

ПРОЗ 2010

ТРУДЫ КАРАДАГСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Выпуск 14

Институт биологии
южных морей АН УССР
БИБЛИОТЕКА

№

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР
КИЕВ — 1957

СОДЕРЖАНИЕ СТЕРОЛОВ В ТЕЛЕ МОЛЛЮСКОВ- БИОФИЛЬТРАТОРОВ И В ПЛАНКТОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

З. А. Виноградова

Существование громадных запасов мидий в Черном море позволяет указать на возможность использования этих моллюсков в качестве сырья для получения витамина D_3 , провитамин которого — 7-дегидрохолестерол обнаружен в теле мидий в значительном количестве (Зикеев, 1946; Вендт и Кузнецова, 1950; Гаркина и Букин, 1951; Букин и Ерофеева, 1951; Вендт, 1953).

Интерес, проявляемый к провитамину D_3 , объясняется, главным образом, тем, что витамин D_3 , применяемый для лечения рахита домашних птиц, в 50—60 раз активнее, чем витамин D_2 (Зикеев, 1946; Шнайдман, 1950). По данным В. Н. Букина и Н. Н. Ерофеевой (1951), самую высокую антирахитическую активность показали облученные гидролизаты из мидий (до 16 тыс. и. е.) и особенно — облученный жир мидий (до 32 тыс. и. е.).

Общее содержание стеролов в мясе моллюсков колеблется в пределах 0,23—0,51% в расчете на сырой вес (Зикеев, 1946). По данным В. П. Вендта (1953), в телах черноморской мидии и модиолы содержится большое количество стеролов, часть которых при облучении переходит в биологически активные витамины D_2 и D_3 .

Изучению химического состава черноморских беспозвоночных, в том числе и некоторых моллюсков — мидий, фазеолины, морского гребешка, венерки, — посвящен ряд наших работ (Аблямитова-Виноградова, 1948, 1949; Виноградова, 1949).

Работы по выяснению содержания стеролов в теле черноморских мидий мы проводили в течение 1949—1952 гг. в сравнительном аспекте, анализируя наряду с мидиями и некоторых других моллюсков-биофильтраторов, встречающихся в Черном море в довольно значительных количествах. Наше внимание привлекли модиола — *Modiola adriatica* L a m., устрица — *Ostrea taurica* К r у п. и морского гребешок — *Pecten ponticus* В D D — после мидий наиболее крупные двустворчатые моллюски Черного моря. Для сравнения были подвергнуты анализу на содержание стеролов также асцидия

Ascidrella aspersa Müll. — биофильтратор, как и моллюски, и креветки — *Leander squilla* L. — одна из массовых форм ракообразных в Черном море.

Основную пищу моллюсков — мидии, модиолы, устрицы и морского гребешка — составляют микроскопические планктонные организмы, фильтруемые из морской воды. Наши опыты (Виноградова, 1950) показали, что наибольшей фильтрационной способностью обладает мидия, на втором месте стоит модиола, затем следуют устрица и морской гребешок, имеющие одинаковую фильтрационную способность. Предполагая, что моллюски могут получать стеролы из планктона в процессе питания, мы занялись выяснением содержания стеролов в планктоне, который собирался в районе Карадагской биологической станции сетью Джеди.

Наряду с определением общего содержания стеролов исследовалась возможность получения моллюсками-фильтраторами других окрашенных и неокрашенных веществ, содержащихся в планктоне.

Проведенные исследования имеют предварительный характер, так как биохимическая сущность пищевых взаимосвязей между отдельными звеньями пищевых цепей в море почти не изучена*.

МЕТОДИКА

1. Определение общего содержания (суммы) стеролов

Принцип применявшегося метода определения стеролов основан на известной реакции Либермана—Бурхардта.

В определенное количество дихлорэтанового раствора при сильном взбалтывании прибавляется уксусный ангидрид и серная кислота. При наличии стеролов в испытуемом растворе он окрашивается в лиловый цвет, который очень скоро переходит в зеленый; окраска достигает наибольшей интенсивности через 5 мин. Сравнивая интенсивность окраски раствора с серией постоянных стандартов, можно вычислить количество стеролов во взятой навеске исследуемого вещества. При изготовлении стандартов использовались растворы хлористого никеля, сульфата меди и хромокислого натрия, подкисленного серной кислотой.

Практически определение общего содержания стеролов производилось следующим образом. Для исследования постоянно брали 4 г планктона или измельченного ножницами и растертого в фарфоровой ступке мяса моллюсков. Взятая навеска омылась 40 см³ 10%-ного раствора КОН в спирте-ректификате при температуре 75—80° до полного растворения тканей, что обычно достигается при частом взбалтывании за 50 мин. Омыленный материал охлаждался, переносился в делительную воронку и обрабатывался серным эфиром (как при определении витамина А) до тех пор, пока верхний эфирный слой переставал окрашиваться. Обработка эфиром производилась

* Приношу глубокую благодарность В. П. Вендту, который своими ценными методическими указаниями способствовал проведению данных исследований.

обычно четыре раза при частом взбалтывании жидкости в делительной воронке; эфирная вытяжка каждый раз сливалась и собиралась в одну колбочку. После этого нижний слой выбрасывался, а собранные в одной колбочке эфирные вытяжки снова переносились в делительную воронку для промывки от щелочи. Промывание производилось дистиллированной водой до тех пор, пока фенолфталеин не показывал отрицательной реакции на щелочь, т. е. до прекращения окрашивания воды в лиловый цвет при добавлении капли 1%-ного спиртового раствора фенолфталеина. Эфирный слой, очищенный от щелочи, фильтровался через свежeproкаленный безводный сернокислый натрий, 15—20 г которого насыпали прямо на бумажный фильтр. Фильтрат собирался в сухую колбочку, в которой эфир отгонялся под током CO_2 на водяной бане при 45°C (при такой температуре потери эфира от перегонки минимальные). Сухой остаток неомыляемой фракции растворялся в 7 см^3 дихлорэтана. В полученном растворе устанавливалась интенсивность окраски (цветность) этой фракции: определенные количества этого раствора использовались для определения суммы стеролов.

В пробирку обычно наливалось 0,5 мл точно отмеренного испытуемого раствора неомыляемой фракции мяса моллюсков или 1 мл раствора неомыляемой фракции планктона, $4,5\text{ см}^3$ (при исследовании планктона — 4 мл) чистого дихлорэтана и 2 см^3 уксусного ангидрида. В ту же пробирку при сильном взбалтывании сейчас же добавлялось шесть капель концентрированной химически чистой серной кислоты (уд. вес 1,84), после чего пробирка снова взбалтывалась и оставлялась на пять минут; по истечении этого срока окраска жидкости в пробирке сравнивалась с серией постоянных стандартов. Количество стеролов во взятой навеске, в 1 кг мяса моллюска или в 1 г планктона вычислялось по соответствию окраски испытуемого материала номеру стандарта.

В опытах 1949 г. для определения суммы стеролов использовался электрический фотоколориметр конструкции В. П. Вендта, с темно-красным светофильтром. С помощью калибровочного графика, составленного путем измерения светопоглощения определенного количества чистого эргостерола (7 см^3), вычислялось количество стеролов, содержащееся во взятом объеме испытуемого материала. В последующие годы (1950—1952) для определения суммы стеролов по техническим причинам использовались только серии стандартных растворов.

2. Получение спектрофотометрической характеристики дихлорэтанового раствора неомыляемой фракции

Спектрофотометрическая характеристика дихлорэтанового раствора неомыляемой фракции устанавливалась с помощью фотометра Пульфриха при использовании всех светофильтров в диапазоне волн длиной 400—720 $\text{м}\mu$.

Практически это осуществлялось следующим образом. Неомыляемая фракция, полученная после омыления и соответствующей обработки 4 г навески мяса моллюсков или планктона, растворялась

в 7 см^3 дихлорэтана и переносилась в одну кювету фотометра (использовались специальные кюветы на 7 см^3 , изготовленные Институтом биохимии АН УССР); в другую кювету фотометра наливали 7 см^3 чистого дихлорэтана. Обе кюветы помещались в гнезда фотометра. Измерение коэффициента поглощения производилось с использованием всех светофильтров фотометра. Полученные величины коэффициента светопоглощения (E) наносились на график, на котором по оси ординат откладывались величины экстинкции, а по оси абсцисс — соответствующие отдельным светофильтрам длины волн в $m\mu$.

Так как во всех случаях строго одинаковое количество испытуемого материала растворялось в одном и том же объеме дихлорэтана, полученные результаты измерений светопоглощения растворов из неомыляемой фракции проб мяса моллюсков и планктона разных периодов лова должны были показать наличие определенных закономерностей.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Мидия—*Mytilus galloprovincialis* L a m.

Исследовались мидии, собранные в марте—октябре 1949—1951 гг. и в марте—мае 1952 г. в районе Карадагской биостанции и Гудаутской устричной банки (на Кавказском побережье Черного моря). Для анализа были взяты моллюски приблизительно одинаковых размеров с тем, чтобы результаты отдельных исследований могли бы быть сравнимы между собой (табл. 1).

Из табл. 1 видно, что содержание стеролов в теле мидий значительно колеблется. Наиболее богаты стеролами мидии, собранные в марте; летом количество стеролов заметно уменьшается.

Показатели содержания стеролов в теле мидий, собранных в один и тот же период у берегов Кавказа, в районе Гудаутской устричной банки, и у берегов Крыма, в районе Карадагской биологической станции, очень сходны. В среднем содержание стеролов в теле черноморских мидий равно $586 \mu\text{г}$ в 1 г мяса.

Мы не имели возможности подвергнуть мидий анализу на содержание стеролов в зимнее время, когда процесс размножения у них затухает и полностью прекращается. Возможно, что половые продукты мидий, особенно яйца, окрашенные в темно-розовый цвет, содержат пигменты, частично мешающие реакции Либермана. Поэтому результаты исследований дают лишь ориентировочные сведения о количестве веществ стерольной природы, содержащихся в теле мидий.

Результаты спектрофотометрических исследований растворов неомыляемой фракции у черноморской мидии весеннего лова представлены на рис. 1, из которого виден сходный характер кривых для мартовских и майских мидий: в обоих случаях максимум поглощения света у неомыляемой фракции приходится на волну длиной $400\text{—}500 m\mu$.

Прямой зависимости между количеством стеролов и количеством пигментов неомыляемой фракции у мидий не наблюдается.

Результаты спектрофотометрических измерений растворов неомы-

Таблица 1

Содержание стеролов в теле черноморских мидий—
Mytilus galloprovincialis Lam.

Дата лова	Длина раковины (в мм)	Вес (в г)		Отношение веса мягкой части к весу раковины	Суммарное содержание стеролов (в $\mu\text{г}$ на 1 г мяса)	Район сбора материала
		всего моллюска, включая раковину	мягкой части тела			
1949 г.						
12.VI	85	24	10,0	1 : 2,4	390	Карадаг
14.VII	84	23	9,5	1 : 2,4	325	"
25.VII	88	24	10,0	1 : 2,4	125	"
16.VII	80	23	9,8	1 : 2,3	578	Гудауты
17.VII	80	24	10,6	1 : 2,3	675	"
28.VII	76	22	9,0	1 : 2,4	600	"
5.IX	86	24	11,0	1 : 2,2	456	Карадаг
5.X	78	23	10,0	1 : 2,3	150	"
1950 г.						
10.VI	85	23	10,0	1 : 2,3	492	"
27.VI	77	22	9,0	1 : 2,4	600	"
28.VI	79	23	10,0	1 : 2,3	600	"
20.X	90	24	10,8	1 : 2,2	600	"
1951 г.						
9.III	65	16	5,0	1 : 3	1458	"
20.III	62	22	6,0	1 : 3,6	525	"
19.V	74	22	9,2	1 : 2,4	263	"
22.VI	82	51	9,5	1 : 5,3	263	"
1952 г.						
13.II	81	41	8,6	1 : 4,7	350	"
6.V	81	40	8,7	1 : 4,6	700	"
В среднем	80	24	9,0	1 : 2,8	586	

ляемой фракции мидий летнего и осеннего лова представлены на рис. 2, при сравнении которого с рис. 1 видно, что интенсивность окрашивания (цветность) растворов неомыляемой фракции мидий летом и осенью испытывает более резкие колебания, чем весной, хотя максимум поглощения света у летних и осенних мидий приходится на волны длиной 400—500 $m\mu$. В растворах неомыляемой фракции из тела мидий июльского лова намечается еще один максимум поглощения света в диапазоне волн длиной 600 $m\mu$, однако по своей величине этот максимум во много раз меньше максимума в диапазоне коротких волн (400—500 $m\mu$).

Растворы неомыляемой фракции тела мидий, выловленных 28.VI 1950 г., были окрашены значительно меньше, чем у мидий, выловленных 10.VI того же года; однако содержание стеролов у мидий, выловленных в конце июня, оказалось гораздо большим, чем в теле мидий, выловленных в начале июня. Следовательно, рис. 2 еще

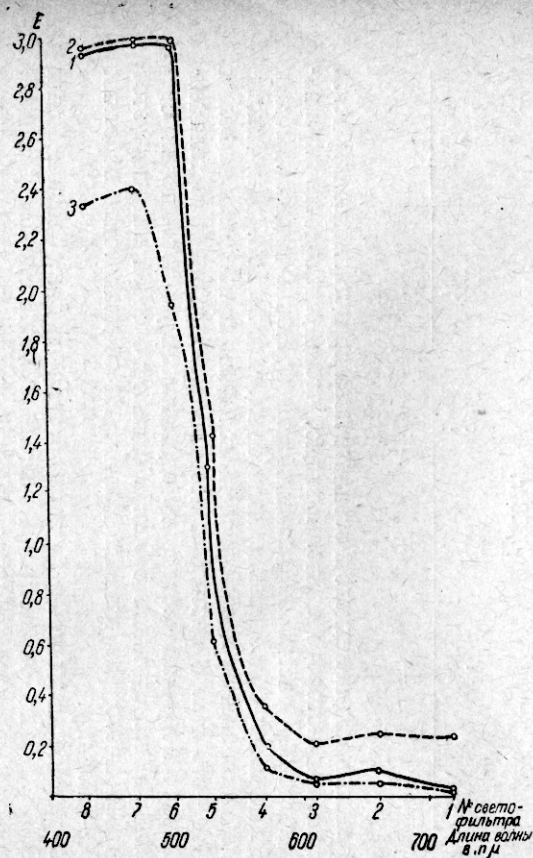


Рис. 1. Спектрофотометрическая характеристика пигментов мидий весеннего лова 1951 г.:

1 — лов 9.III; 2 — лов 20.III; 3 — лов 19.V.

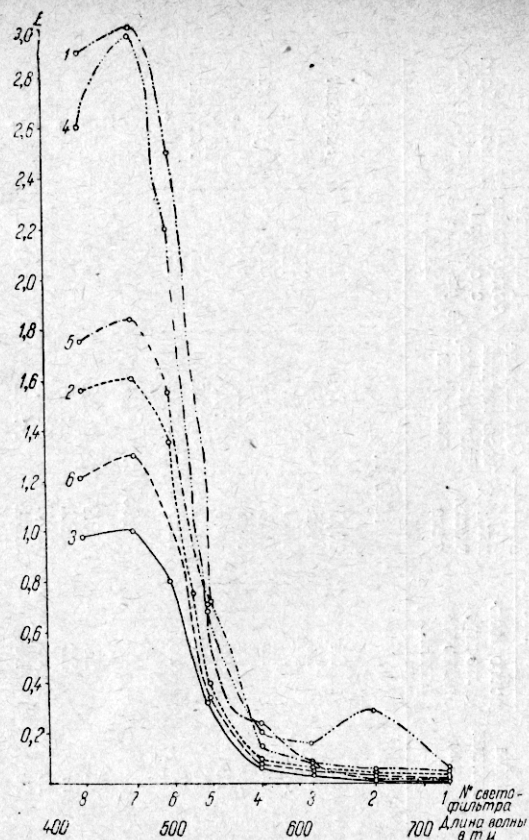


Рис. 2. Спектрофотометрическая характеристика пигментов мидий летнего и осеннего ловов:

1 — лов 10.VI 1950 г.; 2 — лов 22.VI 1951 г.; 3 — лов 28.VI 1950 г.; 4 — лов 14.VII 1949 г.; 5 — лов 5.IX 1949 г.; 6 — лов 5. X 1949 г.

раз подтверждает, что количество пигментов неомыляемой фракции ни весной, ни летом не зависит от содержания стеролов в теле мидий.

У мидий, выловленных осенью, наблюдается иная картина, так как с уменьшением количества стеролов в теле мидий уменьшается и интенсивность окрашивания раствора неомыляемой фракции (рис. 2).

Максимум поглощения света у раствора неомыляемой фракции тела мидий осеннего лова (как и у мидий весеннего и летнего ловов) приходится на волны длиной 400—500 $m\mu$.

На основании изучения растворов неомыляемой фракции из тела мидий, собранных в Черном море в районе Карадага, В. П. Вендт (1953) установил, что наряду с провитамином D_3 — 7-дегидрохолестеролом в теле мидий содержится также провитамин D_2 — эргостерол, причем доля эргостерола в сумме стеролов составляет не менее 12%, а доля 7-дегидрохолестерола — не менее 19%.

Используя хроматографический анализ, В. П. Вендт (1953) разработал простой метод выделения витаминов D_2 и D_3 из растворов их провитаминов, облученных ультрафиолетовым светом. При помощи этого метода из тела мидий получен препарат D_2 , обладающий активностью около 10 млн. $u. e.$ в расчете на 1 г и препарат D_3 , активностью 17 млн. $u. e.$ на 1 г.

2. Модiola — *Modiola adriatica* L a m.

Модiola — *Modiola adriatica* является обычной формой биоценоза ракушечника и по своей массовости занимает второе место после мидий. Материал для анализов собирался в районе Карадага.

Результаты определений количества стеролов в теле модиолы представлены в табл. 2.

Таблица 2

Содержание стеролов в теле модиолы — *Modiola adriatica* L a m., собранной в районе Карадага

Дата лова	Длина раковины (в мм)	Вес (в г)		Отношение веса мягкой части тела к весу раковины	Суммарное количество стеролов (в μ г на 1 г мяса)
		всего мол- люска (включая ра- ковину)	мягкой части тела		
1951 г.					
20.II	32	6,0	2,0	1 : 3,0	1400
9.III	40	5,0	1,5	1 : 3,3	1458
20.III	39	5,0	1,4	1 : 3,5	1250
19.V	39	5,0	2,4	1 : 2,0	700
22.VI	38	3,5	1,2	1 : 3,0	700
1952 г.					
13.III	38	3,8	1,0	1 : 3,8	1225
6.V	41	5,2	1,4	1 : 3,8	1750
В среднем	37	5,0	1,7	1 : 3,0	1211

Табл. 2 показывает, что содержание стеролов в единице веса мяса (1 г) модиолы вдвое больше, чем в такой же единице веса мяса мидий. Весной количество стеролов в теле модиолы почти вдвое больше, чем летом.

Следует отметить, что вес мягкой части тела одного экземпляра модиолы равен в среднем 1,7 г, а вес мягкой части тела одной мидии — около 9 г. Следовательно, заметно меньшее, чем у модиолы, количество стеролов, приходящееся на единицу веса, компенсируется у мидии в четыре раза более высоким весом тела; поэтому, если в теле одной модиолы содержится в среднем 2000 мкг стеролов, то в теле одной мидии содержание стеролов превышает 5000 мкг.

Результаты спектрофотометрических измерений растворов из неомыляемой фракции тела модиолы, собранной в зимний и ранневесенний периоды, представлены на рис. 3, из которого видно, что максимум поглощения света раствором неомыляемой фракции тела модиолы находится (как и у мидий) в диапазоне волн длиной 400—500 мμ; еще один максимум намечается в диапазоне волн длиной 660 мμ. Как и у мидий, второй максимум в противоположность первому характеризуется очень незначительной величиной коэффициента экстинкции.

Результаты измерения интенсивности окрашивания растворов неомыляемой фракции модиолы весенне-летнего лова представлены на рис. 4.

Сравнение рис. 3 и 4 показывает, что кривые цветности растворов неомыляемой фракции модиолы зимнего и весеннего ловов очень сходны, а содержание стеролов в теле модиолы как зимой, так и весной приблизительно одинаково. Исключение представляет некоторое уменьшение величины светопоглощения на спектрофотометрических кривых неомыляемой фракции модиолы весеннего лова, в результате которого исчезает максимум поглощения света при длине волны 600 мμ, достаточно ясно обнаруживаемый на спектрофотометрической кривой раствора из неомыляемой фракции модиолы зимнего лова.

Из сравнения рис. 3 и 4 видно также большое сходство кривых у модиолы весеннего и летнего ловов. Содержание стеролов у модиолы, выловленной летом, вдвое меньше, чем у модиолы, выловленной зимой и весной, но интенсивность окрашивания растворов неомыляемой фракции испытывает незначительные колебания, оставаясь на высоком уровне.

Отсюда напрашивается вывод об отсутствии прямой зависимости между количеством пигментов неомыляемой фракции и содержанием стеролов в этой фракции как у мидий, так и у модиолы.

В П. Вендт (1953) исследовал содержание стеролов у модиолы — *Modiola adriatica* и обнаружил, что сумма стеролов модиолы на 80—85% состоит из 7-дегидрохолестерола. 50% неомыляемой фракции модиолы составляют стеролы. Количество провитамина D₃ у модиолы составляет 0,12—0,15% в расчете на сырой вес. Отсюда автор заключает, что модиола, как и мидия, может служить ценным сырьем для производства препаратов витамина D₃.

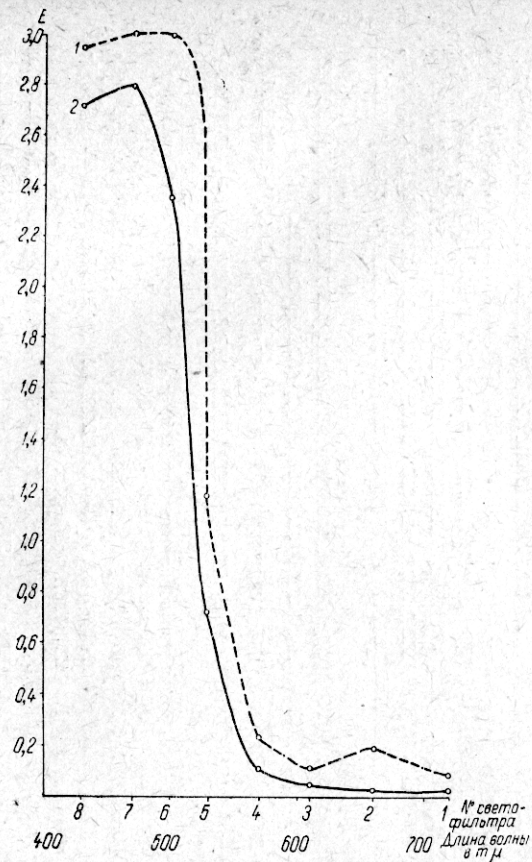


Рис. 3. Спектрофотометрическая характеристика пигментов модиолы зимнего и ранневесеннего ловов 1951 г.:
1 — лов 22.II; 2 — лов 20.III.

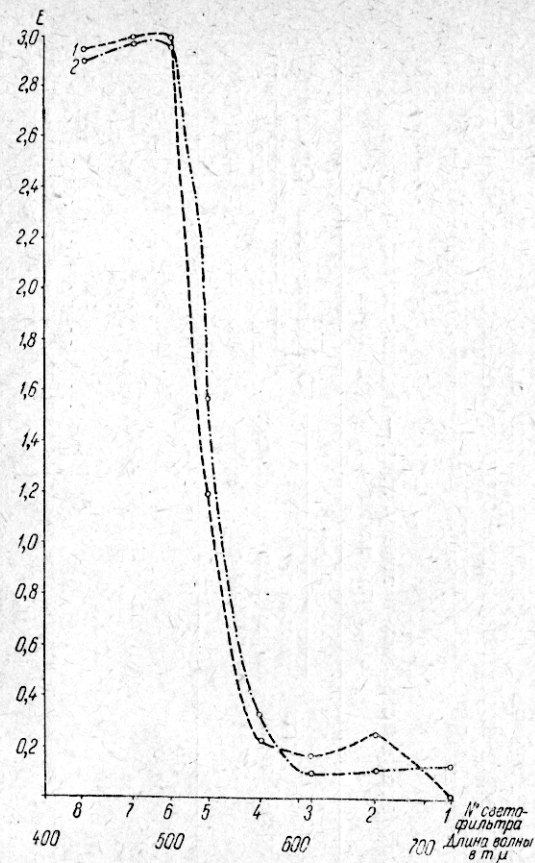


Рис. 4. Спектрофотометрическая характеристика пигментов модиолы весенне-летнего лова 1951 г.:
1 — лов 19.V; 2 — лов 22.VI.

3. Устрица — *Ostrea taurica* К р у п.

В некоторых районах Черного моря устрица образует значительные скопления, получившие названия устричных банок. Летом 1949 г. в районе Гадаутской устричной банки были собраны и засолены устрицы, мясо которых позднее было проанализировано на содержание стеролов. Результаты исследований приводятся в табл. 3.

Таблица 3

Содержание стеролов в теле устриц — *Ostrea taurica*, собранных на Гадаутской устричной банке

Дата лова	Длина раковины (в мм)	Вес (в г)		Отношение веса мягкой части тела к весу раковины	Суммарное количество стеролов (в $\mu\text{г}$ на 1 г мяса)
		всего моллюска (включая раковину)	мягкой части тела		
15.VII	58	20	1,9	1:10	712
15.VII	60	20	1,5	1:13	922
18.VII	65	22	2,1	1:10	600
20.VII	55	20	2,0	1:10	712
21.VII	59	21	1,5	1:13	675
В среднем	59	20	1,8	1:11	725

Кроме того, были исследованы устрицы, выловленные в районе Карадага в 1952 г. и содержавшиеся более шести месяцев в аквариумах, в которые ежедневно после смены воды добавлялся свежий планктон, собиравшийся сетью Джеди.

Анализы, проведенные 27.III 1952 г., показали, что устрицы длиной 59 мм и общим весом 30,1 г имели средний вес мягкой части тела (без раковины) 2,1 г. В 1 г мяса этих устриц обнаружено 1400 $\mu\text{г}$ стеролов, что в переводе на 1 кг мяса составляет 1 400 000 $\mu\text{г}$, или 1,4 г.

Таким образом, устрицы, жившие в лаборатории и ежедневно подкармливавшиеся планктоном, содержали вдвое больше стеролов, нежели устрицы летнего лова, подвергавшиеся анализу сразу после вылова.

Интересно, что содержание стеролов в теле устриц почти такое же, как и у мидий, собранных на той же Гадаутской банке.

В отличие от мидий, мягкая часть тела устриц по весу составляет лишь $\frac{1}{11}$ часть общего веса моллюска (включая раковину), поэтому в теле одной устрицы промысловых размеров количество стеролов почти в четыре раза меньше, чем в теле одной мидии.

Результаты спектрофотометрических измерений растворов из неомыляемой фракции мяса устриц, собранных 15 июля 1949 г. на Гадаутской банке, приводятся на рис. 5.

Из рис. 5 видно, что интенсивность окрашивания (цветность) растворов неомыляемой фракции устриц по сравнению с мидией и модиолой (см. рис. 1—4) очень незначительна. Однако из этого рисунка видно и большое сходство аналогичных кривых для всех трех видов моллюсков-фильтраторов (мидии, модиолы и устрицы). Как для

устриц, так и для мидий и модиолы максимум поглощения света наблюдается при длине волн 400—500 $m\mu$, хотя величины светопоглощения для устриц вдвое меньше, чем для мидий и модиолы. Рис. 5 показывает также независимость количества пигментов неомыляемой фракции тела устриц от общего количества стеролов, содержащихся в этой фракции.

18—20 июля 1949 г. в районе Гудаутской банки наряду с устрицами были собраны и мидии. Результаты измерений интенсивности окрашивания растворов неомыляемой фракции мяса гудаутских мидий и

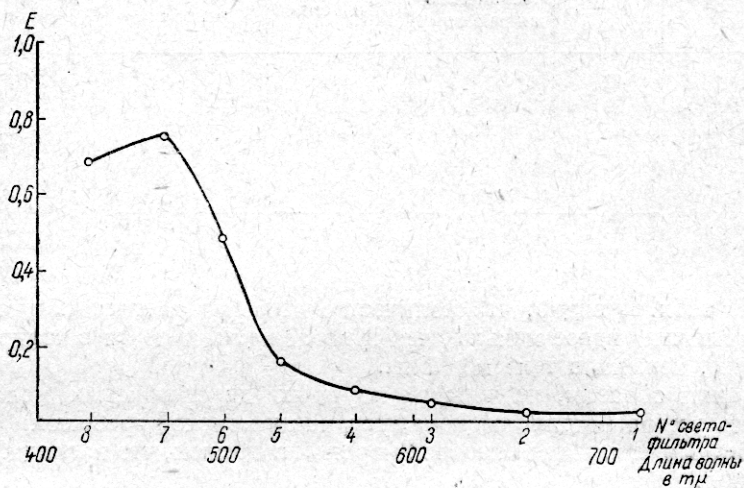


Рис. 5. Спектрофотометрическая характеристика пигментов устриц: лов 15.VII 1949 г.

устриц представлены на рис. 6, из которого видно, что прямой зависимости между количеством пигментов неомыляемой фракции и количеством стеролов не найдено ни для устриц, ни для мидий.

Несмотря на то, что содержание стеролов в теле мидий и устриц, собранных на Гудаутской устричной банке, оказалось близким, интенсивность окрашивания растворов из неомыляемой фракции у мидий в три раза сильнее по сравнению с устрицами. Следовательно, можно предположить, что интенсивность окрашивания растворов неомыляемой фракции у исследованных моллюсков обуславливается не соединениями стерольной природы, а содержащимися в теле этих моллюсков пигментами, которые переходят в неомыляемую фракцию.

4. Морской гребешок—*Pecten ponticus* B D D

Морской гребешок, как и модиола, является одной из обычных форм биоценоза ракушечника. На устричных банках численность популяций морского гребешка не уступает численности устриц, а иногда и превышает ее. По размерам морской гребешок близок к устрице и модиоле, т. е. является одной из крупных форм среди двусторчатых моллюсков Черного моря. По нашим данным (Аблямитова-Виноградова, 1949), количество белковых веществ в теле морских

гребешков значительно больше, чем в теле мидий. Материал для изучения содержания стеролов собирался в районе Карадага. Результаты анализов представлены в табл. 4.

Таблица 4

Содержание стеролов в теле морского гребешка—*Pecten ponticus* B D D, собранного в районе Карадага

Дата лова	Длина раковины (в мм)	Вес (в г)		Отношение веса мягкой части тела к весу раковины	Суммарное количество стеролов (в $\mu\text{г}$ на 1 г мяса)
		всего моллюска (включая раковину)	мягкой части тела		
20.II 1951	42	13,0	4,0	1:3,0	350
20.III 1951	39	10,3	3,3	1:3,0	375
19.V 1951	41	13,0	5,0	1:2,6	175
22.VI 1951	42	14,0	3,2	1:4,3	263
27.III 1952	36	7,0	2,3	1:3,0	175
6.V 1952	40	16,0	3,2	1:5,0	612
В среднем	41	13,0	3,5	1:3,2	325

Из табл. 4 видно, что количество стеролов в теле морского гребешка почти вдвое меньше, чем в теле мидий, и почти в четыре раза меньше, нежели в теле модиолы.

Таким образом, из четырех крупных двустворчатых моллюсков Черного моря (мидия, модиола, устрица и морской гребешок) наиболее бедным стеролами оказался морской гребешок, что наглядно видно из табл. 5.

Таблица 5

Сравнительные данные о количестве стеролов в теле наиболее крупных моллюсков-биофильтраторов Черного моря

Моллюски	Средняя длина раковины (в мм)	Средний вес моллюска, включая раковину (в г)	Средний вес мягкой части тела (в г)	Суммарное количество стеролов (в $\mu\text{г}$)	
				в 1 г мяса моллюска	в теле одного моллюска
Мидия	80	24	9,0	586	5274
Модиола	37	5	1,7	1211	2058
Морской гребешок	41	13	4,0	325	1300
Устрица	59	20	1,8	725	1305

Спектрофотометрическая кривая растворов неомыляемой фракции морского гребешка зимнего лова имеет основной максимум поглощения света при длине волны 470—500 $m\mu$ (другой, едва заметный максимум приходится на длину волны 660 $m\mu$) и очень сходна с аналогичной кривой для модиолы зимнего лова.

Из этого рисунка видно также, что, как и у модиолы, на спектрофотометрической кривой раствора из неомыляемой фракции тела морского гребешка весеннего лова исчезает максимум поглощения

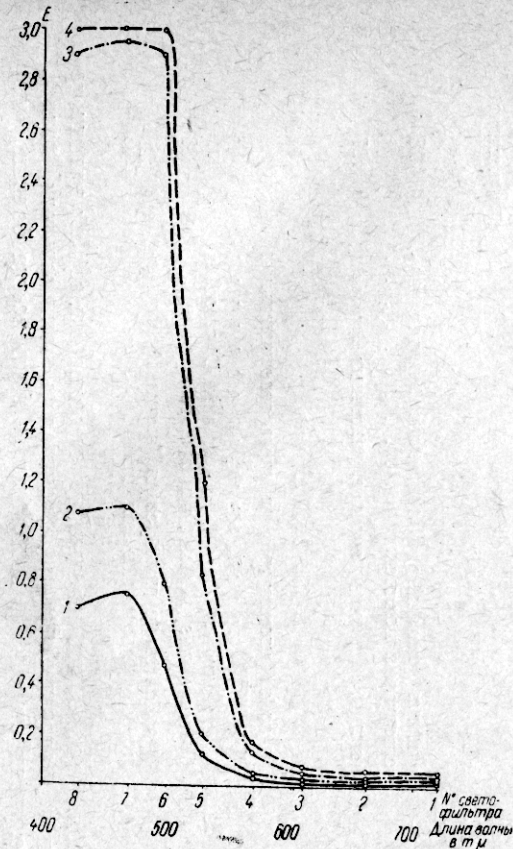


Рис. 6. Спектрофотометрическая характеристика пигментов устрицы и мидии Гудаутской устричной банки:
1 — устрицы, лов 18.VI 1949; 2 — то же, лов 20.VII 1949 г.; 3 — мидии, лов 18.VII 1949; 4 — то же, лов 20.VII 1954 г.

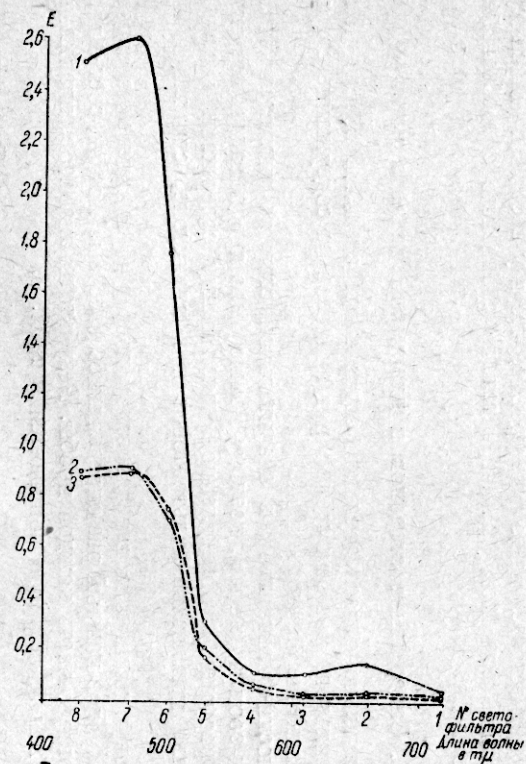


Рис. 7. Спектрофотометрическая характеристика пигментов морского гребенка:
1 — лов 20.II; 2 — лов 19.V; 3 — лов 22.VI 1951 г.

света при длине волны 660 $m\mu$, что, по-видимому, объясняется изменением состава пигментов. Данный рисунок показывает также, что у морских гребешков летнего лова количество пигментов в неомыляемой фракции остается на том же уровне, что и у весенних (майских), а содержание стеролов увеличивается по сравнению с гребешками весеннего лова.

5. Содержание стеролов в планктоне Черного моря

Параллельно с исследованием содержания стеролов в теле моллюсков-фильтраторов был сделан ряд анализов на содержание стеролов в планктоне Черного моря.

Моллюски-фильтраторы в значительной степени питаются фитом и отчасти зоопланктоном, поэтому можно было предполагать возможность обнаружения определенной связи между содержанием стеролов в теле моллюсков-фильтраторов и в планктоне, служащем им пищей.

В уловах планктона перед взятием проб для анализов на содержание стеролов каждый раз определялись массовые формы, составлявшие основную часть каждой пробы. Результаты анализов планктона на содержание стеролов приводятся в табл. 6.

Таблица 6

Содержание стеролов в поверхностном планктоне Черного моря, собранном у Карадага

Дата анализа	Руководящие формы планктона в анализируемой пробе	Сумма стеролов (в μg на 1 г планктона)
1950 г		
13.VI	<i>Ceratium</i> (различные), <i>Copepoda</i> и личинки двусторчатых моллюсков	75
9.XI	<i>Chaetoceros</i> , личинки полихет, различные <i>Ceratium</i>	117
1951 г.		
20.III	<i>Copepoda</i> , фитопланктон (в очень незначительном количестве)	44
19.V	Личинки мшанок, <i>Ceratium</i> , различные <i>Copepoda</i> и <i>Coscinodiscus</i> (меньше, чем животных форм) . .	88
11.VI	<i>Copepoda</i> (овариальные самки), личинки брюхоногих и двусторчатых моллюсков	263

Из табл. 6 видно, что содержание стеролов в весеннем планктоне (март), при господстве *Copepoda*, оказалось минимальным, хотя в других случаях стеролов в зоопланктоне было всегда больше, чем в фитопланктоне.

Зикеев (1950) отмечает, что наиболее низкое содержание провитамина D_3 характерно для весеннего планктона.

Стероиды планктона почти не изучены, поэтому невозможно сказать, за счет каких именно стеролов происходит увеличение или

уменьшение их общего содержания в планктоне, а также и в теле моллюсков.

Обнаружение довольно больших количеств стеролов в теле некоторых моллюсков (за исключением мидий, которые были изучены в этом отношении раньше), еще не доказывает богатства этих моллюсков именно провитамином или витамином D₃ (в отношении модиолы теперь с уверенностью можно сказать, что она достаточно богата этим провитамином); тем не менее, даже эти сугубо ориентировочные материалы дают известное представление о сравнительном богатстве исследованных моллюсков-фильтраторов стеролами.

Содержание стеролов в планктоне оказалось достаточно высоким. Возможно, что синтез стеролов в теле моллюсков осуществляется за счет промежуточных продуктов, получаемых ими из планктона; не исключена также возможность, что в теле моллюсков происходит накопление стеролов, подобно тому как накапливается в печени и в некоторых других внутренних органах морских организмов витамин А.

Изучение спектрофотометрической характеристики неомыляемых фракций мяса моллюсков и проб планктона показывает большое сходство в характере поглощения света пигментами, присутствующими в неомыляемых фракциях тела моллюсков и планктона. Это обстоятельство, по-видимому, дает основание говорить о наличии в теле моллюсков-фильтраторов тех же веществ, какие имеются в планктоне, которым эти моллюски питаются.

Результаты спектрофотометрических измерений неомыляемой фракции в пробах поверхностного планктона ранневесеннего (март) и весеннего (май) ловов представлены на рис. 8.

Рис. 8 наглядно показывает большое сходство окраски пигментов из неомыляемых фракций планктона, взятого в марте 1951 г., и тела исследованных моллюсков (см. рис. 1—7). Максимум поглощения света растворов из неомыляемой фракции в пробах планктона (в дихлорэтаноле) приходится, как и у моллюсков, на волны длиной 470—500 *mμ*.

На рис. 8 представлены кривые интенсивности окрашивания растворов из неомыляемой фракции планктона (собранного во второй половине мая 1951 г.), состоявшего главным образом из животных форм (личинки мшанок, *Copepoda*), со значительной примесью организмов фитопланктона (*Ceratium* и *Coscinodiscus*).

Спектрофотометрическая кривая раствора из неомыляемой фракции майского планктона сходна с такой же кривой для мартовского планктона, однако величина светопоглощения в диапазоне волн длиной 400—500 *mμ* в мае в пять раз меньше, чем в марте.

На рис. 9 представлены результаты измерений интенсивности окрашивания растворов из неомыляемой фракции планктона летнего (21.VI 1950 г. и 22.VI 1951 г.) и осеннего (9.XI 1950 г.) сборов.

Кривая поглощения света растворов из неомыляемой фракции планктона, собранного в конце июня 1950 г., в длинноволновой части спектра резко отличается от такой же кривой для летнего планктона, собранного в конце июня 1951 г., несмотря на то, что сборы планктона

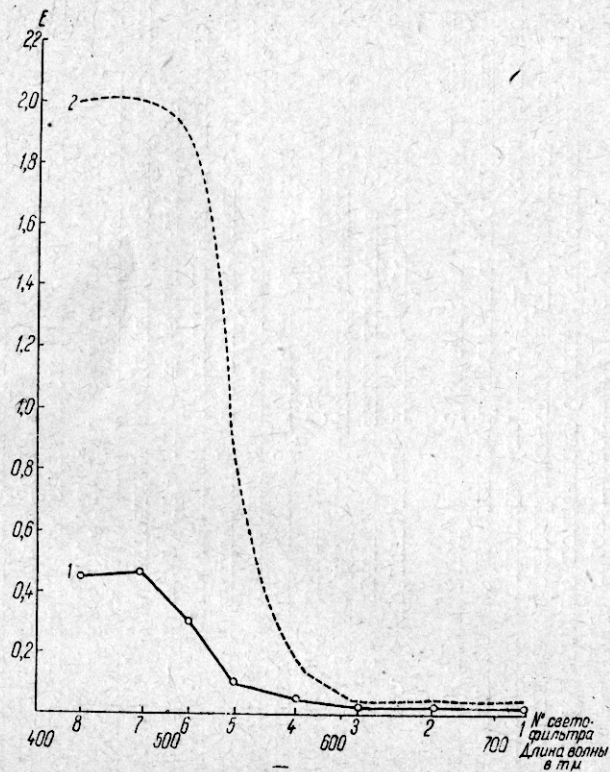


Рис. -8. Спектрофотометрическая характеристика пигментов из проб черноморского планктона весеннего лова:

1 — лов 20.III; 2 — лов 19.V 1951 г.

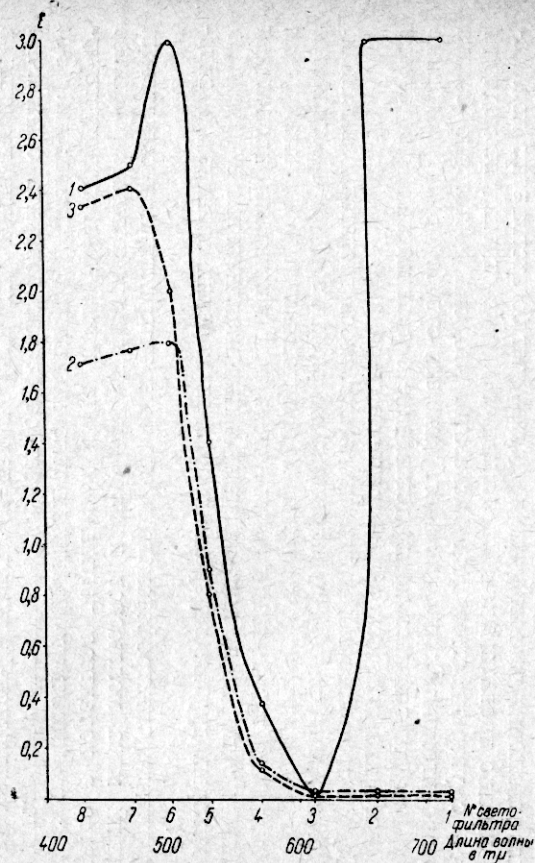


Рис. 9. Спектрофотометрическая характеристика пигментов черноморского планктона летнего и осеннего ловов:

1 — лов 28.VI 1950 г.; 2 — лов 22.VI 1951 г.; 3 — лов 9.XI 1950 г.

производились в одном районе той же планктонной сетью. Как видно из рис. 9, кривая интенсивности окрашивания раствора из неомыляемой фракции летнего планктона 1950 г. имеет два четко выраженных максимума поглощения света — один в диапазоне волн длиной 660—720 *мμ* и другой — в диапазоне волн длиной 470—500 *мμ*.

Максимум поглощения света раствором из неомыляемой фракции в пробе летнего планктона 1950 г. при волнах длиной 660—720 *мμ*, по-видимому, был обусловлен какими-то другими пигментами (возможно, хлорофиллом).

При сравнении рис. 1—7 и рис. 9 отмечается полное сходство кривых интенсивности окрашивания растворов из неомыляемых фракций летнего планктона и у исследованных моллюсков-фильтраторов.

Результаты спектрофотометрических измерений растворов неомыляемой фракции осеннего планктона приведены также на рис. 9, из которого видно, что эти кривые для проб планктона осеннего и ранневесеннего ловов очень сходны; оба раствора интенсивно окрашены, что подтверждается и величиной светопоглощения при длине волн 400—500 *мμ*.

Сходный характер поглощения света растворами из неомыляемых фракций весеннего и осеннего планктона, по-видимому, объясняется присутствием в собранных пробах значительных количеств окрашенных водорослей. Окраска планктонных водорослей обуславливает и большую интенсивность окрашивания соответствующих растворов.

Моллюски-фильтраторы, питаясь планктоном, несомненно, получают с пищей окрашенные и неокрашенные соединения (в том числе и стеролы), содержащиеся в планктоне, в силу чего и наблюдается такое большое сходство в характере поглощения света растворами из неомыляемых фракций в пробах из тела моллюсков и планктона.

Однако содержание стеролов в единице веса планктона в три-четыре раза меньше, нежели в единице веса мяса моллюсков. Здесь, как уже отмечалось выше, по-видимому, имеет место либо депонирование стеролов в теле моллюсков, либо синтез стеролов за счет промежуточных продуктов, непрерывно поступающих с пищей из планктона в тело моллюсков-фильтраторов.

6. Содержание стеролов в теле асцидии — *Ascidiella aspersa* Müll. и креветки — *Leander squilla* L.

Для сравнения с исследованными двустворчатыми моллюсками-фильтраторами в 1952 г. было проведено несколько анализов на содержание стеролов в теле еще одного компонента донной фауны Черного моря — асцидии — *Ascidiella aspersa*, обитающей также, как исследованные моллюски, на глубинах 20—35 м и являющейся фильтратором.

Одновременно изучалась также креветка, как одна из массовых форм десятиногих ракообразных, которая представляла для нас большой интерес благодаря наличию сравнительно твердого хитино-

вого панцыря и, главное, благодаря способности ее в течение года многократно сбрасывать панцырь и каждый раз обновлять его. Результаты анализов на содержание стеролов в теле асцидии и креветки приводятся в табл. 7.

Таблица 7

Содержание стеролов в теле асцидии и креветки (1952 г.)

Дата лова	Виды	Длина тела (в мм)	Вес (в г)	Суммарное содержание стеролов (в мг)	
				на 1 г веса	во всем орга- низме
13.III	<i>Ascidella aspersa</i> . . .	—	9,53	131	1248
24.V }	<i>Leander squilla</i>	42	0,96	2190	2102
24.V }		40	0,90	1312	1180

Как видно из табл. 7, в теле асцидии стеролы содержатся в сравнительно небольших количествах, в то время как креветки характеризуются чрезвычайно высоким содержанием стеролов, количество которых в три раза больше, чем у мидий, и значительно выше, чем у модиюлы, наиболее богатой стеролами среди двустворчатых моллюсков.

Накопление в теле креветки значительного количества стеролов, по-видимому, связано с чрезвычайно важной биологической особенностью ракообразных — систематической линькой по мере роста организма, при которой происходит полное обновление внешнего покрова (панцыря). Этот процесс, естественно, обуславливает интенсивное развитие скелетных образований (у креветок — слегка обызвествленного хитинового покрова).

Аналогичное явление отмечается у позвоночных животных, которые в периоды интенсивного роста скелетных частей тела особенно нуждаются в специфическом веществе стерольной природы, играющем чрезвычайно важную роль в процессе образования и роста костей, а именно в витамине D, провитамином которого являются некоторые стеролы. Можно допустить, что и свойство организма высших ракообразных, обнаруженное на примере креветки, — накапливать значительные запасы стеролов — связано именно с большой потребностью в них как в источниках образования соответствующего витамина D, используемого в процессе формирования хитинового покрова после каждой линьки.

Асцидия же, представляющая собой во взрослом состоянии мягкий мускульный мешочек, лишенный всяких скелетных образований, очевидно, не нуждается в накоплении стеролов и отличается как от двустворчатых моллюсков, снабженных раковиной, так и от креветки — представителя ракообразных, имеющих хорошо развитый твердый хитиновый панцырь, низким содержанием стеролов.

Проведенные исследования имеют рекогносцировочный характер: необходима постановка более углубленных и основанных на более совершенной методике параллельных физико-химических исследований веществ, получаемых из морского планктона, и моллюсков-фильтраторов. Такие исследования помогут раскрыть закономерности биохимических связей между отдельными звеньями пищевых цепей в море.

Выводы

1. Из четырех исследованных видов черноморских моллюсков-биофильтраторов наибольшее количество стеролов содержит модиола — *Modiola adriatica*, второе место занимает устрица — *Ostrea taurica*, третье — мидия — *Mytilus galloprovincialis*, четвертое — морской гребешок — *Pecten ponticus*. При пересчете на вес целого моллюска на первое место выходит мидия, обладающая наибольшим весом мягкой части тела; второе место занимает модиола, третье — устрица и четвертое — морской гребешок.

2. В единице веса планктона содержится в три-четыре раза меньше стеролов, чем в единице веса мяса исследованных моллюсков.

3. Спектрофотометрическая характеристика неомыляемой фракции тела моллюсков и проб планктона указывает на большое сходство пигментов неомыляемой фракции планктона и тела моллюсков; это позволяет говорить о наличии в теле моллюсков-фильтраторов тех же веществ, какие имеются и в планктоне, которым они питаются.

4. Более высокое содержание стеролов в теле моллюсков-фильтраторов по сравнению с их содержанием в черноморском планктоне, по-видимому, объясняется возможностью синтеза стеролов в теле моллюсков за счет промежуточных продуктов, получаемых ими с планктонной пищей, а также и прямым накоплением (депонированием) стеролов.

5. Между количеством пигментов неомыляемой фракции мяса моллюсков и проб планктона и количеством стеролов, имеющихся в теле моллюсков и в планктоне, прямой зависимости не обнаружено.

6. Кривые поглощения света растворами из неомыляемой фракции проб весеннего и осеннего планктона имеют большое сходство, объясняемое, очевидно, наличием в собранных пробах значительных количеств фитопланктона; окрашенные формы водорослей в период весеннего и осеннего «цветений» обуславливают большую интенсивность окрашивания растворов из неомыляемой фракции планктона в соответствующие периоды.

ЛИТЕРАТУРА

Аблямитова-Виноградова З. А., О химическом составе беспозвоночных Черного моря и его изменениях, Труды Карадагской биол. ст., вып. 7, 1949.

Аблямитова-Виноградова З. А., Про хімічний склад безхребетних Чорного моря, «Український біохім. журн.», т. XX, вып. 1, 1948.

Буккин В. Н. и Ерофеева Н. Н., Биологический метод определения и результаты испытания рыбьих жиров и других продуктов морского промысла на витамин D, Витаминные ресурсы и их использование, сб. 1, 1951.

Вендт В. П., Беспозвоночные как источник витаминов группы D, Витамин D, сб. 1, Изд-во АН УССР, 1953.

Вендт В. П. и Кузнецова Л. Н., Исследование неомыляемых веществ некоторых беспозвоночных, «Український біохім. журн.», т. XXII, вып. 2, 1950.

Виноградова З. А., О фильтрационной способности наиболее крупных представителей Lamellibranchiata в Черном море, Труды Карадагской биол. ст., вып. 9, 1950.

Виноградова З. А., О химическом составе беспозвоночных Черно-го моря, ДАН СССР, т. LXV, вып. 6, 1949.

Гаркина И. Н. и Букин В. Н., Химический метод определения витамина D в рыбьих жирах, Витаминные ресурсы и их использование, сб. 1, 1951.

Зикеев Б. В., Беспозвоночные животные как сырье для получения витамина D₃, Труды ВНИВИ, 1946.

Зикеев Б. В., Переработка водного нерыбного сырья, 1950.

Шнайдман Л. О., Производство витаминов, 1950.
