

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МОРСКОГО ПЛАНКТОНА

А. П. Виноградов

1. Введение

Значение планктона в жизни моря огромно. С морфологической стороны планктон изучается давно и в этом направлении планктология располагает большим материалом¹.

В настоящей статье мы хотели бы привлечь внимание к вопросу о химическом составе планктона и именно морского планктона. С этой стороны планктон систематически почти не изучался, что отчасти может быть объяснено сложностью регулярного получения планктона в определенное время из определенного места, требующего значительной затраты средств. Между тем, систематическое изучение химического состава планктона смогло бы дать исключительный по своему значению материал для разрешения целого ряда океанографических вопросов, как теоретических, так и практических. Достаточно напомнить, что огромные пространства дна океанов и морей покрыты скелетными остатками планктонных организмов; фораминифер, радиолярий, диатомей и других. О составе названных скелетных остатков мы судим лишь по породам, ими образованным, о составе же этих живых организмов мы почти ничего не знаем. Образование осадков дна, наконец, аккумуляция ими отдельных химических элементов, имеющие большое геохимическое значение, станут вполне понятным только тогда, когда мы будем знать состав морских организмов и, в частности, состав морского планктона².

Точно также находится в зависимости от развития планктонных организмов и гидрохимическая картина моря. Планктон нарушает гидрохимический режим в зоне своего распространения, который мог бы при иных условиях стать более стационарным. Напомним для примера ныне широко известный факт — резкое снижение и даже исчезновение фосфатов, нитратов и т. п. в слоях морской воды, где имеет место развитие планктона, и восстановление равновесия постепенным приносом этих конститuentов из более глубоких слоев воды, лежащих вне зоны развития планктона³.

¹ См. например работы Никольса (Nicholls — 29), Маршалла (Marshall — 25) и В. А. Яшнова (9) по биологии *Calanus finmarchicus*, которая за последние годы подробно изучается. По биологии планктона Баренцова моря см. также работы В. Г. Богорова (12) и В. А. Яшнова (8).

² О составе морских организмов см. нашу работу о химическом элементарном составе морских организмов (5).

³ По Баренцову морю из работ в этом направлении см., например, статью С. В. Бруевича (3) и др.

Аналогичные примеры влияния планктона на состав морской воды могут быть умножены.

Полнота гидрохимической картины моря может быть получена лишь при параллельном изучении химического состава планктона и гидрохимии моря. Только тогда выяснится влияние тех или иных физико-химических факторов на появление и развитие того или иного вида планктона и обратно — изменение этих факторов, в связи с тем или иным характером планктона. Нужно ожидать, что подобное систематическое и посезонное изучение химии планктона на фоне гидрохимии позволит разобраться в закономерностях, обуславливающих появление во времени одних форм и исчезновение других форм планктона и в закономерностях перемежающегося междувидового равновесия в планктоне. Ниже мы увидим, что химический состав отдельных планктонных организмов различен.

Вопросы продуктивности планктона, имеющие решающее значение в рыбном хозяйстве, получили бы в таком случае надлежащую основу.

Нижеприведенные данные по химическому составу планктона мы рассматриваем как первую попытку приблизиться к реальной постановке этой большой задачи.

II. Состояние вопроса о химическом составе морского планктона

Начало исследования химического состава планктона было положено в 1880-ых годах В. Генсеном (*V. Hensen—19*). В связи с вопросом продуктивности, данные по содержанию белков, жиров и т. п. в планктонных формах вскоре приобрели практическое значение, особенно в озерных и прудовых рыбных хозяйствах. Это вызвало в свою очередь появление новых исследований в этом направлении. Данные по содержанию азота (белку), жиров, золы, сухого остатка планктонных организмов, почти исключительно относящихся к пресноводным формам, можно найти у Кнауטה (*Knauthe—21*), Апштейна (*Apstein—11*), Волка (*Volk—32*), Турнера (*Turner—31*), Уиппла и Джексона (*Whipple and Jackson—34*), Гамса и Ричардса (*Hyams & Richards—20*), Моранского (*Moranski—28*), а в последнее время у Генга (*Geng—18*).

У нас в свое время подобные исследования были поставлены на Никольском рыбноводном заводе Лебединцевым (7) и другими.

Генсен провел первые исследования на морских организмах — диатомовых, ракообразных и других, ограничившись однако определением в них только сухого остатка и золы. Прямым продолжением и развитием этих работ по существу являются работы, произведенные в Кильской бухте (Германия) вначале Брандтом (*Brandt—14*), а затем и его сотрудниками Рабеном (*Raben—15*), Дельфом (*Delff—17*), а также Мейером (*Meyer—26*). Эти исследования, вместе составляющие нечто общее, в основном направлены на изучение химического состава морского планктона, а также бентоса, в разное время года, разного возраста и т. д.

Брандт первый привел анализы для 13 образцов морского планктона, главным образом, для диатомового или смешанного, на углерод, золу, кремнекислоту и хлор. В следующей работе с Рабеном и Штиером, Брандт исследовал 13 образцов планктона на содержание белков, жиров, хитина, фосфора, кальция и железа. Аналогичные данные находим у Мейера и Дельфа для бентосных организмов.

Таким образом, на биостанции в Кильской бухте велись более или менее систематические исследования в интересующем нас направлении. Другим местом работ по изучению химии планктона, правда, на пресных

озерах (*Mendota*, *Monona*, *Waubesa*) является лаборатория Висконсинского университета в США, где ведут и ныне работу Бердж и Джедей (*Birge and Juday—12*). К некоторым их данным мы еще вернемся ниже при сравнении состава отдельных видов планктона. В настоящее время морской планктон изучается в интересующем нас направлении еще в лаборатории института Скрипса в La Jolla (Калифорния) Мобергом, (*Moberg—27*), давшим определения жиров, сухого остатка и золы для планктона берегов Калифорнии в июне—мае и октябре—феврале (уменьшение органического вещества и увеличение золы к осени).

Ваксман (*Waksman—33*) с сотрудниками нашел в зоопланктоне из Buzzard's Bay, состоящем из Copepoda—*Centropages hamatus* и *Centropages typicus*, а также содержащем еще и других рачков, *Sagitta* и яйца рыб—7,88% золы, 10,1% жиров, 5,8% хитина и 55,7% белков (на свободное от растворимых солей сухое вещество).

Из других работ по химии планктона отметим еще работы Крога (*Krogh—23*) с сотрудниками, давших определения азота, жиров, углеводов и фитопланктона из Schlossee в связи с развитием *Cladocera*. Лунде и Клосс (*Lunde and Closs—24,16*), (Oslo—fiord, Норвежское море) определили иод в некоторых планктонных организмах; Бойсен-Иенсен (*Boysen-Jensen—13*) дал определение углерода в *Peridineae*. Более ранние данные для морского планктона были получены еще Андерсоном (*Anderson—10*) для диатомовых (Si, Al, зола) и Сальковером (*Salkover—30*), для планктонных ракообразных *Temora longicornis* и *Thysanoessa inermis*.

Наиболее полный анализ, относящийся к пресноводному планктону, состоящему, главным образом, из ракообразных, в свое время был дан нами (5).

Из этого сжатого очерка становится очевидной недостаточность наших знаний о химическом составе планктона, морфологически столь разнообразного.

III. Материал и его сбор

Сбор материала производился во время некоторых рейсов экспедиционных судов Государственного океанографического института в 1930—1932 гг. Все сборы дали образцы планктона, состоявшего либо исключительно из *Calanus finmarchicus*, либо, главным образом, из *Calanus finmarchicus* и других планктонных организмов. Ниже приводятся морфологические определения. В 1930 г. были сделаны первые попытки собрать планктон в количествах, необходимых для анализа, что и удалось во время 25-го рейса на э/с „Персей“, а затем сборы были повторены. Выловленный при помощи малькового трала или Brutnetz и тому подобными орудиями лова, планктон переносился тотчас же частями на кусок Мюллеровского газа (30×30 см), который затем собирался в узелок, так чтобы не создавалось никакого давления на планктон и обсушивался снизу кусочками фильтровальной бумаги. После этого планктон переносился роговым шпателем или ложкой в тарированную банку, взвешивался, фиксировался формалином до 4% его содержания, и в таком виде доставлялся в лабораторию для анализа. О количествах *Calanus finmarchicus*, с которыми встречались в море при его сборах, может дать представление, например, сбор на станции 1479, когда чистый *Calanus finmarchicus* в количестве 1007 г свежего веса был получен в течение 1 часа. В табл. 1, мы приводим данные об условиях и результатах сбора.

В сборах 25-го рейса „Персей“ участвовал сотрудник биогеохимической лаборатории Академии наук СССР—Н. С. Смирнов. В том же году Г. Г. Бергман-научная сотрудница той-же лаборатории

Таблица 1

Table 1

Условия и результаты сбора планктона

Conditions and results of plankton sampling

№ № п.п.	Состав планктона Composition of the plan- kton	Место сбора Locality of sampling	Время сбора Date of sampling	Орудия и продол- жительность лова Plankton samplers and duration of sampling	Вес свежего планктона в г Weight of fresh plankt- on in g.
1					
1	<i>Calanus fin- marchicus</i>	Мотовский залив Motovskij Bay	1930	Планктонные сетки Plankton net	891,0
2	<i>Calanus fin- marchicus</i>	Баренцево м. Ст. 1474 Barents Sea. St. 1474	28.VII-1930	Мальковый трал; 30 мин. Fry trawl; 30 min.	165,20
3	"	" " Ст. 1475 " " St. 1475	28.VII-1930	Мальковый трал; 30 мин. Fry trawl; 30 min.	233,70
4	(исключи- тельно чис- тый) Only pure <i>Calanus</i>	" " Ст. 1479 " " St. 1479	29.VII-1930	Мальковый трал; Fry trawl; 30 min.	1007,70
5	"	" " Ст. 1481 " " St. 1481	20.VII-1930	2 лова по 30 мин. Two hauls by 30 min.	около 500 about
6	"	Мотовский залив Motovskij Bay	1931	30 мин. 30 min.	631,0
7	<i>Calanus fin- marchicus</i> исключ.чист. Only pure (<i>Calanus</i>)	Кандалакшский залив у входа в Княжую губу, ст. 92 Kandalaksha Gulf off the entering of Knja- zhaja Bay, st. 92	6.VII-1932	Газ № 38; 6 мин. Gaz № 38; 6 min.	10,99
8	<i>Calanus fin- marchicus</i>	Там-же, район Педу- нихи, ст. 96 The same place (Pe- dunikhia district); St. 96	8.VII-1932	Газ № 38; 5 ловов Gaz № 38; 5 hauls	15,93
9	"	Там-же (у Карель- ского берега); ст. 97 The same place (off Karelskij coast); st. 97	8-9.VII 1932	" "	23,18
10	<i>Calanus fin- marchicus</i>	Там-же (Палкина гу- ба); ст. 126 The same place (Palki- na Bay); st. 126	17.VII 1932	Газ № 38; 5 ловов Gaz № 38; 5 hauls	8,84
11	"	Баренцево море Barents Sea	Сентябрь Октябрь 1932 Septem- ber October 1932	" "	41,84
12	Диатомовый планктон <i>Diatomae</i> phytoplank- тон	Полярная гавань Polarnaja Harbour	24.VII- 9.VIII 1929	" "	Около 45 About 45

участвовала в сборах э/с „Н. Книпович“¹. В 1931 г. Н. А. Смирновым производился сбор планктона в Мотовском заливе. В 1932 г. под руководством В. А. Яшнова научный сотрудник ГОИН'а Л. А. Чайнова собрала планктон в течение июня-июля с 4-х станций Кандалакшского залива Белого моря.

Ниже (табл. 2) приводим данные, любезно предоставленные В. А. Яшновым, о морфологическом составе этих проб и веса отдельных представителей, найденные им для одного грамма сырого планктона.

Таблица 2

Table 2

Планктон Кандалакшского залива

Plankton of the Kandalaksha gulf

№№ пробы №№ of sample	Состав планктона Composition of the plankton	Стадия Stage	Число экз. Number of specimens	Вес в мг Weight in mg.	Примечание Notes
1					
7	<i>Calanus finmarchicus</i>	III	262	} 970	97% по весу 97% by weight
	" "	IV	1274		
	" "	V	1		
	" "	ad.	1	} 4	
	<i>Metridia longa</i>	IV	2		
	" "	V	2		
	" "	ad.	2	} 1	
	<i>Pseudocalanus elongatus</i>	V	12		
	" "	ad.	1		
	<i>Centropages hamatus</i>	ad.	3	} 1	
	<i>Evadne</i>	—	1		
	<i>Mysis</i> stad	—	1		
	<i>Hydromedusae (Obelia)</i>	—	64	} 10	
	<i>Sagitta</i>	—	0,5		
				} 13	
8	<i>Calanus finmarchicus</i>	III	98	} 355	53% по весу 53% by weight
	" "	IV	225		
	" "	V	24		
	" "	ad.	16	} 10	
	<i>Pseudocalanus elongatus</i>	V	61		
	" "	ad.	21		
	<i>Metridia longa</i>	IV	40	} 150	
	" "	V	102		
	" "	ad.	70		
	Другие Copepoda	—	38	} 15	
	<i>Mysis</i> sp.	—	3		
	<i>Amphipoda</i>	—	6,5	} 147	
	<i>Hydromedusae</i>	—	8		
	<i>Sagitta</i>	—	18	} 100	В том числе 4 круп- ных. Among them 4 big specimens
	<i>Appendicularia</i>	—	90	} 150	
	<i>Infusoria</i>	—	2		
	Larvae <i>Mollusca</i>	—	—	} < 1	
	Larvae <i>Vermes</i>	—	1		

Продолжение табл. 2
Continuation of the table 2

№№ пробы №№ of sample	Состав планктона Composition of the plankton	Стадия Stage	Число экз. Number of specimens	Вес в мг Weight in mg.	Примечание Notes
9	<i>Calanus finmarchicus</i> . . .	III	330	} 890	89 ^{1/10} по весу 89 ^{0/10} of weight В том числе Obelia 37 экз. 37 specimens of Obelia included
	" " " " . . .	IV	969		
	<i>Mysis stad.</i> "	—	2	1	
	<i>Hydromedusae</i>	—	39	45	
	<i>Sagitta</i>	—	60	50	
	<i>Clione</i>	—	1/8	14	2 big and 58 small specimens inclu- ded
	Larvae <i>Mollusca</i>	—	(2)	1	
10	<i>Calanus finmarchicus</i> . . .	III	8	} 60	Общий вес Cope- poda в пробе—75 ^{0/10} Total weight of Copepoda 75 ^{0/10} of sample
	" " " " . . .	IV	98		
	" " " " . . .	V	5		
	" " " " . . .	ad	4	} 240	
	<i>Metridia longa</i>	III	1		
	" " " " . . .	IV	12		
	" " " " . . .	V	110	} 330	
	" " " " . . .	ab	350		
	<i>Pseudocalanus elongatus</i> .	III	580		
	" " " " . . .	IV	380	} 1 352	
	" " " " . . .	V	1 352		
	" " " " . . .	ad	1 190		
	Другие Copepoda	—	235	120	
<i>Ampnipoda</i>	—	2,5	35		
<i>Medusae</i>	—	2	35		
<i>Sagitta</i>	—	6,5	} 180		
<i>Mysis st.</i>	—	(1)			
Larvae <i>Vermes</i>	—	(14)			
<i>Cladocera</i>	—	(9)		1	

Наконец, мы должны сказать о неоднократных попытках, которые делались нами для получения морского фитопланктона, но каждый раз почти безрезультатно. Лишь в июле-августе 1929 г. удалось собрать в Полярной гавани при помощи планктонной сетки (Мюллеровский газ № 23) всего около 45 г свежего вещества диатомового планктона, состоявшего из *Skeletonema*, *Thalassiotrix* и разных *Chaetoceras*.

IV. Методы химического анализа

Определение потери при высушивании (H₂O) производилось вначале путем нагревания планктона в фарфоровой чашке на водяной бане, а затем в термостате при 100°C. Определение воды дает обычно ошибку ± 2^{0/10}.

Определение остатка от прокаливания (золы). При сжигании организмов, а затем при прокаливании образующейся золы происходят потери серы (белков), фосфора, щелочей и др. Поэтому на, так называемую, золу следует смотреть как на условную величину, имеющую сравнительное значение. В зависимости от температуры получения вес ее колеблется. Мы производили сжигание и прокаливание в фарфоровых тиглях на одной газовой горелке при температуре не выше 500°C. Все определения произведены одновременно.

Определение азота (и белка). Азот определялся по Кьельдалю. После вычета из общего азота азота хитина (см. ниже) полученный азот белка умножался на 6,25. Мы приняли этот коэффициент пересчета для белков, как более широко принятый (у американских, английских и других авторов), а не 6,41 (принятый, главным образом, у немцев). Последний коэффициент получается из формулы белка, в которой упущена сера, и коэффициент поэтому высок.

Определение хитина. Мы придерживались метода, предложенного Брахом (*Brach*). Сухое вещество планктона кипятилось дважды по 1 часу с 15% КОН для гидролиза белков и, наконец, нагревалось вновь в течение нескольких часов с 15% КОН на водяной бане. После этого щелочь отмывалась водой, осадок промывался последовательно: разбавленной соляной кислотой, водой, спиртом и эфиром на гучевском тигле, сушился при 100° и взвешивался. Таким образом, полученный хитин содержал все же около 1% золы, которая определялась по сжиганию хитина. Вес золы вычитался из веса полученного хитина. Азот хитина принимался равным 6,01% (по формуле $C_9H_{15}NO_6$)

Определение эфирного экстракта (жира) производилось в аппарате Сокслета.

Определение калорийности произведено, как обычно, в калориметрической бомбе. Повторные определения для одного и того же образца планктона колебались в пределах 1%.

Определение щелочей. Зола для определения щелочей получалась осторожным обугливанием в кварцевом тигле. Полученный уголь переводился в раствор с соляной кислотой, нагревался и фильтровался. Фильтр с углем сжигался вновь в кварце до золы и переносился в фильтрат. Фосфаты осаждались в кварцевом стакане путем добавления Fe^{+++} и NH_3 при нагревании. Осадок отфильтровывался, фильтрат выпаривался в платиновой чашке до суха и осторожно прокаливались аммонийные соли. Осадок растворялся и осаждались сульфаты. Сернистый барий отфильтровывался. Фильтрат доводился до объема 20 см³. 1 см³ этого раствора шел на определение натрия по методу с уранил-цинк-ацетатом, а остальное количество шло на определение калия по кобальт-нитритному методу¹.

Определение Са, Mg и Si производилось обычным путем. По удалении SiO_2 , железо и фосфаты удалялись по ацетатному методу двойным осаждением. Са определялся в виде СаО, а Mg — как $Mg_2P_2O_7$.

Определение железа и марганца производилось в отдельных навесках. Железо определялось колориметрически в виде роданата, извлеченного амилловым алкоголем — по методу, детально разработанному в Биогеохимической лаборатории Академии наук (6).

Марганец определялся колориметрически, после окисления до перманганата персульфатом. Хлориды предварительно были удалены.

Определение фосфора, серы и хлора. Навески для фосфора и серы сжигались в азотной кислоте удельного веса 1,56 в кьельдалевских колбах. Раствор вываривался в чашке до суха и нейтрализовался содой. Остаток переводился в никелевый тигель и сплавлялся со смесью $Na_2CO_3 + Na_2O_2$. В дальнейшем фосфор определялся, как обычно, по VO_3 ($Mg_2P_2O_7$), а сера, в виде сернистого бария. Двойное окисление необходимо вследствие наблюдающихся потерь серы при неполном ее окислении.

Навеска планктона для определения хлора окислялась в азотной

¹ Подробно об уранил-цинк-ацетатном и кобальт-нитритном методах — см. Х. Г. Виноградова — Томашевская (6).

кислоте, свободной от хлора, в течение нескольких часов на водяной бане; после введения титрованного раствора азотнокислого серебра она окончательно окислялась прибавлением хамелеона. В дальнейшем определение шло по Фольгарду.

Определение иода и брома. Окисление навески для иода производилось по Глимму.

Раствор, содержащий J', окислялся бромной водой в JO_3 и титровался, как это у нас подробно описано (5). Бром определялся по методу Бернхардта и Укко.

У. Полученные данные

Для анализа были выбраны пробы №№ 1, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11 и 12, причем пробы №№ 1 и 4 и отчасти № 6 были подвергнуты более детальному химическому анализу.

Проба № 1. *Calanus finmarchicus* (Мотовский залив). Углерод был определен в образце планктона, собранном специально для этой цели и состоявшем из *Calanus finmarchicus*. Определение производилось тотчас же после лова, без предварительной фиксации, в лаборатории Мурманской биостанции ГОИН'а, — Г. Г. Бергман. Анализ был сделан по Либиху (с восстановительной медной спиралью и серебряной сеткой).

Навеска 0,6898 г; $\text{CO}_2 = 0,1544$ г или $6,09\%$ С в живом веществе

Навеска 0,5610 г; $\text{CO}_2 = 0,1215$ г или $5,90\%$ С в живом веществе

Водорода оказалось соответственно $10,26\%$ в живом веществе или $7,71\%$ (за вычетом воды) на сухое вещество.

Сухой остаток планктона = $13,30\%$ (среднее из ряда определений).

Потеря при высушивании = $86,7\%$ (H_2O).

Остаток от прокаливании в среднем = $14,04\%$.

Общий азот = $10,21\%$ азота в сухом веществе.

Чистого хитина из навески в 1,0 г получено 0,0372 г, что даст $3,72\%$ на сухое вещество, откуда найден азот хитина = $0,22\%$.

Белок: азот белка = $10,21 - 0,22 = 9,99$, откуда белка: $9,99 \times 6,25 = 62,56\%$ на сухое вещество планктона.

Эфирный экстракт (жир) найден из навески в 10 г = $19,30\%$ на сухое вещество планктона. Калорийность = 5742 калорий на сухое вещество планктона.

Содержание остальных элементов, видно из следующих данных.

Название элемента	Содержание в $\%$ на сух. вещество	Название элемента	Содержание в $\%$ на сух. вещество
Ca	0,314	Mn	n. 10^{-4}
Mg	0,227	S	1,058
K	2,18	Cl	7,96
Na	4,13	Si	0,053
P	0,99	Br	0,07
Fe	0,558	J	0,0016

Проба № 4. *Calanus finmarchicus* (Баренцево море, станция 1479)

Сухой остаток = 15,20%, откуда содержание воды = 84,80%.

Остаток от прокаливания = 14,64%.

Общий азот = 9,98% на сухое вещество.

Содержание чистого хитина в навеске в 1 г = 0,0348 г или 3,48% на

сухое вещество, откуда азот хитина = 0,21%.

Белки: азот белка = 9,98 - 0,21 = 9,77%, откуда белка $9,77 \times 6,25 =$

= 61,00% на сухое вещество.

Эфирный экстракт (жир) в среднем = 21,5% на сухое вещество.

Содержание остальных элементов характеризуется приведенными ниже данными.

Название элементов	Содержание в % на сух. вещество	Название элементов	Содержание в % на сух. вещество
Ca	0,212	S	1,009
Mg	0,158	Cl	7,77
K	4,32	Si	0,103
P	0,98	Br	0,07
Fe	0,084	J	0,0058
Mn	$n \cdot 10^{-4}$		

Калорийность этой пробы не определялась.

Проба № 6. *Calanus finmarchicus* (Мотовский залив).

Сухой остаток = 14,30%, откуда содержание воды = 85,70%.

Остаток от прокаливания = 16,1% на сухое вещество.

Общий азот = 10,48% на сухое вещество.

Азот хитина = 0,18% на сухое вещество.

Белки: азот белка = 10,48 - 0,18 = 10,30%, откуда белка $10,30 \times$

$\times 6,25 = 64,38\%$ на сухое вещество.

Эфирный экстракт (жир) = 14,80% на сухое вещество; калорийность = 5339 калорий на сухое вещество. Содержание остальных элементов представлено ниже:

Название элементов	Содержание в % на сух. вещество	Название элементов	Содержание в % на сух. вещество
Ca	0,770	S	1,137
Mg	0,044	Cl	7,48
P	1,09		

Химический состав (в процентах на сухое вещество) всех проб сведен в табл. 3.

Химический состав планктона (в % на сухое вещество).
Chemical composition of the plankton (in percents per dry substance)

№№ проб. No. of samples	Место сбора Locality of sampling	C		H		Ashes		P		N		Хитин Chitin		Азот Nitrogen			Жиры Fat	Калорийность Calories
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			
1	Мотовский залив Motovskij Bay	45,86	10,26	14,01	0,99	10,2	3,72	0,22	9,99	62,56	19,30	5742						
4	Баренцово море Barents Sea	—	—	14,64	0,98	9,38	3,48	0,21	9,70	61,00	21,50	—						
6	Мотовский залив Motovskij Bay	—	—	16,10	1,09	10,48	2,99	0,18	10,30	64,38	14,80	5389						
7	Белое море, Кандакшский залив White Sea, Kandalaksha Gulf	—	—	10,50	1,15	10,77	4,78	0,29	10,48	65,50	18,20	5533						
8	"	—	—	10,98	1,03	8,93	3,93	0,23	8,70	54,37	31,00	6480						
9	"	—	—	11,60	1,22	10,40	4,17	0,25	10,15	63,43	20,21	6280						
10	"	—	—	8,06	0,99	9,57	4,04	0,24	9,33	58,40	—	—						
11	Баренцово море Barents Sea	—	—	20,72	—	—	3,77	0,23	—	—	—	5548						
12	Кольский залив Kola fjord	—	—	50,45	0,54	3,33	—	—	—	—	—	—						

В пробе № 12 были определены также следующие элементы:

Название элемента	Содержание в ‰ на сух. вещество
Si	10,78 ¹
J	0,003
Fe	0,57
Mn	0,003

Спектроскопическое исследование золы зоопланктона показало наличие в ней титана, стронция и бария.

VI. Обсуждение полученных данных

Обратимся сначала к содержанию органического вещества в нашем планктоне. Содержание азота (табл. 3) довольно постоянно и колебалось от 8,93 до 10,77‰ на сухое вещество. Содержание хитина колебалось от 3,00 до 4,78‰ на сухое вещество и как будто было выше в тех случаях, когда имелся планктон, состоящий почти исключительно из *Calanus'a* (пробы №№ 7 и 9). Возможно, что количество хитина находится в зависимости от возрастных стадий *Calanus'a*. В этом направлении следует поставить наблюдения. Азот хитина составляет небольшую часть. Содержание белков (*resp.* азот) уменьшается с увеличением жира. Содержание же последнего имеет значительный размах. Планктон из Кандалакшского залива в общем богаче жиром, чем планктон из Мотовского залива и Баренцова моря. Нужно иметь в виду, что планктон собирался в разные годы. Систематические наблюдения должны проверить, насколько это явление носит постоянный характер. В связи с повышением содержания жира в указанном планктоне, как и следовало ожидать, увеличилась калорийность в среднем с 5500 до 6000—6500 калорий. Не безинтересно сравнить калорийность планктона из *Calanus* с калорийностью других планктонных организмов (18).

Содержание золы (остатка от прокаливания) выше для планктона, собранного в Мотовском заливе и в открытых частях Баренцова моря, чем для планктона, собранного в Кандалакшском заливе (табл. 3).

Это объясняется тем, что при сборе планктона мы не можем совершенно освободиться от солей морской воды и поэтому в планктоне открытого моря, где соленость = 34‰, золы больше чем для опресненных районов Кандалакшского залива, где соленость понижается до 18‰.

Из данных по хлору в планктоне можно примерно подсчитать, что содержание NaCl в золе достигает иногда 75‰. Однако пересчеты, которые часто делаются на сухой остаток без хлористого натрия („Seesalzfreien“ немецких авторов), путем вычета NaCl, найденного по общему хлору, ошибочны или, в лучшем случае, условны, поскольку хлористый натр заключается не только в морской воде, но и в самих планктонных организмах. Поэтому для подобных пересчетов следовало бы пользоваться соленостью, найденной одновременно при сборе планктона. Еще лучше пытаться найти метод сбора морского планктона, свободного от морской воды (среды), либо научиться учитывать ее количество, захваченное с планктоном. Пока, однако, нельзя предложить простого и годного в экспедиционных условиях приема для массовых определений.

¹ Или 45,73‰ Si в золе.

Содержание углерода, водорода и азота в *Calanus* и в других планктонных ракообразных довольно близко и характерно¹ (таб. 4)

Таблица 4

Table 4

Состав морских *Copepoda* (в % на сухое вещество)Composition of marine *Copepoda* (in percents per dry substance)

Название организма Name of organisms	Число анализов Number of analyses	C	H	N	Место сбора Locality sampling	Автор Author
<i>Calanus finmarchicus</i>	2	45,86	7,71	10,20	Баренцово и Белое море Barents and White Sea	А. П. Виноградов A. P. Vinogradov
"	1				Sea	Brandt
<i>Anomalcera</i>	1	47,71	7,71	10,14	Балтийское море Baltic Sea	Brandt and Raben
<i>Copepoda</i> (<i>Temora</i>)	1	42,99	6,79	10,61	Немецкое море North Sea	Brandt
и др.				9,18	"	"
Среднее Average	5	45,52	7,22	10,03		

Данные разных авторов, как видно из табл. 5, хорошо согласуются. Для сравнения позволим привести состав некоторых других планктонных организмов (планктонов), например *Peridineae*, широко представленных и в наших морях (таблица 5).

Таблица 5

Table 5

Состав морских *Peridineae* (в % на сухое вещество)Composition of marine *Peridineae* (in % per dry substance)

Название организма Name of organism	Число анализов Number of analyses	C	H	N	Место сбора Locality of sampling	Автор Author
<i>Peridineae</i>	4	39,21	6,0	3,08	Кильская бухта Kiel Bay	Brandt
"	1	22,00	—	—	Svendborgsund	Boysen—Jensen
"	7	33,17	5,13	7,19	Немецкое море North Sea	Brandt, Raben u. Stiehr
<i>Ceratium</i>	1	32,48	5,21	4,81	"	Meyer
Среднее Average	13	32,71	5,45	5,03		

Содержание углерода заметно меньше, равно как и азота. К сожалению, о содержании других химических элементов в *Peridineae* почти ничего неизвестно.

¹ В пресноводных *Copepoda* содержание углерода по Брандту равно 45,18%; в планктоне состоящем, главным образом, из *Copepoda* содержится 43,11% углерода; о содержании азота см. у Берга Джедай (12).

Наконец, если мы обратимся к диатомовому планктону, отличающемуся исключительным содержанием SiO_2 (иногда его в золе до 75%), то органический состав его еще более отличается от состава двух названных планктонов (таблица 6).

Таблица 6
Table 6

Состав морских Diatomeae (‰ на сухое вещество)
Composition of marine Diatomeae (in ‰ per dry substance)

Название организмов Name of organisms	Число анализов Number of analyses	C	H	N	Место сбора Locality of sampling	Автор Author
<i>Chaetoceras, Rhizosolenia, Coscinodiscus</i>	2	18,08	3,23	2,10	Кильская бухта Kiel Bay	Brandt
<i>Chaetoceras</i>	3	11,00	—	—	Зунд Sund	Boysen—Jensen
<i>Rhizosolenia, Sceltonema, Thalassiotrix</i>	8	21,44	4,37	4,45	Кильская бухта Kiel Bay	Brandt, Raben, Stiehr
<i>Sceltonema, Thalassiotrix, Chaetoceras</i>	1	—	—	3,33	Полярная гавань Polarnaja Harbour	А. П. Виноградов A. P. Vinogradov
Среднее . . . Average	14	16,84	3,80	3,29 ¹		

Углерода в них еще меньше. Содержание азота напоминает такое же в *Peridineae*. Обращает внимание все же относительно более высокое содержание азота в *Peridineae* (и *Diatomeae*), чем это известно для растений (например всех сухопутных). Особенно это бросается в глаза при пересчете на беззольный сухой остаток. В этом случае в *Diatomeae* содержание азота достигнет до 12%. Подобное же высокое содержание азота нами отмечалось для многих других *Tallophyta*, как то у бактерий, синезеленых водорослей, некоторых простейших, напоминая содержание азота у животных (5).

Различие состава планктона из *Crustacea*, *Peridineae* и *Diatomeae* могло бы быть еще более ярким, если бы мы могли показать полный химический элементарный состав их. Известное высокое содержание кремния в диатомовых, относительно малое, вообще, содержание зола в *Peridineae*, высокое содержание фосфора в *Crustaceae* и т. д. далеко не исчерпывают своеобразие состава отдельных видов планктона. Отсюда конечно их различная пищевая ценность.

Обратимся теперь к другим химическим элементам (табл. 7). Причина высокого содержания хлора (и натрия) ясна. Содержание магния, серы и фосфора довольно постоянно, что отчасти объясняется их вхождением в органические комплексы (с белками и т. п.). Высокое содержание фосфора в ракообразных вызывается еще тем, что он находится в *Copepoda* и других ракообразных в панцирях (4).

¹ В пресноводных *Diatomeae* содержание азота по Берджу и Джедай (12) = 3,66%; у *Asterionella* оно равно 2,20%

Таблица 7

Table 7

Химический элементарный состав планктона *Calanus finmarchicus* (в ‰ живого вещества)

Chemical elementary composition of plankton *Calanus finmarchicus* (in ‰ per raw substance)

Название элемента Name of elements	Место и год взятия пробы Locality and date of sampling		
	Мотовский залив Motovskij Bay 1930	Баренцово море Barents Sea 1930	Мотовский залив Motovskij Bay 1931
O	79,99	—	—
H	10,26	—	—
C	6,01	—	—
N	1,51	1,50	1,51
Cl	1,05	1,18	1,07
Na	0,54	0,65	—
K	0,29	0,29	—
S	0,14	0,15	0,16
P	0,13	0,15	0,16
Ca	0,04	0,036	0,11
Mg	0,03	0,024	0,044
Fe	0,007	0,012	—
Si	0,007	0,015	—
Br	0,009	0,010	—
J	0,0002	0,0009	—

Чрезвычайно низко содержание в *Calanus* марганца — всего около $10^{-4}‰$ в золе. В фитопланктоне значительно больше. Иод был найден нами в количестве от $0,0016‰$ до $0,0058‰$ в планктоне из *Calanus* (табл. 8). Клосс (16) нашел аналогичные количества иода в зоопланктоне Норвежского моря.

Таблица 8

Table 8

Содержание иода в морских планктонных ракообразных (в ‰ на сухое вещество)

Content of iodine in marine plankton of Crustacea (in percents per dry substance)

Название организмов ¹ Name of species ¹	Место сбора Locality of sampling	Содержание иода Iodine content	Автор Author
<i>Meganyctiphanus norvegica</i> (51 ‰)	Färoy — Bank	0,0007	Closs
<i>Calanus finmarchicus</i> (35 ‰)			
<i>Calanus finmarchicus</i> (54 ‰)	Storregen	0,0022	"
<i>Pseudocalanus minutus</i> (23 ‰)			
<i>Calanus finmarchicus</i> (82 ‰)	Skagerak 64° 51' N	0,0029	"
<i>Enthemisto bispinosa</i> (100 ‰)	1° 14' E	0,0012	"
<i>Calanus finmarchicus</i> (100 ‰)	Атлантический океан Atlantic ocean	0,0016	"
<i>Calanus finmarchicus</i> (100 ‰)	Мотовский залив Motovskij Bay	0,0016	А. П. Виноградов A. P. Vinogradov
<i>Calanus finmarchicus</i>	Баренцово море Barents Sea	0,0058	"

¹ В скобках указано процентное содержание организма в пробе.

¹ Numbers enclosing in brackets show the percentage of specimens in sample.

Наибольшее количество иода собирается в фитопланктоне. В нашем случае диатомовый планктон из Полярной гавани дал 0,003% иода на сухое вещество, тогда как диатомовый планктон из более открытых частей моря (Oslo — fiord) по определению Лунде и Клосса (16,24) содержал 0,023% иода в сухом веществе. Таким образом, содержание иода в диатомовых того же порядка, что и в бурых водорослях, богатых иодом. Высокое содержание иода в диатомовых должно объяснять содержание иода в жире рыб, питающихся планктоном¹. Содержание брома несколько выше, чем содержание его в морской воде.

Помощь в подготовке материала для настоящей работы мне оказала научная сотрудница Х. Г. Виноградова-Томашевская, которой выражаю свою благодарность.

Выводы

1. Сравнение химического элементарного состава и содержания молекулярных соединений (белков, жиров и т. д.) в планктоне, состоящем главным образом, из *Calanus finmarchicus* и собранного в разных местах (Мотовский залив, открытые части Баренцового моря Кандалакшский залив Белого моря) с составом других планктонов — диатомового, перидиниевого — показывает характерное его отличие от последних по химическому составу.

2. В химическом составе *Calanus finmarchicus*, в содержании веществ — жиров, белков и т. п., а также некоторых химических элементов (железо, кальций), наблюдаются известные колебания, не выходящие за определенные пределы, связанные с местом сбора планктона и т. п. В связи с этим выяснилась необходимость учета солености воды и других гидрохимических факторов в местах взятия проб.

3. Планктон из *Calanus finmarchicus* содержит значительное количество жира (до 31%), а также белков, фосфора и т. д. и является высококалорийной пищей морских животных. Калорийность *Calanus finmarchicus* достигает 6,5 тысяч калорий.

4. Желательно было бы продолжить систематическое исследование морского планктона одновременно с гидрохимическими исследованиями, хотя бы на некоторые химические элементы: фосфор, азот, железо, иод и органические вещества (хитин, жир), что представляло бы большой практический и теоретический интерес.

Москва, 1934

ЛИТЕРАТУРА

1. Богоров В. Г. Изменение биомассы с возрастом у *Calanus finmarchicus* „Бюлл. Госуд. океанографического ин-та“, № 8, М., 1933.
2. Богоров В. Г. Веса и экологические особенности макропланктонов Баренцова моря. „Труды ВНИРО“ т. IV, вып. 2 (в печати).
3. Бруевич С. В. Гидрохимические работы Государственного океанографического института в Баренцовом море в 1927—1930 гг. Доклады 1-й сессии ГОИН*а (14—22/IV—1931 г.), № 1, М., 1931.
4. Виноградов А. П. „Труды Биохимической лаборатории АН СССР“, вып. 1, Л., 1930, стр. 33.
5. Виноградов А. П. Химический элементарный состав морских организмов Там же, вып. 3, М., 1935; вып. 4, М., 1937.
6. Виноградова-Томашевская Х. Г. Там же, вып. 6 (в печати).
7. Лебединцев А. Из „Никольского рыбноводного завода“, № 11; 1908, стр. 70.
8. Яшнов В. А. Планктоническая продуктивность юго-западной части Баренцова моря. „Труды ВНИРО“, т. IV, вып. 2 (в печати).
9. Яшнов В. А. Смена поколений и сезонные изменения в распределении возрастных стадий *Calanus finmarchicus* Баренцова моря. Там же.

¹ О содержании иода в планктоне см. также указания у Готье, Камерона Фелленберга и Килина.

10. Anderson. — „Report of Deep Sea deposits“, 1891, p. 281.
11. Apstein. — „Das Süßwasserplankton“, 1896.
12. Birge and Juday. — „Wisconsin Geolog. and Nat. History Survey“, Bull. 64, Sc. ser. 13, 1922.
13. Boysen-Jensen. — „Report of the Danish Biolog. Station“, XXII, 1914.
14. Brandt. — „Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen“, N. F. Abt. Kiel, Bd. 3, 1898, S. 45.
15. Brandt und Raben. — Ibidem, 19, 1919—1922, S. 175.
16. Closs K. — Ueber das Vorkommen des J im Meere und in Meeresorganismen. Oslo, 1931.
17. Delff. — „Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen“, Bd. 14, 1912, S. 51.
18. Geng. — „Zeitschrift für Fischerei“, Bd. XIII, 1925, S. 437.
19. Hensen V. — „Berichte der Kommission zur wissenschaftlichen Untersuchung d. D. an Meere“, Kiel, 1887, Bd. 14—16.
20. Hyams and Richards. — „Technology quarterly“, Vol. 17, 1904, p. 275.
21. Knauth. — „Das Süßwasser“, 1907, X; „Fischerei Zeitung“, Bd. 3, No. 22/24: Bd. 10, Bd. 20: S. 225.
22. „Journal Conseil intern. pour l'exploration de la mer“, Vol. V, No. 3, 1930, p. 329.
23. Krogh u. Berg. — „Intern. Bevue Hydrobiolog. u. Hydrolog.“, Bd. 25, S. 4, 1931, S. 201.
24. Lunde G. — „Teknisk Ukeblad“, N. R. 20, 21, 1928, S. 141.
25. Marshall. — „Journal of the Marine Biological Association“, N. S. vol. XIX, No. I, 1933.
26. Meyer I. — „Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen“, Bd. 16, 1914, S. 231.
27. Moberg E. — „Proceeding of the third Pan-Pacific Sc. Congress“, vol. I. 1928, p. 233.
28. Moranski. — „Zeitschrift für Fischerei“, 1897 S. 201.
29. Nicholls. — „Journal of the Marine Biol. Assoc.“, N. S. vol. XIX, No. I, 1933.
30. Salkover — (no Clarke & Wheeler) The inorganic constit. of Marine invertebrata, 1922, V, p. 44.
31. Turner. — „Journal Amer. Chem. Soc.“, vol. 38, 1916, p. 1402.
32. Volk. — „Verhandl. d. Naturwiss. Vereins im Hamburg“, 3 Folg. XV, 1907, S. 45.
33. Waksman I. Carey C. & Reuszer H. — „Biolog. Bull.“, vol. XXV, No. 1, 1933, p. 57.
34. Whipple & Jackson (no Birge & Juday) „Journal N. E. Waterworks Ass.“, vol. 14, 1889, p. 17.

CHEMICAL COMPOSITION OF MARINE PLANKTON

By A. P. Vinogradov

SUMMARY

1. The comparison of the chemical composition and content of molecular compounds (proteins, fats etc.) in a plankton, consisting mainly of *Calanus finmarchicus*, collected in different places (Motovskyj Bay, open parts of the Barents Sea, the Kandalaksha Bay of the White Sea) with other planktons, such as diatomeae, peridinia plankton — has shown its characteristic difference from the latter in chemical composition.

2. The content of separate chemical substances, such as proteins, fats etc., as well as of some chemical elements (such as iron, calcium etc.) in *Calanus finmarchicus* was found to be subjected to some fluctuations, not exceeding definite limits, conditioned by, locality of sampling. It was found by the way, that salinity of water and some other hydrochemical factors should be primarily estimated in the places of sampling.

3. The plankton, consisting of *Calanus finmarchicus* contains a considerable amount of fat — up to 31% (proteins, phosphorus, etc., — as well) thus being a food of high calority of sea — animals. Calority of *Calanus finmarchicus* amounting to 6,5 thousand calories.

4. It is highly desirable to make a systematic analysis of the sea — plankton along with hydrochemical investigations, if it were but for a few chemical elements — phosphorus, nitrogen, iron, iodine and some organic substances (chitin, fat) which may be of great practical and theoretical importance.