

Л. А. ЛАНСКАЯ и Т. И. ПШЕНИНА

**СОДЕРЖАНИЕ БЕЛКА, ЖИРА, УГЛЕВОДОВ И ЗОЛЫ
В НЕКОТОРЫХ МАССОВЫХ ПЛАНКТОННЫХ ВОДОРΟΣЛЯХ
ЧЕРНОГО МОРЕЯ, ВЫРАЩЕННЫХ В КУЛЬТУРАХ**

Изучение химического состава морского фитопланктона начато относительно давно. Однако главным образом изучались сетяные сборы смешанного фитопланктона. Отделение фито- от зоопланктона проводилось либо фильтрацией через различные номера газа, либо путем отбора зоопланктона. В отдельных случаях смешанный планктон, подвергавшийся исследованию, согласно утверждению авторов, состоял почти полностью (до 75—95 %) из одного вида.

Андерсон уже в 1891 г. (Anderson, 1891) в сетяных сборах, которые в основном содержали диатомей, определял содержание золы, кремния и алюминия. В 1898 г. Брандт (Brandt, 1898) провел анализ 13 образцов морского смешанного планктона (с большим или меньшим преобладанием диатомей) на содержание золы, кремния, хлора и углерода. В 1919 г. Брандт и Рабен (Brandt a. Raben, 1919) определили содержание азота, углерода, водорода и золы в сетяных пробах фитопланктона, в которых преобладали диатомовые (например, *Skeletonema*, *Rhizosolenia*, *Thalassiothris*) или динофлагеллата (*Ceratium*).

В дальнейшем Мобергом (Moberg, 1928) была сделана попытка выявить сезонные изменения содержания белка, жира и золы в морском смешанном планктоне, взятом у берегов Калифорнии. Им найдено, что от весны к лету содержание золы в планктоне уменьшается, что Моберг относит за счет уменьшения количества диатомовых.

Подобные исследования сезонных изменений химического состава смешанного морского планктона, содержащего одновременно фито- и зоопланктон, широко ведутся З. А. Виноградовой (1957, 1958).

И. В. Кизеветтер (1954) на основании определения белка, жира, углеводов и золы в сетяных сборах сделал попытку определить кормовую ценность фито- и зоопланктона Охотского и Японского морей. Для получения более однородного по составу материала Кизеветтер из образцов фитопланктона удалял зоопланктеров путем экзemplярного отбора. Результаты его анализов показали, что химический состав фитопланктона резко отличается от химического состава зоопланктона; особенно резкие отличия им обнаружены в содержании жира и фосфора. На основании своих определений Кизеветтер пришел к выводу, что кормовая ценность фитопланктона значительно ниже, чем зоопланктона. По его данным, 100 г сухого вещества фитопланктона составляет всего 288 ккал (зоопланктона — в среднем около 600 ккал). Энергетический коэффициент 1 г сырого вещества, по его вычислениям, равен 0,26 ккал. Из этого запаса энергии более чем 95 % составляет энергия углеводов и белков.

А. Крог и К. Берг в 1931 г. (Krogh u. Berg, 1931) впервые попытались проследить связь развития *Cladocera* в озере Фредериксборг-Шлосс с изме-

нением в химическом составе всего фитопланктона, а именно, с отклонениями в нем содержания белков, жиров и углеводов. Ими было найдено, что максимум развития *Cladocera* соответствует максимуму содержания углеводов и белков в фитопланктоне.

В 1941—1942 гг. Мазуром и Кларком (Clarke a. Mazur, 1941; Mazur a. Clarke, 1942) изучалось соотношение отдельных компонентов, входящих в состав жиров морского фитопланктона, а также в *Nitzschia closterium*, выращенной в чистой культуре. Ими было установлено, что жиры, экстрагированные из диатомовых, содержат большой процент свободных жирных кислот, по-видимому, независимо от вида. При длительном хранении суспензии диатомовых происходит заметное уменьшение и даже почти полное исчезновение свободных жирных кислот.

Детальные исследования сетяных сборов морского фитопланктона проводили Г. П. Серенков и другие. Г. П. Серенков и Г. К. Барашков (1954) в двух образцах дальневосточного планктона, в которых преобладали диатомовые, кроме содержания золы, жира и углеводов определяли ряд сахаров, а также различные формы азота — общий, белковый и небелковый. В 1955 г. Г. П. Серенков и М. В. Пахомова (1955) в пробах дальневосточного планктона, одна из которых состояла преимущественно (на 95%) из *Thalassiosira Nordenskiöldii* и *T. gravis*, другая на 75—80% из этих же видов с примесью *Fragilaria oceanica*, *Chaetoceros furcellatus* и *Bacterosira fragilis*, провели исследование азотистого комплекса, а также золы, фосфора, серы и пентоз. В 1959 г. Серенков и Пахомова сделали попытку определить содержание перечисленных выше компонентов уже в отдельных видах дальневосточных диатомовых — *Rhabdonema adriaticum* и *Chaetoceros decipiens*, взяв для этого сборы, в которых указанные виды, по их расчетам, составляли около 95%.

Г. К. Барашковым (1956) было проведено подобное исследование углеводного комплекса морских планктонных диатомовых.

Подробные исследования химического элементарного состава отдельных видов морского планктона были проведены Виноградовым (1935, 1938). В этих работах также имеются данные по содержанию азота и золы у ряда форм.

Таким образом, определения содержания белков, жиров и углеводов в морском планктоне производились главным образом в сетяных уловах, в которых преобладали один или несколько видов фитопланктона (в основном диатомей). При этом число проб с преобладанием одного или двух видов невелико.

Еще меньше данных имеется по химическому составу динофлагеллат.

Наиболее ранние сведения по содержанию золы, азота, белка, жира и углеводов в сетяных уловах планктона с преобладанием динофлагеллат (*Ceratium*) находим у Брандта и Рабена (1919), затем у Моберга (1928).

Определение золы, азота и фосфора в уловах сетяного планктона с значительным преобладанием динофлагеллат, в частности *Goniaulax*, также проводили Гаррис и Райли (Harris a. Riley, 1956).

Сведения по элементарному составу динофлагеллат, в том числе золы и азота, имеются также у А. П. Виноградова (1935). Виноградов, сравнивая данные, полученные как им, так и другими исследователями, приходит к заключению, что динофлагеллаты характеризуются относительно большим содержанием азота, по сравнению с другими водорослями (при пересчете на сухой вес).

Сведений о содержании золы, белков, жиров и углеводов в мелких жгутиковых в литературе нами не встречено. Отсутствие данных по этой группе организмов, очевидно, связано с затруднениями получения исходного

материала, так как сетяные уловы с преобладанием мелких жгутиковых получить невозможно.

В литературе имеется немного сведений о химическом составе морских планктонных водорослей, выращенных в чистых культурах, что, очевидно, связано с трудностями выращивания культур и получения в этих условиях достаточных количеств для анализа. Особенно трудно выращивать альгологически чистые культуры мелких жгутиковых. Более широко исследовался химический состав культур пресноводного планктона, главным образом различных видов *Chlorella*.

Из работ, касающихся исследования химического состава альгологически чистых культур морского фитопланктона, в первую очередь следует отметить исследования Кетчема и Редфилда (Ketchum a. Redfield, 1949), а также Лоу (Low, 1955), которые, параллельно с изучением пресноводных культур, провели анализ нескольких культур и морского фитопланктона.

Кетчэм и Редфилд определяли содержание жира, белка и углеводов перечислением полученных ими данных по углероду, кислороду, водороду и азоту, а также содержание фосфора и золы. Ими изучалась связь изменения содержания азота и фосфора в культуральной среде с изменением содержания их в клетке. Культуры выращивались на средах с различным содержанием азота и фосфора и даже с полным отсутствием одного из этих элементов. В последнем случае отмечено уменьшение содержания азота и фосфора и в клетке. В результате общего комплекса наблюдений по культурам пресноводного и морского фитопланктона Кетчэм и Редфилд пришли к следующим заключениям: а) соотношение белка, жира и углеводов у различных исследованных видов, включая и морскую диатомею *Nitzschia closterium*, приблизительно постоянно; б) соотношение этих компонентов в водорослях, растущих в альгологически чистых культурах, очень сходно с таковым в естественных сборах фитопланктона; в) содержание фосфора и золы показали большие отклонения, вместе с тем отношение золы к фосфору мало изменяется; г) содержание азота и фосфора в клетках, по отношению к углероду и другим элементам, может меняться в зависимости от их содержания в среде.

Кетчэм и Редфилд отмечают также, что в зависимости от физиологического состояния клетки может меняться соотношение в содержании углерода, азота, водорода, фосфора и золы. Старые клетки содержат меньше углерода, водорода и азота, но больше фосфора и золы, чем молодые этого же вида.

Исследования Лоу (1955) имели целью выявить различия в химическом составе близких форм морских и пресноводных диатомовых по наблюдениям в культурах. С этой целью ею определялись, помимо содержания золы и общего жира, отдельные фракции жира и ряд различных аминокислот. Лоу было выделено 19 аминокислот, присутствующих как в пресноводных, так и в морских водорослях. В содержании жира ею отмечены различия между морскими и пресноводными видами: у *Nitzschia closterium*, как это следует из ее данных, содержание жира в 1,5—2 раза (5%) ниже, чем у пресноводных.

В литературе появляется все больше сведений об изменении характера метаболизма (а с ним и химического состава) в зависимости от возраста и состояния клеток.

Так, Фогг и Коллиер (Fogg a. Collyer, 1953) прямо указывают на изменение химического состава водорослей в зависимости от их физиологического состояния и условий роста. К такому же выводу пришел и Сорокин (Sorokin, 1957). Кестевен и Левасту (Kesteven a. Laevasty, 1957)

отмечают, что при изучении популяций фитопланктона необходимо во всех случаях учитывать энергию и возраст клеток.

К тому же все эти авторы отмечают, что в естественных сборах очень трудно установить природу и величину влияния различных элементов в отдельности на фотосинтез, общий обмен, рост и размножение. Более детальное изучение этих вопросов может быть проведено лишь с чистыми культурами водорослей.

По существу, все приводимые разными авторами результаты определений химического состава различных видов фитопланктона из естественных сборов не являются истинными данными для рассматриваемого вида. Практически невозможно из сетяных уловов не только выделить один вид фитопланктона, но и полностью отделить фитопланктон от мелких форм зоопланктона, например простейших, так как по своей величине они не превышают размеры фитопланктонных водорослей. Между тем химический состав зоопланктона, как следует, например, из работ И. В. Кизеветтера (1954), резко отличается от химического состава фитопланктона.

Учитывая изложенное, а также указание ряда исследователей (Mazur a. Clarke, 1942; Ketchum a. Redfield, 1949 и др.), что химический состав отдельных видов, выращенных в культурах, практически не отличается от такового в естественных условиях, мы нашли возможным проводить изучение химического состава альгологически чистых культур, тем более, что изучение в культурах позволяет дать характеристику отдельных видов, что недопустимо при исследовании естественных сборов.

Как известно, в море массовое развитие одних видов сменяется массовым развитием других. Поэтому возникла необходимость выявить содержание белков, жиров и углеводов у различных видов фитопланктона и изменение в содержании этих элементов в зависимости от времени года, а также от физиологического состояния клетки, т. е. в конечном итоге осветить кормовую ценность фитопланктона в различные периоды года. Предлагаемая статья содержит первые результаты наших наблюдений в этом направлении.

Исследованию подвергалось содержание белка (азота), жира, углеводов и золы у некоторых массовых черноморских видов диатомовых (*Cerataulina Bergonii* Perag., *Chaetoceros curvisetus* Cl., *Chaetoceros socialis* f. *autumnalis* Pr.—Lavr., *Chaetoceros Lauderii* Ralfs, *Leptocylindrus danicus* Cl., *Skeletonema costatum* (Grev) Cl.), динофлагеллат (*Exuviaella cordata* Ostfeld, *Gymnodinium Wulfii* Schiller, *Gymnodinium* sp., *Prorocentrum micans* Ehrenberg) и одного представителя мелких жгутиковых, выращенных в альгологически чистых культурах. Следует отметить, что, к сожалению, не у всех перечисленных видов проведен полный комплекс определений (в нескольких случаях отсутствует определение золы) из-за недостаточного количества исходного материала. Получить в лабораторных условиях достаточную для анализа навеску альгологически чистой культуры очень трудно, особенно для мелких форм.

Альгологически чистые культуры водорослей выращивались в питательном растворе Аллена — Нельсона, приготовленном на морской воде (Allen a. Nelson, 1910). Морская вода предварительно фильтровалась через стеклянный фильтр с пористой пластинкой (марка 26G-2) и стерилизовалась нагреванием до 70—80° в течение 20 мин. Следует отметить, что применяемая нами среда весьма обогащена биогенными элементами. Как показали наши определения, даже после длительного культивирования водорослей количество биогенов в растворе оставалось высоким.

Культуры водорослей содержались при комнатной температуре на окнах, выходящих на север. Интенсивность освещения в лаборатории в летний

период не превышала 3000—4000 лк, зимой — 500—800 лк. Температура в течение года колебалась от 10 (зимой) до 28° (летом).

Обычно водоросли для культивирования выбирались из планктонной сетки, промывались в стерильной морской воде и пересаживались в питательный раствор. Вначале водоросли выращивались в небольших объемах (50—100 см³) и тщательно просматривались под микроскопом. Если культура была не заражена посторонним ростом и развивалась нормально, производился пересев ее в литровые и двухлитровые колбы.

Учитывая, что многие виды водорослей хорошо растут в культурах и в среднем делятся один раз в сутки (Морозова-Водяницкая и Ланская, 1960), а также не переносят перенаселения, делали частые пересевы культуры.

Обычно необходимое для биохимического анализа количество водорослей мы получали в течение 2—4 недель. Непосредственно перед взятием водорослей на анализ проверялась чистота культуры, отмечалось состояние клеток и, как правило, производился подсчет водорослей в пробе, идущей на анализ. Для определения химического состава бралось от 13 млн. до 6 млрд. клеток.

При выращивании водорослей в культурах параллельно велись наблюдения за их развитием в море. Отмечались периоды интенсивного роста, «цветение», отмирание и т. д. Для анализа водоросли выделялись в культуру во время их максимального развития в море. Но в отдельных случаях, когда какой-либо исследуемый вид отсутствовал в море, для определения химического состава водорослей использовались постоянные культуры. В водорослях определялось содержание золы, азота и жира.

Для анализа исходная культура отфильтровывалась через воронку Бюхнера или фильтр Зейтца. При этом применялись двойные бумажные обеззоленные фильтры диаметром 6 и 2 см. Фильтры предварительно кипятились в трижды сменяемом бидистилляте и высушивались до постоянного веса. Фильтры с осадком исследуемой водоросли промывались бидистиллятом и вновь высушивались при 100—105° до постоянного веса. При таком способе фильтрования, как показало микроскопирование фильтрата, диатомовые полностью удерживаются на фильтре. При фильтрации динофлагеллат и мелких жгутиковых незначительная часть их теряется.

Аналізу подвергалась навеска от 5 до 30 мг сухого вещества.

Зола определялась сжиганием фильтров с осадком фитопланктона в муфельной печи. В полученное количество золы вносилась найденная экспериментально поправка на содержание золы в фильтре.

Определение азота велось по микрометоду Къельдаля. В конечный результат также вносилась поправка на содержание азота в фильтре. Белок рассчитывался по азоту умножением на коэффициент 6,25, как это принято в работах ряда исследователей (Виноградов, 1938; Кизеветтер, 1954, и др.).

Жир определялся экстрагированием проб эфиром в аппарате Сокслета. Экстрагирование проводилось по способу, описанному Е. И. Маликовой (1956).

Углеводы рассчитывались по разности между количеством сухого вещества и содержанием золы, белка и жира.

Результаты определений представлены в табл. 1.

Как следует из данных табл. 1, диатомовые водоросли характеризуются наибольшим содержанием минеральных веществ (от 51,22 до 62,77%). Так, наибольшее содержание золы найдено у *Chaetoceros Lauder* (62,77%) и у *Leptocylindrus danicus* (61,6%). Среднее содержание золы у исследованных видов диатомовых составило 57,32%. У динофлагеллат *Exi-
viaella* и *Gymnodinium*, у которых отсутствует минеральный панцирь,

Таблица 1

Содержание белка, жира, углеводов и золы у некоторых планктонных водорослей

Дата исследования	Вид	Минеральные вещества	Органические вещества	Азот	Белок	Жир	Углеводы
в % на сухой вес							
4.IX	<i>Cerataulina Bergonii</i>	51,22	48,78	3,51	21,94	7,20	19,64
3.VII	<i>Chaetoceros curvisetus</i>			2,22	13,84	6,11	
3.VII	<i>Chaetoceros socialis</i>			1,64	10,22	6,72	
7.IX	»			1,28	8,00	6,90	
27.IX	<i>Chaetoceros Lauder</i>	62,77	37,23	3,72	23,25	6,14	7,84
26.VI	<i>Leptocylindrus danicus</i>					6,84	
5.IX	»	61,60	38,40	2,85	17,94	7,96	12,50
18.IX	<i>Skeletonema costatum</i>	53,71	46,29	3,23	20,19	10,15	15,95
29.VII	<i>Prorocentrum micans</i>			4,71	29,41	3,56	
14.IX	»			5,23	32,64	3,42	
1.VIII	<i>Exuviaella cordata</i>	31,36	68,64	3,64	27,22	4,16	37,26
16.IX	»	30,77	69,23	2,50	15,66	5,17	48,40
17.IX	<i>Gymnodinium Wulfii</i>	29,00	71,00	1,99	12,44	4,03	54,53
29.X	»	24,50	75,50	2,30	14,36	3,70	57,44
30.XI	<i>Gymnodinium sp.</i>	29,30	70,70	2,46	15,38	3,81	54,76
30.X	<i>Dinoflagellata</i> (разные)			2,98	18,66	3,50	
14.IX	Мелкие жгутиковые	22,78	77,22	2,01	12,56	3,60	61,06
29.X	»	18,75	81,25	2,49	15,59	3,18	62,45
9.XI	»	18,93	81,07	2,69	16,81	3,13	61,13

в % на органическое вещество

		азот	белок	жир	углеводы
4.IX	<i>Cerataulina Bergonii</i>	9,32	58,52	14,76	26,72
7.IX	<i>Chaetoceros Lauder</i>	9,99	62,44	16,46	21,10
18.IX	<i>Skeletonema costatum</i>	6,98	43,52	21,93	34,55
5.IX	<i>Leptocylindrus danicus</i>	7,40	46,25	20,73	33,02
17.IX	<i>Gymnodinium Wulfii</i>	2,81	17,56	5,68	76,76
29.X	»	3,04	19,00	4,91	76,09
30.X	<i>Gymnodinium sp.</i>	3,48	21,75	5,45	72,80
1.VIII	<i>Exuviaella cordata</i>	5,30	33,13	6,06	60,81
16.IX	»	3,61	22,56	7,47	69,97
14.IX	Мелкие жгутиковые	2,60	16,25	4,36	79,39
29.X	»	3,07	19,19	3,92	76,89
9.XI	»	3,33	20,81	3,86	75,33

содержание золы, по сравнению с диатомовыми, вдвое меньше (от 24,50 до 31,36%).

У мелких жгутиковых найдено наименьшее содержание золы. В среднем оно составляло около 20%.

Полученные результаты по содержанию золы как у диатомовых, так и у динофлагеллат довольно близки к данным ряда исследователей (табл. 2).

Таблица 2

Среднее содержание золы, азота, жира и углеводов у диатомовых и динофлагеллат по данным различных авторов (в % на сухой вес)

	Брандт и Ра- бен, 1919	Мо- берг, 1928	Вино- градов, 1935	Лоу, 1955	Гаррис и Рай- ли, 1956	Серен- ков и соавто- ры, 1954, 1955, 1959	Наши данные
Ди а т о м о в ы е							
Зола	59,0	75,0	50,4	45,8*	58,8*	57,8	57,3
Азот	3,7		3,3		4,5*	3,3	2,6
Жир	4,8			5,0*		12,1	6,8
Углеводы	22,1					14,2	14,0
Д и н о ф л а г е л л а т ы							
Зола	31,9	25,5			26,4*		29,0
Азот	4,3				4,1*		3,2
Жир	4,4						4,1
Углеводы							50,5

* Цифры, отмеченные звездочкой, получены на основании одного определения.

Например, по наблюдениям Мoberга (1928), среднее содержание золы в сетяных уловах планктона между октябрем и февралем, когда в планктоне преобладали диатомовые водоросли, составляло 75%. В период с мая по июнь, когда в планктоне в большом количестве присутствовали динофлагеллаты, содержание золы составляло уже 24,9%. Гаррис и Райли (1956) в сетяных сборах фитопланктона, в которых преобладал *Coscinodiscus*, нашли содержание золы равным 58,8%; в планктоне же с преобладанием *Goniaulax* — 23,4%. Лоу (1955) было найдено у *Nitzschia closterium* 45,8% золы.

По наблюдениям Брандта и Рабена (1919), содержание золы у *Skeletonema* колебалось от 48,4 до 53,6%, у *Ceratium* — от 28,3 до 32,4%. По данным А. П. Виноградова (1935), содержание золы у диатомовых составляет 50,4%. Из сопоставления данных, полученных нами и другими исследователями, следует, что содержание золы у различных видов диатомовых колеблется в довольно широких пределах.

Содержание азота в сухом веществе исследованных водорослей, по нашим данным, как это следует из табл. 1, также значительно колеблется даже в пределах одной систематической группы. Так, у диатомовых содержание азота составляло от 1,28 до 3,72%. Наибольшее количество азота отмечено у *Chaetoceros Lauder* (3,72%) и *Cerataulina Bergonii* (3,51%) и почти втрое меньше (1,28%) у *Chaetoceros socialis*.

Наблюдениями других исследователей также отмечены сравнительно большие колебания в содержании азота. Так, по Брандту и Рабену (1919), содержание азота у *Skeletonema* составляет 3,25—4,45% (по нашим данным, количество азота у *Skeletonema costatum* равнялось 3,23% на сухой вес). Еще более широкий диапазон в величинах содержания азота у диатомей отмечен Серенковым и другими. По данным 1952 г. (Серенков и Барашков, 1954) содержание азота у различных видов дальневосточных диатомовых составляло 4,35—4,71%. В работе Серенкова и Пахомовой (1959) дано очень низкое содержание азота у диатомовых: от 0,6 у *Rhabdonema adriati-*

сум до 1% у *Chaetoceros decipiens*. Каких-либо соображений о причинах, вызвавших столь резкие отклонения в содержании азота от предшествующих данных как этих, так и других исследователей, в работе не приводится.

По нашим наблюдениям, у различных динофлагеллат так же, как и у диатомовых, наблюдаются довольно широкие отклонения в содержании азота — от 1,99 до 5,23% на сухой вес. Особенно высоким содержанием азота — порядка 5% — отличается *Prorocentrum micans*, наиболее низким — 2% — *Gymnodinium Wulfii*. Для всей исследованной группы динофлагеллат содержание азота в среднем составляет 3,23%. Последнее хорошо согласуется с данными Брандта и Радена (1919) — 3,25%, полученными для пробы, содержащей различные виды динофлагеллат. Гаррис и Райли (1956) провели одно определение азота в сетяном улове, где преобладали *Goniaulax*, и получили 4,14% азота.

Исследуемые нами виды динофлагеллат характеризуются в общем более высоким, по сравнению с диатомовыми, содержанием азота. Так, например, у наиболее богатого азотом *Prorocentrum micans* содержание его составляет 5,23%, в то время как у наиболее богатого азотом *Chaetoceros Lauder* оно равно 3,72%. Также выше и средние значения: для динофлагеллат найдено 3,23%, для диатомей — 2,64% на сухой вес.

Исследуемый вид мелких жгутиковых во всех трех культурах характеризуется относительно постоянным содержанием азота — от 2,01 до 2,69% на сухой вес. Среднее для трех культур содержание азота — 2,4% — близко к средней для диатомовых (2,64%).

При пересчете азота на органическую часть получаем несколько иное соотношение в содержании азота (табл. 1,б). В этом случае наиболее высоким содержанием азота — от 6,98 до 9,99% — характеризуются диатомовые. Напротив, у динофлагеллат содержание азота при пересчете на органическое вещество значительно ниже, чем у диатомовых (от 2,81 до 5,30%). У мелких жгутиковых содержание азота на органическую часть — 3% — довольно близко к средней величине, найденной для динофлагеллат (3,65%).

Повышение содержания азота у диатомовых при пересчете на органическую часть обуславливается большим содержанием золы, которое включает в себя и вес створок, как это отмечается многими исследователями (Лоу, 1955; Серенков и Пахомова, 1959 и др.).

Как установлено рядом исследователей (Fogg a. Collyer, 1953; Лоу, 1955 и др.), диатомовые в процессе метаболизма в качестве запасных питательных веществ в первую очередь накапливают жир. Поэтому характерной чертой их является относительно большое содержание жира, по сравнению с другими группами водорослей. Эта особенность, как показали наши определения, сохраняется также у диатомовых Черного моря. Как следует из табл. 1, содержание жира у восьми из девяти исследованных видов колебалось в сравнительно узких пределах: от 6,11 до 7,96% на сухой вес. Исключением является *Skeletonema costatum*, у которой содержание жира составило 10,15%. По данным различных авторов, содержание жира у диатомовых значительно колеблется. Так, по Брандту и Рабену (1919) содержание жира у *Skeletonema* колебалось от 4,19 до 4,38%. Лоу (1955) для *Nitzschia closterium* получила 5,00% жира. Напротив, Серенковым и Барашковым (1954) для сетяных сборов диатомовых было получено 15,00 и 16,01% жира на сухой вес. Серенков и Пахомова (1959) приводят более низкие величины содержания жира: для *Rhabdonema adriaticum* — 10,36%; для *Chaetoceros decipiens* — 6,90% на сухой вес¹. Из этих данных следует, что содержание

¹ Пересчет содержания жира на сухой вес сделан нами.

жира у диатомей Черного моря не выходит за пределы величин, приводимых другими авторами.

Содержание жира у разных видов динофлагеллат примерно одного порядка—от 3,42 до 5,18%, в среднем для всех исследованных видов—4,1%. По данным Брандта и Рабена (1919), содержание жира в сбросах фитопланктона с преобладанием динофлагеллат составляет 4,4%. Сопоставить полученные нами результаты с данными других исследователей мы не имели возможности по той причине, что таковых в литературе не было найдено.

Наиболее низкое содержание жира из всех исследованных нами видов фитопланктона найдено у представителей мелких жгутиковых, у которых в среднем для трех культур оно составляет 3,23% (от 3,18 до 3,50%).

Как отмечалось, углеводы в наших исследованиях вычислялись по разности, поэтому эти данные не могут рассматриваться как показатели истинного содержания углеводов. Но они могут быть использованы как ориентировочные величины.

Как следует из табл. 1, диатомовые характеризуются весьма низким содержанием углеводов (от 7,84 до 19,65% на сухой вес, среднее для всех—около 14%). Эти величины несколько ниже, чем полученные Брандтом и Рабеном (1919),—14—24%, но очень близки к данным, полученным Серенковым и другими (1954, 1959)—13,20—16,02% (табл. 2). Наиболее высокое содержание углеводов найдено у мелких жгутиковых—от 61,06 до 62,48%, в среднем около 61% на сухой вес. Содержание углеводов у динофлагеллат—от 37 до 57%, в среднем 50%, т. е. одного порядка с таковым у мелких жгутиковых. При этом у отдельных видов динофлагеллат сохраняется относительно постоянство в содержании углеводов.

При сопоставлении данных, пересчитанных на органическое вещество выявляется, что в общей сложности органическое вещество диатомовых характеризуется очень высоким содержанием белка (в среднем около 53%) и жира (около 18%). Углеводы занимают подчиненное место. У динофлагеллат и мелких жгутиковых углеводы доминируют (в среднем содержание углеводов у них около 70%). Содержание белка у динофлагеллат, по сравнению с диатомовыми, весьма понижено (всего около 20%). Также понижено у них и содержание жира. Вместе с тем суммарное содержание белков и углеводов наиболее высокое у мелких жгутиковых и динофлагеллат—около 96% на органическое вещество. Диатомовые же характеризуются более низкими показателями—около 80%. Содержание же золы у диатомовых в 2—3 раза больше, чем у динофлагеллат и мелких жгутиковых.

По-видимому, не лишено основания предположение Гросса (1937), что автотрофные наннопланктонные организмы (к которым относятся и мелкие жгутиковые) имеют большое значение в пищевой экономике моря и что оно в значительной мере недооценивается исследователями, отчасти из-за методических трудностей. Так, большая часть наннопланктона размером от 2 до 10 μ , как отмечает Гросс, проходит через сетку и не учитывается при подсчете. Также, по-видимому, значительное количество наннопланктона теряется и при батометрических сборах. Так, по наблюдениям Н. В. Морозовой-Водяницкой (1957) и Друпa (Droop, 1954), мелкие жгутиковые быстро отмирают и легко разрушаются при малейшем механическом раздражении, даже при просмотре под микроскопом.

Для выявления сезонных отклонений в составе исследуемых компонентов фитопланктона достаточного количества данных пока еще не накоплено. Однако в этом отношении заслуживают внимания две культуры *Leptocylindrus danicus* и *Skeletonema costatum*.

Как следует из табл. 1, заметное расхождение в содержании жира наблюдается в культурах *Leptocylindrus danicus*, выращенных в июне и августе. В другом случае количество жира было несколько выше, по сравнению со всеми диатомовыми (за исключением *Skeletonema costatum*). Это расхождение, возможно, объясняется различным состоянием клеток культур, которое в свою очередь, вероятно, обуславливается временем их развития — сезоном года. Культура *Leptocylindrus danicus* с содержанием жира одного и того же порядка, как и у остальных диатомовых (6,84% на сухой вес), была выращена в июне в период массового развития этого вида в море и состояла из больших цепочек с крупными и ярко окрашенными клетками. Одиночные клетки в ней почти отсутствовали и совершенно отсутствовали мертвые клетки. Вторая культура с более высоким содержанием жира (7,96% на сухой вес) была выращена к концу периода массового развития *Leptocylindrus danicus* в море (в августе). Эта культура состояла из коротких цепочек, содержала много одиночных клеток и 5—10% отмерших. Клетки были менее крупные и по внешнему виду несколько слабее, чем у первой культуры.

Подобное явление, по-видимому, имеет место и для культуры *Skeletonema costatum*. Исследуемая культура была выращена в сентябре, когда в море данный вид встречается лишь в единичных экземплярах. Как следует из табл. 1, эта культура отличается самым высоким содержанием жира (21,93% на органическую часть) по сравнению с таковыми у других диатомей, и вместе с тем самым низким содержанием азота (6,98% на органическую часть).

На зависимость химического состава планктона от состояния клетки и от характера роста, как отмечалось уже, указывает ряд авторов (Fogg a. Collyer, 1953; Ketchum a. Redfield, 1949; Sorokin, 1957; Kesteven u. Laevastu, 1957). Так, Фогг и Коллэй (1953) отмечают, что при быстром росте клеток наблюдается высокое содержание азота, при этом мало откладывается запасных питательных веществ. При замедленном же росте происходит относительно большее накопление запасных питательных веществ — углеводов и жира.

Очевидно, что и наблюдаемое нами увеличение содержания жира и уменьшение азота у водорослей, выделенных в культуру в момент спада их развития в море, является следствием изменений их метаболизма, возможно, в результате старения.

ЛИТЕРАТУРА

- Барашков Г. К. 1956. Об углеводах некоторых видов диатомовых водорослей. — Докл. АН СССР, т. 111, № 3.
- Виноградов А. П. 1935. Химический элементарный состав организмов моря. — Труды Биогеохим. лаб., вып. 3.
- Виноградов А. П. 1938. Химический состав морского планктона. — Труды ВНИРО, т. VII.
- Виноградова З. А. 1957. Биохимический состав планктона Черного моря. — Докл. АН СССР, т. 116, № 4.
- Виноградова З. А. 1958. К познанию химического состава кормовых организмов и рыб Черного моря. — Труды Созвездия по физиол. рыб, вып. 8.
- Кизеветтер И. В. 1954. О кормовой ценности планктона Охотского и Японского морей. — Изв. ТИНРО, т. XXXIX.
- Маликова Е. И. 1956. Пищевая ценность некоторых беспозвоночных как корма для рыб. — Биохимия, т. 21, вып. 2.
- Морозова-Водяницкая Н. В. 1957. Фитопланктон в Черном море и его количественное развитие. — Труды Севаст. биол. станции, т. IX.
- Морозова-Водяницкая Н. В. и Л. А. Ланская. 1960. Темп и условия деления морских диатомовых водорослей в культурах. — Труды Севаст. биол. станции, т. XII.

- Серенков Г. П., Барашков Г. К. 1954. Биохимический анализ морских планктонных дальневосточных диатомовых. — Вестник Моск. ун-та, № 12.
- Серенков Г. П., Пахомова М. В. 1955. Исследование азотистого комплекса некоторых видов диатомовых водорослей. — Вестник Моск. ун-та, № 12.
- Серенков Г. П. и Пахомова М. В. 1959. Биохимическое исследование двух видов диатомовых водорослей. — Вестник Моск. ун-та, № 2.
- Allen E. J. and Nelson E. W. 1910. On the artificial culture of plankton organisms. — J. mar. biol. ass., v. 8.
- Anderson W. S. 1891. Report of deep sea deposits.
- Brandt K. 1898. Beiträge zur Kenntnis der chemischen Zusammensetzung des Plankton. — Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen N. F., Bd. 3, H. 3.
- Brandt K. u. Raben E. 1919. Zur Kenntnis der chemischen Zusammensetzung des Planktons und einiger Bodenorganismen. — Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen N. F., Abt. Kiel., H. 3.
- Clarke H. T. a. Mazur A. 1941. The lipids of diatoms. — J. biol. Chem., 141.
- Droop M. R. 1954. Note on the isolation of small marine algae and flagellates for pure cultures. — J. mar. biol. ass., v. 33, N 2.
- Fogg G. E. a. Collyer D. M. 1953. The accumulation of lipids by algae. Algae culture.
- Gross E. 1937. Notes on the culture of some marine plankton organisms. — J. mar. biol. ass., v. XXI, N 2.
- Harris E. a. Riley G. A. 1956. Chemical composition of the plankton. — Bull. Bingham. Oc. Collect., 15.
- Ketchum B. H. a. Redfield A. C. 1949. Some physical and chemical characteristics of algae grown in mass culture. — J. cell. comp. Physiol., 33.
- Kesteven G. L. a. Laevastu T. 1957. The oceanographical conditions for life and abundance of phytoplankton considered with respect to fisheries. FAO, Fisheries Divisions, Biology Branch.
- Krogh A. u. Berg K. 1931. Über die chemische Zusammensetzung des Phytoplankton aus dem Friederiksborg — Schloßsee und ihre Bedeutung für die maxima der Cladoceren. — Intern. Rev. Hydrobiol. u. Hydrolog., Bd. 25, s. 4.
- Low E. M. 1955. Studies on some chemical constituents of diatoms. — J. mar. research., v. 14, N 2.
- Mazur A. a. Clarke H. T. 1942. Chemical components of some autotrophic organisms. — J. biol. chem., 143.
- Moberg E. G. 1928. Chemical composition of marine plankton. — Third Pan-Pacific Sc. Congr., v. 1, Tokyo.
- Sorokin C. 1957. Changes in photosynthetic activity in the course of cell. — Development in Chlorella. Physiologia Plantarum., v. 10.