

Глава V

ПРОДУКЦИЯ ФИТОПЛАНКТОНА И ДЕСТРУКЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ВОДЕ И ГРУНТАХ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

СЕВЕРНЫЙ КАСПИЙ

ПРОДУКЦИЯ ФИТОПЛАНКТОНА

Северный Каспий по географическому расположению, морфологии, конфигурации дна, солевому, температурному режимам, водному балансу и другим особенностям резко отличается от других частей моря. От Южного и Среднего Каспия он отличается мелководностью, которая ярко выражена в прибрежных районах. Область малых глубин занимает большую прибрежную зону, распространяясь в море на расстояние от 11 до 55 км (Гюль и др., 1971). Согласно данным Б.Д. Зайкова (1948), уровень моря лишь с 1930 до 1946 г. упал на 192 см, вследствие чего значительно сократилась его площадь и уменьшилась средняя глубина. Падение уровня сильнее сказалось на морфометрии северной части моря.

Северный Каспий площадью немногим более 80 тыс. км² из-за мелководности занимает менее 1% общего объема воды, а суммарный годовой сток рек составляет около 88% всего стока речных вод в Каспии. Более 80% биогенного и органического стока в Каспии поступает в его северную часть (Зенин, 1965; Добропольский, 1969). Поэтому эта часть моря является самой богатой по биологической продуктивности. И не случайно, что богатые биогенными элементами и органическим субстратом воды Северного Каспия оказывают большое влияние на богатство фауны и флоры всего Каспия. Северный Каспий всегда был и остается "житницей" Среднего и частично Южного Каспия. Еще в период интенсивного падения уровня (1930–1956 гг.) рыбопродуктивность Северного Каспия составляла 30 кг/га, т.е. была в 15 раз больше, чем в других частях моря, а рыбные уловы здесь составляли 80–90% от уловов всего моря (Гюль и др., 1971).

В связи с изложенным выше изучение первичной продукции органического вещества, образованного в процессе фотосинтеза фитопланктона Северного Каспия имеет исключительное научное и практическое значение.

Следует отметить, что исследованию первичной продукции органического вещества Каспийского моря до сих пор не уделялось достаточного внимания. Исключением может быть северная часть моря, где первичную продукцию изучала Н.И. Винецкая (1957, 1961, 1965, 1966а, б). Однако, пользуясь кислородным методом, она не имела возможности определить продукцию водорослей на суточных станциях всей акватории, без которой трудно рассчитать продукцию всего участка. Применяя радиоактивный углерод С¹⁴, нам удалось провести исследования по определению первичной продукции органического вещества по всей площади Северного Каспия. Впервые изучены сезонные изменения первичной продукции, определена глубина трофогенного слоя в зависимости от проникновения солнечной радиации и распределения жизнедеятельности фитопланктона по вертикали. В Северном Каспии суточная величина первичной продукции фитопланктона по сезону определена в течение 1971 г. на 230 станциях, расположенных на 8 разрезах (рис. 3). Кроме того, летом 1968 и осенью 1969 гг. первичную продукцию определяли в районе Аграханского и Кизлярского заливов и на "переходных" разрезах с востока на запад и обратно. Результаты этих анализов изложены в соответствующих разделах данной главы.

Определение продукции фитопланктона по сезонам показало, что средняя величина первичной продукции зимой не превышает 0,11 г С/м². Из-за покрытия льдом большей части Северного Каспия зимой затухают процессы фотосинтеза. Величина первичной продукции подо льдом в районах впадения р. Урал и у Астрахани не превышает тысяч-

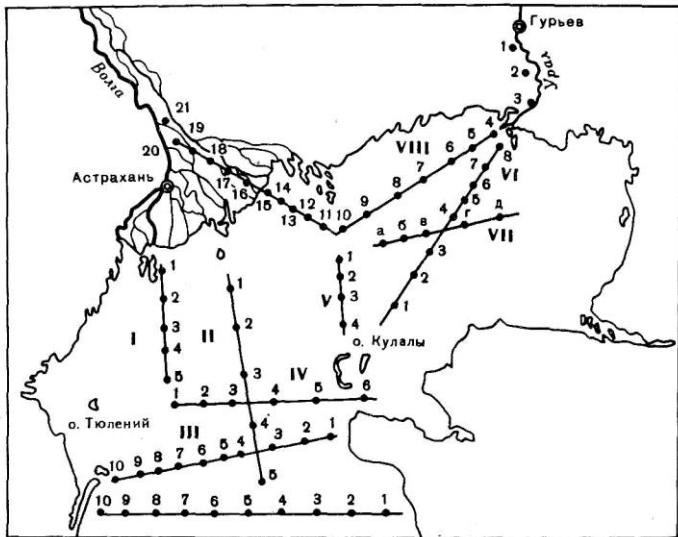


Рис. 3. Карта-схема Северного Каспия с указанием разрезов и станций
Точки – станции, римские цифры – номера разрезов

ной доли миллиграмм на литр, что близко к гетеротрофной ассимиляции $C^{14}O_2$. У кромки льда и в свободных от льда зонах продукция фитопланктона достигает 0,09–0,10 г С/м² (табл. 8). Характерно, что в пограничных со Средним Каспием зонах Северного Каспия величина первичной продукции остается высокой – 0,3–0,5 г С/м², что в 10–20 раз больше, чем в свободных от льда расположенных севернее зонах (см. табл. 8, рис. 4).

Таким образом, зимний фотосинтез в Северном Каспии полностью зависит от температуры воды, максимальное снижение которой сильно подавляет развитие фитопланктона.

С наступлением весны, когда поверхность воды освобождается от льда, т.е. начиная с первой декады (средний срок) на юге и со второй половины марта на севере водная масса нагревается (Гуль и др., 1971). Из-за малых глубин повышение температуры отмечается во всей толще, что стимулирует генерацию фитопланктона. При колебании температуры на 4–5° ко второй декаде апреля величина продукции фитопланктона в западной части варьирует в пределах 0,31–1,63 г С/м². Причем увеличение продукции отмечается с севера на юг, уменьшение – с запада на восток. Весной в западной части моря продукция фитопланктона увеличивается в среднем в 8 раз, в восточной части – лишь в 1,5–2 раза. Как видно из табл. 8, среднесезонная величина первичной продукции весной в районах Волго-Каспийского канала, островов Тюлений–Средний Жемчужный составляет соответственно 0,84, 0,93 и 1,4 г С/м². В то же время в районах V разреза (севернее о-ва Кулалы) и III разреза (Поперечный) она не превышает 0,08–0,09 г С/м². Следует отметить, что в весеннем развитии фитопланктона температурный фактор сохраняет свое отрицательное воздействие на флору. Оно хорошо прослеживается в западной части Северного Каспия.

Характерным и ярким периодом интенсивного образования первичной продукции в Северном Каспии является летний сезон. Величина первичной продукции в зависимости от участков колеблется в больших пределах – 0,36–6,50 г С/м². Средняя величина первичной продукции летом даже в малопродуктивных участках в 8–12 раз больше, чем весной. Увеличение продукции фитопланктона в летний период тесно связано с положительным влиянием речных стоков.

Как видно из табл. 8, в течение всего года местом максимального образования пер-

Таблица 8

Средняя продукция фитопланктона в Северном Каспии по сезонам 1971 г., г С/м²

Разрез	Зима	Весна	Лето	Осень	Средняя за год
I. Волго-Каспийский канал	0,008	0,84	6,34 3,02	2,07	1,48
II. Центральный	0,13	0,73	3,10 1,24	0,61	0,68
III. Форт Шевченко – о-в Тюлений	0,11	0,93	2,72 1,14	0,73	0,73
IV. Средняя Жемчужная – Тюб- Караган	0,25	1,40	3,40	1,27	1,58
V. Севернее о-ва Кулалы	0,06	0,08	0,60	0,10	0,17
VI. Уральская бороздина	0,003	0,46	0,93	1,17	0,64
VII. Поперечный	0,003	0,09	0,62	0,57	0,32
VIII. Гурьев–Астрахань	0,003	0,25	1,10	0,64	0,50

вичной продукции оказалась юго-западная часть Северного Каспия. Характерно, что максимальная величина первичной продукции отмечается не в зоне непосредственного смешивания речной воды с морской, а намного южнее – в обширных участках Аграханского и Кизлярского заливов. Следует отметить, что величина первичной продукции коррелирует с прозрачностью воды, которая, как правило, намного ниже в зонах смешивания двух вод. Влияние прозрачности на величину продукции фитопланктона хорошо заметно в предустьевых участках рек Терек и Сулак – в Северном, Куры – в Южном Каспии. Влияние прозрачности на величину первичной продукции отмечается на сравнительно небольших ограниченных участках. В зонах, где морская вода контактирует с речной, величина продукции фитопланктона всегда максимальная. Примерами могут быть первые станции I и IV разрезов. Максимальная величина первичной продукции в Северном Каспии отмечается на ст. 1,2 IV разреза, которые находятся в зоне стыка главного потока волжских вод, устремленных к юго-западу. Положительное влияние биогенного стока Волги на развитие фитопланктона и других планктонных и бентосных организмов известно. Но насколько оно изменилось в связи с уменьшением объема воды, снижением концентрации фосфора, азота и других компонентов биогенного стока р. Волги и как они повлияли на продукты органического вещества, нет исчерпывающих данных.

Используя материалы экспедиций, проведенных в 1930–1955 гг., Н.И. Винецкая (1962) приходит к выводу, что в связи с падением уровня моря и уменьшением его площади общее количество органического вещества в Северном Каспии по сравнению с 1936 г. уменьшилось в 1,5 раза. Запасы фосфатов фитопланктона и уловы промысловых рыб снизились в 2 раза. В то же время в литературе отмечается увеличение в волжской воде количества аллохтонного органического вещества, поступающего в Северный Каспий в объеме 3,5–4 млн т в год (Зенин, 1965; Добровольская, 1969). В последние годы также наблюдается изменение соотношения растворенного и взвешенного фосфора в речном стоке Волги (Пахомова, Затучная, 1966). Уменьшение количества синтезированного фитопланктона органического вещества, на наш взгляд, является в первую очередь результатом сокращения площади Северного Каспия (Архипова, 1959). Сокращение стока Волги, безусловно, является серьезным фактором в обеспечении Северного и Среднего Каспия необходимыми гидрохимическими инградиентами. Обмеление прибрежных участков, уменьшение глубин в центральных зонах создали новые условия перемещивания воды в Северном Каспии. При настоящем водном режиме почти отсутствует температурное расслоение воды в более теплые месяцы; следовательно, благодаря гомотермии, часто возникающим ветровым волнениям и другим факторам происходит не только полное перемешивание водной массы, но и интенсивное выщелачивание донных отложений. Таким образом, можно предположить, что в Северном Каспии происходит так называемый "большой круговорот".

Таблица 9

Первичная продукция фитопланктона Северного Каспия в августе 1968 г., мг С/л · сутки

Винецкая (1968)		Наши данные		Винецкая (1968)		Наши данные	
запад	восток	запад	восток	запад	восток	запад	восток
Мелководная зона		Глубоководная зона					
0,21	0,22	0,78	0,054	0,18	0,13	0,69	0,042
2,71		8,28		8,65		3,24	

биогенных элементов, которые в большом количестве были захоронены в донных отложениях и изолированы ныне отсутствующей бактериальной пленкой (Буткевич, 1938). Поступление в воду из грунтов биогенных элементов в какой-то степени компенсирует часть недополучаемого объема компонентов биогенного стока в Северном Каспии. Измерение величины первичной продукции в западной части Северного Каспия и ее сравнение с данными Н.И. Винецкой (1962) подтверждают сказанное, так как полученная ею максимальная величина – 0,49 мг С/л органического вещества оказалась почти в 2 раза меньшей, чем полученная нами в 1971 г.

Как указано выше, в период исследования первичной продукции и микробиологического режима восточной части Северного Каспия летом 1968 и осенью 1969 гг., мы имели возможность проводить работу при переходах с востока на запад в западной части Северного Каспия. Результаты этих определений являются весьма ценными и необходимыми для сравнения с данными Н.И. Винецкой, полученными в тот же период, т.е. в августе 1968 г. Продукция фитопланктона определена Н.И. Винецкой (1968) кислородным методом; для большей наглядности переведем эти величины, используя известный коэффициент, в углерод (табл. 9).

Как видно, в западной и восточной частях мелководной зоны, по данным Н.И. Винецкой, величины первичной продукции почти одинаковы, а по результатам нашего определения продукция фитопланктона восточной части в 14–16 раз меньше, чем в западной. Причины малопродуктивности восточной части Северного Каспия известны. Основной является нехватка биогенных элементов, о чем убедительно говорится в работах Н.И. Винецкой (1957, 1961, 1965, 1966а, б, 1968). Проведенные нами в 6 сезонах работы подтвердили низкую продуктивность восточной части во все сезоны года. Учитывая все это, трудно объяснить причину одинаковых показателей величины продукции фитопланктона, полученных Н.И. Винецкой в разных частях Северного Каспия.

По результатам наших сезонных исследований, на всех станциях 6 разрезов из восьми, расположенных в восточной части Северного Каспия, величина первичной продукции за весь год не превышает 0,60 г С/м², что в 10 раз меньше, чем в западной части моря. Обогащение водной массы биогенными элементами за счет речных вод происходит в основном в западной части Северного Каспия и охватывает площадь к юго-востоку до середины (Амиргалиев, 1966а, б). В северо-восточном направлении влияние волжской воды ограничено сравнительно узкой полосой, и в районах II и V разрезов вода является типично "восточной". В районе разреза Уральская бороздина (VI) увеличение продукции отмечается в зоне ст. 6–8; далее, по направлению к юго-западу, продукция резко сокращается (табл. 9; рис. 4–7).

Необходимо отметить, что большие изменения произошли также и в гидрологическом и гидрохимическом режимах р. Урал. Годовой сток в среднем с 11,4 км³ в 1930 г. сократился в 1969 г. На 50% (5,7 км³); соответственно сократился и объем биогенного стока (Амиргалиев, 1967). Сток биогенных элементов р. Урал в Каспий составил в 1968 и 1969 гг. соответственно 38,4 и 41,7 тыс. т, что недостаточно для повышения биологической продуктивности восточной части Северного Каспия. В связи с уменьшением речного стока и обмелением прибрежья обогащения воды биогенными элемен-

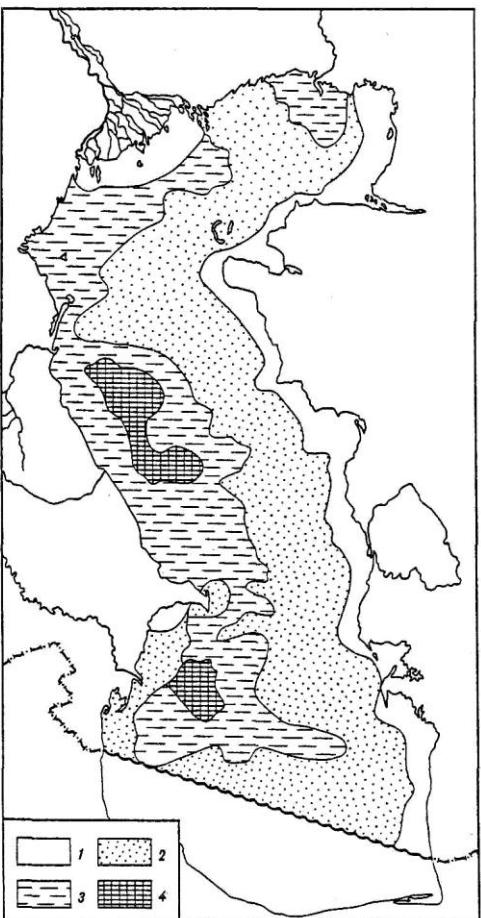
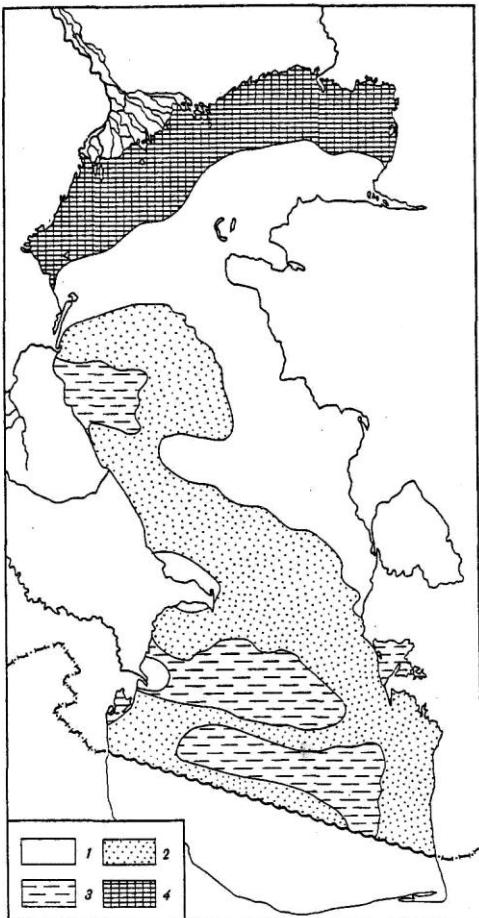


Рис. 4. Распределение продукции фитопланктона зимой ($\text{г С}/\text{м}^2$)
1 – 0,01–0,1; 2 – 0,1–1,0; 3 – 1–3; 4 – лед

Рис. 5. Распределение продукции фитопланктона весной
1 – 0,01–0,1; 2 – 0,1–1,0; 3 – 1–3; 4 – 3–5

тами за счет стекания вод из полоев и ильменей, не происходит, как это имеет место в дельтах Волги, Сырдарьи при спаде паводка. Таким образом, согласно полученным данным, можно предположить, что, кроме небольшой акватории эстuarной зоны, речная вода Урала не может способствовать увеличению продукции фитопланктона на большей территории.

Положительное влияние речного стока Урала на обогащение эстuarной зоны биогенными элементами весьма ограничено и в северо-восточном участке Северного Каспия. Как видно из табл. 8, в зоне Уральской бороздины, в районе Гурьев-Астраханского разреза (см. рис. 2, VIII разрез), сравнительно высокая продукция фотосинтеза фитопланктона отмечается на ст. 4–6, которые находятся на одинаковом со ст. 6–8 VI разреза расстоянии от русла. От ст. 7 к ст. 11 продукция резко сокращается, а в зоне ст. 13 заметно повышение продукции. На ст. 14 среднесуточная величина первичной продукции достигает $2,2 \text{ г С}/\text{м}^2$, что является результатом влияния воды Белинского канала Волги. Высокая продукция в замедленном течении воды канала, которое способствует

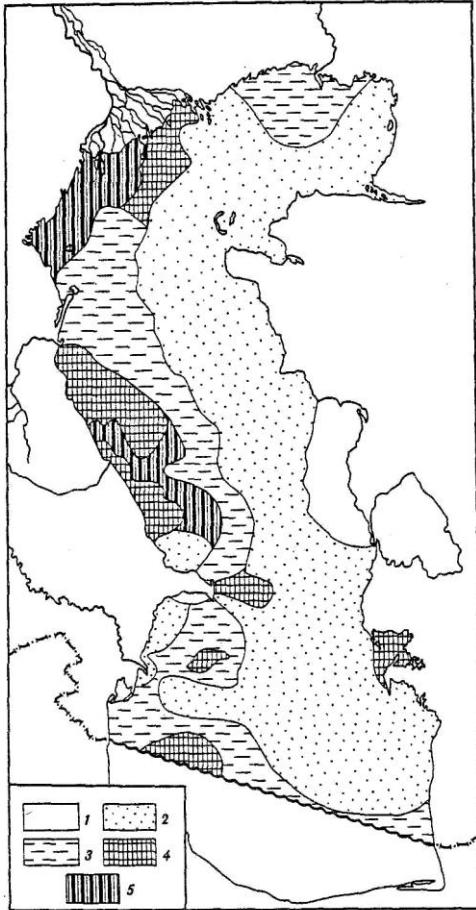


Рис. 6. Распределение продукции фитопланктона летом
1 – 0,01–0,1; 2 – 0,1–1,0; 3 – 1–3; 4 – 3–5; 5 – > 5

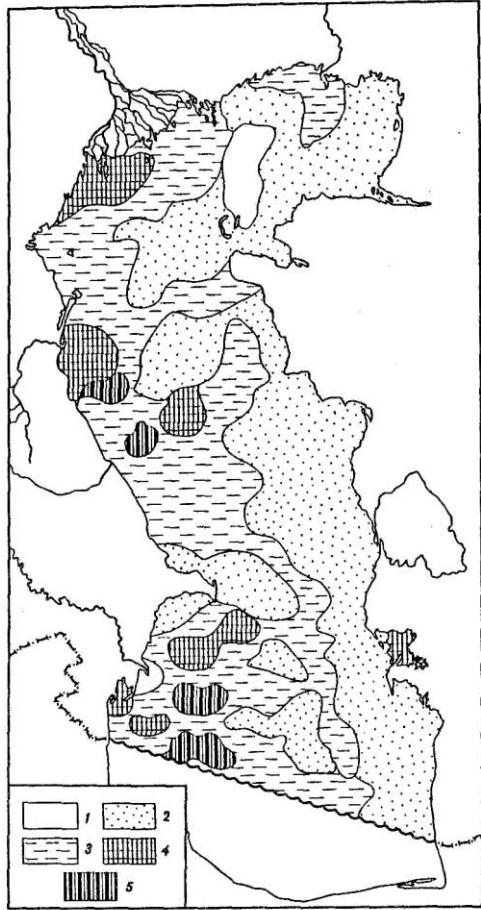


Рис. 7. Распределение продукции фитопланктона осенью
Условные обозначения те же, что и на рис. 6

увеличению прозрачности, сохраняется до главного русла Волги. В самой реке продукция фитопланктона сокращается в 2 раза по сравнению с таковой в канале, что связано с уменьшением прозрачности воды.

Интенсивность образования первичной продукции в Северном Каспии по сезонам тесно связана с такими факторами, как температура и прозрачность воды. Если в период охлаждения воды оба фактора являются решающими, то в период высокой температуры последний не имеет существенного влияния. В отличие от температуры мутность воды не меняется и в период половодья увеличивает ареал своего отрицательного воздействия на фотосинтетическую деятельность фитопланктона. Это хорошо прослеживается в эстуариях рек и мелководьях, где из-за ветрового волнения происходит измучивание донных отложений. В результате проведенных исследований впервые рассчитана продукция фотосинтеза фитопланктона (табл. 10).

Сезонные изменения фотосинтетической деятельности фитопланктона в Северном Каспии следующие (см. табл. 10): очень низкая продуктивность в зимний период, ее

Таблица 10

Продукция фитопланктона в Северном Каспии по сезонам 1971 г.

Показатель	Зима	Весна	Лето	Осень
Площадь, тыс. км ²	16,6*	83	83	83
Среднесуточная продукция, мг С/дн. ²	0,07	0,58	1,50	0,89
Продукция под 1 м ² , г С	6,3	53,34	138	81
На всю площадь, тыс. т С	104,6	4429	11454	6722
Общая продукция за год, млн т С	—	—	22,7	—
В г С под 1 м ² за год	273	—	—	—

*Расчеты даны с учетом ледового покрова Северного Каспия (Гюль и др., 1971). Продукция за зимний сезон рассчитана для 20% незамерзающей площади (16,6 тыс. км²).

возрастание весной, интенсивное накопление продукции летом и уменьшение ее осенью. В литературе по Северному Каспию имеются некоторые сведения о продукции фитопланктона (Винецкая, 1961; и др.). Так, по данным М.В. Федосова (1950), в среднем за год в Северном Каспии синтезируется 20–21 млн т органического вещества фитопланктона. В результате наших исследований, проведенных в течение 6 сезонов на 400 суточных станциях, охватывающих всю акваторию Северного Каспия, получено в 2 раза большие продукции. Такое значительное расхождение объясняется, по-видимому, отрывочностью прежних сведений о сезонной динамике, вертикальном и горизонтальном распределении интенсивности фотосинтеза, а также применением малочувствительного кислородного метода. Следует отметить, что при помощи кислородного метода трудно выполнить измерения продукции фитопланктона на 70–80 суточных станциях за один рейс. Этот метод в условиях Каспия не всегда позволял фиксировать разницу в кислороде между исходной и опытной склянками.

При проведении серии анализов по деструкции в восточной части Северного Каспия кислородным методом мы нередко получали отрицательные результаты. На малочувствительность этого метода указывали Ю.И. Сорокин (1965), В.И. Романенко (1967), которые не рекомендовали применять его в олиготрофных и дистрофичных водоемах. Основным периодом образования органического вещества фитопланктона в течение года в Северном Каспии является летний сезон, на который приходится более 50% годовой продукции. Продукция осенне-зимнего сезона составляет 29%, а весеннего – 19% от общей годовой. За зимний сезон образуется лишь 1,17% годовой продукции. В зональном отношении представляло большой интерес определение годовой продукции в западной и восточной частях Северного Каспия. Результаты показали, что в западной части Северного Каспия за год образуется 17 370 тыс. т продукции, что составляет более 70% всей продукции исследованного района. Таким образом, западная часть Северного Каспия более чем в три раза продуктивнее его восточной части.

ДЕСТРУКЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ТОЛЩЕ ВОДЫ

Если в отношении первичной продукции органического вещества, образованной за счет фотосинтеза фитопланктона Каспийского моря, имелись отдельные измерения, то деструкция в нем ранее не определялась. В то же время микрофлора воды и грунтов как исключительно важный фактор трофической цепи играет важную роль в регенерации биогенов и создании белковой пищи.

Деструкцию мы определяли на тех же станциях, что и продукцию фитопланктона. Пробы экспонировали в затемненных аквариумах при температурном режиме, аналогич-

Таблица 11

Среднесуточная величина деструкции (мг С/л · сутки) органического вещества в поверхностных (1) и придонных (2) слоях воды Северного Каспия по сезонам 1971 г.

Разрез	Зима		Весна		Лето		Осень	
	1	2	1	2	1	2	1	2
I. Волго-Каспийский канал	0,05	0,01	0,13	0,08	0,16	0,36	0,18	0,20
II. Центральный	—	—	0,03	0,06	0,09	0,10	0,15	0,20
III. Форт Шевченко – о-в Тюлений	0,01	—	0,03	0,19	0,09	0,10	0,20	0,15
IV. Средняя Жемчужная – Тюб-Караган	0,01	—	0,07	0,10	0,23	0,30	0,30	0,20
VI. Уральская бороздина	—	—	0,10	0,15	0,40	0,40	0,35	0,30
VIII. Гурьев–Астрахань	0,04	0,03	0,80	0,90	1,30	—	1,20	1,60

ном природному. Результаты измерений представлены в табл. 11. Согласно полученным данным, в западной части Северного Каспия величина зимней деструкции измеряется сотыми долями миллиграммма, даже в руслах рек Волги и Гурьева она превышает 0,05 мг С/л · сутки. Средняя величина деструкции весной в 17 раз больше, чем зимой. Причем средние значения деструкции поверхностных и придонных слоев оказались одинаковыми, что, по-видимому, связано с гомометрией и полным перемешиванием водной толщи (см. табл. 7).

Резкое повышение деструкции органического вещества наблюдалось летом. Максимальной величины (1,6 мг С/л) она достигает в руслах рек и в зоне смешивания речных и морских вод. Основной причиной столь высокой деструкции является алохтонное органическое вещество речных вод. Отличительная особенность летнего и осеннего сезонов заключается не только в повышении величины деструкции вообще, но еще и в том, что она гораздо больше в поверхностных слоях воды.

Количество органического вещества летом и осенью в поверхностных горизонтах соответственно в 1,7 и 1,9 раза больше, чем в придонных. Несмотря на отсутствие температурного расслоения водной массы и незначительные глубины, повышение деструкции в поверхностных слоях связано с тем, что легкоминерализуемые компоненты органического вещества более энергично окисляются в верхних слоях воды (см. табл. 11).

Кроме того, в условиях Северного Каспия в богатых органическими веществами грунтах интенсивно протекают различные микробиологические процессы. Их промежуточные продукты создают специфичные условия, в которых не может развиваться микрофлора воды. В связи с этим было весьма существенно определить в поверхностных слоях воды соотношение продукции фитопланктона и деструкции органического вещества. С этой целью проведено одновременное определение продукции и деструкции в течение летнего и осеннего сезонов, когда оба процесса протекают особенно интенсивно. Было показано (табл. 12), что величина деструкции органического вещества во всех участках Северного Каспия (за исключением зоны I разреза) превышает величину продукции фитопланктона. Средняя величина деструкции за сезон оказалась в 2,4 раза больше, чем среднее значение продукции летом и в 3,4 раза – осенью. Характерно, что суммарная величина деструкции осенью в 1,2 раза меньше чем летом, что соответствует изменениям общей суммы первичной продукции, которая также уступает летней в 2 раза. Кроме того, здесь имеется еще весьма характерная деталь.

Как видно из табл. 12, отношение деструкции к продукции фитопланктона осенью

Таблица 12

Среднесуточная продукция фитопланктона и деструкция органического вещества (мг С/л) в поверхностном слое воды Северного Каспия летом и осенью 1971 г.

Разрез	Лето		Осень	
	деструкция	продукция	деструкция	продукция
I. Волго-Каспийский канал	0,17	0,70	0,20	0,60
II. Центральный	0,09	0,08	0,13	0,09
III. Форт Шевченко – о-в Тюлений	0,09	0,04	0,20	0,05
IV. Средняя Жемчужная – Тюб-Караган	0,23	0,30	0,30	0,40
VI. Уральская бороздина	0,40	0,21	0,35	0,05
VIII. Гурьев–Астрахань	1,30	0,36	1,20	0,05

больше, чем летом, несмотря на то, что продукция водорослей летом в 2 раза превышает продукцию в осенний период.

Значительное превышение деструкции над продукцией осенью связано, с одной стороны, с обогащением воды органическими веществами в массовом количестве отмерших водорослей, с другой – с интенсивным перемешиванием воды в результате усиления ветрового режима (Гуль и др., 1971; Косярев, 1969). Значение автохтонного и аллохтонного органического вещества настолько существенно, что несмотря на значительное понижение температуры воды, которое не может не сказываться на физиологической активности микрофлоры, процессы минерализации протекают весьма интенсивно.

Таким образом, на основании большого фактического материала установлено значительное превышение деструкции над продукцией, что является результатом поступления органического вещества с речным стоком. Превышение деструкции над продукцией фитопланктона в водоемах по той же причине отмечено многими исследователями (Сорокин, 1957; Салманов, 1959; Романенко, 1964а, 1965; Гак, 1974; Антипчук, 1974; и др.).

Интенсивная минерализация органического вещества при сравнительно высокой популяции бактериального ценоза способствует регенерации биогенных элементов и ускоряет их оборачиваемость, а также создает микробную биомассу, которая служит важным источником питания фауны.

ДЕСТРУКЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ИЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ

Как известно, в донных отложениях водоемов содержатся различные органические вещества, структурный состав и процент которых зависит от трофики водоема, характера процессов илообразования, механического состава отложений и др. Большое значение как в динамике илообразования, так и в содержании в них органического вещества имеют мощность твердого стока рек, объем поступающего с суши эолового материала.

Деструкция органического вещества в иловых отложениях Северного Каспия до сих пор не изучена, несмотря на то, что определения количества разрушающегося в донных отложениях органического вещества имеют большое теоретическое и практическое значение. Для оценки количества органического вещества, минерализуемого аэробными микроорганизмами в иловых отложениях Северного Каспия, было проанализировано потребление кислорода в грунтах на тех же разрезах и станциях, где изучались деструкция органического вещества воды и первичная продукция фитопланктона.

Результаты проведенных исследований показали, что в Северном Каспии величина

Таблица 13

Деструкция органического вещества в иловых отложениях Северного Каспия (август 1971 г.)

Разрез	Стан- ция	Грунт	мг С/м ² · сутки	Разрез	Стан- ция	Грунт	мг С/м ² · сутки
I. Волго- Каспий- ский канал	1	Темный илистый песок	260	V. Севернее о-ва Ку- лалы	1	Ракушечник	30
	2	Темный ил	300		2	"	20
	3	Темный ил с детритом	370		3	Ракушечный песок	40
	4	Темный ил с ракушечником	380		4	Песок с раку- шечником	60
II. Централь- ный	5	Серый ил	400	VI. Ураль- ская бо- родзина	2	Ракушечник	20
	1	То же	200		3	"	20
	2	Илистый песок	260		5	Слабый ил с раку- шечником	40
	3	Песочный ил	180	VII. Попереч- ный	7	Песочный ил	280
	5	Ракушечник	60		8	Ракушечник	30
III. Средняя Жемчуж- ная – Тюб- Караган	1	"	70	VIII. Гурьев – Астрахань	9	"	30
	2	"	80		10	Серый ил	380
	3	"	60		12	Тот же	360
	4	"	30		13	Илистый песок	300
	5	"	6		14	Тот же	280
	6	Слабозалиенный ракушечник	120		15	Слабо заиленный песок	220
IV. Форт Шев- ченко – о-в Тюлений	1	Ракушечный песок	120	IX. Астрахань	16	"	60
	2	Ракушечник	20		17	Песок	90
	3	"	30		18	"	120
	6	Илистый раку- шечник	160		19	Залиенный песок	340
	7	Ил с ракушечни- ком	300		20	Темный ил	300
	10	Илистая глина	330		21	Тот же	300
						"	300

деструкции органического вещества в илах варьирует от 20 до 500 мг С/м² · сутки (табл. 13), что в основном связано с характером иловых отложений. Самые низкие величины деструкции отмечаются в зонах, где донные отложения представлены песками и ракушечниками. Однако установлено, что в ряде случаев песок или ракушечник с илом или наилом потребляет столько же кислорода, сколько и богатые органическим веществом серые илы (Романенко, 1969а). В этом отношении интересны результаты определения деструкции в грунтах ст. 3 и 4 I разреза и ст. 1, 2, 3, 19, 21 VIII разреза (см. рис. 2).

Илистые грунты Северного Каспия характеризуются высокими значениями деструкции. Кроме того, в западном участке донные отложения, состоящие из ракушечника, судя по величине деструкции, содержат в 3–4 раза больше органических веществ, чем в восточной части Северного Каспия. М.П. Гудков, Т.И. Горшков (1968) пришли к заключению, что количество органического вещества в донных отложениях тесно связано с речным стоком. По их наблюдениям, количество органического вещества в грунтах достигает наибольшей величины в тонкозернистых осадках, которые широко представлены в юго-западной части и в районах восточнее о-ва Тюлений. В осадках дельты р. Урал содержится мало органического вещества, что объясняется отсутствием его поступления из куличных зон. А.С. Пахомова (1964) отмечает, что в северной части моря откладывается крупнозернистый материал, который в связи с уменьшением глубин легко промывается и лишается тонких илистых частиц.

Таким образом, связь величины деструкции ила с механическим и структурным составами донных отложений прослеживается по всему ложу Северного Каспия. Повышение величины деструкции в илистых грунтах отмечается и в пресных водоемах (Романенко, 1969а, б).

В зональном отношении как величина первичной продукции фитопланктона, так и высокие значения деструкции в грунтах отмечаются в западной половине Северного Каспия. Судя по этой корреляции, все процессы — интенсивность образования первичной продукции, формирование илистых грунтов, содержание в них органического вещества и минерализация последнего микроорганизмами — связаны с одними и теми же факторами.

Летом 1971 г. анализы потребления кислорода илами Северного Каспия производились на всех 8 разрезах. Мы рассчитали общую величину деструкции органического вещества за летний сезон на всю площадь дна Северного Каспия. Результаты расчета показали, что за лето в грунтах Северного Каспия было минерализовано всего 1345,4 тыс. т углерода органического вещества. Соответственно 1 м² ила за летний сезон минерализует 16,2 г С органического вещества, что эквивалентно 10% продукции фотосинтеза фитопланктона. Это близко к значению, полученному для водоемов путем теоретических расчетов, исходя из сравнения зональности водорослей и иловых отложений [Кузнецов, 1952].

СРЕДНИЙ КАСПИЙ

ПРОДУКЦИЯ ФИТОПЛАНКТОНА

Первичная продукция органического вещества за счет фотосинтеза фитопланктона в Среднем Каспии систематически определялась в 1964—1979 гг. Стандартные наблюдения на 6 разрезах по 4 станциям на глубинах 10, 25, 50 и 100 м — в западном и на 9 разрезах по такому же плану, порядку и числу станций — в восточном побережье Среднего Каспия (см. рис. 1). В большинстве районов сезонные наблюдения повторялись 2 раза, акватории некоторых разрезов — Артемского, Сумгаитского, Амбуранского и др. — исследовались 3—4 раза. Центральная часть Среднего Каспия была исследована на 7 "переходных" (с запада на восток и обратно) разрезах с 9—12 станциями на каждом. Все станции на "переходных" разрезах выбирались с учетом глубин и приблизительно на одинаковом расстоянии одна от другой. Таким образом, не считая повторных анализов, сезонные наблюдения проводились на 22 разрезах. Суточная продукция фитопланктона была определена на 330 станциях. Вертикальное распределение фитопланктона определялось на 163, а глубина проникновения солнечного света — на 24 станциях. В отличие от двух предыдущих измерений глубина солнечного освещения водной толщи определялась в различных участках Среднего Каспия с учетом прозрачности, глубины, температуры и других особенностей биотопа. Указанные опыты по определению толщины зоны фотосинтеза проводились с экспозицией проб в море на стоянке судна в течение суток. Первичная продукция фитопланктона Среднего Каспия ранее фактически не определялась. Исключением может быть работа В.И. Кузьмичевой, А.И. Бондаренко (1975), в которой даны отрывочные сведения о величине продукции фитопланктона. Ниже приводятся материалы определений первичной продукции фотосинтеза Среднего Каспия по трем основным участкам: западное побережье, центральная часть и восточное побережье.

Западное побережье. Результаты сезонных наблюдений по первичной продукции фитопланктона приводятся в табл. 14 и на рис. 8. Среднесуточная продукция зимой по всему побережью колеблется в пределах 0,17—0,55 г С/м³.² В северной части района исследования среднесуточная продукция фитопланктона в 3 раза больше, чем в южной. Сравнительно высокая продукция в районах Махачкалинского, Дербентского и Самурского разрезов образуется в основном за счет большого числа притоков, вносящих биогенные элементы. Такая закономерность характерна и для остальных разрезов,

Таблица 14

Продукция фитопланктона в западном побережье Среднего Каспия по сезонам 1965 г.

Разрез	Станция	Продукция фитопланктона, С г/м ²				Среднее за год
		зима	весна	лето	осень	
Махачкала	1	0,30	1,40	4,90	4,50	2,77
	2	0,50	3,08	3,60	9,50	4,17
	3	0,70	3,10	4,50	0,75	2,26
	4	0,70	2,40	2,80	0,90	1,70
Среднее за сезон	—	0,55	2,49	3,95	3,90	2,72
Дербент	1	0,30	1,68	6,80	2,30	2,77
	2	0,60	0,30	4,50	5,60	2,72
	3	0,40	4,60	3,90	1,40	2,57
	4	0,70	4,20	7,90	1,80	3,65
Среднее за сезон	—	0,50	2,69	5,77	2,77	2,93
Сумгайт	1	0,06	0,13	0,20	0,32	0,17
	2	0,15	1,40	0,88	2,80	1,30
	3	0,36	3,10	1,30	2,40	1,79
	4	0,30	1,60	0,74	2,22	1,21
Среднее за сезон	—	0,19	1,53	0,78	1,94	1,11
Амбуран	1	0,03	1,20	0,70	0,32	0,56
	2	0,15	1,50	0,96	0,80	0,85
	3	0,36	2,20	1,00	0,81	1,09
	4	0,27	3,50	1,00	0,74	1,37
Среднее за сезон	—	0,20	2,10	0,91	0,66	0,97
Самур	1	0,13	2,00	1,90	0,82	1,46
	2	0,26	3,35	5,00	2,30	2,72
	3	0,40	3,50	5,10	6,21	3,80
	4	0,60	3,50	6,10	2,08	3,07
Среднее за сезон	—	0,34	3,08	3,77	2,85	2,76
Артем	1	0,06	0,24	1,00	0,24	0,38
	2	0,23	3,60	3,20	0,43	1,86
	3	0,14	2,40	3,40	1,06	1,75
	4	0,26	4,02	1,90	0,57	1,86
Среднее за сезон	—	0,17	2,56	2,37	0,57	1,41

но она выражена гораздо слабее. Среднесуточная продукция зимой для всего западного побережья Среднего Каспия 0,33 г С/м², что в 4–6 раз больше, чем в Северном Каспии.

Заметный сдвиг в сторону увеличения роста продукции наблюдается весной. Как и во всем море, весенний максимум первичной продукции отмечается у западного побережья Среднего Каспия, среднее значение которой весной в 8–10 раз превышает ее зимний уровень. Характерно, что повышение продукции фитопланктона у западного побережья происходит по всем глубинам, тогда как в других участках Каспийского моря пик продукции носит локальный характер.

Равномерное распределение продукции водорослей хорошо выражено прежде всего в районах Махачкалинского, Дербентского и Самурского разрезов. Южнее наряду с резким снижением общей продукции имеется еще и большая разница в продукции по отдельным станциям. Например, на первых станциях Сумгайтского и Артемского разрезов величина первичной продукции соответственно в 20–15 раз меньше, чем на соседних станциях тех же разрезов.

Весьма неравнозначны уровни продукции в летний сезон. При среднесуточной про-

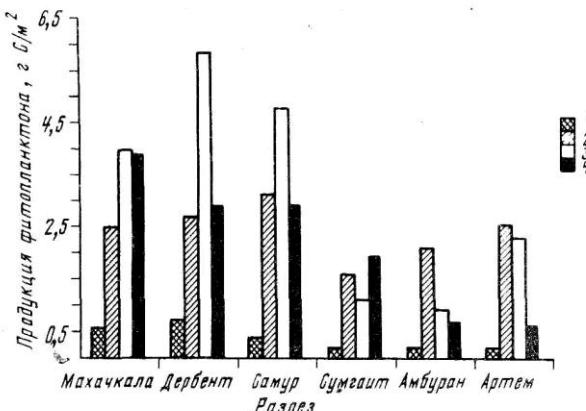


Рис. 8. Сезонные изменения среднесуточной продукции фитопланктона в западной шельфовой зоне Среднего Каспия

1 – зима; 2 – весна; 3 – лето; 4 – осень

дукции в районах первых трех разрезов 5–6 г С/м², в Сумгайт-Артемском участках она варьирует в пределах 0,7–2,3 г С/м².

Таким образом, в Среднем Каспии южная часть западного побережья оказалась менее продуктивной. Если не считать сравнительно высокой продукции Артемского разреза, которая сглаживает сумму общей продукции района, среднее значение первичной продукции Сумгайт-Амбуранского участка окажется еще ниже. В летний сезон на всем Махачкала-Самурском участке происходит интенсивное образование продукции фитопланктона. Оно шло настолько интенсивно, что высокая продукция фитопланктона отмечалась фактически на всех станциях разрезов, тогда как в других районах моря, включая и соседние разрезы, продукция фитопланктона прибрежных станций резко отличается от таковой глубинных зон.

Причиной высокой первичной продукции в Среднем Каспии является обогащение вод биогенами. Еще в 40-х годах было выяснено, что высокая биологическая продуктивность Среднего Каспия обусловлена в основном активным поступлением в этот район биогенов из Северного Каспия (Бруевич, 1941а, б; Дацко, 1939; и др.).

Многолетние исследования С.В. Бруевича (1937, 1938а, б; и др.) показали, что в Северном Каспии значительная часть биогенов сконцентрирована по взвеси, поступающей с речным стоком и в дегрит, который образуется на стыке опресненных и морских вод при отмирании энергично вегетирующего здесь фитопланктона. Таким образом, для процесса синтеза органического вещества Северного Каспия роль дегрита и взвесей, в составе которых сконцентрированы биогенные элементы фосфор и азот, очень существенна. В волжских взвешенных веществах много минерального фосфора и поэтому дегрит, образовавшийся в море, легче отдает фосфаты и аммиак (Дацко, 1959). Эта последующая отдача биогенных элементов донных отложений водной массе, движущейся над грунтом, и является, по С.В. Бруевичу (1937), основным путем транспортировки биогенных элементов из Северного Каспия в Средний.

С этим положением можно согласиться, так как резкое снижение уровня воды моря вызвало значительное обмеление Северного Каспия. По данным Гюль и др. (1971), средняя глубина Северного Каспия в настоящее время 5 м. По аналогии с другими морями, например с Азовским (Алдакимова, 1976), можно полагать, что при сильных и устойчивых северо-восточных ветрах воды неглубокого Северного Каспия взмучиваются, в результате чего устанавливается режим, способствующий выносу массы взвешенного вещества из Северного Каспия в Средний. М.П. Гудков (1956) отмечает большой вынос взвешенных веществ из Северного Каспия в Средний.

Таким образом, при достаточном количестве биогенных элементов, благоприят-

ствующих экологических факторах в Среднем Каспии создаются хорошие условия для синтеза органического вещества водорослей.

По поводу количества биогенных элементов можно отметить результаты наблюдений В.Г. Дацко (1959), А.С. Пахомовой, Б.М. Затучной (1966). По их данным, в зоне фотосинтеза Среднего и Южного Каспия содержание минеральных соединений фосфора и азота составляет 8–10 мг/м³.

Малая продукция, которая обнаружена в Артемском, Амбуранском и Сумгайтском разрезах, по-видимому, обусловлена действием антропогенных факторов, угнетающих жизнедеятельность фитопланктона, что отмечалось на шельфе и других морей (Врочинский, 1976; Финогенов, 1976; Зайцев, 1977; Koops, 1976). Минимальной величиной первичной продукции характеризовался Сумгайтский разрез, где средняя по разрезу величина составляет лишь 0,78 г С/м².

Установлено, что распределение первичной продукции в Среднем Каспии имеет более устойчивый пик, чем в Южном. Кроме того, минимальный рост первичной продукции, который отмечается на последних станциях всех разрезов Среднего Каспия, гораздо больше, чем на таковых в Южном.

Одновременно мы изучали и вертикальное распределение фитопланктона. Результаты анализов наиболее характерных станций приведены на рис. 9. Как видно, фитопланктон распределен обычно до глубины 100 м, хотя на некоторых станциях активные водоросли присутствовали на большей глубине. Примечательно, что в ходе вертикального распределения фитопланктона имеется ряд максимумов. Несмотря на разное местонахождение станций, особенности изменения биомассы жизнедеятельного фитопланктона очень сходны. В приведенных случаях отмечаются три максимума по вертикали. Первый максимум (за исключением 5-метрового горизонта Сумгайтского разреза) размещен между глубинами 4 и 10 м. Начиная с 10 до 22–24 м масса водорослей значительно уменьшается, а на глубине 25–28 м она образует второй максимум. В самом поверхностном слое (до 1,5–2 м) количество водорослей на 70–90% меньше, чем в слоях первого максимума, и на 20–50% меньше такового в зоне второго максимума. Наличие первого максимума связано с избыточной освещенностью поверхностного слоя воды, который избегают водоросли. Второй максимум, как правило, связан со скоплением оседающего планктона в зоне на глубине 25–26 м. Глубже общее количество водорослей уменьшается и на 50–60 м снижается вдвое. Следует отметить, что на ст. 4 Амбуранского разреза на глубине 50 м был обнаружен третий максимум. При детальном анализе показателей прозрачности, цветности, температуры оказалось, что и последний максимум был обусловлен в основном наличием второго скачка температуры. Глубже 70 м процентное содержание фитопланктона доходит до своего минимума и в горизонтах 95–100 м составляет лишь 0,5% от его содержания в поверхностном слое.

Интересно отметить, что в распределении массы водорослей по вертикали имеет значение прозрачность воды. Результаты наших исследований обнаружили прямую связь между прозрачностью воды и распределением фитопланктона. Например, прозрачность воды ст. 3 Сумгайтского разреза равна 7, а на ст. 4 Дербентского – 7,5 и при почти одинаковой освещенности ход изменения массы водорослей идентичен; в то же время на ст. 4 Амбуранского разреза при прозрачности 10 м на глубине 60 м содержание водорослей больше на 25–40%, чем в первых двух станциях.

Для пересчета величины первичной продукции под 1 м² и определения зоны фотосинтеза водной толщи необходимо было проанализировать зависимость фотосинтеза от проникновения света в толщу воды (коэффициенты K_t). С этой целью были сделаны 2 станции, расположенные в разных участках моря. Было установлено, что кривые K_t на этих станциях имеют сходный характер (рис. 10).

Следует подчеркнуть, что в результате многолетнего определения коэффициентов K_t выявлена характерная особенность зависимости фотосинтеза от проникновения солнечного света в толщу воды, которая коррелирует с ее прозрачностью. Это хорошо видно на примере Сумгайтского и Амбуранского разрезов (см. рис. 10).

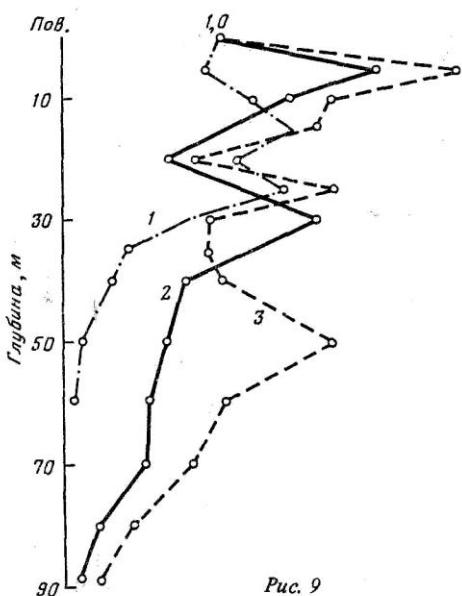


Рис. 9

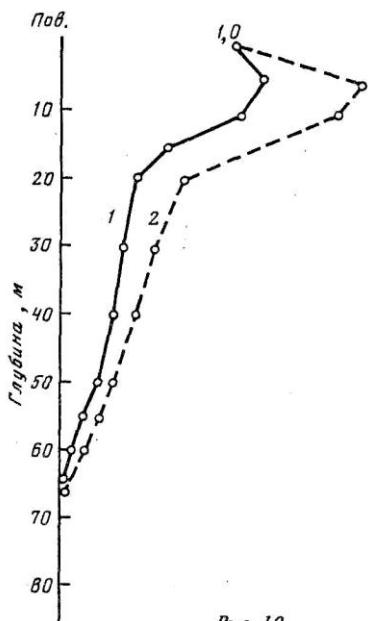


Рис. 10

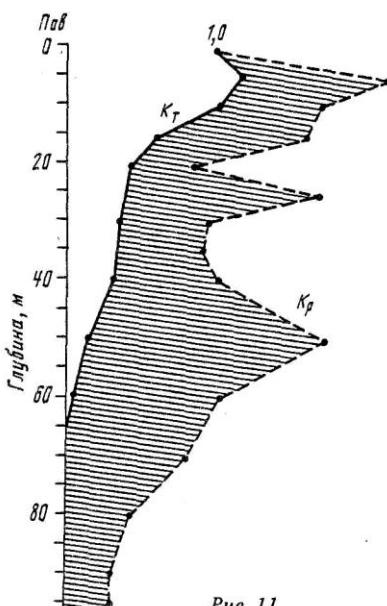


Рис. 11

Рис. 9. Вертикальное распределение активного фитопланктона (кривые K_p) в различных участках западного побережья Среднего Каспия

1 – Сумгайитский разрез, ст. 3; 2 – Дербентский разрез, ст. 4; 3 – Амбуранский разрез, ст. 4

Рис. 10. Зависимость фотосинтеза от подводной освещенности (кривые K_T)

1 – Амбуранский разрез, ст. 4; 2 – Сумгайитский разрез, ст. 4

Рис. 11. Определение степени светового голодаания (S , %) фитопланктона в западном побережье Среднего Каспия летом

Максимум фотосинтеза, по нашим наблюдениям, отмечается в слое 4–8 м. На глубине 15–17 м его скорость близка к таковой у поверхности. Ниже 20 м интенсивность фотосинтеза снижается на 20–25% по сравнению с поверхностным слоем. На глубине, где расположен первый стратификационный слой, несмотря на то, что там имеется скопление массы водорослей, процент освещенности составляет лишь 20–27%. Толщина эвфотической зоны равна 65–70 м. В лежащем ниже слое, несмотря на присутствие

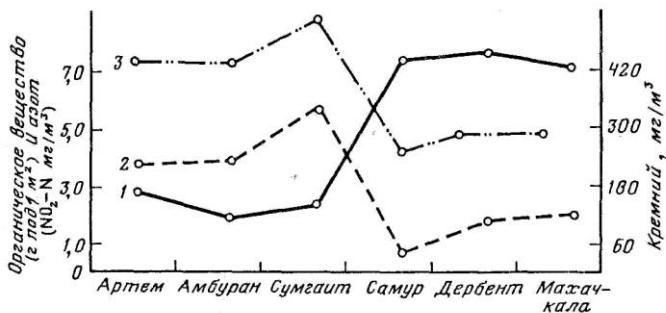


Рис. 12. Отношение продукции фитопланктона к биогенным элементам воды в зоне Сумгайт-Артемских разрезов

1 – органическое вещество; 2 – азот; 3 – кремний

живого фитопланктона, фотосинтез не идет из-за недостаточной освещенности. Характерно, что уменьшение проникновения света в толщу воды на каждые 10 м составляет в среднем 10–15% от поверхностной освещенности.

Результаты определения светового голодаания методом Ю.И. Сорокина (1958) показали, что в водах западного побережья Среднего Каспия в летний период процент светового голодаания фитопланктона достигает 60–70 (рис. 11).

Представляло интерес выявить доминирующие в фитопланктоне виды за летний период. Летом в систематическом составе водорослей насчитывалось 53 вида. Из них диатомовые составляли 29 таксонов (или 55%), синезеленые – 13, зеленые – 3 и жгутиковые – 3.

В планктоне доминирующим видом оказалась крупная диатомея *Rhizosolenia calcar-avis*, "цветение" которой отмечалось на всей акватории между Астарой и Махачкалой. Кроме ризосолений, главными компонентами планктона западного побережья Южного и Среднего Каспия являются из диатомовых *Coscinodiscus granii*, *Actinocyclus ehrenbergii* var., *Chaetoceros wighamii*, *Ch. socialis*, *Ch. subtilis* var. *subtilis*, *Ch. paulensis*, из синезеленых *Anabaenopsis circularis* f. *tanganykae*, *Nodularia harveyana*, *Aph. flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa*.

На отдельных станциях отмечалось массовое развитие видов, которые вызывали "цветение" воды. Например, на первой станции Сумгайтского разреза колоссального развития достиг ряд видов *Chaetoceros*, чего не было в других районах исследуемого участка.

В августовских сборах в Среднем Каспии наиболее богатыми оказались пробы прибрежной полосы района исследования, что совпадает с максимальной величиной первичной продукции. По мере удаления от берега в глубь моря уменьшалось число других видов, за исключением *Rhizosolenia calcar-avis*, обильное развитие которой наблюдалось в районах глубоководных станций.

Таким образом, анализируя видовое разнообразие фитопланктона, можно заключить, что основными продуктами в августе являются диатомовые водоросли, которые в фитопланктоне составляют более 50% по биомассе. Второе место принадлежит представителям синезеленых и зеленых водорослей. Роль жгутиковых здесь не так велика, как в Южном Каспии, где в образовании продукции фитопланктона они занимают второе место.

Осенний ход изменения величины первичной продукции фитопланктона тождествен таковым в летний сезон. В большинстве случаев максимальная продукция отмечалась в районах прибрежных станций (см. рис. 8). Среднесуточная продукция, так же как и в остальное время года, высока и осенью в северной части района достигала 3,9 г С/м².

Судя по ходу сезонного изменения величины первичной продукции органического вещества за счет фотосинтеза фитопланктона, на участке Артем–Сумгайт продукция

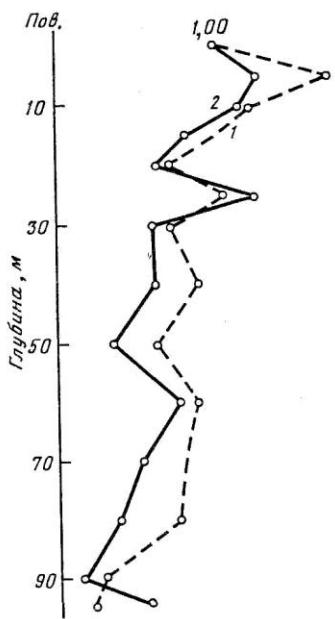


Рис. 13. Вертикальное распределение активного фитопланктона (кривые K_p) осенью
1 – сентябрь; 2 – ноябрь

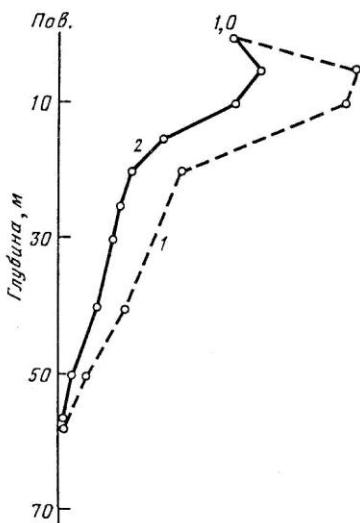


Рис. 14. Зависимость фотосинтеза от подводной освещенности (кривые K_t) осенью
1 – сентябрь; 2 – ноябрь

водорослей в течение всего года остается низкой. Низкая продукция в южной части района исследования связана с антропогенными факторами. При этом она, по-видимому, не является результатом нехватки биогенных элементов. Действительно, в загрязняемых участках южной части района содержания азота, фосфора и кремния достигает 3–5 мг/м³; в то же время продукция водорослей в 4–8 раз меньше, чем в остальных районах, где концентрация биогенных элементов гораздо ниже (рис. 12).

Результаты анализов вертикального распределения водорослей, представленные на рис. 13, показывают, что в ноябре фитопланктон обитал в более глубоких слоях водной толщи. Если в августе в слоях 90-метровой изобаты биомасса фитопланктона составляла 8–20% от таковой в поверхностном слое, то в ноябре на глубине 95–100 м она достигала 20–40%. При этом в ноябре отсутствовали четко выраженные максимумы по вертикали. Если в августе в связи с температурной стратификацией отмечались 3 максимума, то в ноябре ход распределения водорослей по вертикали более стабилен. В ноябрьской съемке максимум сохранялся на глубине 25 м, где биомасса водорослей была на 10–25% больше, чем в самом поверхностном слое. Летом в слое температурной стратификации первый максимум превышал таковой поверхностного слоя на 40–65%. Следовательно, при снижении температурного градиента осенью неравномерность в распределении массы фитопланктона в водной толще исчезла.

Таким образом, в условиях гомотермии в трофогенном слое концентрация кислорода и биомасса бактериопланктона распределялись равномерно. Что же касается незначительного накопления фитопланктона на глубине 5 м, то оно является результатом избыточной освещенности верхних слоев воды.

Данные по проникновению солнечного света в толщу воды (K_t) приводятся на рис. 14. Как видно, интенсивность проникновения солнечной радиации в течение сезона очень сходна. Ноябрьский рейс отличается меньшей глубиной проникновения све-

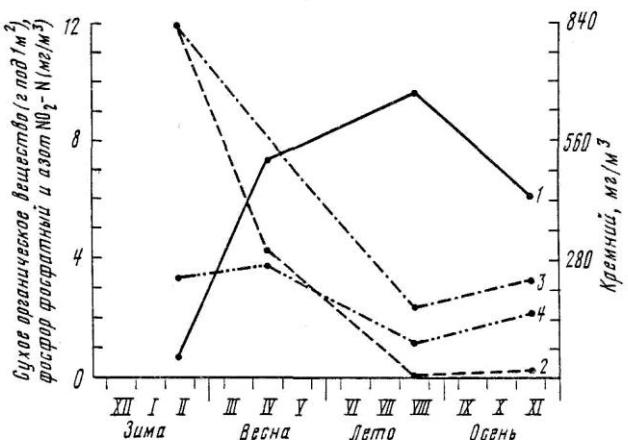


Рис. 15. Сезонные изменения продукции фитопланктона и биогенных элементов в западной шельфовой зоне Среднего Каспия

1 – органическое вещество; 2 – азот; 3 – кремний; 4 – фосфор

та. Если в августе свет проникал до 67 м, то в ноябре до 58 м. Таким образом, осенью толщина фотосинтезирующего слоя сократилась почти на 10 м и фактически фотосинтез из-за отсутствия света прекратился на глубине 58–60 м.

За период исследования в планктоне Среднего Каспия только один вид – *Rhizosolenia calcar-avis* – оказался круглогодичным доминантом. К субдоминантам следует отнести *Coscinodiscus perforatus*, *C. radiatus*, *Thalassiosira variabilis*, *Thalassionema nitzchioides*, *Chaetoceros wighamii*. Из синезеленых преобладали *Aphanizomenon flos-aquae*, *Nodularia sspumigena*, *Anabaenopsis circularis* f. *tanganyikae*, *Anabaena bergii* f. *minor*, из зеленых – *Botryococcus braunii*, *Planctonema lauterbornii*, *Oocystis socialis* и из перидиниевых *Exuvella cordata* var. *cordata*, *Glenodinium behnengi*. Доминирование этих водорослей носит сезонный характер, так как представители рода *Chaetoceros* максимального различия достигают весной, синезеленые и зеленые – осенью в основном на устье р. Самур, а перидиниевые – летом у Сумгайита и Амбурана. Диатомовые встречаются круглый год с осенним максимумом. Указанные доминантные виды и формы фитопланктона отмечаются и в поздних исследованиях (Кафар-заде, 1976). Сезонная динамика и пространственное распределение продукции фитопланктона у западного побережья Среднего Каспия отличались от таковых в Северном Каспии. Высокая продукция от Махачкалы до Сумгайита является следствием благоприятного влияния богатых биогенами вод Северного Каспия и речного стока Самура. Для этого участка характерен весенний пик продукции. Благоприятный солевой режим и хорошие климатические условия, по-видимому, стимулируют развитие фитопланктона с ранней весны до поздней осени. Положительные корреляции продукции водорослей и биогенных элементов (рис. 15), отсутствие ощутимых источников загрязнения воды и другие факторы способствуют интенсивному развитию фитопланктона за весь год. Как указано выше, Северный Каспий характеризуется летне-осенным максимумом продукции водорослей. Несмотря на то что Махачкалинско-Самурской участок испытывает явное влияние Северного Каспия, весна является одним из основных сезонов образования продукции водорослей. Продукция весеннего сезона составляет 80% летней и превышает осеннюю на 20%.

Восточное побережье. Определение первичной продукции фитопланктона проводилось на 9 разрезах (см. рис. 1) от мыса Куули на юге до мыса Урдюк на севере. Установлено, что величина синтезированного фитопланкtonом органического вещества значительно колеблется как в разных участках, так и в разные сезоны (рис. 16, табл. 15). Суточный прирост продукции фитопланктона в зимний период по всему побережью

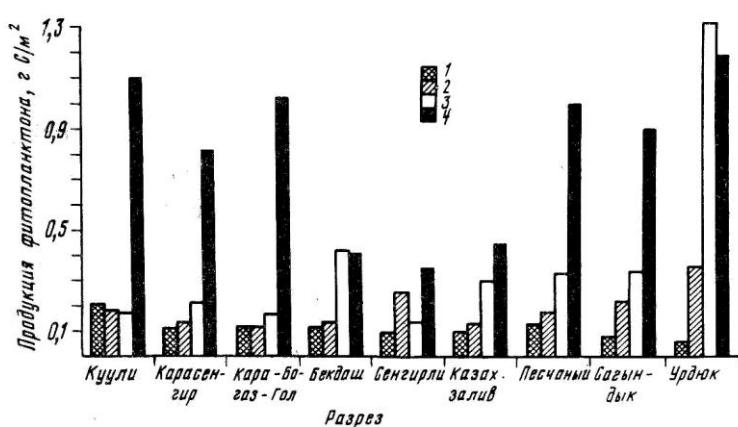


Рис. 16. Сезонные изменения среднесуточной продукции фитопланктона в восточной части шельфовой зоны Среднего Каспия

1 – зима; 2 – весна; 3 – лето; 4 – осень

выражен в одинаковых показателях, за исключением северного отрезка в зонах Сагынлык-Урдюкского разреза, где продукция снижена в 2–4 раза. По всему участку района исследования продукция фитопланктона невысокая – от 0,03 до 0,34 г С/м². Средняя продукция в течение сезона на всем участке не превышает 0,11 г С/м² · сутки. В отличие от других участков моря в районе восточного побережья Среднего Каспия нет температурного скачка и резкого спада продукции водорослей. Несмотря на это, имеется существенная разница в продукции районов отдельных глубин одного и того же разреза.

Как видно, зона 10-метровой глубины на всем протяжении вдоль прибрежья является наименее продуктивной; величины среднесуточной продукции в 2–4 раза меньше, чем в глубинных зонах. Снижение продукции в прибрежной полосе зимой, по-видимому, связано с понижением температуры, так как воды неглубоких участков охлаждаются сильнее. Кроме того, сильное волнение и прибои, взмучивая воду, уменьшают прозрачность мелководья, что также отрицательно сказывается на развитии водорослей. Подтверждением тому могут являться результаты наблюдения в зоне Урдюкского разреза. Как видно, в другие сезоны здесь продукция фитопланктона наивысшая. Весной величина первичной продукции органического вещества за счет фотосинтеза фитопланктона по всей акватории восточного прибрежья очень низка – от 0,03 до 0,64 г С/м². Величина среднесуточной продукции по участкам до Сагындыкского раз-

Таблица 15

Средняя продукция фитопланктона у восточного побережья Среднего Каспия по сезонам 1966 г., г С/м²

Разрез	Зима	Весна	Лето	Осень	Среднее за год
Куули	0,21	0,17	0,16	1,10	0,41
Карабенгир	0,11	0,13	0,21	0,80	0,31
Кара-Богаз-Гол	0,14	0,12	0,16	1,07	0,37
Бекдаш	0,08	0,12	0,32	0,37	0,22
Сенгирили	0,10	0,16	0,14	0,34	0,18
Казахский залив	0,12	0,30	0,30	0,45	0,25
Песчаный	0,13	0,17	0,34	1,00	0,41
Сагындык	0,09	0,26	0,33	0,90	0,40
Урдюк	0,06	0,36	1,30	1,17	0,72

реза почти не отличается от зимней. Весенний сезон здесь по развитию фитопланктона выражен как продолжение зимы: повышение температуры воды, интенсивное перемешивание и другие факторы весной не оказывают существенного влияния на развитие фитопланктона на всем протяжении участка (270 миль)¹. В этом отношении весьма показательны результаты наблюдения в районах Сагындык-Урдюкского разреза.

Начиная с 25-метровой глубины Сагындыкского разреза по направлению к северо-востоку продукция фитопланктона резко возрастает и достигает в зоне глубоководных станций 0,64 г С/м². Характерно, что если в районах остальных 7 разрезов среднесуточная продукция фитопланктона весной является почти такой же, как в зимнем сезоне, то здесь величина первичной продукции в 3–6 раз превышает таковую в зимнем сезоне. Величина первичной продукции фитопланктона по глубинам района исследования остается такой же.

Летом, несмотря на отдельные случаи повышения продукции, ее среднесуточная величина до мыса Сенгирли остается такой же низкой, как весной. Начиная с глубоководных станций Бекдашского разреза отмечается заметное повышение продукции фитопланктона к северу. Летом среднее значение продукции фитопланктона в районах разрезов Казахский залив, Песчаный, Урдюк увеличивается соответственно в 3,2 и 4 раза.

Высокая продукция фитопланктона у восточного побережья Среднего Каспия отмечалась в осенний период. Величина первичной продукции фитопланктона осенью колебалась в пределах 0,1–2 г С/м². Нарастание продукции фитопланктона в осенний период происходило по всему участку и на всех глубинах. Несмотря на то что в полосе 10-метровой глубины в течение всего года продукция фитопланктона остается низкой, осенью здесь она достигает 0,4 г С/м², что в 2 раза больше, чем летом. Имеется существенное расхождение и в распределении продукции фитопланктона по участкам разрезов.

Заметное повышение продукции фитопланктона в южной половине районов исследования отмечается на участке Куули–Кара-Богаз-Гол, а в северном – на участке Песчаный–Урдюк. Характерно, что увеличение продукции фитопланктона каждого из этих 6 разрезов происходит за счет высокой продукции ст. 3 и 4. Результаты наблюдения на акватории центральной части Каспия на "переходных" разрезах показали, что осенью в центральных участках Среднего Каспия величина продукции в пределах глубин 150–300 м с запада и востока достигала 3,5–4 г С/м² (см. ниже). Таким образом, увеличение продукции глубинных зон Среднего Каспия не вызывает сомнения. Что же касается увеличения продукции фитопланктона в центральных участках, то оно, по-видимому, является результатом обогащения трофогенного слоя биогенными элементами из глубинных слоев вертикального перемешивания. При сравнении среднесуточной продукции фитопланктона по сезонам года видно, что около 50% всей продукции за год синтезируется осенью. Средняя величина продукции фитопланктона зимой, весной, летом и осенью составляет соответственно 0,11, 0,13, 0,34 и 0,80 г С/м². В восточной части Среднего Каспия величина первичной продукции невелика, и среднегодовое ее значение в 6–7 раз меньше, чем в западной (табл. 16).

Отсутствие благоприятного влияния речных вод, низкие температуры в течение значительной части года и бедность водной толщи биогенными элементами – таковы главные причины сравнительно низкой продуктивности фитопланктона в этом районе.

Следует отметить, что для восточного прибрежья Среднего Каспия характерна температурная аномалия воды, которая особенно резко проявляется в теплое время года (Архипова, 1959; Уланов, 1960; Гюль и др., 1971). Наши наблюдения показали, что амплитуда колебаний температуры воды весной и осенью не превышала в среднем 1,5–2°, тогда как летом (июль–август) она составляла 12°. По-видимому, понижение

¹ 1 милия – 1852 м.

Таблица 16

Средние величины суточной продукции фитопланктона ($\text{г С}/\text{м}^2$) у западного и восточного побережья Среднего Каспия

Глубина, м	Зима	Весна	Лето	Осень	Среднее по глуби-не	Зима	Весна	Лето	Осень	Среднее по глуби-не
Запад										
10	0,14	1,10	2,74	1,42	1,35	0,05	0,08	0,22	0,40	0,19
25	0,32	2,20	2,95	3,57	2,26	0,11	0,15	0,37	0,78	0,35
50	0,39	3,15	3,20	2,10	2,21	0,13	0,11	0,47	1,00	0,43
100	0,47	3,20	3,40	1,38	2,11	0,16	0,20	0,28	1,00	0,41
Среднее по сезону	0,33	2,41	3,00	2,11	—	0,11	0,13	0,34	0,80	—

температуры летом здесь является одной из основных причин слабого развития летнего фитопланктона по сравнению с другими частями моря. Этим и объясняется круглогодичная вегетация здесь диатомовых водорослей, среди которых доминирует с небольшой биомассой *Rhizosolenia carcar-avis* (Бабаев, 1968).

Измерение толщины трофогенного слоя и вертикального распределения водорослей показало, что соответствующие кривые K_t и K_p имеют здесь характер, сходный с таким на западном участке.

Центральная часть Среднего Каспия находится за пределами 100-метровой глубины. В среднем Каспии шельф, ограниченный этой глубиной, составляет 56% площади всего участка. Исключением является разрез о-в Чечень—мыс Сагындык, отделяющий Северный Каспий от Среднего, максимальная глубина разреза не превышает 75 м. На разрезах, располагающихся за пределами 100-метровой изобаты, было соблюдено то же расстояние между станциями, что и в береговых районах. Этот же принцип был сохранен для станций переходных разрезов. Одним из решающих факторов в формировании продукции фитопланктона центральных участков моря оказалось расстояние от берега. Влияние шельфовой зоны на продукцию фитопланктона в центральной части сильно выражено в западной половине Каспия. У восточного побережья моря зависимость продукции фитопланктона от зоны расположения станций почти не ощущается. Правда, такая связь на весьма ограниченной площади имеется лишь в соседних участках с Туркменским заливом.

Результаты определения продукции фитопланктона в центральной части Среднего Каспия по сезонам показали, что среднесуточная ее величина в халистатической части колеблется в пределах 0,13–0,24 $\text{г С}/\text{м}^2$ (табл. 17), в 2–4 раза меньше, чем в западной части моря, и идентична продукции зимнего сезона восточной части. Несмотря на то что в прибрежных станциях прозрачность и температура воды зимой ниже, чем в центральной части (прозрачность на 1,5 м, температура — на 1,5–2°), продукция фитопланктона в шельфовой зоне была в 1,2–2 раза больше, чем в центральной. Ограничивающим фактором продукции фитопланктона в центральной части является сравнительно низкая концентрация биогенных элементов (Пахомова, Затучная, 1966). Весной, судя по продукции, интенсивное развитие фитопланктона происходит в юго-западной части разреза Махачкала—мыс Песчаный, где величина продукции составляет 3–5 $\text{г С}/\text{м}^2$. Характерно, что только в акватории этого разреза зона с максимальной продукцией фитопланктона так далеко продвинулась к центру — на расстоянии 200 км от западного прибрежья. К юго-западу от Махачкалы площадь максимальной продукции значительно сужается и у г. Каспийска не превышает 2,1 $\text{г С}/\text{м}^2 \cdot \text{сутки}$. Площадь высокопродуктивной зоны у западной части Среднего Каспия к Дербенту уменьшается в 2 раза, а южнее р. Самур составляет лишь 25% по сравнению с таковой в районе Махач-

Таблица 17

Средняя продукция фитопланктона в центральной части Среднего Каспия по сезонам, г С/м² · сутки

Разрез	Зима	Весна	Лето	Осень	Средняя за год
О-в Чечень—Сагындык	0,15	0,35	1,05	1,46	0,75
Махачкала—мыс Песчаный	0,22	2,40	1,90	1,40	1,48
Каспийск—Ералиево	0,24	0,83	1,3	1,67	1,00
Хачмас—Бекдаш	0,13	0,50	2,80	0,70	1,00

кала—мыс Песчаный. Район центральной части моря не отличается в этом отношении от восточной части, и продукция зоны постепенно уменьшается с запада на восток.

Летом заметное повышение продукции фитопланктона отмечалось в районе о-в Чечень—мыс Сагындык. Увеличение продукции происходит по всему разрезу со значительным перевесом величин у западной границы. В районе Махачкала—мыс Песчаный так же, как весной, западная часть характеризуется высокой продукцией в летний сезон. Но общая продукция зоны на 20% меньше, чем весной.

Южнее, в зоне Каспийск—Ералиево, наоборот, продукция фитопланктона летом на 0,47 г С/м² больше, чем весной. В пограничной зоне с Южным Каспием более чем 50% годовой продукции образуется летом (см. табл. 17). Таким образом, в центральной части Среднего Каспия в зависимости от влияния климатических особенностей материкового стока, степени перемешивания с водной массой Северного Каспия и других факторов максимальная продукция в отдельных участках формируется в разные сезоны года. В отличие от шельфовой зоны в халистатике нет четко выраженной закономерности формирования продукции фитопланктона по сезонам года.

Проведенные исследования показали, что и центральная часть Среднего Каспия отличается от восточной сравнительно высокой продукцией фитопланктона.

Согласно результатам исследований Г.Б. Бабаева (1968), проведенных совместно с нами в комплексных экспедициях на тех же разрезах и станциях, флористический состав водорослей центральной части Среднего Каспия беден. Основным доминантом в фитопланктоне зимой, осенью и весной оказались диатомовые, среди которых преобладала *Rhizosolenia calcar-avis*. Этот вид является господствующим почти в течение года, уступает лишь летом синезеленым в западной части Среднего Каспия на границе с Северным. Основными видами синезеленых являются *Anabaena bergii f. minor*, *Anabaenopsis circularis f. tanganykae*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Nodularia spumigena*, *N. harveyana*. Наряду с указанными видами в летнем планктоне преобладают и перидиевые водоросли, доминирующей из которых оказалась *Exuviaella cordata v. cordata*.

В центральной части Среднего Каспия глубина проникновения света на 8–10 м больше, чем в шельфовой зоне, и фитопланктон проникает почти до глубин 300–400 м. В зависимости от сезона года его проникновение в глубинные слои меняется. Летом, например, на глубине 250 м число водорослей было в 2 раза меньшим чем зимой. Основной зоной концентрирования фитопланктона является верхний слой 25–30 м; когда отсутствует температурный скачок, водоросли равномерно распределяются до 50–70 м.

Расчеты продукции фитопланктона по сезонам для всего Среднего Каспия мы производили исходя из особенностей каждого участка. При этом продукция фитопланктона в западной, восточной и центральной частях моря рассчитывалась согласно размеру площади каждого участка. По литературным данным (Пахомова, Затучная, 1966), 56% площади Среднего Каспия (138 тыс. км²) относится к 100-метровому шельфу. Для расчета первичной продукции мы определяли площадь каждого участка, ее процентное

Таблица 18

Продукция фитопланктона в Среднем Каспии

Показатель	Западное побережье	Центральная часть	Восточное побережье
Площадь участков, тыс. км ²	30	62	46
Среднесуточная продукция, $\mu\text{г С/кв. м/сут.}$			
зима	0,32	0,18	0,11
весна	2,4	1,0	0,18
лето	3,0	1,7	0,36
осень	2,1	1,3	0,8
г С/м ² <i>Суммарный изъём</i>			
зима	28,8	16,0	9,9
весна	220	92,0	16,5
лето	276	156	33,0
осень	191	118	72,7
тыс. т С на всю площадь			
зима	864	988	455
весна	6624	5612	761
лето	8280	9540	1523
осень	5733	7216	3348
За год, млн т С	21,5	23,4	6,09
В г С/м ² · год	716	377	132
Общая продукция Среднего Каспия за год, млн т С – 51,0			
В г С/м ² · год для Среднего Каспия – 369,0			

соотношение к общей площади Среднего Каспия и т.д. Было показано, что восточное и западное побережья резко различаются по продукции фитопланктона. Результаты расчетов 100 м шельфа каждого прибрежья в отдельности показали, что в восточном прибрежье 100 м шельфа составляет около 60%, а в западном – 40%.

Суммарный расчет первичной продукции фитопланктона Среднего Каспия представлен в табл. 18. Согласно результатам расчета, Средний Каспий является достаточно высокопродуктивным районом моря. Общая годовая продукция фитопланктона здесь составляла 51 млн т С органического вещества. Величина продукции в расчете на 1 м² составила 369 г С в год, что намного больше, чем в Черном и Азовском морях.

Проведя две съемки суточной продуктивности фотосинтеза (август, октябрь) в Черном море, Ю.И. Сорокин (1962) рассчитал годовую продукцию, которая оказалась равной примерно 45 млн т углерода. Среднегодовая продукция, по его данным, составляет 109 г С/м². З.З. Финенко (1965) установил, что среднегодовая продукция фитопланктона в зоне Севастопольской бухты Черного моря составляет 220–280 г С/м².

На акватории Среднего Каспия, так же как в Северном Каспии, высокой продукцией характеризуется его западное побережье. Характерно, что составляя 28,3% общей площади и 40% шельфовой зоны, на долю западного побережья приходится 63% общей продукции Среднего Каспия. Средняя годовая продукция равна в западном побережье 716, в центральной части – 376 и в восточном побережье – 132 г С/м². Таким образом, в западном побережье продукция фотосинтеза в 5 раз больше, чем в восточном, и почти в 2 раза выше, чем в центральных участках Среднего Каспия.

Как указано в предыдущем разделе, средняя годовая продукция фотосинтеза фитопланктона Северного Каспия составляет 273 г С/м², что на 96 г меньше, чем в Среднем Каспии. Однако если сравнить результаты суточной продукции в расчете на 1 л, можно убедиться, что на самом деле поверхностный суточный показатель продукции фотопланктона в Среднем Каспии выше, чем в Северном.

Таблица 19

Продукция фитопланктона (мг С/л · сутки) в зоне 10-метровой глубины у западного прибрежья Северного и Среднего Каспия

Станция	Лето	Осень	Лето	Осень
<i>Средний Каспий</i>			<i>Северный Каспий</i>	
1	0,16	0,03	1,05	0,78
2	0,11	0,04	0,54	0,65
3	0,03	0,04	1,40	0,25
4	0,09	0,12	0,42	0,16
5.	0,15	0,25	0,30	0,30
6	0,40	0,48	0,20	0,40
Средняя	0,15	0,16	0,65	0,42

синтеза фитопланктона Северного Каспия намного больше, чем Среднего. Сравнение данных летнего и осеннего сезонов западного побережья Среднего и Северного Каспия (10-метровая глубина) показало, что продукция фитопланктона Северного Каспия в 3–4 раза больше, чем в Среднем Каспии (табл. 19). В Среднем Каспии увеличение продукции происходит за счет глубины трофогенного слоя, в глубоководной части которого слой фотосинтеза в 5–10 раз больше, чем в Северном Каспии. Кроме того, в Среднем Каспии образование первичной продукции продолжается круглый год, тогда как самая продуктивная часть Северного Каспия зимой покрыта льдом.

ДЕСТРУКЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ТОЛЩЕ ВОДЫ

Западное побережье. Одновременно с продукцией фотосинтеза фитопланктона на тех же станциях нами определялась деструкция органического вещества. Установлено, что зимой деструкция низка и характеризуется однообразным распределением ее величины, составляющей сотую долю мг С в сутки (табл. 20). Такая незначительная величина, по-видимому, не является результатом недостатка органического вещества, так как на большинстве станций рост продукции фитопланктона в 6–10 раз больше, чем величина деструкции (см. табл. 14). Кроме того, у западного прибрежья имеется в достаточном количестве алохтонное органическое вещество, в минерализации которого в другие сезоны года принимают активное участие микроорганизмы воды. Основной причиной подавления деструкционной активности микроорганизмов зимой является низкая температура воды ($4\text{--}6^\circ$). Значение температурного фактора в жизнедеятельности бактерий хорошо проявилось на примере Самурского разреза, особенно в зоне ст. 1 и 2. Как видно, с наступлением весны на прибрежных станциях Самурского разреза величина деструкции возрастает ровно в 5 раз. По всему участку исследования отмечается увеличение деструкции в среднем в 3 раза. По сравнению с продукцией фитопланктона, которая весной по всему западному побережью Среднего Каспия увеличивается в 8–10 раз, деструкция все же остается невысокой. Как видно из табл. 10, 14, при интенсивности фотосинтеза фитопланктона 3 г С/м² · сутки ст. 3 Сумгайитского разреза величина деструкции не превышала 0,06 мг С/л · сутки. В течение зимнего и весеннего сезонов существенной разницы между величинами деструкции в поверхностных и придонных слоях мы не обнаружили.

Максимальные величины деструкции отмечались летом и осенью в районах акватории Махачкалинского, Самурского и Артемского разрезов, где величина деструкции достигала 0,2–0,8 мг С/л · сутки. По сравнению с зоной максимальной продукции фитопланктона высокая величина деструкции в западной части Среднего Каспия занимает гораздо более узкую площадь мелководья. Связь между продукцией фитопланктона и величиной деструкции отмечается лишь в районах Самурского и Махачкалинского разрезов. В вертикальном отношении слабое увеличение деструкции отмечается в мелководной

Таблица 20

Деструкция органического вещества в воде западного побережья Среднего Каспия*,
мг С/л · сутки

Разрез	Горизонт	Зима	Весна	Лето	Осень
Махачкала	Поверхностный	0,02	0,12	0,14	0,15
	Придонный	0,03	0,10	0,11	0,10
Дербент	Поверхностный	0,03	0,06	0,10	0,12
	Придонный	0,03	0,03	0,12	0,10
Самур	Поверхностный	0,06	0,03	0,12	0,10
	Придонный	0,08	0,26	0,34	0,21
Сумгait	Поверхностный	0,03	0,03	0,09	0,09
	Придонный	0,02	0,03	0,14	0,09
Амбуран	Поверхностный	0,04	0,06	0,10	0,13
	Придонный	0,05	0,10	0,13	0,10
Артем	Поверхностный	0,03	0,08	0,12	0,10
	Придонный	0,03	0,06	0,11	0,10

* В табл. 20–22, 32–33 результаты определения деструкции органического вещества в поверхностных и придонных слоях станций разрезов усреднены.

зоне, где в придонных слоях воды величина деструкции превышает таковую поверхностных слоев на 30–40%. На глубоководных станциях, как правило, величина деструкции органического вещества в поверхностных слоях выше, чем в придонных.

Сезонные наблюдения показали, что изменение значения деструкции в основном отмечается в поверхностных горизонтах воды; если имеется разница и в придонных слоях, то это отмечается лишь в мелководной зоне. Таким образом, можно предположить, что стабильность деструкции в придонных слоях глубоководной зоны связана, во-первых, с тем, что основная масса легкодоступного органического вещества минерализуется в водной толще; во-вторых, как известно, глубже 100 м придонная температура воды круглый год является низкой и колеблется в пределах 5–8°. В зональном отношении низкой деструкцией характеризуются Сумгайтский и Амбуранский и частично Артемский участки. Для мелководной зоны этих разрезов характерна низкая продукция фитопланктона. В результате микробиологических исследований установлено, что из-за значительного количества нефтяных углеводородов, токсикантов химической, металлургической промышленности развитие микроорганизмов на этом участке моря сильно подавлено (Салманов, 1970). Гидрохимические анализы воды показали, что концентрации органического вещества и содержание биогенных элементов в воде здесь в 2–3 раза больше, чем в соседних гидробиологических участках. Низкая биомасса гидробионтов и подавление развития планктонных и бентосных организмов установлены гидробиологами¹. Среднегодовая величина органического вещества в Сумгайтском взморье составляет 0,03 мг С/л · сутки, что в десятки раз ниже, чем в районах Самурского разреза, где, кстати, величина перманганатной окисляемости была такая же, как в Сумгайтском взморье.

Восточное побережье и центральная часть. Необходимо отметить, что при определении деструкции органического вещества кислородным методом в водах 100-метрового шельфа восточной части Среднего Каспия мы встретили затруднения. Разница в содержании кислорода между образцами воды до и после инкубации была очень мала. Увеличение объема воды до 0,5–1 л также не дало положительного результата; часто получали отрицательные значения. В табл. 21 даны те станции, на которых летом получены досто-

¹ В комплексных экспедициях принимали участие бентологи, планктонологи, гидрохимик; пробы воды и грунта брались исследователями на одних и тех же станциях каждого разреза (Касымов, 1967; Бадалов, 1967; Алиев, Пятакова, 1967; Багиров, 1967).

Таблица 21

Деструкция органического вещества в восточном побережье Среднего Каспия, мг С/л · сутки

Разрез	Горизонт	Зима	Весна	Лето	Осень
Куули	Поверхностный	0,02 - *	0,03 -	0,05 -	0,10 -
	Придонный	0,03	0,02	0,04	0,09
Карасенгир	Поверхностный	0,00 - *	0,02 - *	0,04 - *	0,08 - *
	Придонный	0,03	0,03	0,03	0,20
Кара-Богаз-Гол	Поверхностный	0,02 - *	0,02 - *	0,03 - *	0,03 - *
	Придонный	0,02	0,02	0,03	0,20
Бекдаш	Поверхностный	0,00 - *	0,00 - *	0,03 - *	0,04 - *
	Придонный	0,00	0,00	0,03	0,04
Казахский залив	Поверхностный	0,02 - *	0,03 - *	0,03 - *	0,08 - *
	Придонный	0,00	0,04	0,04	0,04
Песчаный	Поверхностный	0,00 - *	0,00 - *	0,04 - *	0,08 - *
	Придонный	0,03	0,03	0,07	0,13
Сагындык	Поверхностный	0,00 - *	0,03 - *	0,04 - *	0,12 - *
	Придонный	0,00	0,04	0,05	0,17
Урдюк	Поверхностный	0,00 - *	0,04 - *	0,30 - *	0,40 - *
	Придонный	0,00	0,05	0,40	0,70

верно определенные значения деструкции. Данные за зимний и весенний сезоны указаны для демонстрации невозможности определения в этот период величины деструкции методом кислорода.

Как видно из табл. 21, из 39 станций зимой измерить деструкцию удалось лишь на 8. Весной число станций с положительными результатами деструкции оказалось гораздо большим. На них по всему побережью величина деструкции не превышает 0,07 мг С/л · сутки. Здесь величины деструкции органического вещества в летний сезон, за исключением северной границы района, были те же, что и весной. Характерной особенностью восточного побережья в отличие от западного является прямая корреляция деструкции с продукцией фитопланктона. Например, такая связь наблюдалась на участках глубоководной зоны Карасенгирского, Кара-Богаз-Голского и Сагындык-Урдюкского разрезов (см. табл. 16, 21). Сравнительно высокие величины деструкции органического вещества отмечались летом. Летом и осенью там, где продукция фитопланктона была высокой, деструкция шла наиболее интенсивно. В зоне глубоководных станций Куулийского разреза продукция фитопланктона составляла 2–1,6 г С/м², а величина деструкции соответственно была равна 0,13–0,19 мг С/л · сутки, что в 2–4 раза больше, чем в сопредельных участках.

Как указано выше, Сагындык-Урдюкский участок, который находится на границе между Средним и Северным Каспием характеризовался высокой продукцией фитопланктона. На этом же участке отмечена максимальная величина деструкции органического вещества. Изучение деструкции органического вещества показало, что, за исключением западной шельфовой зоны, вся центральная часть Среднего Каспия аналогична восточной половине. Зимой и весной величины деструкции были ниже чувствительности метода. Лишь весной, в районах очагового развития фитопланктона величина деструкции составляла 0,03–0,07 мг С/л. В придонных слоях глубоководных станций в течение всего года разницу в кислороде удалось фиксировать только на первых трех станциях разрезов о-в Чечень–Сагындык, Махачкала–Песчаный и Каспийск–Ералиево в западной части Среднего Каспия. В центральной части в придонных слоях деструкция не улавливалась.

Летом на всей акватории центральной части в поверхностных горизонтах распределение величин деструкции было однообразным и варьировало в пределах 0,06–0,10 мг С/л. Прямая связь деструкции с продукцией фитопланктона свидетельствует о том, что

Таблица 22

Сравнение продукции фитопланктона с величиной деструкции органического вещества в западном побережье Среднего Каспия, мг С/л · сутки

Разрез	Зима		Весна		Лето		Осень	
	деструкция	продукция	деструкция	продукция	деструкция	продукция	деструкция	продукция
Махачкала	0,02 ^{2,76}	0,03 ⁵⁷	0,12	0,17	0,12	0,24	0,15	0,22
Дербент	0,03 ^{8,30}	0,05 ⁵⁰	0,18	0,11	0,32	0,12	0,12	0,18
Самур	0,06 ^{0,71}	0,05 ⁵⁷	0,23	0,27	0,42	0,25	0,48	0,13
Сумгайт	0,03 ^{2,19}	0,03 ¹⁵	0,04	0,13	0,07	0,04	0,08	0,08
Амбуран	0,04 ^{2,80}	0,01 ¹²	0,07	0,09	0,05	0,07	0,13	0,04
Артем	0,03 ^{2,51}	0,01 ¹²	0,08	0,13	0,12	0,13	0,10	0,03

42000 0,43 0,32 0,12 0,15 18 14

органическое вещество, подвергающееся деструкции в воде в центральной и восточной частях Среднего Каспия, было автохтонным по происхождению. Представляет интерес определить отношение продукции фитопланктона к деструкции органического вещества на весь год. Подобное сравнение для Среднего Каспия проводится впервые.

Для расчетов были взяты результаты проб из поверхностных горизонтов, так как суточный фотосинтез определялся именно в образцах поверхностного слоя воды. Результаты такого сравнения показали, что интенсивность процессов окисления и образования органического вещества у западного побережья Среднего Каспия варьирует в зависимости от экологических условий (табл. 22). Если зимой интенсивность этих процессов находится одинаково на низком уровне главным образом за счет понижения температуры, то с наступлением весны в зависимости от особенностей биотопа участков проявляется различие в скорости минерализации и синтеза органического вещества.

В районе Махачкалинского разреза по всему участку интенсивность обоих процессов соизмерима, а в районе Дербентского величина деструкции в 3 раза уступает продукции фитопланктона. В зоне Самурского разреза на мелководных станциях величина деструкции намного выше, чем продукция фитопланктона, а в сторону открытого моря вновь преобладает продукция водорослей. Таким образом, наличие аллохтонного органического вещества является главной причиной превышения деструкции над продукцией, что хорошо видно на примере Северного Каспия. (см. табл. 11). В районе южнее Самурского разреза отсутствует существенное различие между деструкцией и продукцией фитопланктона в зимний и весенний сезоны. В мелководной зоне Сумгайт-Артемского участка величина деструкции превышает продукцию фотосинтеза, что также является результатом поступления аллохтонного органического вещества извне. Среднесезонная величина деструкции органического вещества весной составляет 62% продукции фитопланктона, летом эти показатели очень близки, а осенью, наоборот, продукция на 36% меньше, чем деструкция. Сравнительно низкий уровень деструкции весной, по-видимому, связан с температурным режимом, когда средняя температура воды поверхностного слоя составляла не более 9°. Осенью превышение деструкции над продукцией фотосинтеза фитопланктона происходит за счет Самурского разреза, где средняя величина деструкции составляет 0,48 мг С/л, или 50% деструкции всего участка Среднего Каспия.

Сравнение по сезонам величины деструкции с продукцией фитопланктона в поверхностных слоях Каспия в центральной части и восточного побережья Среднего Каспия показало, что среднегодовые значения обоих измерений близки между собой.

Исходя из проведенных исследований и результатов сравнения продукции фитопланктона с величиной деструкции органического вещества, можно заключить, что в

Среднем Каспии автохтонное органическое вещество минерализуется весьма интенсивно. В зонах, где имеется доступ аллохтонного органического вещества, минерализация превышает синтез органического вещества, что свидетельствует о биохимической активности микрофлоры воды; это способствует увеличению кормовой базы планктонных и бентосных беспозвоночных, обогащению среды биогенными элементами. Высокая продукция фотосинтеза фитопланктона, составляющая 369 г С/м² · год, интенсивная ее минерализация может быть показателем общей биологической продуктивности Среднего Каспия, особенно его западной части.

ДЕСТРУКЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ИЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ

Определение деструкции органического вещества в донных осадках у западного побережья Среднего Каспия показало, что в районах Артемского, Амбуранского и Сумгаитского разрезов величины минерализованного органического вещества колеблются в пределах 30–20 мг С/м² · сутки, что в среднем в 3 раза меньше, чем в участках Самурского, Дербентского и Махачкалинского разрезов (табл. 23). В зоне первых 3 разрезов величина деструкции изменяется весьма плавно, и разница между первой и последней станциями не столь велика, как в Южном Каспии. Сравнительно низкая величина деструкции в грунтах этих разрезов связана с характером присутствующих органических веществ, в составе которых преобладают субстраты углеводородного происхождения. Кроме того, подавление биохимической активности и генерации микрофлоры донных отложений данного региона связано с отрицательным влиянием на микроорганизмы промышленных сбросов. Не случайно, что при наличии ила в Сумгаитском взморье на первой станции (10 м) не фиксируется потребление кислорода, а на второй станции величина деструкции не превышает 30 мг С/м² · сутки. Донные осадки мелководной зоны Сумгаитского разреза характеризуются самым низким показателем общего числа микроорганизмов в западной части моря. Таким образом, отрицательное влияние промышленных сбросов Баку и Сумгаита на микрофлору и планктонные организмы очевидно. В результате ухудшения экологических условий в воде и донных отложениях уменьшается общая биологическая продуктивность планктонных и донных биоценозов Апшеронского прибрежья Южного и Среднего Каспия и подрывается их способность к самоочищению.

Максимальной величиной деструкции в грунтах характеризуются ст. I Самурского и все глубины Махачкалинского разрезов. Обогащение донных отложений на 10-метровой глубине Самурского разреза – результат поступления аллохтонного органического вещества речного стока. Увеличение содержания усвояемого органического вещества в грунтах Махачкалинского разреза связано с влиянием городского стока, а также поступлением в эту зону богатых органическим веществом вод Северного Каспия и с высокой продукцией фотосинтеза фитопланктона.

У восточного побережья Среднего Каспия величина деструкции органического вещества в донных отложениях варьирует в пределах 20–80 мг С/м² · сутки в зависимости от структуры и характера грунтов (табл. 24). Если в западной части деструкция илистых грунтов превышает таковую в ракушечниках в 8–10 раз, то в восточной половине значение деструкции в грунтах с илом – не больше чем в 3 раза. У восточного побережья величина деструкции в грунтах вдоль разрезов мало подвержена изменению. Характерно, что из 27 станций лишь на 5 отмечается наличие ила, что составляет 28%, а на долю ракушечника приходится более 70%.

Таким образом, особые экологические условия, такие, как отсутствие положительного влияния речных стоков, разный термический режим, снижают интенсивность развития планктона и бентоса и отрицательно влияют на илообразование и накопление в донных отложениях органического вещества. В центральной части Среднего Каспия величина деструкции органического вещества в грунтах колеблется в больших пределах – 15–220 мг С/м² · сутки (табл. 24).

Таблица 23

Деструкция органического вещества в иловых отложениях западного побережья Среднего Каспия

Разрез	Станция	Глубина, м	Грунт	мг О ₂ /м ² · сутки	мг С / м ² · сутки
Артем	1	10	Илистый ракушечник	80	27
	2	25	То же	160	60
	3	50	Ракушечник	160	60
	4	100	Серый ил	240	90
Амбуран	1	10	Ракушечник	160	60
	2	25	"	160	60
	3	50	Илистая ракушка	320	120
	4	100	Ил с ракушечником	240	90
Сумгайт	1	10	Коричневый ил	0	0
	2	25	Ил с ракушечником	80	27
	3	50	То же	240	90
	4	100	"	320	120
Самур	1	10	Серый ил	880	330
	2	25	Ракушечник	160	60
	3	50	"	160	60
	4	100	Ил с ракушечником	480	170
Дербент	1	10	Ракушечник	160	60
	2	25	Илистая ракушка	400	150
	3	50	То же	560	210
	4	100	Ракушечник	160	60
Махачкала	1	10	Илистый песок	880	330
	2	25	Ил с ракушечником	1120	420
	3	50	Ракушечник	800	300
	4	100	Ил с ракушечником	640	240

Характерно, что самая низкая величина деструкции по всем широтным разрезам отмечается на станциях, находящихся в шельфовой зоне восточного побережья. Отмечается связь между характером донных отложений и величиной деструкции. Так, например, в грунтах ст. 4–6 разреза Махачкала–мыс Песчаный (глубины 300, 350, 200 м), состоящих из иллистого ракушечника, величина деструкции достигает соответственно 180, 160 и 120 мг С/м² · сутки (см. табл. 23, 24). Именно на этих станциях продукция фитопланктона весной и летом достигала максимума. В центральной части Среднего Каспия иллистые грунты встречаются в районе Махачкалинского разреза. Накопление в придонных слоях в большом количестве терригена, крупного дегрита и мелких частиц в пограничной с Северным Каспием зоне является закономерным, так как по литературным данным (Гюль и др., 1971; Зенкевич, 1963; Пахомова, Затучная, 1966; и др.), огромное количество донных отложений, богатых органическим веществом и минеральным фосфором, вымывается из Северного в Средний Каспий. Этим можно объяснить низкую интенсивность деструкции в иловых отложениях мелководной зоны разреза о-в Чечень–мыс Сагындык, севернее Махачкалы. В грунтах других участков центральной части, содержащих примесь ила, величина деструкции была в 6–10 раз меньше, чем в западной зоне разреза Махачкала–мыс Песчаный. Как видно из табл. 19, 20, на ст. 4, 6 Хачмас-Бекдашского разреза деструкция составляет 10–20 мг С/м² · сутки. Эти две станции расположены в самой глубоководной зоне центральной части Среднего Каспия (500–700 м). Несмотря на то что продукция фитопланктона летом достигает здесь максимума (2,8–6,2 г С/м²), значения деструкции в грунтах оказались минимальными. Низкая величина деструкции в глубоководной зоне центральной части

Таблица 24

Деструкция органического вещества в иловых отложениях восточного побережья и центральной части Среднего Каспия

Разрез	Станция	Грунт	мг С/м ² ·сутки		Разрез	Станция	Грунт	мг С/м ² ·сутки
<i>Восточное побережье</i>								
Куули	1	Ракушечник	40	Урдюк	1		Ракушечник	20
	2	"	40		2		Песок	40
	3	"	30		3		Ракушечный песок	30
	4	"	30					
Карасен-тир	1	"	40	о-в Чечень	3		Ракушечник	60
	2	"	30		4		Песок	80
	3	"	40		5		Ракушечник	40
	4	Ракушечный ил	90		7		"	30
Кара-Богаз-Гол	1	Ракушечный песок	60	Махачкала	8		Илистая ракуша	90
	2	Твердая глина	80		9		Ракушечник	30
	3	Ракушечник	30		11		"	30
	4	Ракушечный песок	50		2		Илистый песок	220
Бекдаш	1	Ракушечник	40	мыс Песчаный	3		То же	180
	2	"	30		5		Илистая ракуша	160
	3	"	30		6		То же	120
	4	Илистая ракуша	80		7		Ракушечный песок	80
Сенгерли	1	Ракушечник	30	Каспийск-Ералиево	8		Песок	60
	2	"	40		9		"	60
	3	"	30		2		Ракушечник	60
	4	Ракушечный ил	60		3		Ил с ракушей	130
Казахский залив	1	Ракушечник	30		4		То же	100
	2	"	40		5		Ракушечный песок	30
	3	"	30		6		Ракушечный песок	20
	4	Песок	30		7		Ракушечник	20
					8		"	30
Песчаный	1	"	40	Хачмас-Бекдаш	2		Илистый песок	110
	2	"	40		3		Ракушечный песок	30
	3	Ракушечник	30		4		Илистая ракуша	20
	4	Ракушечный ил	60		5		Песок	15
Сагындык	1	Ракушечник	30		6		Илистая ракуша	10
	2	"	40		7		Ракушечник	20
	3	"	30		8		"	20
	4	"	30					

Таблица 25

Сравнение величины продукции фитопланктона (ПФ) и деструкции органического вещества (ДОВ) в грунтах Среднего Каспия за летний сезон

Участок	Площадь, тыс. км ²	Среднесуточная, г С/м ²		Сумма за сезон, тыс. т С		г С/м ² · сезон		% деструкции от продукции фитопланктона за сезон
		ПФ	ДОВ	ПФ	ДОВ	ПФ	ДОВ	
Западное побережье	30	3,0	0,14	8280	369	276	12,3	4,4
Центральная часть	62	1,7	0,06	9540	365,4	156	6,1	3,8
Восточное побережье	46	0,36	0,05	1523	222,6	33,1	4,9	14,6
Всего за сезон	—	—	—	19343	957	155	7,7	7,6

Среднего Каспия связана с тем, что основная масса органического вещества минерализуется в верхних слоях водной толщи до глубин 500–700 м и не достигает дна, а также с низкой температурой. Тем не менее в глубоководных донных осадках центральной части Среднего Каспия величина деструкции составляет в среднем 67 мг С/м² · сутки против 52 мг С/м² у восточного побережья. В отдаленных от положительного влияния западного прибрежья зоны центральной части Среднего Каспия отмечается прямая связь деструкции грунтов с продукцией фитопланктона. В центральной части Среднего Каспия средняя годовая продукция составляет 376 г С/м², что превышает продукцию у восточного побережья более чем в 2,8 раза. Мы рассчитали интенсивность деструкции органического вещества в отдельных участках Среднего Каспия за летний сезон. Полученные средние ее величины и суммарные величины по участкам и всему Среднему Каспию сравниваются с продукцией фотосинтеза фитопланктона того же сезона года (табл. 25). Образование продукции фитопланктона и окисление органического вещества в грунтах Среднего Каспия резко различаются по его участкам. Однако имеется корреляция продукции фитопланктона с интенсивностью деструкции в грунтах в отдельных районах моря. В пересчете на единицу площади, как видно, продукция фитопланктона и величина деструкции органического вещества в грунтах западной шельфовой зоны в 2 раза превосходят таковые в центральной части Среднего Каспия. Определенная корреляция имеется и в среднесезонных показателях, выраженных в расчете на 1 м². По этим показателям район западного побережья как по продукции под 1 м², так и по интенсивности деструкции в донных осадках превосходит центральную часть почти в 4 раза. Весьма характерно, что минерализация органического вещества в грунтах у западного побережья происходит гораздо интенсивнее при высокой продукции фитопланктона, чем в донных отложениях центральной части. Относительно низкие значения деструкции в центральной части являются результатом окисления органического вещества в водной толще и подавления физиологической активности микрофлоры грунтов глубоководных зон низкой температурой, что совпадает с выводом Ю.И. Сорокина (1977).

В восточной части Среднего Каспия процент органического вещества, минерализованного в донных отложениях, составляет 14,6% продукции фитопланктона (табл. 25). Такое соотношение деструкции в донных отложениях, лишенных ила и наилка, к продукции фитопланктона может быть объяснено низкой продуктивностью района и тем, что органическое вещество разрушается в водной массе. Та часть автохтонного органического вещества, которая синтезируется фитопланктоном, является основным энергетическим субстратом гетеротрофной микрофлоры. Отсутствие источников

поступления аллохтонного органического вещества создало специфичный бактериальный ценоз, который имеет весьма активный ферментативный набор при небольшой биомассе и популяции (см. гл. VIII). Исходя из данных по деструкции органического вещества воды и грунтов, можно еще раз заключить, что в условиях Среднего Каспия активно протекает минерализация органического вещества, что создает благоприятные условия для регенерации биогенных элементов и обеспечивает продукцию бактериальной биомассы как источника питания фауны.

ЮЖНЫЙ КАСПИЙ

ПРОДУКЦИЯ ФИТОПЛАНКТОНА

Исследования первичной продукции органического вещества за счет фотосинтеза фитопланктона были начаты нами в 1960 г. в южной части Каспийского моря. В этом весьма сложном участке, составляющем $\frac{1}{3}$ части его площади, работа по изучению первичной продукции проводилась в течение последних 25 лет. Детально изучено западное побережье, особенно его северный участок.

Наличие на западном побережье крупных населенных пунктов, различные виды деятельности человека оказывают большое влияние на качество воды, ее флору и фауну. Изучение продукционно-деструкционных процессов у западного побережья Южного Каспия представляло особый интерес, в связи с чем он был избран как основной полигон в нашем исследовании.

Западное побережье. Первичную продукцию фитопланктона в западном побережье определяли по той же схеме, что и в других участках моря. Работу проводили в сезонном цикле на 7 разрезах по 4 станции на каждом (см. рис. 1). Наряду с этим были исследованы бухты, заливы, прибрежные зоны островов Бакинского, Апшеронского архипелагов и т.д. В отличие от других районов материал в Южном Каспии собирали в течение 6 лет в одни и те же сроки, на одних и тех же разрезах и станциях.

Результаты определения сезонных изменений продукции фитопланктона в западном побережье Южного Каспия приводятся в табл. 26 и на рис. 17. Зимний фотосинтез в районе исследования протекает с различной интенсивностью; участок южнее Апшерона до устья р. Куры характеризуется сравнительно низкой продуктивностью фитопланктона по сравнению с половиной западного побережья Южного Каспия.

Продукция фитопланктона в районе южнее устья Куры в течение года выше, чем в зоне разрезов севернее р. Куры. В южной половине района среднегодовая продукция почти на $0,5 \text{ г С}/\text{м}^2$ больше, чем в северной. Таким образом, в зависимости от экологических особенностей каждого участка формирование биологической продукции данного региона, включая и первичную продукцию фитопланктона, происходит с неодинаковой интенсивностью. Сравнительно низкий уровень первичной продукции в зоне Шиховского и Алятского разрезов связан с влиянием антропогенных факторов. Это хорошо заметно в районе 10-метровой глубины первых двух северных разрезов, где среднегодовая величина первичной продукции в 3–5 раз ниже, чем в мелководье остальных разрезов. Причиной столь низкой продукции фитопланктона в районе устья р. Куры является наличие в толще воды огромной массы терригенных частиц, что резко снижает прозрачность воды. Несмотря на то что в узкой полосе смещения речной воды с морской продукция фитопланктона низка, в сопредельных участках благоприятное влияние р. Куры на развитие фитопланктона заметно в течение всего года. На увеличение продукции фотосинтеза фитопланктона в зоне южнее р. Куры оказывают благоприятное воздействие и стоки таких рек, как Кумбашинка, Ленкоранчай, Астрачай, которые обогащают воду прибрежья биогенными элементами. Кроме того, в обогащении водной массы указанной акватории моря гидрохимическими инградиентами большое значение имеет обширный мелководный залив им. С.М. Кирова с высокой продукцией фитопланктона и бентоса. Малая глубина залива, высокая прогреваемость, прозрачность воды с достаточной обеспеченностью биогенными элементами способствуют интенсивно-

Таблица 26

Сезонные изменения суточной продукции фитопланктона у западного побережья Южного Каспия по сезонам 1964 г., г С/м²

Разрез	Станция	Зима	Весна	Лето	Осень	Среднее за год		Разрез	Станция	Зима	Весна	Лето	Осень	Среднее за год
Шихов	1	0,10	0,01	0,05	0,30	0,12	Устье Куры		1	0,06	0,03	0,10	0,10	0,07
	2	0,40	1,70	1,40	1,60	1,28			2	1,30	3,70	2,30	2,45	2,43
	3	0,50	2,50	1,90	2,30	1,80			3	2,30	2,00	3,10	3,70	2,77
	4	0,60	1,70	2,10	3,20	1,90			4	0,90	2,70	1,40	2,20	1,80
Среднее за сезон		0,40	1,47	1,36	1,85	1,27	Среднее за сезон			1,14	2,10	1,72	2,10	1,76
Аляты	1	0,20	0,15	0,30	0,30	0,24	Ленко-рань		1	0,42	1,00	1,30	2,50	1,30
	2	0,70	1,00	1,30	2,20	1,30			2	0,90	1,20	2,60	4,20	2,22
	3	0,50	2,20	1,60	2,90	1,80			3	1,90	1,80	1,90	2,90	2,12
	4	0,80	1,50	2,40	3,50	2,02			4	1,26	1,90	2,40	1,60	1,79
Среднее за сезон		0,55	1,21	1,40	2,20	1,34	Среднее за сезон			1,12	1,48	2,05	2,80	1,85
Бяндован	1	0,15	0,56	0,60	1,90	0,80	Астара		1	0,42	0,30	0,75	0,64	0,52
	2	0,80	1,48	1,90	3,10	1,82			2	0,75	1,30	1,90	1,10	1,26
	3	0,45	0,93	1,80	3,30	1,62			3	1,26	1,50	2,60	5,30	2,66
	4	0,30	0,98	0,96	1,90	1,03			4	0,63	0,84	3,30	4,50	2,31
Среднее за сезон		0,42	0,98	1,31	2,55	1,13	Среднее за сезон			0,76	0,98	2,13	2,88	1,68

му развитию планктонных и бентосных организмов. Свободный водообмен, интенсивному возникновению которого способствуют сгонно-нагонные явления, положительно оказывается на продукционных процессах соседних с заливом участков моря в течение всего года (Салманов, Сулейманов, 1967).

Летом продукция водорослей превосходит зимнюю в 3–4, а весеннюю – в 1,5–2 раза. В Шихов-Бяндованском участке основная масса продукции фитопланктона образуется в зоне 25-метровой глубины. Увеличение продукции вдали от прибрежной полосы связано с повышением прозрачности воды, с возрастанием содержания биогенных элементов, что хорошо заметно в зоне противоуставьевого пространства р. Куры (рис. 18). У западного побережья от Самура до Куры отсутствуют источники постоянного поступления речных вод. Тем не менее продукция фитопланктона в данном районе достаточно высока. Если развитие фитопланктона угнетено в зоне 10-метровой глубины, то в сопредельных участках отмечается резкое увеличение продукции. Это является результатом обогащения воды биогенными элементами за счет минерализации огромной массы аллохтонного органического вещества, рассеивания и разбавления токсикантов. Многолетние исследования показали, что в участках, сопредельных с максимальным загрязнением зонами, биомасса микроорганизмов и продукция фотопланктона обычно возрастают (Салманов, 1964). При этом необходимо подчеркнуть, что площадь (как в сторону открытого моря, так и вдоль прибрежья), где подавлено развитие фитопланктона в результате поступления сточных вод, гораздо больше, чем зона его интенсивного развития. Если принимать во внимание геолого-морфологическую особенность Апшеронского прибрежья моря, которое занимает обширную территорию западного участка одноименного порога, то нетрудно заметить, что 20–25-метровая изобата значительно удалена от материка – на расстоянии 30–60 км. Поэтому не случайно, что вдоль западного побережья Каспия наименьшая продукция за весь год отмечается в районе Сумгайт-Алятского разреза (рис. 23).

Осенний сезон характеризуется очаговыми цветениями диатомовых водорослей,

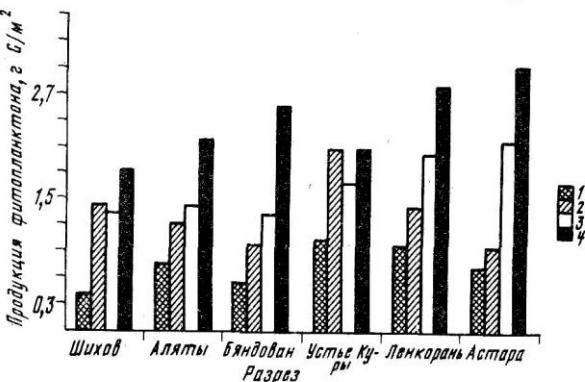


Рис. 17. Сезонные изменения среднесуточной продукции фитопланктона в западной шельфовой зоне Южного Каспия

1 – зима; 2 – весна; 3 – лето; 4 – осень

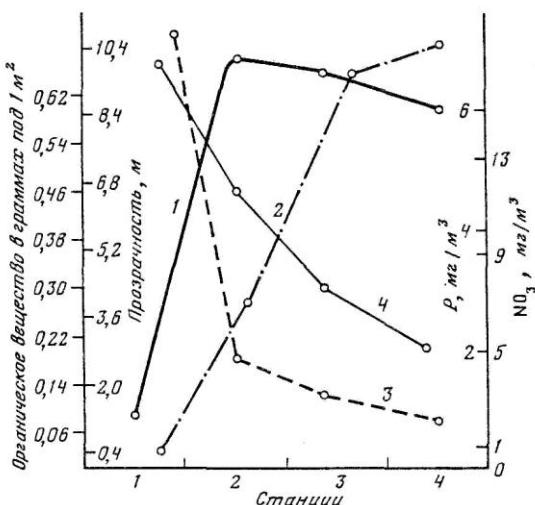


Рис. 18. Прозрачность (2), содержание биогенных элементов (1) и продукция фитопланктона (3 и 4) в районе устья р. Куры

среди которых доминантом оказалась ризосоления. Максимальное развитие этих водорослей было отмечено на глубине 30–70 м. Среднесезонная величина продукции фитопланктона осенью почти аналогична летней, нет такого резкого различия, как в Среднем и Северном Каспии. Среднегодовая продукция фитопланктона здесь гораздо меньше, чем в Среднем Каспии. Результаты измерений приводятся в табл. 27. Каждая цифра в таблице является средней по всем станциям одной глубины. Из этих данных видно, что в Среднем Каспии среднегодовая продукция на 1,73 г С/м² больше, чем в Южном. В Среднем Каспии наименьшее среднее количество новообразованного органического вещества фитопланктона отмечается зимой, а в Южном – весной. Максимальная продукция в Среднем Каспии отмечена в летний сезон, а в Южном – осенний. Имеется заметное расхождение и в продукции на отдельных глубинах.

Как видно, продукция фитопланктона на глубине 10 м Южного Каспия почти в 3 раза меньше, чем в Среднем. Повышение общей продукции всей акватории зимой и осенью в Южном Каспии связано прежде всего с температурным режимом района, где

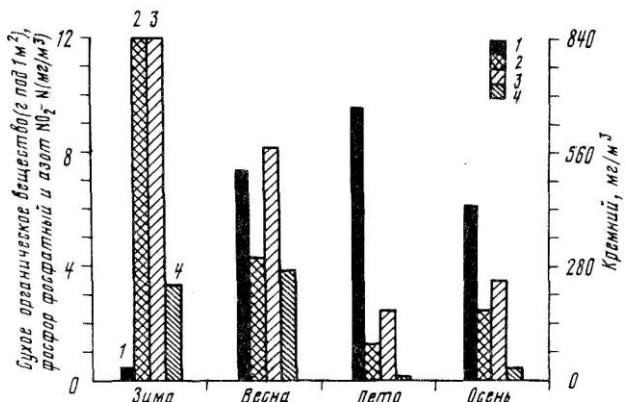


Рис. 19. Сезонное изменение продукции фитопланктона и концентрации биогенных элементов у западного побережья Южного Каспия

1 – органическое вещество; 2 – азот; 3 – кремний; 4 – фосфор

среднезимняя температура поверхности воды на 3–4° выше, чем в Среднем Каспии. Интенсивному развитию фитопланктона в глубоководной зоне западного побережья Южного Каспия способствует и обогащение водной массы биогенными элементами, поступающими как с северо-запада, так и из глубин вследствие перемешивания вод (рис. 19).

Изучение вертикального распределения водорослей показало, что жизнедеятельный фитопланктон проникает до дна при глубинах моря до 100 м. Характерно, что в период температурного расслоения воды в вертикальном распределении фитопланктона имеется ряд максимумов. Один из них отмечался на глубине 6–10 м, второй – в зоне температурного скачка, который в данном районе образуется на глубине 22–25 м (рис. 20). В самом поверхностном слое (до 1 м) содержание водорослей было на 20–50% меньше, чем в слоях максимумов. Глубже слоя температурного скачка общее содержание водорослей резко уменьшается; на глубине 50–55 м составляет лишь 15–20%, а у придонного слоя – не более 1–3% массы поверхностного горизонта. Зимой, в первой половине весны и в конце осени фитопланктон распределен по вертикали почти равномерно, но независимо от сезона на глубине 1–6 м содержание фитопланктона всегда больше, чем в самом поверхностном слое.

Как и в других участках Каспия, одновременно с вертикальным распределением водорослей определялась зависимость интенсивности фотосинтеза от подводной освещенности с целью установления глубины трофогенного слоя. Результаты измерения представлены на рис. 21. Видно, что толщина зоны фотосинтеза на отдельных станциях была примерно одинаковой. Максимальная продукция фитопланктона образуется в слое

Таблица 27

Продукция фитопланктона в западной части Среднего и Южного Каспия ($\text{г С}/\text{м}^2$)

Глубина, м	Запад Среднего Каспия				Средняя по глубине	Запад Южного Каспия				Средняя по глубине
	зима	весна	лето	осень		зима	весна	лето	осень	
10	0,15	1,11	2,75	1,40	1,35	0,22	0,34	0,51	0,95	0,50
25	0,32	2,20	3,00	3,57	2,27	0,80	1,73	1,90	2,44	1,71
50	0,39	3,15	3,20	2,10	2,21	1,15	1,82	2,15	3,40	2,13
100	0,43	3,20	3,40	1,38	2,10	0,74	1,60	2,09	2,80	1,80
Среднее по сезону	0,32	2,41	3,08	2,11	1,98	0,72	1,37	1,66	2,39	1,53

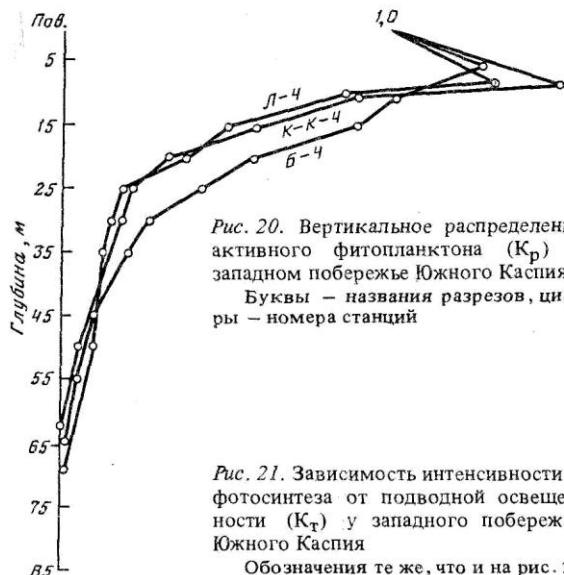
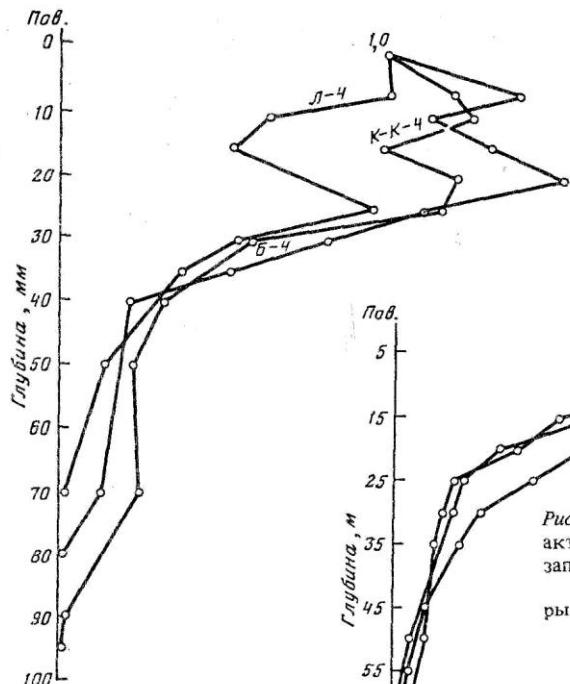


Рис. 20. Вертикальное распределение активного фитопланктона (K_p) в западном побережье Южного Каспия
Буквы — названия разрезов, цифры — номера станций

Рис. 21. Зависимость интенсивности фотосинтеза от подводной освещенности (K_t) у западного побережья Южного Каспия

Обозначения те же, что и на рис. 20

первого максимума скопления водорослей. На глубине 10 м интенсивность фотосинтеза была такой же, как в поверхностном горизонте, а ниже 15 м скорость фотосинтеза снижалась примерно в 2 раза по сравнению с поверхностным. На глубине слоя температурного скачка, где концентрация фитопланктона была вдвое больше, чем в поверхностном слое, освещенность составляла лишь 25%.

Результаты исследования относительного вертикального распределения активного фитопланктона (кривые K_p) и зависимости интенсивности фотосинтеза от подводной освещенности (кривые K_t) позволили определить величину первичной продукции в толще воды. Опыты ставились в естественных условиях по сезонам года в трех повторностях. Пробы экспонировались *in situ* на тех же горизонтах, откуда были взяты. Во все сезоны года процесс фотосинтеза фитопланктона резко снижается по вертикали. При различной величине продукции фитопланктона изменение интенсивности синтеза органического вещества на глубинах 25–30 м летом и весной отличается от такового зимой и осенью. Зимой толщина эвфотической зоны значительно меньше, чем летом и осенью. Как видно из рис. 22, осенью на глубине 25–30 м зона фотосинтеза составляет 40% площади освещения поверхностного горизонта, а в феврале – 7–8%. Летом, несмотря на скопления фитопланктона в слое температурного скачка, заметного увеличения продукции не наблюдается. В то же время экспозиция проб, взятых с глубины 25–28 м, на палубе в аквариуме показала, что при полном освещении количество образовавшейся продукции в 1,5–2 раза превосходит продукцию фитопланктона поверхностного слоя.

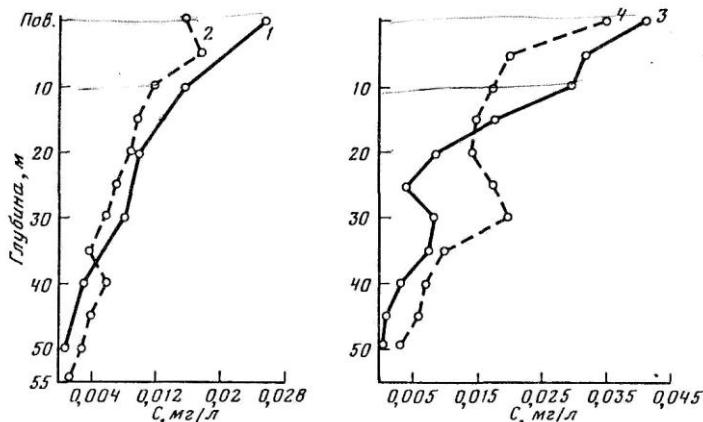


Рис. 22. Изменение интенсивности фотосинтеза фитопланктона по вертикали в различные сезоны года

1 – весна; 2 – лето; 3 – зима; 4 – осень

Таким образом, все пробы по изложенным выше способам определения вертикального распределения фитопланктона, проникновения солнечного света в толщу воды, изменения продукции фитопланктона по вертикали при полном освещении дали одинаковые результаты, а именно: основным фактором образования продукции при равных условиях является освещение водной толщи; большая биомасса фитопланктона, накапливавшаяся в слоях термоклина из-за недостатка света, не может синтезировать продукцию, соответствующую своей массе. Качественный состав фитопланктона у западного побережья характеризовался следующими особенностями (Бабаев, 1968). Весенний фитопланктон состоял в основном из диатомовых водорослей и характеризовался равномерным их распределением, за исключением зоны эстуария р. Куры, где интенсивно развивались зеленые водоросли. Среди них доминировали *Binuclearia lauterbornii*, *Pediastrum*, *Scenedesmus*. В остальной зоне акватории процветала *Rhizosolenia calcar-avis*. При этом отмечалось широкое распространение рода *Chaetoceros* и частично видов сем. *Coscinodiscaceae*. Синезеленые водоросли весной встречались отдельными пятнами. Среди них выделялись по частоте встречаемости *Anabaenopsis circularis* f. *tangayika*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Nodularia harveyana*, *Anabaena bergii* f. *minor*.

В летнем планктоне преобладали синезеленые и перидиневые водоросли, из которых *Exuviaella cordata* v. *cordata* является доминирующей. Наиболее массовыми видами были *Thalassiosira caspica*, *Th. variabilis* v. *variabilis*, *Actinocyclus ehrenbergii* v. *ehrenbergii*. На мелководных участках и в заметном количестве встречались *Grammatophora marina* v. *marina*, *Coccconeis scutellum* v. *scutellum*.

В предустьевом пространстве Куры, на стыке пресных и морских вод, встречался *Ceratium hirundinella*, который в других участках не обнаруживался.

Осенью отмечается вторая вспышка диатомовых водорослей, среди которых важную роль играет *Rh. calcar-avis*. Перидиневые и синезеленые составляют меньше половины биомассы, хотя отмечалось очаговое цветение.

К концу осени–началу зимы количество синезеленых и зеленых водорослей постепенно идет на убыль, а перидинеи, хотя встречались повсеместно, но в малом количестве. Зимой основу фитопланктона составляли диатомовые водоросли, среди которых особенно выделялись *Rh. calcar-avis*, *Skeletonema costatum*, представители *Coscinodiscaceae* и др.

В заключение следует отметить, что в течение года по числу видов и количественному развитию преобладали диатомовые. Второе место занимали синезеленые и перидинеи. Сравнительно меньшая роль принадлежит зеленым водорослям. Диатомея *Rhizosolenia*

Таблица 28

Многолетние изменения суточной продукции фитопланктона (г С/м^2) у западного побережья Южного Каспия по данным наблюдений за июнь

Разрез	Станция	1960 г.	1961 г.	1962 г.	1964 г.	1968 г.	1969 г.	1978 г.
Шихов	1	0,04	0,06	0,09	0,05	0,10	0,06	0,05
	2	1,80	1,71	1,60	1,40	0,60	0,35	0,20
	3	1,10	1,36	1,70	1,90	2,40	2,10	3,10
	4	0,90	1,35	2,00	2,10	3,40	2,36	2,36
Среднее	—	0,96	1,12	1,34	1,36	1,62	1,21	1,42
Аляты	1	0,18	0,16	0,50	0,30	0,45	0,13	0,10
	2	1,69	4,20	1,30	1,30	0,60	0,30	0,20
	3	0,71	0,62	1,60	1,30	1,60	1,90	2,60
	4	2,20	0,27	1,80	2,40	2,70	3,10	2,90
Среднее	—	1,19	1,31	1,30	1,32	1,33	1,35	1,45
Бяндован	1	0,80	0,70	0,40	0,60	0,20	0,23	0,20
	2	1,40	1,23	1,30	1,90	1,00	0,90	0,30
	3	2,20	1,42	1,60	1,80	1,35	1,30	1,36
	4	1,20	1,45	1,40	0,96	0,97	0,90	1,40
Среднее	—	1,40	1,20	1,17	1,31	0,88	0,95	0,81
Устье Куры	1	0,10	0,09	0,10	0,10	0,06	0,05	0,03
	2	1,23	1,30	1,80	2,30	2,60	2,90	4,00
	3	1,50	1,75	2,00	3,10	3,90	5,10	8,90
	4	1,30	1,40	2,30	2,40	3,70	4,90	6,30
Среднее	—	1,05	1,15	1,55	1,97	2,56	3,23	4,80
Ленкорань	1	1,20	1,32	1,16	1,30	1,40	1,50	1,30
	2	1,70	1,54	1,86	2,60	3,60	3,60	2,90
	3	2,00	1,44	1,74	1,90	3,10	2,40	3,10
	4	1,70	1,68	2,10	2,40	2,10	1,90	2,10
Среднее	—	1,65	1,49	1,71	2,05	2,55	2,35	2,35
Астара	1	1,10	1,18	0,90	0,75	0,90	0,86	1,10
	2	1,30	1,38	1,40	1,90	1,40	1,20	1,30
	3	1,30	1,49	1,86	2,60	2,20	2,10	2,30
	4	2,10	2,22	2,10	3,30	3,10	2,90	2,60
Среднее	—	1,45	1,56	1,56	2,13	1,90	1,76	1,82

calcar-avis, которая является вселенцем Каспийского моря, на протяжении всего года развивалась в огромном количестве и в настоящее время дает 70–90% всей биомассы фитопланктона.

Многолетняя динамика продукции фитопланктона у западного побережья Южного Каспия. Для того чтобы результаты определений продукции фитопланктона Каспийского моря, полученные в отдельных районах моря в разные годы, можно было использовать для расчета суммарной продукции, необходимо в одном из районов провести многолетние наблюдения. Основная цель подобного исследования заключалась в том, чтобы выяснить, насколько приемлемо суммирование результатов отдельных годов для составления карты баланса общей продукции Каспийского моря за один год. Для этого было выбрано западное побережье Южного Каспия от Ашшерона до Астары, где в течение 25 лет исследования проводились в июне в течение 7 лет подряд на одних и тех же разрезах и станциях. Судя по результатам наблюдений (табл. 28), за последние 25 лет в районе Шихов-Бяндован в прибрежной зоне произошли коренные изменения, которые резко отразились на развитии фитопланктона. Из-за сильного загрязнения воды, которая поступает в основном из Бакинской бухты, зона 10-метровой глубины Шиховского разреза всегда была низкопродуктивной.

Дальше в сторону открытого моря, к юго-востоку, в 1960 – 1964 гг. продукция фитопланктона составляла 1,40–1,80 г С/м². Через 4 года, т.е. в 1968 г. продукция сократилась в 2,5 раза. Если сравнить продукцию фитопланктона в 1978 г. с цифрами предыдущего десятилетия, то увидим, что продукция уменьшилась в 5,2 раза. За последние 10 лет в зоне 20-метровой глубины, занимающей огромное пространство в начальном участке Апшеронского порога моря, продукция снизилась в 3 раза. Среднесезонная продукция фитопланктона с 1,42 в 1960–1968 гг. уменьшилась до 0,27 г С/м² в 1978 г.

Такое же угнетение развития фитопланктона произошло в мелководной 10-метровой зоне Алят-Бяндованского разрезов. Здесь продукция за этот же период сократилась соответственно в 2,8 и 2,4 раза. Резкое уменьшение продукции фитопланктона произошло в 20–25-метровой зоне. Как видно из табл. 28, за последние 10 лет в районе Алятского и Бяндованского разрезов продукция фитопланктона уменьшилась в 4,9 и 2,2 раза соответственно.

В связи с резким изменением условий развития фитопланктона в мелководной зоне произошло перераспределение продукции по глубинам: уменьшение продукции фитопланктона на 10–15 м и ее повышение на 50 м. Как видно, глубина 50 м Шиховского разреза стала продуктивнее в 1,5, Алятского – в 2 раза.

Следует отметить, что снижение продукции фитопланктона отражает ухудшение экологических условий в прибрежной зоне. Акватория, где подавлено развитие фитопланктона и других планктонных организмов, занимает большую площадь прибрежья, которая является основным местом нагула прикуринского стада рыб. Подавление развития фитопланктона на расстоянии 65–70 км в открытом море может быть ярким примером отрицательного воздействия загрязнения моря на фауну и флору данного участка.

В образовании продукции фитопланктона большие изменения произошли и в приступьевом пространстве р. Куры. Как известно, среди всех рек бассейна Каспийского моря р. Кура является самой мутной; она выносит на взморье 12 млн т наноса в год (Гюль и др., 1971), в результате чего прибрежный участок оказывается очень мутным. Поэтому на глубине 10 м продукция фитопланктона составляет сотую долю грамма. Возрастание первичной продукции на участках, удаленных от берега, происходящее под влиянием эвтрофикации, не имеет существенного значения для общей рыбопродуктивности данного региона, поскольку эти участки удалены от зоны нагула рыб.

Определение продукции фитопланктона по годам выявило, что за последнее 10-летие она увеличилась в предустье в среднем в 2,4 раза. Повышение продукции фитопланктона происходит в глубоководной зоне. Если в зоне 25 м продукция возросла в 2 раза, то в районах 50–100 м – в 3–4 раза. Несмотря на то что 100-метровый шельф находится на расстоянии 20–25 км от устья реки, в юго-западном направлении куринская вода способствует увеличению продукции фитопланктона на значительно большей акватории. С чем же связано столь резкое увеличение продукции фитопланктона в районе смешивания речной воды с морской? Влияние речных стоков на увеличение биогенных элементов, питательных веществ общеизвестно. Но в последние годы качество и состав куринской воды стали совсем другими.

Как известно, Кура является крупнейшей рекой в Закавказье. Принимая промышленные, бытовые, сточные воды многих крупных населенных пунктов и городов либо непосредственно, либо через свои притоки, она не успевает очиститься на всем своем протяжении (Салманов, 1975). В приступьевом участке за последние 25 лет число сапротифовых бактерий увеличилось в 4, количество микроорганизмов по прямому счету – в 3 раза (см. гл. VI). Все это является результатом обогащения речной воды органическим веществом. В реку поступают десятки коллекторных каналов, дренажных вод и др.; их отходы стали главной причиной эвтрофикации прикуринского района моря. Обогащение воды аллохтонным органическим веществом, повышение продукции фитопланктона способствуют увеличению численности гетеротрофной микрофлоры, в результате которой усиливаются процессы окисления. Увеличение темпа расхода кис-

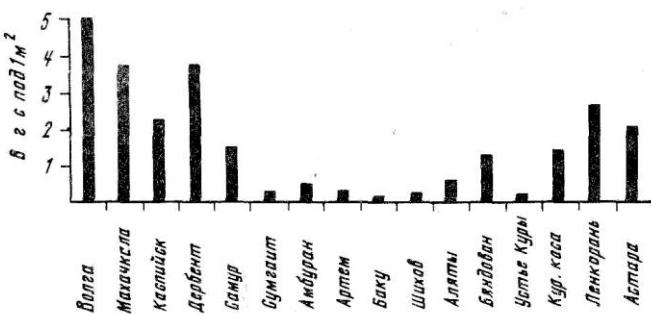


Рис. 23. Среднегодовая продукция фитопланктона ($\text{г С}/\text{м}^2 \cdot \text{сутки}$) в зоне глубин 10 м у западного побережья Каспийского моря

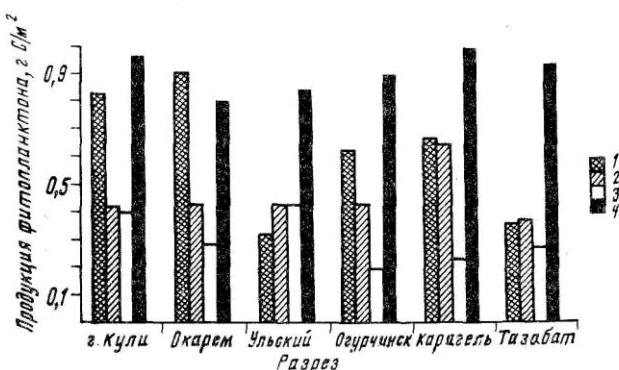


Рис. 24. Сезонные изменения среднесуточной продукции фитопланктона в восточной шельфовой зоне Южного Каспия

1 – зима; 2 – весна; 3 – лето; 4 – осень

лорода на пороге глубоководной впадины Южного Каспия может способствовать уменьшению кислорода в придонных слоях, что приведет к образованию сероводорода и других продуктов анаэробного распада. В заключение необходимо отметить, что (кроме приустьевого пространства р. Куры) хотя произошло перераспределение продукции фитопланктона по глубинам, многолетние средние величины продукции оказались тождественными. Установлено, что в участках, где из-за антропогенного влияния снизилась продукция фитопланктона, в сопредельных приглубинных районах наблюдается ее увеличение. Однако ценность каждого участка моря как нагульной площади для рыб неодинакова. В этом отношении загрязнение нагульных участков, каковыми являются мелководные зоны Алятского, Бяндованского и других разрезов, вызывает тревогу, так как их не могут заменить глубоководные зоны в открытом море даже при повышенной продуктивности в них фотосинтеза фитопланктона.

Необходимо подчеркнуть, что в зоне 10-метровой изобаты у западного шельфа Каспийского моря в пределах р. Самур и Куринской Косы сильно нарушены процессы фотосинтеза (рис. 23), главной причиной этого являются антропогенные факторы.

Восточное побережье. Определение первичной продукции органического вещества за счет фотосинтеза фитопланктона проводилось на 6 разрезах, по 4 станциям на каждом (см. рис. 1) от Гасан-Кули на юг до г. Красноводска по сезонам 1967 г. Как и в других участках Каспийского прибрежья, стандартные исследования проводились в пределах 100 м шельфа. Характерной особенностью данного участка является то, что дно моря здесь очень пологое. 100-метровый шельф вклинивается в сторону открытого

Таблица 29

Продукция фитопланктона у восточного прибрежья Южного Каспия по сезонам 1967 г. (г С/м² × X сутки)

Разрез	Стан- ция	Зима	Весна	Лето	Осень	Среднее за год	Разрез	Стан- ция	Зима	Весна	Лето	Осень	Среднее за год
Гасан- Кули	1	0,42	0,13	0,22	0,68	0,36	Огур- чинский	1	0,24	0,22	0,15	0,64	0,31
	2	0,42	0,56	0,46	1,26	0,67		2	0,43	0,47	0,10	0,94	0,48
	3	2,01	0,44	0,31	0,97	0,93		3	0,93	0,69	0,24	1,38	0,81
	4	0,50	0,57	0,60	0,93	0,65		4	0,92	0,33	0,32	0,66	0,53
Среднее по сезо- ну	—	0,83	0,42	0,40	0,96	0,65	Среднее по сезо- ну	—	0,63	0,43	0,20	0,90	0,54
Окарем	1	0,10	0,20	0,24	0,67	0,30	Карагель	1	0,20	0,41	0,20	0,71	0,38
	2	0,76	0,40	0,23	0,86	0,56		2	0,41	0,61	0,28	0,86	0,54
	3	1,37	0,36	0,45	0,72	0,72		3	0,98	0,74	0,24	1,63	0,90
	4	1,41	0,77	0,20	0,93	0,82		4	1,10	0,83	0,21	0,91	0,76
Среднее по сезо- ну	—	0,91	0,43	0,28	0,80	0,60	Среднее по сезо- ну	—	0,67	0,65	0,23	1,02	0,64
Ульский	1	0,20	0,20	0,33	0,46	0,30	Тазабат	1	0,42	0,16	0,22	0,64	0,36
	2	0,37	0,38	0,27	0,76	0,44		2	0,74	0,32	0,25	1,40	0,68
	3	0,24	0,36	0,67	0,72	0,50		3	0,16	0,70	0,25	1,03	0,53
Среднее по сезо- ну	—	0,32	0,43	0,43	0,85	0,50	Среднее по сезо- ну	—	0,37	0,38	0,27	0,94	0,49

моря. Например, в зоне Ульского разреза он отдален от прибрежья на расстояние более 150 км. Результаты исследования показали, что данный участок моря занимает особое место по образованию продукции фитопланктона. Как ни парадоксально, во всем море это единственное место, где наряду с осенним максимумом имеет место зимний максимум фотосинтеза (табл. 29, рис. 24). Продукция фитопланктона зимой на этом участке колеблется от 0,32 до 0,91 г С/см². Весной изменение величины продукции фитопланктона направлено в сторону незначительного уменьшения ее средних значений по всему участку, которое продолжается и в течение всего летнего сезона. В этом обширном мелководном участке нет таких характерных перепадов или скачков величины продукции фитопланктона по глубинам, которые характерны для западного побережья. Незначительные изменения по участкам разрезов и глубинам, а также по сезонам, за исключением осени, происходят весьма плавно. Отсутствие признаков резкого колебания продукции фитопланктона свидетельствует о стабильности экосистемы.

Максимальной продукцией фитопланктона характеризуется осенний сезон. Среднесуточная продукция осенью в 2–4 раза превосходит продукцию весной и летом. В этот период также отмечается разница продукции в зонах отдельных глубин, которая заметно выше на 50–100 м. Повышение продукции фитопланктона, очевидно, связано с умеренной температурой и поступлением биогенных элементов из глубинных слоев в результате перемешивания водных слоев, которое интенсивно происходит в зоне 100-метрового шельфа с усиливением южных и юго-восточных ветров (Гуль и др., 1971). По всему району интенсивность фотосинтеза фитопланктона умеренное, чем в других участках моря, хотя отмечается небольшое ее увеличение в акваториях Гасан-Кулийского и Карагельского разрезов. Повышение продукции фитопланктона в этих акваториях является, по-видимому, результатом положительного влияния вод иранского побережья и Туркменского залива.

Восточная часть Южного Каспия изолирована от благоприятного воздействия водной

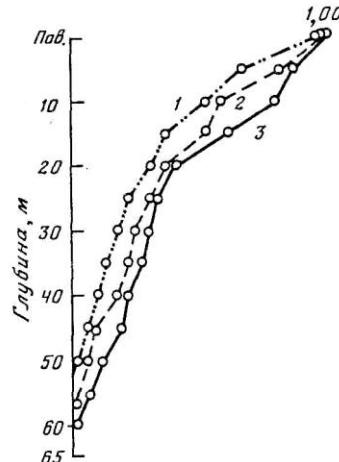
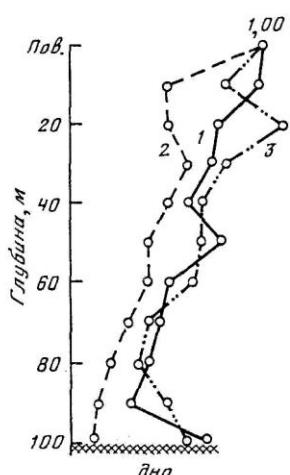


Рис. 25. Вертикальное распределение активного фитопланктона (K_p) у восточного побережья Южного Каспия в разные сезоны года

1 – зима; 2 – весна; 3 – лето

Рис. 26. Толщина зоны фотосинтеза (K_t) в разные сезоны года в восточной части Южного Каспия

1 – зима; 2 – весна; 3 – лето

массы западного побережья, в том числе и речных вод. Если аллохтонное органическое вещество рек, промстоков и, наконец, минеральный сток оказывают постоянное влияние на обогащение водной массы западных участков, то здесь все эти факторы отсутствуют. Сток иранских рек незначителен – лишь 5% суммарного стока (Косарев, 1969). Эти реки впадают в основном в юго-западную часть Каспия. Приносимые ими органические вещества и биогенные элементы, по-видимому, потребляются в приустьевых участках и не попадают в открытые районы юго-восточной части моря. Доказательством положительного влияния речных вод на фитоцен юго-восточной части моря могут быть результаты определения продукции фитопланктона в районе Астаринского разреза, где она достигает $4-5 \text{ г}/\text{м}^2$. Тем не менее восточное побережье Южного Каспия занимает промежуточное место среди других участков моря по продукции фитопланктона. Исключая зимний сезон, продукция фитопланктона здесь в среднем в 2–3 раза меньше, чем в западной части. При сравнении с восточным побережьем Среднего Каспия видно, что продукция восточного побережья Южного Каспия в среднем в 2 раза больше, чем в соседнем участке.

Исследования вертикального распределения фитопланктона показали, что зимой и весной он распределен более или менее равномерно и на глубине количества жизнедеятельного фитопланктона почти равняется его количеству в поверхностном слое. В другие сезоны благодаря температурному расслоению воды скопление водорослей отмечается в слоях температурного скачка (рис. 25), но их максимумы выражены слабее.

Результаты определения толщины эвфотической зоны (K_t) представлены на рис. 26. Как и в других участках моря, летом зона освещения и глубина проникновения света больше, чем в другие сезоны года. Характерным для этого участка оказалось то, что здесь не наблюдается угнетения водорослей избыточным освещением в приповерхностных горизонтах воды. Весенний фитопланктон восточного побережья Южного Каспия (как и в остальных участках моря) состоял в основном из диатомовых водорослей. Доминантом являлась *Rhizosolenia calcar-avis*. Часто встречались и представители рода *Chaetoceros*. Важную роль играли *Ch. paulsenii*, *Ch. subtilis v. subtilis*, *Ch. rigidus*, *Ch. wighamii* и др.

Таблица 30

Среднесезонная продукция фитопланктона в центральной части Южного Каспия ($\text{г С/м}^2 \cdot \text{сутки}$)

Разрезы	Зима	Весна	Лето	Осень	Средняя за год
о-в Жилой—мыс Куули	0,29	1,04	0,67	0,50	0,62
Бяндован—Красноводск	0,71	0,61	0,47	0,73	0,63
р. Кура—Огурчинск	0,65	0,78	0,61	0,76	0,70
Куринская коса—Ульский	0,34	0,49	0,52	0,60	0,49
Ленкорань—Гасан-Кули	0,90	0,96	1,90	1,18	1,24

В летнем фитопланктоне преобладающими были также представители диатомовых водорослей. Синезеленые и зеленые в восточной части Южного Каспия встречались не так часто. Основными видами синезеленых были *Anabaena bergii f. minor*, *Nodularia spumigena*. Из перидиниевых встречались *Ex. cordata v. cordata*, *Prorocentrum obtusum*, *Goniaulax polyedra* и др. Осенью наблюдалась вторая вспышка диатомовых водорослей. Очаговое их "цветение" было отмечено в зоне глубоководных станций Карагельского и Тазабатского разрезов.

Фитопланктон в водах у восточного побережья Каспийского моря, согласно результатам многолетних исследований Г.Г. Бабаева (1968), был очень беден как по численности, так и по качественному составу.

Центральная часть. Принцип разделения центральной части Каспийского моря, расположение станций и разрезов изложены выше.

Южный Каспий является не только самым глубоким, но и самым широким участком. Протяженность, например, Ленкорань—Гасан-Кулийского разреза больше 400 км. Поэтому при равном расстоянии между станциями на переходных разрезах число станций в Южном Каспии намного больше, чем в Среднем.

В центральной части Южного Каспия было выполнено 5 разрезов по 12–13 станций на каждом. Расстояние между станциями составляло примерно 30 км. В центральной части Южного Каспия величина продукции фитопланктона зимой в среднем составляла 0,54 против 0,2 г С/м^2 – в центральной части Среднего Каспия (табл. 7, 30). Несмотря на то что продукция фитопланктона в халистатической зоне Южного Каспия зимой была в 3 раза больше, чем в Среднем, в остальные сезоны года среднесезонная продукция здесь не так велика, как в Среднем Каспии. Можно отметить также, что высокие значения продукции фитопланктона имели место не в сопредельных зонах с берегами, а в глубоководной части каждого разреза.

Интересно отметить, что в противоположность весеннему сезону, когда максимальная продукция отмечается в северной части, летом наивысшая среднесуточная продукция наблюдалась в зоне последнего южного разреза (Ленкорань—Гасан-Кули) района исследования. Сезонные наблюдения показали, что этот удивительно своеобразный участок моря являясь как бы конечным краем всего Каспия (на юго-западе, юге и юго-востоке) и субтропической зоной всего моря, характеризуется еще и высокой продукцией фитопланктона. Как видно из табл. 30, здесь зимний и весенний уровень продукции выше, чем на северных участках Южного Каспия в среднем в 2–3 раза. Если в таком благоприятном для развития фитопланктона районе, как противоуставьевое пространство р. Куры, максимальная продукция имела место в зоне не далее, чем на 25–30 миль от устья, то в районе последнего разреза зона высокой продукции занимала в 8–10 раз большую площадь. Несмотря на это, акватория высокой продукции была сравнительно невелика, как это видно на примере соседнего разреза, что находится севернее. Исходя из результатов сопредельных зон, можно предположить, что в юго-западной части, куда поступают стоки иранских рек, продукция водорослей должна быть достаточно высокой. Высокую первичную продукцию в районе Ленкорань—Гасан-Кулийского разреза в течение всего года можно отнести, по-видимому, за счет благоприятного влияния стока иранских рек на развитие фитопланктона Южного Каспия. Сле-

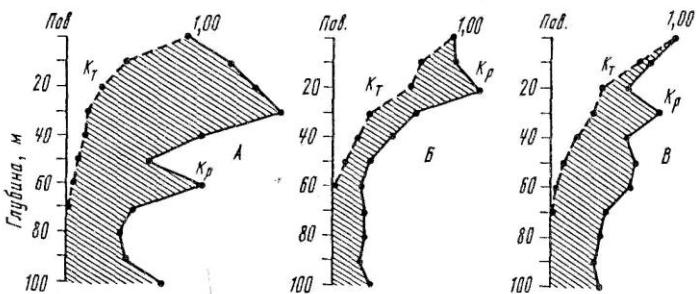


Рис. 27. Определение степени светового голодания ($S, \%$) фитопланктона в различные сезоны года
A – лето; B – зима; В – осень

дует еще раз отметить, что положительное влияние стока иранских рек на увеличение биологической продуктивности Каспийского моря не может сравниться с таковым в западной половине моря, тем более в северном участке Каспия, поскольку объем стока иранских рек не превышает 5% всего речного стока в Каспии (Добровольский, 1969; Косарев, 1969).

Продукция фитопланктона осеннего сезона почти не отличалась от таковой других сезонов года. Сезонный ход образования первичной продукции фотосинтеза фитопланктона в центральной части Среднего Каспия в значительной степени был обусловлен цикличностью генерации фитопланктона, закономерность развития которого тесно связана с оборачиваемостью биогенных элементов биотопа.

В связи с отсутствием источников аллохтонного органического вещества, влияние которого столь велико в западной половине моря, в юго-восточной зоне, особенно в халистатической части Южного Каспия, интенсивность фотосинтеза фитопланктона не испытывает значительных колебаний в течение года. Как западное побережье, так и центральная часть Среднего Каспия по величине продукции фотосинтеза фитопланктона в среднем в 2–3 раза богаче, чем халистатическая зона Южного Каспия.

Характер вертикального распределения фитопланктона и зависимость фотосинтеза от подводной освещенности в Южном Каспии сходны с таковыми в центральной части Среднего Каспия.

Халистатическая область Южного Каспия, будучи максимально глубоководной частью Каспийского моря, характеризуется и максимальной прозрачностью воды. На станциях IV разреза Куринская коса – о-в Ульского и III разреза р. Курा – о-в Огурчинский была отмечена наибольшая прозрачность, которая составляла соответственно 17 и 19 м по диску Секки. В связи с этим были проведены опыты по определению степени светового голодания фитопланктона в разные сезоны года. Результаты опытов показали (рис. 27), что масса фитопланктона, претерпевающая световое голодание летом в 3–4 раза больше, чем зимой и осенью. При этом также видно, что глубина фотосинтеза летом на 8–10 м больше, чем в другие сезоны. Летом, как правило, отмечается значительное количество фитопланктона в слоях температурного скачка, которое, уменьшаясь осенью, почти исчезает зимой. Анализ видового состава фитопланктона (Бабаев, 1968) показал, что, так же как и в Среднем Каспии, в центральной части Южного Каспия он качественно весьма беден и в течение всего года доминантом в нем является представитель диатомовых *Rhizosolenia calcar-avis*. В небольшой акватории разреза р. Курा – о-в Огурчинский у запада со второй половины весны (апрель) до второй декады сентября в фитопланктоне значительное место занимают зеленые, синезеленые и перидиниевые. Из синезеленых *Anabaena bergii f. minor*, *Aphanisomenon flos-aquae*, *Nod. sputigena*, из перидиниевых *Exuviaella cordata v. cordata* летом занимали второе место. Такое же соотношение видов в фитопланктоне было отмечено в зоне юго-восточной части района исследования.

В осенне-весенном фитопланктоне, кроме диатомовых и синезеленых, в незначитель-

Таблица 31

Продукция фитопланктона в Южном Каспии

Показатель	Западное побережье	Центральная часть	Восточное побережье
Участки, их площадь, тыс. км ²	20	81	49
Среднесуточная продукция мг С/дн ⁻¹			
зима	0,73	0,58	0,62
весна	1,37	0,77	0,47
лето	1,66	0,63	0,30
осень	2,39	0,75	0,74
Среднесезонная продукция, г С/м ²			
зима	65,7	52,2	55,8
весна	126,0	70,8	43,0
лето	152,0	57,9	27,6
осень	217,0	68,2	67,0
На всю площадь, тыс. т С за сезон			
зима	1310	4230	2730
весна	2520	5740	2120
лето	3050	4690	1350
осень	4350	5530	3300
За год тыс. т С	11230	20190	9500
В г С под 1 м ² за год	561	249	194
Общая продукция Южного Каспия за год, млн т С – 41 В г С под 1 м ² за год для всего Южного Каспия – 273			

ном количестве появляются из зеленых *Binuclearia lauterbornii*, *Pediastrum*, *Scenedesmus*, из синезеленых – *Anabaenopsis circularis* f. *tangayikae*. Основным продуцентом у прибрежья за весь год являются диатомовые, синезеленые и зеленые, а в халистатике – диатомовые с незначительным участием перидиниевых водорослей.

Расчеты суммарной годовой продукции фотосинтеза фитопланктона Южного Каспия в отдельных его частях проводились по такому же принципу, как в Среднем, и показали, что 100-метровый шельф в Южном Каспии составляет 45,97% площади, в восточной его части – 69,41%, в западной – 30,59%. Исходя из площадей каждого участка, рассчитана годовая, сезонная (в среднем) и общая продукция, итоги выражены в суммарной продукции фотосинтеза фитопланктона за весь год (табл. 31). Установлено, что так же, как и в Среднем Каспии, здесь каждый участок характеризуется прежде всего своей продукцией.

Как видно из табл. 31, общая годовая продукция фитопланктона составляет 41 000 тыс. т С органического вещества. Величина продукции в расчете на 1 м² – 273,8 г С в год, что на 96 г меньше, чем в Среднем Каспии, и примерно такая же, как в Северном. Продуктивность западного побережья из расчета на 1 м² в 3 раза выше, чем в восточной половине, а продукция последней в 1,3 раза уступает таковой в центральной части Южного Каспия.

ДЕСТРУКЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ТОЛЩЕ ВОДЫ

Западное побережье. Деструкция органического вещества измерялась в течение нескольких лет. При этом было установлено, что и сезонные и годовые изменения деструкции в данном участке оказались весьма сходными (исключая прибрежную зону глубиной 10 м). В табл. 32 представлены результаты последнего года наблюдений, которые проводились в 1982 г.

Результаты определения деструкции органического вещества Южного Каспия пока-

Таблица 32

Деструкция органического вещества в воде западного побережья Южного Каспия, мг С/л · сутки

Разрез	Горизонт	Зима	Весна	Лето	Осень
Шихов	Поверхностный	0,05	0,16	0,30	0,40
	Придонный	0,05	0,15	0,40	0,25
Аляты	Поверхностный	0,03 ✓	0,15 ✓	0,25 ✓	0,20 ✓
	Придонный	0,02	0,10	0,16	0,10
Бяндован	Поверхностный	0,08 ✓	0,14 ✓	0,14 ✓	0,07 ✓
	Придонный	0,06	0,10	0,11	0,02
Устье р. Куры	Поверхностный	0,22	0,42	0,33	0,40
	Придонный	0,18	0,68	0,40	0,22
Ленкорань	Поверхностный	0,06 ✓	0,21 ✓	0,15 ✓	0,17 ✓
	Придонный	0,03	0,22	0,10	0,08
Астара	Поверхностный	0,06 ✓	0,23 ✓	0,40 ✓	0,24 ✓
	Придонный	0,04	0,22	0,15	0,07

зали, что величина минерализованного углерода по вертикали варьирует в больших пределах (табл. 32). Как правило, синтез органического вещества в основном идет в трофогенном слое. Поэтому обычно измерения величины деструкции проводят именно в поверхностных слоях. Однако для оценки баланса продукционно-деструкционных процессов в водоеме нельзя не учитывать деятельности микрофлоры придонных горизонтов, принимающей участие в минерализации осевшего на дно органического вещества.

Эксперименты показали, что в Южном Каспии максимальная величина деструкции была отмечена именно в придонных слоях, которые обогащаются органическим веществом, выделяемым из донных отложений. Поэтому и биомасса бактериопланктона в придонном слое часто бывает намного выше, чем в поверхностных горизонтах воды (см. гл. VII).

Из табл. 32 видно, что в поверхностных слоях воды Южного Каспия величина деструкции колеблется в пределах 0,02–0,42 мг С/л · сутки. Характерно, что максимальные показатели деструкции отмечаются в районах Шиховского и Алятского разрезов, где средняя величина деструкции равна 0,40 мг С/л · сутки, что в 2–3 раза больше, чем, например, в Ленкоранском. Повышение показателей деструкции в участках, находящихся под постоянным влиянием воды Апшеронского прибрежья, богатого органическим веществом аллохтонного происхождения, свидетельствует о том, что легкоминерализуемая часть органического вещества окисляется достаточно интенсивно. Характерно, что в максимально загрязненном участке этого района, куда относится и Бакинская бухта, глубокий распад органического вещества заметно подавлен нефтепродуктами (Салманов, Мехтиев, 1970). В соседних участках, благодаря "разбавлению" сравнительно чистой водой, тормозящее действие токсикантов промышленных стоков на активность микрофлоры намного снижается.

Положительное влияние богатой органическим веществом воды Апшеронского побережья на развитие микрофлоры и деструкцию органического вещества в соседних участках моря было доказано на примере Алятского участка, на ст. 2 которого была зафиксирована максимальная величина первичной продукции и биомассы микроорганизмов. Поэтому благодаря достаточному количеству энергетического материала и сравнительно большой биомассе микроорганизмов как раз на этой же станции летом и осенью величина деструкции достигала 0,3 мг С/л · сутки.

Максимальной величиной деструкции характеризовался участок приусьевого пространства р. Куры. Средняя величина деструкции за год здесь составляла 0,68 мг С/л · сутки. Характерно, что в зоне стыка речной воды с морской она была равна 1,3–2,0 мг С/л, что в 5–10 раз выше, чем в более глубоководных участках.

По мере продвижения от мелководья к открытому морю интенсивность окисления

органического вещества заметно уменьшалась. Увеличение деструкции в зоне глубиной 10 м было связано, по-видимому, с влиянием аллохтонного органического вещества. В более отдаленных участках основным источником органического материала является органическое вещество автохтонного происхождения. Об этом свидетельствует тот факт, что если в глубоководных участках величины синтезированного и окисленного органического вещества весьма близки, то в прибрежной полосе, как правило, количества минерализованного субстрата намного больше, чем его образуется в процессах фотосинтеза. Например, величина первичной продукции на ст. 1 разреза противоположного пространства р. Куры составляла 0,009 мг С/л, а количество минерализованного органического вещества – 1,3 мг С/л.

Как известно, микрофлора является основным агентом, обусловливающим распад органического вещества. Мы провели в связи с этим сравнение биомассы микроорганизмов с величиной деструкции органического вещества. Судя по результатам такого сравнения, величина деструкции в достаточной степени коррелирует с биомассой микроорганизмов. В разделе о микробиологическом режиме водной массы Каспия указывается на образование максимумов биомассы микроорганизмов в слоях температурного скачка. Определение величины деструкции на примере ст. 3 Астаринского разреза показало, что на глубине 25 м величина деструкции составляет 0,3 мг С/л, что в 3 раза больше, чем в поверхностном слое воды.

Зимой и весной, когда устанавливается гомотермия, в нижних слоях воды всегда отмечалось уменьшение деструкции от поверхности ко дну. Исходя из того, что при минерализации органического вещества в первую очередь окисляется его легкоусвояемая часть, было интересно определить время окончательного распада *in situ*. Результаты опыта показали, что при температуре моря большая часть органического вещества, присутствующего в воде, подвергается деструкции в течение первых 3–6 ч, после чего скорость потребления кислорода снижается. На 2–3-и сутки она составляет лишь 2–3% от исходной, а через 36–48 ч распад практически приостанавливается. Таким образом, в изолированных пробах окисление органического вещества протекает в первые часы опыта, причем распаду легко поддается его легкодоступная часть (Сорокин, 1971, 1977а, б; Кудрявцев, 1973).

Закономерность изменения величины деструкции по сезонам в Южном Каспии была сходной в таковой в Среднем Каспии. Минимальная интенсивность наблюдалась зимой. Весной имело место небольшое ускорение деструкции. Максимальные величины деструкции отмечались летом и осенью. При этом было установлено, что за весь год сравнительно высокие показатели деструкции отмечаются в одних и тех же районах Южного Каспия. Если в прибрежной зоне Шихов-Алятского и Усть-Куринского разрезов причиной высокой деструкции является поступление аллохтонного органического вещества, то в районе Ленкорань–Астаринского разреза высокая скорость деструкции была обусловлена общей высокой продукцией органического вещества в течение года. Положительная корреляция первичной продукции с деструкцией в эвфотической зоне отмечается лишь в районе последних разрезов (Ленкорань, Астара). По вертикали, кроме зон, где имеется источник поступления органического субстрата извне, в придонных слоях величина деструкции была ниже, чем у поверхности.

Восточное побережье и центральная часть. В эвфотической зоне у восточного побережья Южного Каспия величина деструкции, как и продукция фитопланктона, была гораздо выше, чем в таком же участке Среднего Каспия. Если в Среднем Каспии зимой заметная деструкция была отмечена лишь на 8 станциях из 39 (что составляет почти 20%), то здесь таковых оказалось всего 2 (ст. 3,4 Ульского разреза). Несмотря на то что в восточном прибрежье Южного Каспия (за исключением юго-восточной кромки), величина деструкции составляла сотые доли мг С, средние значения деструкции здесь были в 2–3 раза больше, чем в Среднем Каспии (табл. 33). При сравнении среднегодовой продукции фитопланктона видно, что если она в Среднем Каспии составляет 30, то в Южном – около 50 г С/м². Таким образом, прямая связь между величинами продукции фотосинтеза фитопланктона и деструкции органического вещества четко

Таблица 33

Деструкция органического вещества в воде восточного побережья Южного Каспия, мг С/л · сутки

Разрез	Горизонт	Зима	Весна	Лето	Осень
Гасан-Кули	Поверхностный	0,08 ✓	0,13 ✓	0,15	0,33
	Придонный	0,06	0,10	0,15	0,16
Окарем	Поверхностный	0,20 ✓	0,08 ~	0,10 ~	0,15 ~
	Придонный	0,06	0,03	0,03	0,06
Ульский	Поверхностный	0,04 ✓ 24	0,08 ~ 16	0,11 ~ 21	0,07 ~ 22
	Придонный	0,02	0,03	0,07	0,03
Огурчинский	Поверхностный	0,07 ✓ 31	0,11 ~ 27	0,07 ~ 28	0,10 ~ 32
	Придонный	0,03	0,04	0,05	0,06
Карагель	Поверхностный	0,04 ✓ 35	0,05 ~ 32	0,05 ~ 33	0,21 ~ 33
	Придонный	0,02	0,03	0,04	0,11
Тазабат	Поверхностный	0,05 ✓ 40	0,11 ~ 43	0,07 ~ 45	0,10 ~ 65
	Придонный	0,02	0,06	0,06	0,05

прослеживается у восточного побережья Южного Каспия. Исключением в этом своеобразном участке Южного Каспия является зимний сезон. Дело в том, что в отличие от других участков Каспийского моря в восточной части Южного Каспия зимний сезон является периодом максимального синтеза первичной продукции фитопланктона. Зимой здесь продукция фитопланктона составляет 56 г С/м² против 43 и 27,6 г С/м² весной и летом. Несмотря на это, величина деструкции зимой намного ниже, чем в другие сезоны. Такое резкое несоответствие является результатом снижения температуры воды, которое отрицательно влияет на физиологическую активность ее микрофлоры. С наступлением весны, когда температура воды повышается, отмечается увеличение темпов окисления органического вещества, хотя продукция фитопланктона в этот период ниже, чем зимой. Возрастание величины деструкции было хорошо заметно на мелководных станциях, где охлаждение и прогрев воды происходят быстрее. Летний сезон характеризуется небольшими значениями деструкции, что объясняется невысоким содержанием органического вещества автохтонного происхождения. Снижение скоростей синтеза и минерализации органического вещества летом связано с недостаточной обеспеченностью фитопланктона биогенными элементами, а микрофлоры — энергетическим субстратом. Второй максимум (после весеннего) деструкции органического вещества отмечается осенью. В этот период заметно и увеличение продукции фитопланктона.

Усиление процессов синтеза и распада органического вещества происходит как бы противоположно протеканию этих процессов в предыдущем сезоне. На самом деле так оно и есть. Как указано в предыдущем разделе, в этом регионе моря теплолюбивые формы фитопланктона не нашли широкого распространения в основном из-за нехватки биогенных элементов летом. Осенью, с одной стороны, когда происходит массовое отмирание планкtonных организмов, ускоряются процессы регенерации гидрохимических инградиентов; с другой стороны, нарушение слоя температурного скачка способствует поступлению в трофогенные слои биогенных элементов придонных горизонтов. Сравнение среднегодовой, среднесезонной продукции фитопланктона и величин деструкции показало, что весной, летом и осенью в зоне фотосинтеза общее количество синтезированного органического вещества соответствует общему объему минерализованного вещества. В центральной части Южного Каспия (с небольшим отклонением в районах северо-западного и юго-восточного стыков) деструкция органического вещества близка к таковой в центральной зоне Среднего Каспия. Зимой заметная деструкция органического вещества наблюдалась на стыке с Апшеронским порогом и в районах южнее Ленкоранского и Гасан-Куулийского разрезов. В остальных участ-

ках, как и в Среднем Каспии, величины деструкции не превышали величины погрешности анализа. Во второй половине весны, когда температура воды повышалась до $15-17^{\circ}$, деструкция достигала в районах Ленкорань—Гасан-Кулийского разреза 0,17 мг С/л · сутки. Заметное повышение деструкции также отмечалось в юго-западных частях Кура-Огурчинского и Куринская Коса—Ульского разрезов. Летом интенсивное окисление органического вещества происходило в халистатических частях Жилой-Кулийского, Бяндованско-Красноводского и Ленкорань—Гасан-Кулийского разрезов, где величина деструкции составляла 0,2–0,33 мг С/л · сутки. Осенью в глубоководной зоне центральной части (кроме акватории последнего разреза) резкого повышения значения деструкции (какое наблюдается в восточной части) не отмечалось. Во всех пробах придонных слоев были получены отрицательные значения.

ДЕСТРУКЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ИЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ

Деструкция органического вещества в грунтах западного побережья Южного Каспия определялась в шельфовой зоне всего участка от Ашхерона до Астары. В отличие от остальных районов Каспийского моря в западной части Южного Каспия существует ряд участков, грунт которых пропитан углеводородами нефтяного происхождения. Это Бакинская бухта, окружная зона островов Бакинского архипелага и др. Здесь также проводились подобные исследования. В данном разделе приводятся результаты исследования на стандартных разрезах и станциях. Судя по результатам определения, у западного побережья Южного Каспия величина деструкции органического вещества варьирует от 30 до 480 мг С/м² · сутки (табл. 34), и значения деструкции связаны с особенностями грунтов. Самые низкие величины деструкции отмечаются (за исключением прибрежья Шиховского разреза) в зонах, где донные отложения представлены песками и ракушечником. Характерны в этом отношении результаты определения деструкции в районе Астаринского разреза. Как видно из табл. 34, величина деструкции в илистых песках достигает 90, а в илах с ракушечником — 330 мг С/м² · сутки, что превышает деструкцию на ст. 1 соответственно в 3 и 11 раз.

При сравнении величины деструкции органического вещества с общим числом бактерий в грунтах выявлена прямая корреляция (Романенко, 1964а, б, 1969а, б; Сорокин, 1977а, б).

Так, в районе этого же разреза общее число бактерий в грунтах на ст. 2 и 3 превышало численность бактерий на ст. 1 в 2–6 раз. Максимальная величина деструкции отмечалась в илистых грунтах, наиболее богатых органическим веществом. На интенсивность окисления органического вещества микроорганизмами оказывает большое влияние качественный состав органического вещества в грунтах. Как видно из табл. 34, в донных осадках против устья р. Куры величина деструкции достигала 480 мг С/м² · сутки, что связано с поступлением легкоусвояемого аллохтонного органического вещества. В то же время в районе глубин 10 м Шиховского разреза, где ил пропитан мазутом и другими компонентами нефти, процессы деструкции были заторможены (см. табл. 34).

Следует отметить, что изменение величины деструкции органического вещества в воде на разрезах от берега в открытое море резко отличается от изменения скорости деструкции на тех же разрезах в грунтах. Как правило, величина деструкции в воде в зоне глубиной 10–20 м в 1,5–2 раза превышает таковую в зоне глубиной 50–100 м. Если превышение величины деструкции в воде мелководной зоны над глубоководной зоной связано с влиянием аллохтонной органики прибрежья, то в донных отложениях резкого увеличения величины деструкции не наблюдается. Таким образом, исходя из результатов измерения величин деструкции органического вещества в воде и в грунтах, можно предположить, что подвижные компоненты аллохтонного и автохтонного органического вещества в основном минерализуются в водной толще, а в грунтах накапливаются более устойчивые формы органических соединений, в глубоком распаде которых принимает участие богатая микрофлора грунтов. В 1975 г. в районе Алятского и Бяндованского разрезов мы проводили определение деструкции в грунтах по сезонам.

Таблица 34

Деструкция органического вещества в иловых отложениях западного побережья Южного Каспия

Разрез	Стан- ция	Грунт	мг О ₂ /м ² · сутки	мг С/м ² · сутки		Разрез	Стан- ция	Грунт	мг О ₂ /м ² · сутки	мг С/м ² · сутки
Астара	1	Песок	80	30	Бяндован	1	Твердая глина	160	60	
	2	Илистый песок	240	90		2	Ил с раку- шечником	240	90	
	3	Ил с раку- шечником	880	330		3	Ил с раку- шечником	320	120	
	4	Серый ил	400	148						
Ленко- рань	1	Песок	160	60	Аляты	1	Ил с раку- шечником	640	240	
	2	Серый ил	800	300		2	Ил с ракушеч.	720	270	
	3	Желтый ил	320	120		3	Ил	560	210	
	4	Желтый ил	400	148		4	Сероватый ил	880	330	
Устье Куры	1	Темный ил	1200	450	Шихов	1	Ил с мазутом	0	0	
	2	Темный ил	1280	480		2	Промазучен- ный ил	160	60	
	3	Черный ил	320	120		3	Ил с раку- шечником	800	300	
	4	Ил с раку- шечником	160	60		4	Ил с раку- шечником	160	60	

При этом было установлено, что интенсивность деструкции со второй половины мая до третьей декады сентября сохраняется на одном уровне, превышая ее величину в остальные сезоны в среднем на 15–25% лишь в зоне до глубины 25 м. В глубоководных участках моря различие в величине деструкции органического вещества в грунтах по сезонам года не превышало 5–7%. Такая стабильность деструкции в грунтах в глубоководных зонах Каспийского моря прежде всего связана с температурным режимом придонных слоев. Многолетние годовые и сезонные наблюдения показали, что температура воды в придонных слоях (25–50 м) изменяется в течение года в пределах 2,5–3°, а на глубине – 100–150 м она остается почти постоянной в течение года. В различных районах Каспийского моря в изменении величины деструкции грунтов по сезонам года температурный фактор не играет существенной роли. Исключением являются участки, где глубина не превышает 50–75 м. В восточной шельфовой части Южного Каспия величина деструкции органического вещества в грунтах варьирует в пределах 30–120 мг С/м² · сутки. Здесь величина деструкции в 2 раза больше, чем в восточной части Среднего Каспия, что согласуется с объемом общей продукции фитопланктона и характером грунтов (табл. 29, 35). Максимальная величина отмечается на ст. 4 Огурчинского и ст. 1 Окаремского разрезов, где грунт на 75% состоит из коричневого ила и ракушечника с илом. Ил и илистый грунт здесь составляют 75% донного отложения. Однако значения деструкции в грунтах здесь не так высоки, как в западной части. Низкое количество минерализованного органического вещества в грунтах восточного побережья Южного Каспия связано с отсутствием источников обогащения воды аллохтонным органическим веществом и с небольшой биомассой планктонных организмов. По всему участку величина деструкции довольно постоянна, что является результатом стабильного режима образования и минерализации органического вещества. Характерно, что почти нет существенной разницы в показателях деструкции между первыми и последними станциями разрезов.

Согласно результатам определения деструкции по глубинам можно заключить, что донные отложения мелководной зоны, состоящие из ракушечников и мелкозернистого песка, содержат столько же органического вещества, сколько минерализуется

Таблица 35

Деструкция органического вещества в иловых отложениях восточного побережья и в центральной части Южного Каспия

Разрез	Стан- ция	Грунт	мг С/м ² · сутки	Разрез	Стан- ция	Глуби- на, м	Грунт	мг С/м ² · сутки
<i>Восточное побережье</i>								
Гасан-Кули	1	Илистый раку- шечник	60	Жилой-Кули	3	150	Илистый	60
	2	Серый ил	80		4	170	Серый ил	40
	3	То же	80		5	140	Илистый песок	60
	4	Илистый песок	60		7	50	Ракушечник	30
					9	11	"	30
<i>Центральная часть</i>								
Окарем	1	Ракушечный ил	120	Бяндован-	1	155	Илистый раку- шечник	40
	2	Серый ил	80	Красноводск	3	760	Ракушечный ил	30
	3	То же	60		5	600	Сероватый ил	20
Ульский	1	Песок	40		7	230	Илистый песок	20
	2	Серый ил	60		9	50	Ракушечник	20
	3	Серый ил	80					
	4	Илистый раку- шечник	100	р. Кура – о-в Огур- чинский	3	951	Темный ил	20
Огурчин- ский	1	Ракушечник	60		4	840	Илистый раку- шечник	20
	2	Ил с ракушеч- ником	60		5	400	Ракушечник	20
	3	Сероватый ил	80		9	30	Песок	30
	4	Коричневый ил	120	Куринская	4	950	Ракушечный ил	20
Карагель	1	Песок	60	Коса-Ульский	5	538	Илистый раку- шечник	20
	2	Ракушечный песок	80		7	300	Серый ил	20
	3	Ракушечник	40		9	67	Илистый раку- шечник	40
	4	Илистый раку- шечник	40		12	16	Илистый песок	60
Tазабат	1	Ракушечник	60	Ленкорань- Гасан-Кули	2	540	Темный ил	20
	2	"	40		4	700	Илистый песок	20
	3	Илистый песок	30		6	500	Серый ил	20
	4	Илистый песок	60		8	70	Илистый песок	60
					10	25	Ракушечный песок	40

в илистых грунтах более глубоководной части. Как видно из табл. 35, количество минерализованного органического вещества не зависит от характера и структуры иловых отложений и на ст. 1 и 4 Тазабатского, Карагельского разрезов почти одинаково. Следовательно, в отличие от величины деструкции в донных осадках западного прибрежья в восточной части Южного Каспия она на разных глубинах мало различается. В илистых грунтах восточной части Южного Каспия величина деструкции была также ниже, чем в западной части. В мелководьях Челекенского полуострова в грунтах с примесью нефти уловить деструкцию не удалось: это наблюдается также и у причалов Красноводского, Бекдашского портов.

Основной причиной слабой седиментации и низкой концентрации органического субстрата в грунтах восточного побережья Каспийского моря являются низкая продукция планктонных и бентосных организмов, отсутствие источников поступления аллохтонного органического вещества, низкая температура иловых отложений. В конечном итоге это обусловливает слабые процессы деструкции органического вещества в грунтах.

В центральной части Южного Каспия величина деструкции органического вещества в грунтах колеблется в небольших пределах, 20–60 мг С/м² · сутки (табл. 35). Средняя величина деструкции в глубоководной части Южного Каспия в 2 раза меньше, чем в Среднем. В илистых грунтах Южного Каспия величина деструкции в 2 раза меньше, чем в Среднем. Как видно, характерная для Каспийского моря общая закономерность о сравнительно высоком содержании органического вещества в илистых грунтах оказалась неприемлемой для глубоководной части Южного Каспия. На самом деле, так и должно быть, так как самые глубоководные участки Каспийского моря находятся в центральной части Южного Каспия, над которыми были проведены наши поперечные разрезы.

Весьма показательны в этом отношении результаты определения деструкции на ст. 3, 9 р. Кура–Огурчинский; ст. 4 и 9 Куринская Коса–Ульского и ст. 2 и 10 Ленкорань–Гасан–Кулийского разрезов. Как видно из табл. 34, 35, напротив устья р. Куры при величине деструкции 480 мг С/м² · сутки в районе с глубиной 50 м на ст. 4 попечерного разреза деструкция в илестом грунте не превышает 20 мг С/м² · сутки. Небольшая величина деструкции органического вещества в илистых грунтах свидетельствует о том, что терригенные наносы р. Куры имеют ограниченное влияние на обогащение донных отложений. Исследования показали, что легкоминерализуемые компоненты органического вещества терригенных частиц р. Куры обогащают иловые отложения не дальше, чем на 15–17 миль в сторону к открытому морю. Более высокая продукция органического вещества за счет фотосинтеза фитопланктона, очевидно, успевает минерализоваться в водной массе, что и является основной причиной сравнительно высокой численности микроорганизмов воды Южного Каспия. Кроме того, низкая величина деструкции органического вещества в грунтах глубоководных участков Южного Каспия связана с температурным фактором. Не случайно, что наряду с наличием здесь самой большой глубины в придонном слое глубоководных владин Южного Каспия отмечена также самая низкая температура –4–5°. Донные отложения глубоководной владины Южного Каспия бедны еще и потому, что нет здесь такого смыва дегрита и других частиц из шельфовой зоны, как в Среднем Каспии, который постоянно обогащается осадками, богатыми органическим веществом Северного Каспия.

ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ В КРУПНЫХ ЗАЛИВАХ И БУХТАХ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Берега Каспийского моря характеризуются необычным для других морей разнообразием ландшафтов: высокие горы Большого Кавказа; хребты Багроудага и Эльбруса; субтропическая зелень южных берегов; полупустынная Кура-Араксинская низменность; обширная Прикаспийская низменность; скалистые, веками бесплодные утесы Мангышлака; пески безводных пустынь Средней Азии, болотистые низины, поросшие камышом берега Северного Каспия и др. Чрезвычайное разнообразие ландшафтов береговой полосы породило образование многочисленных заливов, бухт вдоль берега моря, и, согласно своему географическому расположению и климатическим особенностям, каждый из них представляет собой обособленный биотоп. Мелководность, достаточная прозрачность, температурный, солевой режимы и другие факторы способствуют интенсивному развитию планктона и бентоса. Большая биомасса планктона и бентоса в большинстве заливов превратила их в места нагула массы мальков рыб. Высокая численность микроорганизмов в таких мелководных и замкнутых участках вдоль берегов моря способствует интенсивной минерализации органического вещества. Как правило, основным источником обогащения воды и донных отложений здесь является фитопланктон, фитобентос и высшая водная растительность. Большая численность и высокая физиологическая активность микроорганизмов способствуют регенерации биогенных элементов отмерших фауны и флоры и обеспечивают периодическое развитие фитопланктона в течение почти всего года. Кроме того, в процессе водообмена с морем богатые органическим веществом и минеральными солями воды

Таблица 36

Суточная продукция фитопланктона в Аграханском заливе ($\text{г С}/\text{м}^2$)

Станция	Прозрачность, м			Температура, °C			Продукция		
	весна	лето	осень	весна	лето	осень	весна	лето	осень
1	0,7	1	0,9	9	22,6	10,5	0,2	2,7	2,8
2	1,0	1	1,0	10	22	14,3	0,26	3,6	3,3
3	0,8	0,8	0,6	10,6	22	15,1	0,16	1,7	1,57
4	0,4	0,6	0,8	11	23	15,3	0,24	0,8	0,9
5	0,3	0,4	0,5	11,8	24	15,1	0,16	0,4	0,55
6	0,3	0,4	0,3	11,3	24	16,0	0,11	0,3	0,43

заливов и бухт обогащают сопредельные зоны необходимыми ингредиентами, что способствует повышению общей биологической продуктивности соседних участков. Поэтому одновременно с исследованиями в открытом море мы провели наблюдение за сезонными изменениями продукции фитопланктона в некоторых крупных заливах и бухтах Каспия. Вдоль западного побережья исследования проводили в Аграханском заливе, в Бакинской, Пирсагатских бухтах и в обширном мелководном заливе им. Ки-рова, в восточном побережье – в Туркменском, Красноводском и Казахском заливах.

Аграханский залив. От параллели о-ва Чечень до о-ва Жилой у западного побережья на севере находится Аграханский залив, образованный одноименным полуостровом, представляющим собой косу, и материковым берегом. Северная часть залива расширена, по направлению к юго-западу он сильно сужается. Его глубина не превышает 4 м. К югу уменьшаются акватория и глубина залива. Растительность в этом заливе находится под непосредственным влиянием речных вод Волги, Терека и не испытывает недостатка в биогенных элементах. Зимой залив покрывается льдом. Наблюдения над первичной продукцией фитопланктона проводились на 6 станциях по направлению с севера на юг. Установлено, что температура и прозрачность воды являются главными факторами, регулирующими интенсивность фотосинтеза фитопланктона (табл. 36). Весной низкая продукция фитопланктона обусловлена низкой температурой воды и малой ее прозрачностью. Северная половина залива принимает просветленную воду Волго-Каспийского канала и в течение всего вегетационного периода оказывается достаточно продуктивной. Лишь в холодные периоды года из-за снижения температуры воды во всем заливе продукция фитопланктона не превышает $0,24 \text{ г С}/\text{м}^2 \cdot \text{сутки}$. Летом и осенью в акватории первых 3 станций продукция фитопланктона достигает $3,6 \text{ г С}/\text{м}^2$, больше чем в 10 раз продукции весной. Следует отметить, что Аграханский залив можно считать одним из высокопродуктивных участков Каспийского моря.

В пересчете на единицу объема продукция фитопланктона в Аграханском заливе составляет $0,7 \text{ мг С}/\text{л}$ и более, что превышает продукцию даже соседних участков в 5–10 раз. Однако при пересчете продукции фитопланктона на 1 м^2 из-за мелководности она оказывается сравнительно невысокой. Высокая продуктивность залива положительно сказывается на сопредельных зонах моря. Именно этим и объясняется высокий рост первичной продукции в зоне о-ва Чечень, прилегающих к нему участков юго-западного направления, где ее суточный прирост достигает $0,3\text{--}0,6 \text{ мг С}/\text{л}$. Наряду с высокой продукцией фитопланктона в Аграханском заливе величина деструкции органического вещества в воде и донных отложениях также весьма высока. Минимальные значения деструкции отмечаются весной, когда, несмотря на обогащение всей акватории органическим веществом стоков, величина деструкции не превышает $0,16 \text{ мг С}/\text{л}$. С повышением температуры воды заметно возрастает и количество минерализованного органического вещества. Характерно, что максимальная величина деструкции органического вещества в воде была отмечена не в зоне максимальной продукции фотосинтеза фитопланктона, а в районе с наименьшей прозрачностью. Летом

и осенью в зоне ст. 5 и 6 величина деструкции в воде составила соответственно 0,9 и 1,2 мг С/л · сутки, что в 2–3 раза превышает продукцию фитопланктона. Превышение деструкции над продукцией фитопланктона свидетельствует о поступлении аллохтонного органического вещества, источником которого являются стоки рек, в непосредственной близости от которых расположен залив. Величина деструкции органического вещества в иловых отложениях является одной из максимальных в Северном Каспии. В районах всех станций донные отложения состоят из темного ила, богатого дегритом. Благодаря достаточной аэрации и высокому содержанию органического вещества здесь создаются благоприятные условия для интенсивного развития микрофлоры. Поэтому при численности бактерий 5–6 млрд кл./г натурального ила величина деструкции достигает здесь 480–600 мг С/м² · сутки.

Бакинская бухта¹. Бакинская бухта является одной из крупнейших на западном побережье Каспийского моря. Ее площадь превышает 100 км². Бухта расположена между Шаховой Косой (с севера) и мысом Шихова (с запада) Апшеронского полуострова. Она хорошо защищена от господствующих ветров. Водная масса и донные отложения бухты, обогащенные органическим веществом и химическими солями, стали своеобразным биотопом.

Сезонные исследования Бакинской бухты проводили на 17 станциях, расположенных на 3 разрезах, и стационарные – на 4 разрезах, с 1960 по 1978 г. Следует отметить, что из-за сильного обогащения воды Бакинской бухты веществами главным образом промышленного и бытового происхождения продукция фитопланктона в водах бухты в течение всего года бывает низкой и колеблется в пределах 0,02–0,17 г С/м². Продукция фитопланктона в Бакинской бухте не подвержена сезонным изменениям, так как здесь фитопланктон не находит подходящих условий для развития. Поэтому кроме узкой части, соединяющей бухту с открытым морем – юго-западнее о-ва Нарген, в обширной ее акватории измеряемая продукция под 1 м² составляет сотые доли грамма в сутки. Установлено, что, кроме сапробной *Melosira var sub globosa*, в бухте не встречаются другие физиологически полноценные формы водорослей. Попавший в бухту в результате водообмена фитопланктон не может функционировать и отмирает из-за отрицательного влияния углеводородов и других компонентов. Исходя из того, что сезонные наблюдения не выявили существенной разницы в продукции фитопланктона в течение года, целесообразно привести летние данные по 4 станциям², характеризующим изменение величины первичной продукции по участкам бухты за последние 19 лет (табл. 37)³.

Как видно, по всей бухте происходит снижение продукции фитопланктона. Наиболее заметные изменения отмечаются в зонах ст. 2, 16–17, которые находятся в прибрежной и соседствующей с открытым морем частях. Большую тревогу вызывает ухудшение условий для жизнедеятельности фитопланктона в сопредельных с бухтой участках моря. Если продукция фитопланктона в районе ст. 17 в 1968 г. сократилась по сравнению с таковой в 1960 г. в 1,6 раза, то за последние 14 лет (т. е. в 1982 г. по отношению к 1968 г.) – больше чем в 21 раз. Весьма характерны также и показатели для ст. 16. Если в начальные годы наблюдений (1960–1968) изменения продукции не отмечалось, то за последние 14 лет она снизилась в 13 раз.

Таким образом, в отличие от других заливов и бухт, воды которых оказывают стимулирующее воздействие на биологическую продуктивность прилегающих участков, воды Бакинской бухты, подверженные сильному антропогенному воздействию, отрицательно сказываются и на продукции фитопланктона сопредельных с ней зон.

Деструкция органического вещества воды в Бакинской бухте проходит в довольно

¹ Микробиологический режим Бакинской бухты изучался в течение ряда лет. Результаты проведенной стационарной работы излагаются в гл. V, поэтому здесь приведен лишь материал по продукции фитопланктона и деструкции органического вещества.

² Эти станции на рисунке обозначены кружком.

³ В таблицу включены результаты работы с интервалом в 1 год.

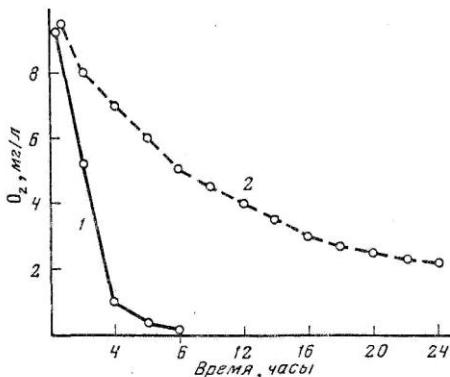


Рис. 28. Интенсивность окисления органического вещества (убыль содержания кислорода в склянках) в Бакинской бухте

1 — в зоне поступления коммунально-бытового стока; 2 — в зоне поступления промышленного стока

сложных условиях и тесно связана с особенностями поступающего аллохтонного органического вещества. Для большей наглядности на рис. 28 приводятся результаты определения деструкции в двух участках, соответствующих зонам первых станций I и II разрезов. Характерная особенность этих зон заключается в том, что в район I разреза

поступают в основном сточные воды промышленности, а в район II разреза — хозяйственно-бытовые стоки. Как видно, в зоне поступления бытовой сточной воды с концентрацией 9,3 мг O_2 /л кислород потребляется за 8–9 ч. Характерно, что за 4 ч величина израсходованного кислорода воды достигает 92,3% от первоначального, а за 1 ч — 39%. Таким образом, можно убедиться в том, что в самой бухте происходит накопление устойчивых компонентов аллохтонной органики. Кривая на рисунке свидетельствует о том, что минерализация аллохтонного органического вещества, значительную долю которого в зоне промышленного загрязнения составляют углеводороды, протекает гораздо медленнее и через 22–24 ч остается почти на прежнем уровне при наличии 15–20% кислорода от первоначального. При дальнейшей экспозиции в течение 48 ч на окисление субстрата было израсходовано 1,6, за 72 ч — 0,8% кислорода.

Пирсагатская бухта расположена между мысами Пирсагат и Бяндован. Она ограничена со стороны моря каменистой грядой. Вдоль берега тянутся песчаные бугры. Эта равнина когда-то представляла собой дно ныне высохшего Пирсагатского залива. Каменистое прибрежье и твердый грунт покрыты фитобентосом, большая биомасса которого после отмирания подвергается интенсивной минерализации, в результате чего создаются условия и для развития планктонных организмов.

Максимальная глубина Пирсагатской бухты 4 м. В районе островов Бакинского архипелага, которые расположены в непосредственной близости от Пирсагатской бухты, представляло интерес определить, насколько этот участок подвергается антропогенному воздействию. Стационарные наблюдения проводили на 4 станциях в юго-восточном направлении, кроме сезонных исследований, в летний период в течение нескольких лет (в 1963, 1969 и 1976 гг.). Так как результаты определения первичной продукции фитопланктона двух предыдущих периодов оказались довольно близкими и различие отмечалось лишь в последний год, в табл. 38 приводятся средние данные за все три периода.

Как видно, продукция фитопланктона в бухте в течение всего года довольно высока. Являясь одним из продуктивных участков в западном прибрежье Южного Каспия, Пирсагатская бухта оказывает благотворное влияние и на общую биологическую продуктивность прилегающих зон.

На первый взгляд из приведенных данных следует, что здесь сложились условия, благоприятные для развития планктонных и бентосных организмов. Однако многолетние наблюдения показали, что в Пирсагатской бухте в последние годы происходят заметные изменения биологического режима. Основная причина этих изменений — возрастающее поступление углеводородов из соседних участков моря. Географическое расположение бухты сделало ее легкоуязвимой, открытой для северо-восточных, восточных и юго-восточных ветров, что способствует накоплению всевозможных продуктов антропогенного происхождения на длительное время в результате сгонно-нагонных явлений. Многолетние исследования показывают, что в Пирсагатской бухте отмечается

Таблица 37

Суточная продукция фитопланктона в Бакинской бухте (г С/м^2) в июне–июле

Год	Станция				Год	Станция			
	2	4	16	17		2	4	16	17
1960	0,04	0,11	0,4	2,1	1972	0,01	0,04	0,3	0,6
1962	0,02	0,13	0,9	2,3	1974	0,01	0,03	0,11	0,3
1964	0,02	0,09	0,6	1,8	1976	0,006	0,04	0,07	0,21
1966	0,03	0,08	0,7	1,9	1978	0,004	0,05	0,03	0,06
1968	0,01	0,08	0,6	1,3	1980	0,003	0,06	0,02	0,05
1970	0,02	0,06	0,4	0,9	1982	0,003	0,07	0,02	0,05

Таблица 38

Сезонные изменения суточной продукции фитопланктона в Пирсагатской бухте (г С/м^2)

Станция	Зима	Весна	Лето	Осень
1	0,2	0,8	1,5	2,5
2	0,3	0,9	1,9	2,6
3	0,4	1,2	2,4	3,1
4	0,6	1,3	2,6	3,4
Средняя	0,4	1,05	2,1	2,9

Таблица 39

Суточная продукция фитопланктона (г С/м^2) в Пирсагатской бухте летом

Год	Станция				Год	Станция			
	1	2	3	4		1	2	3	4
1960	0,90	1,40	2,60	3,3	1972	0,44	0,70	1,00	1,74
1962	1,30	1,70	3,20	3,7	1974	0,10	0,43	1,11	1,46
1964	1,10	1,60	2,90	3,2	1976	0,03	0,40	0,91	1,10
1966	1,00	1,40	2,10	2,90	1978	0,03	0,27	0,66	0,90
1968	0,90	1,16	1,60	3,10	1982	0,02	0,22	0,50	0,73
1970	0,70	1,60	1,68	2,10					

тенденция к резкому ухудшению качества воды, что приводит к снижению продукции фитопланктона и фитобентоса. Можно было наблюдать визуально отмирание фитобентоса, особенно в прибрежной полосе, вдоль побережья у каменной гряды. Характерным можно считать снижение первичной продукции фитопланктона, которая является основным источником органического вещества для общей биологической продуктивности данного региона (табл. 39). Судя по многолетним наблюдениям с 1960 по 1968 г., продукция фитопланктона летом в зоне всех станций почти не претерпевает существенных изменений, в то время как с 1968 по 1978 г. продукция фитопланктона в прибрежной зоне (ст. 1) сократилась в 30 раз (в районе остальных станций соответственно в 5,2, 5 и 3,5 раза).

Резкое уменьшение продукции фитопланктона в прибрежной зоне бухты свидетельствует о сильном загрязнении мелководного участка и расширении загрязнения в сторону открытого моря.

Изменение закономерностей биологической продуктивности этого региона не может не вызвать тревоги, если учесть значение Пирсагатской бухты и прилегающих к ней участков для нагула прикуринского стада рыб.

Деструкция органического вещества воды в течение года (за исключением зимы) довольно высока и колеблется в пределах 0,9–1,2 мг С/л · сутки, что в 1,5–2 раза превышает продукцию фитопланктона. Величина деструкции в грунтах составляет 160–200 мг С/м² · сутки⁻¹. Эти довольно высокие величины, если учесть, что почти 85% дна бухты покрыто твердой глиной с примесью крупнозернистого песка. Донные отложения содержат крупный детрит и визуально лишены остатков углеводородов, что и способствует интенсивной минерализации органического вещества микроорганизмами.

Переходим к описанию результатов исследований по заливам, расположенным в восточном прибрежье Каспия.

Туркменский залив расположен между берегом материка и южным берегом п-ова Челекен, вогнутым к югу, а со стороны моря – ограничен узким о-вом Огурчинским, вогнутым в меридиональном направлении. На севере Туркменский залив сообщается с морем по Челекено-Огурчинскому проливу. Северо-восточное его побережье сильно изрезано, благодаря чему образуется ряд мелких кос и заливчиков. Глубина 1,2–8 м. С юга залив свободно сообщается с морем.

Сезонное исследование проводилось на 3 станциях, расположенных на одинаковом расстоянии одна от другой по направлению от берега материка к восточной части о-ва Огурчинского. Следует отметить, что, как и во всей акватории восточного побережья Южного Каспия, максимальная продукция фитопланктона отмечается здесь зимой. Причем наивысшая продукция фитопланктона весной и зимой наблюдается в центральной части залива – 2,3 г С/м². Средняя величина первичной продукции зимой, весной, летом и осенью составляет соответственно 1,9, 1,3, 1,17 и 1,6 г С/м². Особый термический режим воды, климатические условия, расположение участка играют существенную роль в формировании биологической продуктивности и круговороте веществ в заливе; интенсивный прогрев воды летом (30° и выше) способствует интенсивному круговороту органического вещества и быстрой регенерации биогенных элементов. Свободный водообмен залива с морем является существенным фактором для развития фитопланктона в прилежащем участке моря глубиной 10–15 м Ульского, Огурчинского и Карагельского разрезов. Здесь продукция фитопланктона за весь год бывает сравнительно высокой.

Во всем восточном побережье Каспийского моря по первичной продукции, численности и биомассе микроорганизмов Туркменский залив является самым высокопродуктивным участком. Здесь наблюдаются высокие значения деструкции органического вещества в воде и грунте. Зимой и весной величина деструкции сравнительно низка и не превышает 0,2 мг С/л. Летом и осенью она резко возрастает и достигает 0,7–0,8 мг С/л, что гораздо больше, чем продукция фитопланктона. Сравнительно высокая деструкция при одновременном снижении продукции фитопланктона отмечается в зоне прибрежья. Величина деструкции в грунтах Туркменского залива составляет 200–300 мг С/м² · сутки. Необходимо отметить, что в последние годы появление признаков насыщения углеводородами прибрежной полосы и донных отложений мелководий у п-ова Челекен неблагоприятно скажется на водах Туркменского залива.

Красноводский залив – один из крупных на Каспии; он ограничен с юга северным берегом п-ова Челекен, с запада – косами Северной Челекенской и Красноводской, между которыми образован вход в залив. Залив мелководен, вследствие чего судоходство в нем до Красноводска осуществляется по каналу.

Исследования по сезонам проводили на 3 станциях, расположенных с востока на запад, у причала, в середине и у выхода в море. Установлено, что продукция фитопланктона в Красноводской бухте зимой не превышает 0,3 г С/м² · сутки, весной колеблется в пределах 0,6–1,9, летом – 0,4–2,1, осенью – 0,2–0,9 г С/м² · сутки.

В течение года наименьшая продукция фитопланктона отмечается в зоне портов–причалов, где она варьирует в близких пределах 0,2–0,6 г С/м². Максимальной про-

дукцией фитопланктона характеризуется центральная часть залива – 0,9–2,1 г С/м² · сутки, что в среднем превышает продукцию прибрежной зоны в 6, а сопредельной с морем зоны – в 4 раза. Следует отметить, что прибрежная зона залива подвержена загрязнению отходами города. Замкнутость залива при наличии огромной массы аллохтонного органического вещества сравнительно высокая. Прогреваемость воды, особенно в летние месяцы, способствует интенсивной минерализации субстрата в донных отложениях анаэробными микроорганизмами. Деструкция органического вещества в водной толще также оказалась достаточно высокой. Величина деструкции летом, осенью и во второй половине весны превышала продукцию фитопланктона в 3–4 раза, что является результатом высокого содержания аллохтонного органического вещества. В грунтах, насыщенных углеводородами, величина деструкции не превышала 40–60 мг С/м² · сутки. В грунтах других участков залива она также сравнительно невелика (160–200 мг С/м² · сутки), что является результатом интенсивных анаэробных процессов, которые подавляют развитие и физиологическую активность основной массы – аэробных микроорганизмов.

Казахский залив находится между мысами Ракушечный и Адамташ и вдается в сушу на 45 км. Он открыт, довольно глубок и свободно сообщается с морем.

Изучение продукции фитопланктона проводили по сезонам на 4 станциях, расположенных с востока на запад по центральной зоне залива. Судя по результатам наблюдений, этот обширный залив по уровню продукции фитопланктона аналогичен соседствующим участкам шельфовой зоны. Среди других изученных нами заливов он оказался наименее продуктивным. Среднегодовая величина первичной продукции органического вещества колебалась здесь в пределах 0,1–0,3 г С/м². В зимний и весенний сезоны продукция фитопланктона не превышала 0,11, летом – 0,3, осенью – 0,13 г С/м². Отсутствие антропогенного загрязнения и низкая величина продукции фитопланктона коррелировали со слабо идущими процессами деструкции органического вещества в воде зимой и весной. Летом и осенью деструкция составляла 0,02–0,06 мг С/л · сутки. Величина деструкции органического вещества в донных отложениях, состоящих из ракушечника, не превышала 50 мг С/м² · сутки.

ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ В АКВАТОРИЯХ, ОКРУЖАЮЩИХ ОСТРОВА КАСПИЙСКОГО МОРЯ

На Каспийском море много островов и банок, которые расположены преимущественно в северной и южной его частях. В Среднем Каспии их почти нет.

При среднем многолетнем уровне Каспия площадь островов в северной части моря равна 740 км², в средней части – 120 км², в южной – 1300 км², что в сумме составляет 2160 км² (Гюль и др., 1971). Исходя из современного уровня моря, площадь островов составляет около 0,6% площади Каспия.

Приведенные весьма краткие сведения об островах, как справедливо указывают Г.К. Гюль и др. (1971), в связи с колебаниями уровня Каспийского моря лишь приблизенно характеризуют действительную, беспрерывно изменяющуюся их морфометрию.

В связи с падением уровня моря некоторые острова превратились в полуострова (Челекен, Сара), другие, соединившиеся с соседними, стали значительно крупнее, например о-в Чечень, который слился с островами Пичугин и Лопатин. Из-за обмеления мелководной зоны образовались и новые острова за счет неглубоких банок: Джамбайский, Новинский, Жесткий, Укатный и др. Как правило, острова Каспийского моря расположены в прибрежной зоне и окружены мелководьем, общей площадью десятки тысяч гектар. Своеобразный термический, газовый, солевой режимы, особенности донных отложений, полное перемешивание водной массы и другие факторы способствуют интенсивному развитию фауны и флоры акватории каждого из них. Сравнительно высокая биомасса кормовых объектов превратила зону вокруг большинства островов в места массового нагула рыб.

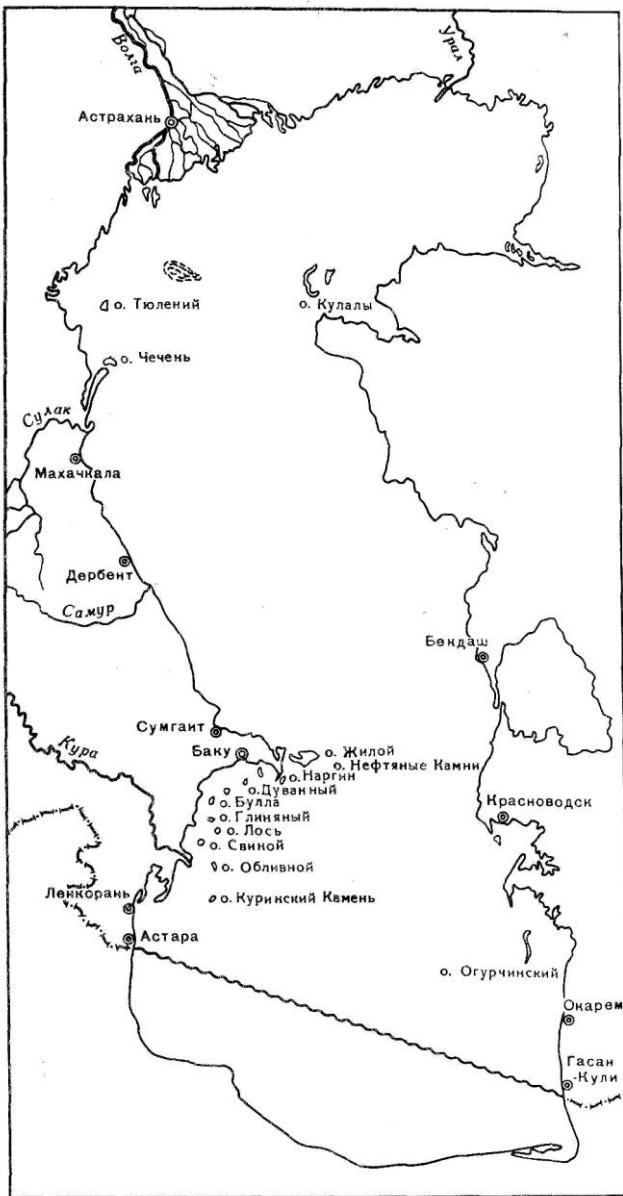


Рис. 29. Карта-схема островов Каспийского моря, в акватории которых проводились исследования

В связи с указанным выше представляло научный и практический интерес определить продукцию фитопланктона, степень минерализации органического вещества воды, грунтов акватории островов и выяснить влияние этих участков на биологическую продуктивность прилегающих зон. С этой целью изучалась акватория 20 островов Каспийского моря (рис. 29). В Северном Каспии исследована акватория островов Тюлений, Чечень, мелководья Средней Жемчужной и Кулалы. Акватории этих островов в большинстве случаев зимой замерзают.

Зона вокруг всех исследованных островов северо-западной части Северного Кас-

пия характеризуется довольно высокой продукцией фитопланктона, интенсивное развитие которого начинается со второй половины марта, когда температура воды быстро повышается. Величина первичной продукции фитопланктона весной у Средней Жемчужной составляет 0,46, у северной, западной и юго-западной частях о-ва Тюлений соответственно 0,66, 1,3, 1,6 г С/м²; у акватории вокруг о-ва Чечень определение первичной продукции фитопланктона проводилось на 4 станциях: северной, восточной, западной и южной. Суточная продукция фитопланктона варьирует от 0,6 до 1,8 г С/м² за исключением западного участка, где из-за взмучивания прозрачность понижена. Среднесуточная продукция фитопланктона в акваториях этих островов на 35–40% превышает продукцию прилегающих зон, несмотря на то, что вся западная часть Северного Каспия высокопродуктивна.

Летом продукция фитопланктона в акваториях этих островов в среднем увеличивается в 4–5 раз по сравнению с весенней. В некоторых участках, как, например, в западном мелководье Средней Жемчужной, о-ва Тюлений и северной, северо-западной зон о-ва Чечень, продукция фитопланктона достигает 3–4,3 г С/м² · сутки, что в 1,5–2 раза выше, чем в соседних участках моря.

Осенью у островов, как и по всему Северному Каспию, отмечается снижение суточной продукции фитопланктона. Более или менее высокая продукция сохраняется в юго-восточной части Средней Жемчужной – от 1,9 до 2,4 г С/м². В окружной зоне остальных островов продукция фитопланктона не так значительно отличается от соседних участков.

Вследствие сравнительно высокой продукции фитопланктона, наличия алохтонного органического вещества, активного контакта воды с грунтом величина деструкции органического вещества воды и иловых отложений летом и осенью в акваториях изученных островов весьма высока. Средние значения деструкции в воде летом составляют 0,9–1,4, осенью – 0,6–0,8 мг С/л · сутки, что в 1,5 раза превышает продукцию фитопланктона. Деструкция органического вещества в грунтах колеблется в пределах 120–460 мг С/м² · сутки. Низкие величины деструкции отмечаются в грунтах акваторий Средней Жемчужной, о-ва Тюлений, где они состоят из ракушечника и темного ила. Сравнительно невысокие величины деструкции органического вещества в иловых отложениях характерны для всех илистых грунтов западной части Среднего Каспия, что объясняется преобладанием в них анаэробных процессов распада органического вещества.

В восточной части Северного Каспия из групп островов изучена лишь акватория о-ва Кулалы. Судя по результатам исследований, в вогнутых и сильно изрезанных его частях летом и осенью в огромном количестве скапливаются и подвергаются гниению растительные остатки (в основном зостера), вследствие чего образуется сероводород и другие продукты анаэробного распада. В чистых и открытых участках о-ва Кулалы величина продукции фитопланктона за весь вегетационный период не очень высока – от 0,06 до 0,9 г С/м² · сутки. Низкий рост первичной продукции в акватории о-ва Кулалы связан с малой продуктивностью всего участка, что объясняется главным образом нехваткой биогенных элементов.

В западном прибрежье Среднего Каспия исследования проводились в акваториях островов Артема, Жилого, Камни Два брата, в восточной части – у единственного небольшого о-ва Караада, прикрывающего бухту Бекдаш с запада. Акватория последних двух островов, состоящих из скал, согласно результатам определения продукции фитопланктона, почти не отличается от соседних открытых участков моря. В акватории о-ва Артем определение продукции фитопланктона проводилось на 3 станциях, расположенных между островом и материком (1), в юго-западной части (2) и в зоне мелководья восточной кромки (3).

Сезонные наблюдения показали, что развитие фитопланктона в районе первой станции сильно подавлено в течение всего года. Величина продукции фотосинтеза фитопланктона варьировала от 0,03 до 0,09 г С/м². В этой обширной замкнутой части акватории о-ва Артем вследствие содержания в воде и донных отложениях нефтяных остат-

ков весьма низки и значения деструкции органического вещества. Величина продукции фитопланктона не очень высока и в зоне ст. 2, несмотря на то, что этот участок открыт и свободно сообщается с прилегающими водами. Здесь продукция фитопланктона максимальна осенью, но не превышает 1 г С/м² · сутки зимой; весной и летом она составляет соответственно 0,09, 0,36, 0,84 г С/м² · сутки. Восточная часть острова по сравнению с другими участками характеризуется сравнительно высокой продукцией фитопланктона: но этот максимум, составляющий лишь 0,6 г С/м², не так уж велик и вряд ли может положительно повлиять на общую биологическую продуктивность района острова.

Величина деструкции в грунтах ст. 1 и 2 30–40, на ст. 3 – 60 мг С/м² · сутки.

Возможно, в результате периодического обмена водой замкнутой юго-западной части острова с морем обогащенная углеводородами вода, смешиваясь с водной массой соседних участков, отрицательно оказывается на развитии планктонных организмов. Акватория о-ва Жилого изучена в его юго-восточной части на 3 станциях. Прежде всего следует отметить, что акватория мало загрязнена. Прозрачность воды достигает дна, состоящего из крупнозернистого песка с незначительным ракушечником. Среднесуточная продукция по всем 3 станциям составляет зимой, весной, летом и осенью соответственно 0,5, 0,8, 1,9 и 1,6 г С/м²; эти величины довольно высокие и превышают продукцию фитопланктона глубоководных, прилегающих к нему участков в 4–6 раз.

Учитывая, что о-в Жилой расположен далеко от западного берега и находится в зоне глубин 10 м, можно было предположить наличие сравнительно высокой продуктивности обширной его акватории. Каменистое северное и северо-западное дно акватории покрыто фитобентосом, который после массового отмирания минерализуется микроорганизмами. Высокое значение деструкции органического вещества воды является этому доказательством. Кроме зимнего сезона, когда величина деструкции органического вещества не превышает 0,07 мг С/л, в другие сезоны она довольно высока – 0,3–0,9 мг С/л · сутки.

Согласно принятому разделению, о-в Нефтяные Камни из островов Апшеронского архипелага относится к южной части моря. В акватории о-ва Нефтяные Камни изучение первичной продукции фитопланктона проводилось на 4 станциях, расположенных вдоль главной эстакады, начиная от подножья скалистого центра по направлению к юго-западу. Расстояние между станциями составляло примерно 750–800 м; глубина зоны наблюдения – 1,4–13 м.

Установлено, что в прибрежной зоне, закрытой камнями, эстакадой и другими сооружениями, в бухточках сильно нарушены условия развития фитобентоса и фитопланктона. Отмечается наличие нефти в поверхностном слое воды и в грунтах вокруг острова. Плавающие на поверхности воды "островки" нефти всевозможных оттенков встречаются и в районах, удаленных от о-ва Нефтяные Камни. В связи с хроническим попаданием нефти и ее компонентов в акватории этого уникального острова нарушены закономерности круговорота веществ и формирования биологической продуктивности. Судя по результатам проведенных стационарных исследований в течение ряда лет, акватория Нефтяных Камней характеризуется тем, что здесь во все сезоны года продукция фитопланктона и величина деструкции органического вещества минимальны (табл. 40).

Южный Каспий, как и северная часть моря, богат островами. Южнее Апшеронского полуострова находятся острова Нарган, Вульф, Песчаный. Эти острова из-за падения уровня моря почти соединены один с другим, а с юго-востока свободно сообщаются с морем. Проведенные наблюдения не выявили отличительных особенностей в продукции фитопланктона и деструкции органического вещества акватории на этих островах. Но юго-западное побережье подвержено антропогенным воздействиям. Между Бакинской бухтой и Куринской косой находится много островов. Указанный район подвержен вулканической деятельности, наблюдавшейся ранее и не прекращающейся до настоящего времени. Извержения грязевых вулканов являются причиной попадания в акватории островов Бакинского архипелага жидкой грязи. Несмотря на эти природные явления, приводящие к изменению рельефа дна, конфигурации, высоты, размеров

Таблица 40

Суточная продукция фитопланктона (г С/м^2) и деструкция органического вещества (мг С/л) у о-ва Нефтяные Камни по сезонам в 1978 г.

Станция	Продукция	Деструкция	Продукция	Деструкция	Продукция	Деструкция	Продукция	Деструкция
Зима								
1	0,03	00	0,03	0,06	0,07	0,09	0,01	0,10
2	0,01	0,03	0,06	0,09	0,11	0,21	0,3	0,27
3	0,01	0,03	0,07	0,07	0,13	0,20	0,24	0,33
4	0,01	00	0,03	00	0,09	00	0,09	00
	<i>0,02</i>		<i>0,05</i>		<i>0,10</i>		<i>0,16</i>	
Весна								
Лето								
Осень								

Таблица 41

Изменение продукции фитопланктона у островов Бакинского архипелага по сезонам ($\text{г С/м}^2 \cdot \text{сутки}$)

Остров	1961 г.	1969 г.	1977 г.	1961 г.	1969 г.	1977 г.	1961 г.	1969 г.	1977 г.	1961 г.	1969 г.	1977 г.
Зима												
Булла	1,0	0,6	0,4	0,6	0,3	0,4	1,3	0,9	0,6	2,5	0,9	0,6
Лось	0,6	0,7	0,3	1,4	0,4	0,4	1,4	0,7	0,6	2,6	0,9	0,8
Глиня- ный	0,3	0,4	0,3	0,7	0,4	0,3	1,6	1,0	0,7	2,3	1,3	0,9
Свиной	0,8	0,7	0,4	1,2	0,7	0,3	1,5	0,8	0,4	2,6	0,7	0,9
Дуван- ный	0,6	0,4	0,3	0,9	0,4	0,4	0,6	0,3	0,2	1,3	0,7	0,6
Облив- ной	<i>0,9</i>	<i>0,7</i>	<i>0,3</i>	<i>0,7</i>	<i>0,3</i>	<i>0,3</i>	<i>1,0</i>	<i>0,3</i>	<i>0,3</i>	<i>2,5</i>	<i>0,4</i>	<i>0,3</i>
Курин- ский	1,2	0,9	1,2	1,3	1,4	1,6	1,6	1,8	1,9	2,8	3,7	3,3
Камень												

островов и положению банок, обширная зона островов Бакинского архипелага была и остается одним из излюбленных нагульных площадей рыбного стада прикуринского района, значение которого трудно переоценить. Поэтому зона вокруг акватории островов Бакинского архипелага была в центре внимания во все периоды наших исследований.

Посезонное определение продукции фитопланктона зоны островов Бакинского архипелага проводилось в 1961, 1969 и 1977 гг., а стационарное — в июне—июле ежегодно с 1960 по 1978 г. Результаты исследований, проведенных в 1961, 1969 гг., показали, что весь район островов Буллы, Лося, Глиняного, Обливного, Дуванного, Свиного характеризовался значительно высокой продукцией фитопланктона, с небольшим снижением с декабря по февраль (Салманов, 1964, 1968, 1975). До 1966 г. акватория островов (за исключением о-ва Дуванного) была чистой. В последние годы в прибрежных зонах почти всех островов появились нефтяные пленки, которые не могли не повлиять на фауну и флору данного биотопа.

Сезонные наблюдения показали, что отмечается тенденция к снижению продукции фитопланктона в последние годы (табл. 41).

Однако, судя по результатам проведенных исследований в зоне о-ва Куринский Камень, за все периоды исследования в этом районе в продукции фитопланктона произошли изменения лишь в сторону увеличения. Этот факт еще раз свидетельствует о том, что районы моря, не подверженные антропогенному воздействию, сохраняют стабильность.

Таблица 42

Продукция фитопланктона у островов Бакинского архипелага в летний сезон
(г С/м² · сутки)

Остров	1960 г.	1962 г.	1964 г.	1966 г.	1968 г.	1970 г.	1972 г.	1974 г.	1976 г.	1978 г.
Булла	1,3	1,2	2,1	1,9	1,2	0,9	0,7	0,6	0,6	0,4
Лось	1,4	1,2	1,0	1,3	0,9	0,7	0,7	0,8	0,5	0,3
Глиняный	1,7	1,7	2,1	1,0	1,0	0,9	1,1	1,3	0,9	0,6
Свиной	1,4	1,7	1,5	1,1	0,9	0,6	0,7	0,4	0,4	0,3
Дуванный	0,7	0,6	0,7	1,0	0,6	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2
Обливной	1,3	1,2	1,1	0,9	1,0	0,4	0,3	0,2	0,3	0,2

бильность процессов круговорота веществ, формирования биологической продуктивности.

Результаты изучения продукции фитопланктона за последние 19 лет в июне–июле четко характеризуют создавшееся положение в районе островов Бакинского архипелага (табл. 42).

Из табл. 42 видно, что в акваториях у островов продукция фитопланктона за последние 10 лет в среднем сократилась в 2 раза. Характерно, что резкое снижение продукции фитопланктона произошло после 1974 г. Таким образом, установлено, что за 1976 и 1978 гг. летом продукция фитопланктона в среднем по всему участку сократилась настолько же, насколько она уменьшилась в течение предшествовавших 7 лет (1968–1974 гг.). Об общих причинах изменения продукции фитопланктона западного прибрежья подробно сказано выше; результаты определения деструкции воды и грунтов шельфовой зоны также аналогичны приведенным выше.

Изучение продукции фитопланктона Каспийского моря в течение 25 лет показало, что это море отличается от других внутренних водоемов земного шара. Особенности формирования биологической продуктивности в нем тесно связаны с климатическими, гидрологическими и другими условиями каждого из трех его районов. Кроме большого различия в величинах продукции по меридиану, оно более контрастно выражено и в широтном направлении. Посезонные исследования выявили значение экологических условий, определяющих развитие фитопланктона и его физиологическую активность в различные сезоны года. Одним из важных факторов является различие климатических условий в отдельных регионах Каспийского моря. В частности, когда в Северном Каспии зимой вода покрывается льдом и фитопланктон беден, в Южном Каспии происходит "цветение" диатомовых водорослей. Сроки и сезоны максимального образования продукции фитопланктона в разных участках моря весьма различны. Если максимум продукции фитопланктона в Северном Каспии отмечается летом, то в Среднем – осенью, в Южном – весной.

Существенное влияние на продукцию фитопланктона и интенсивность деструкции органического вещества в Каспии оказывают речные и коммунально-бытовые стоки. Их отсутствие в восточной части моря определяет экологическую обстановку на восточном шельфе, который характеризуется минимальной продукцией планктона и бентоса. При этом нельзя не учесть и значения аллохтонного органического вещества, несмотря на то, что в общем балансе его удельный вес составляет лишь 5,4% от продукции фитопланктона. В распределении продукции фитопланктона, в частности в формировании трофогенного слоя, интенсивности минерализации органического вещества существенное значение имеют температура, прозрачность, особенности структуры донных отложений и другие факторы.

Таким образом, для определения величины продукции фитопланктона, минерализации органического вещества в Каспии необходимо было учесть указанные выше фак-

торы и провести планомерные исследования во всех участках моря. В связи с этим невозможно перенести результаты исследований одной части на другую. Следовательно, основываясь на данные одних сезонов или одного участка, подытоживающих результаты, полученные путем экстраполяции, оказались бы далеки от реальных данных. В этом и заключается основная причина расхождения итоговых результатов предыдущих исследователей, касающихся продукции фитопланктона как всего Каспия, так и отдельных его участков (Бруевич, 1937; Винецкая, 1968; Федосов, Барсукова, 1959; Дацко, 1959; Кузьмичева, Бондаренко, 1975). По-видимому, колебание результатов повторных исследований даже в одном регионе следует считать закономерным, если они не отличаются один от другого на 200–300%. Говоря о "расхождении", мы имели в виду именно такого рода колебания.

Многолетние повторные исследования, проведенные нами в западном шельфе Среднего и Южного Каспия, показали, что разница в сумме межгодовых и межsezонных изменений продукции фитопланктона за последние 12–18 лет не превышает 7–11%. Поэтому указанную величину годовой продукции фитопланктона Северного Каспия – 20 млн т органического вещества (Федосов, Барсукова, 1959; Н.И. Винецкая (цит. по: Марти, 1974)) подсчитали в июле–августе за один месяц. Как видно, получены противоречивые результаты, которые не могут быть приемлемы для сравнения. В наших исследованиях подтверждается лишь высокопродуктивность западного шельфа, причиной которой является в основном речной сток. Связь продукции фитопланктона с биогенным стоком рек хорошо изучена Н.И. Винецкой в Северном Каспии (1962, 1966а, б, 1968). В Среднем и Южном Каспии этот весьма важный вопрос нуждается в дальнейшем выяснении. Лимитирующая роль фосфора в популяции фитопланктона выяснена в достаточной степени, но другого, немаловажного элемента – азота – изучена слабо. Определение значения минерального азота в продукции фитопланктона приобретает особую ценность в восточном, малопродуктивном побережье Каспия.

Роль биогенных элементов в трофике морей и океанов в последние годы изучается как отечественными, так и зарубежными исследователями (Сорокин, 1977а; Брофман, 1977; Алдакимова, 1976; Morita, 1973; Ole, 1977; Steemann Nielsen, 1975; Walsh, 1974; Bougis, 1974; и др.), но различие в методическом подходе затрудняет обсуждение полученных результатов (Bunt, 1975). Наряду с биогенными элементами большое внимание уделено и изучению первичной продукции фитопланктона морей и океанов (Кабанова и др., 1975; Россова, 1977; Сухорук, Шуляковский, 1977; Марголина, 1977; Сорокин, 1977б; Шуляковский, 1978; Andersen, 1979; Sournia, 1977; Grand, 1975; Schmidt, 1978; Scott, Jitts, 1977; Rose, 1978).

Тем не менее в исследованиях предшествовавших авторов отсутствуют суммарные результаты, полученные на основании посезонных, годовых наблюдений для всей акватории того или другого водоема. Такие наблюдения и расчеты имеются лишь для Рыбинского водохранилища.

Несмотря на это, мы сочли необходимым сравнить величину продукции Каспийского моря с другими морскими водоемами, в которых проводились подобные, хотя и неполные исследования.

Итак, годовая продукция в Каспийском море составляет 114,7 млн т С, а из расчета на 1 м² – 309 г/год. Как правило, продукция фитопланктона в зависимости от особенностей отдельных участков выражается в различных величинах: они колеблются от 130 до 716 г С/м² · год. В Каспийском море, судя по величинам продукции фитопланктона и бактериальной биомассе, существуют эвтрофные, мезотрофные и олиготрофные участки, площадь каждого из них достигает десятки тысяч квадратных километров. Кроме того, в обширной зоне островов Бакинского архипелага, прикуринского района и акватории главных рукавов Волги продукция фитопланктона на единицу площади достигает 800–900 г С/год. Средняя величина продукции фитопланктона Каспийского моря на единицу площади превышает таковую Черного моря почти в 3 раза (Сорокин, 1962), Азовского – 1,8 раза (Брофман, 1977), Аральского – 7–8 раз (Новожилова, 1973), эвтрофированных участков Балтийского моря в районах Хель-

синки и Эспо – 2–3 раза (Lehmusluoto, Pesonen, 1973; Horstman, 1975; Kaisar, Schuls, 1975; Askefors et al., 1975), Баренцева моря (прибрежные районы) – 10–12 раз (Соловьева, 1976) и т.д.

Как видно, Каспийское море является одним из наиболее высокопродуктивных морей планеты. Средняя величина продукции фитопланктона для всей акватории Каспийского моря приравнивается лишь к продукции эвтрофированных участков Балтийского моря – Щецинский залив (Wictor, 1975) – Гданской впадины (Renk, 1975), Адриатического моря (Fochrenbach, 1975), Бенгальского залива, Северо-Восточной части Аравийского моря (Radhakrishna, Devassy, 1978). Сравнительно высокая продукция фитопланктона отмечается в Мангровом заливе – до 400 г С/м² (Andersen, 1979), в коралловых рифах – 500–600 г С/м² (Sournia, 1977; Сорокин, 1971; Martin, 1975; Ricard, 1976; Koops, 1976).

Многолетние исследования показали, что суммарная величина продукции фитопланктона в большинстве участков моря остается относительно стабильной. Изменение продукции отмечено в основном у западного шельфа Южного Каспия. Причиной изменения продукции фитопланктона является антропогенный фактор. Результаты перераспределения продукции фитопланктона подробно изложены в гл. V. Отметим лишь, что снижение продуктивности мелководных зон вдоль западного прибрежья Южного Каспия, включая и акватории окружения островов Бакинского архипелага, не может не вызывать беспокойства. Антропогенное загрязнение причинило ущерб гидрофауне на его западном шельфе, где формируется кормовая база и происходит нагул рыбного населения Каспия. Снижение биомассы планктонных и бентосных организмов этих жизненно важных площадей, которая за последние 10–15 лет сократилась в 6–14 раз, связано с антропогенными факторами (Касымов, 1967; Абдурахманов и др., 1967; Салманов, 1967, 1968, 1974, 1975; Маилян, 1967; Бадалов, 1968; Алиев, Пятакова, 1967; Алигаджиев, Абдулмаджидов, 1977). Среди поступающих токсикиантов большую опасность представляет нефть и продукты ее переработки, биодеградация которых усложняется в зависимости от их концентрации, химического состава, особенностей экологических условий и др.. Среди сбрасываемых токсикиантов особенно вредны также соли тяжелых металлов. Их отрицательному влиянию на фауну и флору посвящено много работ как в СССР, так и за рубежом (Изъюрова, 1950, 1955; Миронов, 1968, 1969, 1971, 1973, 1975; Миронов и др., 1975; Миронов, Тархова, 1975; Драчев, 1964; Лебедь, Миронов, 1973; Драчев и др., 1960; Гак, 1967; Стобунов, 1968, 1971, 1976; Врочинский, 1976; Финогенова, 1976; Dierichs, 1956; Zo Bell, 1964, 1969, 1973; Patel, Grant, 1969; Child, Haskins, 1970; Stivens, 1964; Iturriaga, Rheinheimer, 1972; Reinfeld et al., 1972; Koops, 1976; Tiominen et al., 1976). Однако последствия антропогенного загрязнения Каспийского моря нуждаются в дальнейшем изучении специалистами широкого профиля.

Признаки антропогенного эвтрофирования были отмечены нами в начале 60-х годов лишь в районе Апшеронского полуострова, но в 70-х годах они достигли прикуринского района моря. При загрязнении массовое развитие микропланктона отмечается не у самого берега, куда поступает алюхтонное вещество, а в зоне 50–100-метровых глубин. Как известно, антропогенное эвтрофирование водоемов носит глобальный характер и широко распространено в водоемах всех континентов (Мусатов, 1976; Врочинский, 1976; Финогенова, 1976; Зайцев, 1977; Bougis, 1974; Commoner, 1974; Lieth, 1974; Ogura, 1975; Gocke, 1977; King, Schramm, 1976; Costellvi, 1976).

Наличие этого фактора в Каспии, особенно в его высокопродуктивной части, чревато большими осложнениями. Во-первых, в прибрежной полосе развитие планктона подавлено промышленным стоком и низкой прозрачностью воды. Следовательно, снижается биомасса кормовых объектов и биогенные элементы антропогенного происхождения не могут быть вовлечены в биологический круговорот в мелководной зоне. Во-вторых, большая биомасса фитопланктона в глубоководных районах после отмирания способствует усилиению расхода кислорода воды гетеротрофной микрофлорой, что может привести к анаэробиозу. Вызывает тревогу снижение продукции бактериопланктона

в мелководной зоне островов, где происходит нагул мальков промысловых рыб Южного Каспия. Острова, как и коралловые рифы в океанах, являются обособленными экосистемами. Они расположены в мелководном шельфе, вокруг их акватории развиваются планктонные и бентосные организмы. Общая площадь островов в Каспии составляет 0,6% площади моря, что в 6–7 раз больше, чем площадь коралловых рифов по отношению к океанам (Гюль и др., 1971; Smith, 1978). Кроме того, нельзя забывать, что Каспийское море является изолированным водоемом и в нем отсутствует водообмен с другими морями. Следовательно, поступающее в него аллохтонное вещество может подвергаться деструкции только за счет активности экосистемы бассейна.

По всей вероятности, процессы эвтрофирования Каспийского моря будут продолжаться и в дальнейшем. С речным стоком в море поступает, по А.С. Пахомовой, В.М. Затучной (1966), А.А. Зенину (1965), в валовом сбросе 7–8 тыс. т фосфора. В то же время, по подсчету Хаслер (по: Мусатов, 1976), каждый человек выделяет 0,7–1,8 кг фосфора в год. Содержание фосфора в стоках после биохимической очистки составляет в США около 8 мг/л, в стоках г. Калинина 1,7–2,6, Киева – 1,3–3,7 мг/л (Мусатов, 1976). В стоках, поступающих в р. Куру в пределах Тбилиси, Рустави, Мингечаура содержание фосфора достигает 3–5 мг/л. Та же концентрация фосфора обнаружена в стоках Баку, Сумгаита, Красноводска, Махачкалы и др. Таким образом, нетрудно убедиться, что со сточными водами в Каспийское море поступает 4–5 тыс. т фосфора, что составляет примерно 50% валового поступления речных стоков. Роль этого фосфора как дополнительной "подкормки" фитопланктона до сих пор остается невыясненной. Вполне очевидно, что в процессах эвтрофикации определенных участков Каспийского моря, в частности прикуринского района, сопредельных участков ашхеронского побережья и других, антропогенный фосфор является существенным фактором в развитии фитопланктона.

Рациональное использование богатств Каспийского моря как источника сырья для промышленности и продуктов питания для населения всегда было и остается в центре внимания нашего государства. В связи с произошедшими за последние 35–40 лет изменениями вопросы биологической продуктивности нуждаются в детальном изучении. Одной из существенных задач наряду с определением продукции фитопланктона является изучение деструкции органического вещества. К сожалению, этому вопросу не было уделено достаточного внимания. Как результат совокупности минерализации органического вещества обширной группой гетеротрофной микрофлоры деструкция органического вещества в грунтах оставалась также неизученной до наших исследований. Общее число бактерий в грунтах в тысячу раз превосходит таковое водной массы, и в аналогичных экологических условиях распад органического субстрата в этой же экологической нише идет гораздо интенсивнее. Таким образом, для того чтобы судить о биологической продуктивности Каспийского моря, деструкция органического вещества должна быть учтена как в воде, так и в грунтах одновременно. Результаты такого рода исследования дали нам основание сопоставить ее величину с суммой продукции фитопланктона и аллохтонного поступления органического вещества. Благодаря учету всех элементов приходных и расходных статей органического вещества, нами сделана первая попытка составить баланс органического вещества, который должен соответствовать современному положению Каспийского моря.

Как указано выше, в Каспийском море расход органического вещества превосходит его приходную часть на 7 млн т С, что составляет немногим более 5% общей суммы. Участие свыше 130 млн т С органического вещества в круговороте веществ является прямым доказательством подвижности биогенных элементов, в неоднократной регенерации за год которых принимают участие микроорганизмы воды и донных отложений.

Обеспечивая флору необходимыми биогенными элементами, микроорганизмы сами являются первостепенным источником пищи для простейших планкtonных и бентосных организмов воды. Все это еще раз подтверждает высокую продуктивность Каспийского моря.

БАЛАНС ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В КАСПИЙСКОМ МОРЕ

Выше мы уже говорили о большом значении Каспийского моря в экономике нашей страны. В связи с этим нельзя не отметить дополнительно важную роль Каспия как источника белкового питания людей. Справедливо отмечает Ю.Ю. Марти (1974): "Полу-проходные и проходные рыбы Каспия сами подходят к порогу нашего дома".

Рыбопродуктивность Каспийского моря начиная с 30-х годов значительно снизилась. Причины этого явления обсуждались ранее (Державин, 1947, 1956; Бердичевский, 1961; Казанчеев, 1965; Винецкая, 1965; Гюль и др., 1971; Марти, 1974; Яблонская, 1974; Садлаев, 1974; и др.). Они состоят в уменьшении кормовой базы, ухудшении условия нереста рыб. Поэтому изучение элементов биологического продуцирования кормовых объектов заслуживает внимания. Состояние кормовой базы в определенной мере изучено в Северном Каспии. В Среднем и Южном Каспии, которые резко отличаются от Северного по химическому режиму и биологической продуктивности, систематические исследования по определению продукции фитопланктона и ее деструкции до наших работ отсутствовали.

В связи с этим необходимо было провести сезонные исследования во всех участках всего моря одновременно с выяснением объема минерализованного органического вещества с участием микробиорганизмов.

Таким образом, наши исследования исходили из необходимости определения сезонной, межгодовой изменчивости величин продукции фитопланктона и изучения особенностей последующих звеньев трофической цепи в деструкции органического вещества. Проведение такого рода исследований на различных участках и во всем море имело большое теоретическое и практическое значение.

Многолетние сезонные наблюдения за продукцией фитопланктона и деструкцией органического вещества в Каспийском море в результате микробиологических процессов в воде и донных отложениях дали нам возможность усреднить эти данные и в первом приближении вычислить баланс органического вещества.

Для учета поступления аллохтонного органического вещества (табл. 43) нами был изучен среднегодовой сток основных рек (1960–1965 гг.), который был рассчитан А.Н. Косаревым (1969). Содержание органического вещества в речных водах учтено на основании исследований А.А. Зенина (1965), А.С. Пахомовой, Б.М. Затучной (1966), Н.А. Амиргалиева (1967), М.В. Журавлева (1954, 1959) и др. Объем промышленно-бытовых стоков рассчитан, исходя из данных о стоках городских и населенных пунктов, расположенных на прибрежьях Каспийского моря. Количество золового сноса и содержание органического углерода в нем взято из работ Б.А. Аполлова (1956), Б.А. Аполлова, С.С. Соболева (цит. по: Гюль и др., 1971), И.А. Алексиной (1958, 1959), М.В. Федосова (1950).

Согласно расчетам, суммарная величина поступления аллохтонного органического вещества в Каспийском море составляет 6700 тыс. т С в год.

Количество автохтонного органического вещества в водной массе Каспийского моря представлено в табл. 44. Как видно, за год во всем Каспии продукция автохтонного органического вещества составляет 114,7 млн т С.

Деструкция органического вещества, как указано выше, определялась одновременно в воде и грунтах параллельно с продукцией фитопланктона.

Результаты исследований показали, что сумма минерализованного органического вещества за весь год составляет в водной массе Каспийского моря до глубины 100 м 115 870 тыс. т С, в грунтах – 9870 тыс. т С (табл. 45).

Необходимо отметить, что определение деструкции органического вещества в водоемах сопряжено со многими трудностями. Во-первых, применяемый для ее определения кислородный метод недостаточно чувствителен, во-вторых, в период работы исследователи не всегда имеют возможность имитировать аналогичные экологические условия водоема. Кроме того, часто расчет деструкции в толще воды производится по данным, полученным в поверхностном слое. Следует также принять во внимание, что ког-

Таблица 43

Поступление аллохтонного органического вещества в Каспийское море

Источник поступления	Годовой сток, км ³	Содержание органического вещества, мг С/л	Годовой приток органического вещества, тыс. т С
Волга	230	8,7	2001
Кура	17,5	7,3	128
Урал	9,3	6,7	62
Терек	7,5	6,1	46
Сулак	5,7	5,4	31
Самур	2,4	5,6	13
Иранские реки	12,1	7,3	88
Остальные мелкие реки	1,8	6,6	12
Подземный сток	5,5	3,4	18
Промышленный сток	1,4	100	140
Бытовой сток	2,0	75	150
Эоловый снос	500 млн м ³	0,8%	4000
Суммарная величина органического вещества – 6690	–	–	6689

Таблица 44

Годовая продукция фитопланктона в Каспийском море

Источник	Продукция фитопланктона по результатам прямых измерений, тыс. т С/год (Р)	Валовая первичная продукция (Р 1,25), тыс. т С/год
Северный Каспий	22 700	28 370
Средний Каспий	51 000	63 750
Южный Каспий	41 000	51 250
Суммарная продукция	114 700	143 370

да говорится о деструкции, нельзя игнорировать ее значение в грунтах, чemu, к сожалению, не уделено достаточного внимания.

В то же время определение скорости деструкции имеет принципиальное значение, так как таким приемом можно выяснить роль микрофлоры в трансформации энергии, регенерации биогенных элементов. Кроме того, величина деструкции может служить косвенным показателем уровня биомассы микроорганизмов (Романенко, 1967).

Следует подчеркнуть, что расчеты деструкции в водной массе произведены нами для слоя 100 м с учетом, что основная масса органического вещества разрушается в ней, а определение деструкции в лежащих ниже горизонтах воды из-за возможных погрешностей не представляется реальным (Романенко, 1967)¹. Кроме того, для правильного понимания круговорота веществ в Каспийском море необходимо подходить к этому весьма важному вопросу с учетом всех элементов приходных и расходных статей баланса органического вещества. В этой связи составленный нами баланс органического вещества в Каспийском море можно рассматривать в первом приближении как порядок величины интенсивности круговорота веществ. Значение отдельных процессов, основан-

¹ Попытка рассчитать величину деструкции под 1 м² с ее учетом во всей толще воды до больших глубин дала неправдоподобно высокие величины, превышающие продукцию фитопланктона на 1–2 порядка.

Таблица 45

Деструкция органического вещества в Каспийском море за год, тыс. т С

Источник	Деструкция (Д) по O_2	Тыс. т С/Д	Деструкция в грунтах	Сумма за год
Северный Каспий	23 600	18880	3410	27 010
Средний Каспий	46 470	37180	3740	50 210
Южный Каспий	45 800	36640	2720	48 520
Сумма за год	115 870	92700	9870	125 740

Таблица 46

Баланс органического вещества в Каспийском море

Приход	Тыс. т С · год	%	Расход	Тыс. т С · год	%
Аллохтонное органическое вещество	6 690	5,4	Деструкция в водной массе	115 870	88,6
Первичная продукция	114 700	92,7	Деструкция в грунтах	9 870	7,5
Бактериальная ассимиляция CO_2	2 400	1,9	Захоронение в грунтах	5 130	3,9
Суммарный приход	123 780	100	Суммарный расход	130 870	100

ное на аналитических данных наших наблюдений и литературном материале, может быть представлено в следующем виде (табл. 46).

Таким образом, в круговороте органического вещества в Каспийском море ежегодно участвует 130 870 тыс. т органического вещества, выраженного в углероде. Как видно из приведенных данных, роль аллохтонного органического вещества в балансе невелика, и основным источником органического вещества в Каспийском море является фитопланктон. По нашим расчетам, аллохтонное органическое вещество составляет 5,4% продукции фитопланктона против 4–30% по Н.И. Винецкой (1966) и 3,3% по В.Г. Дацко (1959). Результаты нашего расчета баланса органического вещества отличаются от такового, указанного В.Г. Дацко (1959) по валовой продукции фитопланктона более чем в 1,6 раза, а по величине аллохтонного органического вещества – в 2 раза.

Величина продукции фитопланктона в Северном Каспии, по М.В. Федосову, Л.А. Барсуковой (1959), составляет 20–21 млн т в органическом веществе, что меньше, чем в 2,3 раза той величины, которая получена нами. Не совпадает также суммарная продукция фитопланктона в объеме 20 млн т в Среднем Каспии, рассчитанная С.Н. Бруевичем (по: Кузьмичева, Бондаренко, 1975) с результатами наших работ, согласно которым в Среднем Каспии за год образуется 51 млн т органического вещества, выраженного в углероде.

Таким образом, как по отдельным участкам, так и для всего Каспия получены новые и наиболее полные данные, которые отличаются от результатов предыдущих исследований, полученных на отдельных участках и за более короткие периоды времени. Резкое расхождение полученных результатов связано прежде всего с различием в чувствительности применяемых методов. Кроме того, для определения суммарной величины продукции фитопланктона большое значение имеют и результаты исследования, проведенные во всех районах каждого из трех участков Каспийского моря по сезонам года, которые не учтены предыдущими авторами.