланктона и деструкция планктона в поверхностном слое воды в Северном Каспии  
(по Салманову, 1999), мг С/л

Разрез	Лето				Осень			
	Продукция		Деструкция		Продукция		Деструкция	
	1971	1983	1971	1983	1971	1983	1971	1983
Волго-Каспийский канал	0,70	1,38	0,17	0,36	0,60	1,30	0,20	0,44
Центральный	0,08	0,21	0,09	0,20	0,09	0,23	0,13	0,32
Форт Шевченко-о. Тюленев	0,04	0,13	0,09	0,22	0,06	0,25	0,20	0,73
Среднее	0,28	0,73	0,36	0,71	0,22	0,52	0,39	1,10

Таблица 17

Сравнение суточной продукции фитопланктона ( $\Phi$ ) и деструкции планктона ( $\Delta$ ) в Среднем Каспии, мгС/л

Разрез	Весна		Лето		Осень	
	$\Delta$	$\Phi$	$\Delta$	$\Phi$	$\Delta$	$\Phi$
Махачкала	0,12	0,17	0,12	0,24	0,15	0,22
Дербент	0,18	0,11	0,32	0,12	0,12	0,18
Самур	0,23	0,27	0,42	0,25	0,48	0,13
Сумгайт	0,04	0,13	0,07	0,04	0,08	0,08
Амбуран	0,07	0,09	0,05	0,07	0,13	0,04
Пираллахи	0,08	0,13	0,12	0,13	0,10	0,03

По материалам М.А. Салманова (1999), в Южном Каспии среднесуточная деструкция планктона колеблется от 0,2 до 2,8 мгС/л, что несколько меньше среднесуточной первичной продукции фитопланктона (от 0,3 до 3,3 мгС/л). В этом плане соотношения производственно-деструкционных процессов в Среднем и Южном Каспии близки. Все сказанное дает нам основание предположить, что механизм создания рыбопродукции в различных частях моря неодинаков. Наше предположение можно проиллюстрировать нижеследующей таблицей (табл. 18).

Из данных таблицы видно, что метаболизм экосистемы Северного Каспия напрямую связан с количеством и качеством органического вещества, приносимого со стоком рек. В этой части моря (деструкция превалирует над фотосинтезом фитопланктона) большое значение имеет детритная пищевая цепь (рис. 4). На правильность данного вывода указывает и то обстоятельство, что именно в

Северном Каспии роль рыб-бентофагов наиболее велика (Казанчев, 1981).

**Таблица 18**  
**Механизм создания рыбопродукции в Каспийском море**

Район моря	Механизм создания рыбопродукции	Методы управления
Северный Каспий	готовое органическое вещество - бактериопланктон-зоопланктон - бентос - рыба	регулирование паводкового режима в интересах рыбного хозяйства
Средний Каспий	минеральные соли - фитопланктон - готовое органическое вещество-зоопланктон - бентос - рыба	сохранение баланса между пастьбищной и дестритной пищевой цепью
Южный Каспий	минеральные соли - фитопланктон - зоопланктон - бентос - рыба	сокращение сброса органических загрязняющих веществ в море

В Среднем Каспии, куда поступает большая часть волжского стока, рыбопродуктивность обеспечивают и пастьбищная, и дестритная пищевая цепь (деструкция практически равна первичной продукции фитопланктона). Поэтому в данном районе моря необходимо поддерживать исторически сложившийся баланс между первичной продукцией фитопланктона и продукцией бактериопланктона как биологической основы его продуктивности.

В Южном Каспии основная роль в формировании биопродуктивности всегда принадлежала первичной продукции фитопланктона (фотосинтез всегда превышал деструкцию), а ее величина определялась прежде всего скоростью оборота биогенных элементов в данной экосистеме. Именно поэтому здесь обитают преимущественно рыбы-планктофаги (сельди, кильки) (Казанчев, 1987). В связи с этим главная проблема Южного Каспия связана с органическим, и в первую очередь нефтяным, загрязнением, на что ранее обращал внимание и М.А. Салманов (1999).

А.Г. Касымов (1994) отмечает, что по величине первичной продукции фитопланктона можно судить об экологическом состоянии Каспия, но подобные оценки, по его мнению, носят лишь ориентировочный характер. Ученый считает, что исследования продуктивности фитопланктона обязательно должны дополняться изучением всего планктона, микро- и макрообентоса.

Заключая настоящую главу, следует подчеркнуть, что в дальнейшем необходимо расширить изучение фитопланктона и его первичной продукции. В то же время надо уточнить роль бактериопланктона в продуктивности различных частей Каспия. Последнее позволит не только оценить экологическое состояние моря, но и получить материалы по генезису его частей как механизму создания рыбопродуктивности, а также определить их приемную мощность по кормовой базе.