

ПЛАНКТИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦОВА МОРЯ

В. А. Яшинов

1. ВВЕДЕНИЕ

Среди работ по изучению планктона северных морей, поставленных Государственным океанографическим институтом, ныне преобразованным во Всесоюзный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), одной из основных проблем стояло изучение планктической продуктивности Баренцова моря. Несомненно, что современный уровень наших знаний требует не только детального изучения количественных соотношений населяющих море организмов, но также и определения количеств органического вещества, продуцируемого водоемом за определенный промежуток времени.

В отношении планктона Баренцова моря мы располагали к началу наших работ подробными данными лишь по качественному составу растительного и животного планктона, по количественному же учету планктона, по существу, никаких данных не имелось. Естественнo, что это обстоятельство заставило нас прежде всего обратить большое внимание на точный подсчет элементов планктона. Имея в виду в дальнейшем использование полученных данных для ряда специальных работ, посвященных биологии отдельных видов, и считая необходимым также и для целей изучения планктической продуктивности располагать возможно более дифференцированным материалом, мы с самого начала свою работу вели с учетом стадий развития планктеров; кроме того определялись размеры, в особенности для тех организмов, рост которых совершается постепенно. Подсчет материала, положенного в основу настоящей статьи, был произведен Г. В. Болдовским, Б. П. Мантейфель, Л. И. Смирновой и Л. А. Чаяновой.

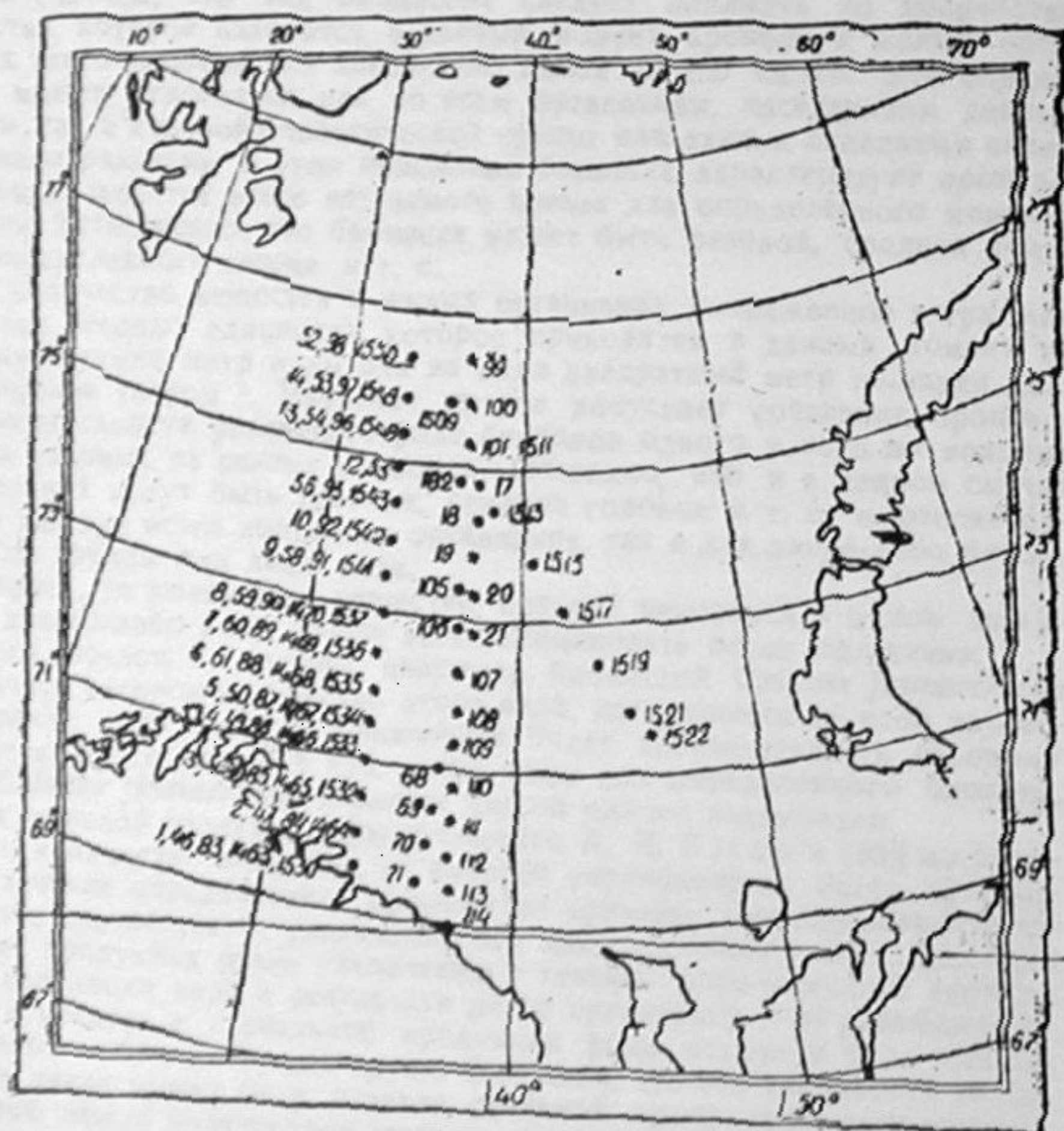
Кроме данных по количественному учету населения планктона в различные сезоны года, нам необходимы также сведения по весовым соотношениям как целиком всего планктона, так и отдельных его компонентов. Первое легко получить взвешиванием всей пробы целиком или определением объема пробы, с последующим перечислением на вес, а второе, естественно, заставляет нас обратить внимание на определение индивидуальных весов различных организмов и их стадий развития. Работа в последнем направлении с большой тщательностью была проведена В. Г. Богоровым (1). Была выработана специальная методика взвешивания, с большой точностью были определены индивидуальные веса главнейших представителей зоопланктона Баренцова моря, а также, что является чрезвычайно важной частью исследования, — и отдельных возрастных стадий; кроме того для ряда более крупных организмов были определены индивидуальные веса, соответствующие их размерам. Технические трудности, встающие при определении веса мельчайших организ-

мов, в первую очередь растительных, заставляют получать эти данные косвенным путем — вычислением объема организмов с последующим пересчетом на вес. Для организмов фитопланктона эти вычисления были произведены П. И. Усачевым, для организмов зоопланктона — нами. Данные по индивидуальным весам планктеров Баренцова моря почти полностью опубликованы.

В результате проведенной работы мы получали все необходимые предпосылки для разрешения поставленной нами вначале задачи. Ввиду сложности вопроса, а также технических требований печатания, мы разделяем наше исследование на ряд частей. В первую часть входят материалы по юго-западной части Баренцова моря, под которой мы разумеем пространство от берегов Мурмана до $75-76^{\circ}$ N.

2. МАТЕРИАЛЫ

Сборы планктона, легшие в основу нашей работы, были получены за время с декабря 1929 г. по август 1930 г. в следующих экспедициях (рис. 1).



1-я экспедиция э/с „Книпович“	22 XII	1929 г. — 5/I	1930 г.
5-я	25 III	1930 г. — 11/IV	1930 г.
7-я	4/VI	1930 г. — 17/VI	1930 г.
27-я	24/VI	1930 г. — 11/VII	1930 г.
28-я	8/VIII	1930 г. — 16/VIII	1930 г.

Наиболее полными сборами мы располагаем по Кольскому меридиану, по которому работы во всех рейсах производились через 30' от берегов Мурмана до $75\frac{1}{2}^{\circ}$ — $76\frac{1}{2}^{\circ}$ N. Обратный разрез, обычно проходивший на 3° — 5° восточнее первого, не сопровождался подробными планктоническими работами; только во время 7-й экспедиции э/с „Книпович“ были получены сборы по всему 37-му меридиану; то же можно отметить и относительно 27-й экспедиции э/с „Персей“, когда обратный путь проходил от северной станции по Кольскому меридиану на юго-восток до 45-го меридиана. Последний разрез для нас особенно ценен, так как дополняет пропущенные по Кольскому меридиану станции от 73° до 75° N. Сравнение данных, полученных по двум близко друг от друга расположенным меридианам, показывает, что изменения в распределении количества планктона в широтном направлении на расстоянии нескольких градусов обычно невелики по своему характеру; поэтому вполне возможно в известных пределах сопоставление материала двух смежных разрезов.

Все сборы планктона были произведены сетями Нансена из шелкового газа № 3 и № 25. Из-за недостатка времени применялись только вертикальные ловы; протяжение каждого лова до 100-метровой глубины должно было равняться, как правило, 25 м, ниже этой глубины — 50 и 100 м. Однако не всегда представлялась возможность выдерживать полностью намеченную сетку; условия погоды и недостаток времени заставляли иногда уменьшать число ловов; соответственно этому увеличивалось их протяжение. Так как во время работы регистрировалась не только длина троса в начале и в конце каждого лова, но также и угол отклонения троса от вертикального положения, то этим обеспечивалось определение истинных границ облавливаемых горизонтов.

3. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ

В соответствии с теми задачами, которые ставились нами при исследовании планктона Баренцева моря, все сборы были подвергнуты тщательному количественному учету. В частности, для всех *Copepoda* отмечались возрастные стадии и на возможно ранних стадиях различались самки и самцы; кроме того все крупные организмы измерялись по отдельности, для мелких же видов были определены их средние размеры.

Полученные данные затем перечислялись на единицу объема, в качестве которой был принят один кубический метр. После этого определялся титр каждого вида и каждой стадии развития, что для мелких видов достигалось перемножением числа экземпляров на средний вес организма или соответственной стадии развития, а для крупных форм — на индивидуальный вес, соответствующий их размерам. Наконец, вводились поправки на угол отклонения троса во время лова от вертикали и определялись истинные границы изученных горизонтов; эти поправки во многих случаях достигали большой величины и, разумеется, ими нельзя было пренебрегать.

В результате описанной выше обработки материала мы получили большое число таблиц, содержащих данные по сезонным изменениям количества и титра отдельных видов и их возрастных стадий.

Все особенности проводившейся работы как в части, касающейся сбора материала, так и в части его обработки, изложены в составленной нами инструкции по сбору и обработке планктона (5).

4. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ

Прежде чем перейти к изучению сезонного распределения количеств планктона, необходимо кратко остановиться на некоторых общих представлениях. Как известно, за последнее время в гидробиологии большое внимание уделяется вопросам продуктивности водоемов. Не имея намерения рассматривать этот большой и сложный вопрос во всей его полноте, ограничимся лишь теми моментами, которые необходимы нам для изложения полученных результатов.

Прежде всего отметим, что понятие „биомасса“ не всегда употребляется в одном и том же значении. Обычно под биомассой понимают то количество вещества в живых организмах (выраженное в весовых единицах), которое содержится в данный момент во всем водоеме (6). Иногда биомассу относят к одному кубическому метру воды для организмов пелагиали или к одному квадратному метру площади дна для организмов дна. Наконец, имеются случаи, когда биомассой называли количество вещества, заключающегося в одном экземпляре какого-либо вида. Очевидно, что во избежание недоразумений необходимо это понятие применять более ограничительно.

Мы считаем, что под биомассой следует понимать то количество вещества, которое находится в данный момент времени в живых организмах всего водоема или какой-либо одной из его частей. Это определение может относиться как ко всем организмам, населяющим данный водоем, так и к любой биологической группе или даже к отдельным видам и стадиям развития. В этом понимании биомасса характеризует производительные свойства всего изучаемого ареала для определенного момента времени. Естественно, что биомасса может быть разовой, средней годовой, определенного сезона и т. п.

То количество вещества в живых организмах (выраженное в граммах или иных весовых единицах), которое приходится в данный момент на один кубический метр воды или на один квадратный метр площади дна, мы называем титром¹. Изучение титров допускает сравнение производительных свойств различного рода биотопов одного и того же водоема или же таковых из разных водоемов. Очевидно, что и в данном случае определения могут быть разовые, средние годовые и т. п. и рассматриваться как для всего комплекса организмов, так и для какой-либо биологической группы или даже вида.

Наконец, то количество вещества, которое находится в одном экземпляре какого-либо вида, лучше всего наименовать весом организма.

Таким образом мы должны, например, биомассой *Calanus finmarchicus* обозначить весовое количество этого вида, находящееся во всем изучаемом ареале; титр *Calanus finmarchicus* будет соответствовать весовому количеству этого вида в 1 куб. метре воды для определенного биотопа, а вес *Calanus finmarchicus* является массой одного экземпляра.

Под реальной продукцией [net production К. М. Стрёмма (10)] мы понимаем то количество вещества, на которое увеличивается масса организмов в течение определенного промежутка времени. Для отдельного организма это соответствует увеличению его индивидуального веса. Для вида реальная продукция равна увеличению в течение определенного времени массы популяции вида в результате роста организмов и их размножения. То же относится и к реальной продукции рода, отряда и т. п. или же какой-либо из биологических групп. Очевидно, что это увеличение массы, которое иначе может быть названо реальной продукцией, определяется разностью между количеством веществ, усвояемых животными или продуцируемых растениями, и количеством веществ, теряемых организмами как в результате их жизнедеятельности и естественного отмирания, так

¹ Впервые понятие о титре планктона было введено Е. Науппом (8), однако только в отношении числа индивидуумов и объема планктона.

и вследствие уничтожения другими организмами. При отсутствии увеличения массы реальная продукция должна считаться равной нулю.

Величина реальной продукции стоит в тесной зависимости от длительности того времени, для которого она определяется. В большинстве случаев в качестве единицы времени принимается один год. Это не может представить затруднений при определении реальной продукции долго живущих и медленно размножающихся видов. Для тех же организмов, развитие которых приурочено к определенному сезону, как, например, для большого числа видов фитопланктона, этот срок необходимо соответственно уменьшать.

Нетрудно заметить, что знание только одной реальной продукции во многих случаях для нас совершенно недостаточно. В особенности это относится к растительным организмам, реальная продукция которых нередко выражается небольшой величиной, несмотря на огромное количество веществ, продуцируемых ими в период вегетации. Это обстоятельство вызывает необходимость определения другого понятия—фактической продукции (3) [Produktion A. Thienemann'a (11)], под которой надо понимать не только количество веществ, увеличивающих массу организмов, но и то количество, которое переходит или может перейти к различного рода потребителям, безразлично—будут ли они эти вещества брать от живых или отмерших организмов или из продуктов их распада. В некоторых случаях отличия между реальной и фактической продукцией, вероятно, будут невелики, однако в большинстве случаев фактическая продукция должна быть во много раз больше реальной продукции. Наконец отметим, что фактическая продукция никогда не может равняться нулю.

Изложенное можно представить в виде следующей схемы:

Вещества, потребленные организмами			
Дыхание	Выделение и отмирание	Переход к потребителям	Увеличение массы = реальная продукция
Потеря органического вещества		Фактическая продукция	

При изучении фактической продукции водоема нас могут интересовать не только те вещества, которые образуются продуцентами в самом водоеме, но также и те, которые поступают в него извне, все равно—в виде ли живых или мертвых организмов, или в виде продуктов распада последних. Само собой разумеется, что роль вносимых веществ существенна только для небольших по размеру водоемов, для морей же, особенно вдали от берегов, значение этих веществ в большинстве случаев невелико. Нельзя сомневаться, что для больших морских пространств, за пределами неритической области, фактическая продукция моря по существу очень близка к фактической продукции фитопланктона. В прибрежных районах условия значительно сложнее: здесь приходится учитывать еще продукцию донной растительности, а также вещества, вносимые извне.

5. СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТИТРА ПЛАНКТОНА ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦОВА МОРЯ

Как известно, определение фактической продукции водоема требует знания хода продуцирования отдельных видов или биологических групп, а это в свою очередь заставляет нас изучать титр отдельных организмов или комплексов. Поэтому вполне естественно, что наше внимание прежде всего должно обратиться на рассмотрение сезонных изменений в титре планктона.

Для получения данных требуемой степени точности нам нужно возможно чаще производить наблюдения в исследуемом водоеме. К сожале-

нию, по Баренцову морю мы не располагаем материалом, собранным через определенные и небольшие сроки, однако распределение рейсов в течение года было таковым, что позволило наметить годовые изменения в титре планктона. Для получения более наглядной картины мы рассматриваем рейсы начиная с весны, нарушая таким образом их действительную последовательность.

На приводимых разрезах (рис. 2) изображено распределение титра планктона по Кольскому меридиану от берегов Мурмана до 75° — 76° N в различные сезоны года: на первом (А) — весной (июнь), на втором (В) — летом (август), на третьем (С) — осенью (декабрь) и на четвертом (D) — зимой (март — апрель).

Все разрезы были построены следующим способом. На вертикальной линии, соответствующей данной станции, короткими поперечными чертами указаны верхние и нижние границы каждого горизонта лова; знаком вопроса отмечается отсутствие по каким-либо причинам материала из данного отрезка. В каждом горизонте распределение планктона условно принимается за равномерное. Вычисленный титр планктона изображается кругом, площадь которого пропорциональна величине титра. За единицу площади принят один квадратный миллиметр, соответствующий массе планктона в один миллиграмм¹ на один кубический метр воды. Для того, чтобы рассмотреть не только общую величину титра, но и удельное значение каждой из его составных частей, нами принят обычный в этом случае способ изображения при помощи секторов; площадь каждого сектора соответствует титру определенного вида или группы организмов; незначительные по величине секторы объединяются в одну группу — *varia*.

При рассмотрении разрезов нетрудно заметить ряд особенностей в распределении планктона. Отметим сначала бросающееся в глаза преобладание на всех разрезах одного из видов Copepoda — *Calanus finmarchicus*, изображенного на рисунках черным цветом. В большинстве случаев титр *Calanus finmarchicus* значительно превышает титр всех остальных организмов, вместе взятых. Нередко, особенно в летние месяцы, вся масса планктона состоит из этого вида. В среднем по Кольскому меридиану титр *Calanus finmarchicus* равняется: в июне — 88% , в августе — 91% , в декабре — 69% и в марте-апреле — 74% титра всего планктона; среднее за год равно 80% .

Остальные Copepoda, среди которых *Metridia longa* и *Pseudocalanus elongatus* имеют большее значение по сравнению с другими видами, играют в жизни Баренцова моря второстепенную роль; титр всех их, вместе взятых, составляет: в июне — 5% , в августе — 4% , в декабре — 12% и в марте-апреле — 10% титра всего планктона; среднее за год равно 8% .

Таким образом мы видим, что в планктоне юго-западной части Баренцова моря на долю Copepoda в среднем приходится по весу почти $\frac{9}{10}$ всего планктона и только около $\frac{1}{10}$ — на долю всех остальных организмов. Среди последних отметим Euphausiacea (средний титр за год равен 5%), Amphipoda (1%), Chaetognatha (3%), Coelenterata ($1\frac{1}{2}\%$) и Mollusca ($\frac{1}{2}\%$).

В отношении фитопланктона следует заметить, что его титр не отличается большой величиной. Только в июне он достигает приблизительно $1\frac{1}{2}\%$ титра всего планктона, осенью же и зимой величина его во много раз меньше. К сожалению, мы не знаем титра фитопланктона для августа, так как во время 28-й экспедиции э/с „Персей“ сборы планктона сетью из газа № 25 не производились. Данные, имеющиеся по другим районам

¹ При всех весовых определениях мы пользовались так называемыми сырыми весами, т. е. весами, более или менее приближающимися к тем, которыми организмы обладают в живом состоянии, и только для Coelenterata фактически полученные веса уменьшались в два раза. Последнее делалось для получения более сравнимых результатов, так как материал при этом уменьшении веса Coelenterata получался более равноценный. В дальнейшем кроме сырых весов указываются также и сухие веса, под которыми разумеются веса организмов, высушенных практически до полной потери влажности.

Баренцова моря, позволяют утверждать, что и в летние месяцы титр фитопланктона не отличается значительной величиной. Однако это касается только средних данных по всему разрезу, в отдельных же районах роль фитопланктона может быть весьма большой; например, в июне в северной части разреза по Кольскому меридиану, между $75^{\circ}30'$ — $76^{\circ}30'N$, титр фитопланктона равнялся приблизительно $1/6$ титра зоопланктона. Следует затем отметить то обстоятельство, что для нас еще остается почти совершенно неизвестным титр фитопланктона в период его максимального развития; материала, относящегося к этому времени, мы не имеем и располагаем в этом отношении только отрывочными сведениями. Укажем наконец, что обработка одного только сетяного фитопланктона не может дать точных количественных данных, осадочный же планктон в рейсах не собирался. Поэтому вопрос о величине биомассы фитопланктона Баренцова моря в различные сезоны года до сих пор остается еще не изученным.

Сезонные изменения титра главных компонентов планктона юго-западной части Баренцова моря приведены в табл. 1.

Таблица 1

Table 1

Процентный состав титра планктона юго-западной части Баренцова моря
в различные сезоны

Composition of plankton titre (in percentage) of the south-western part of the Barents Sea
at different seasons

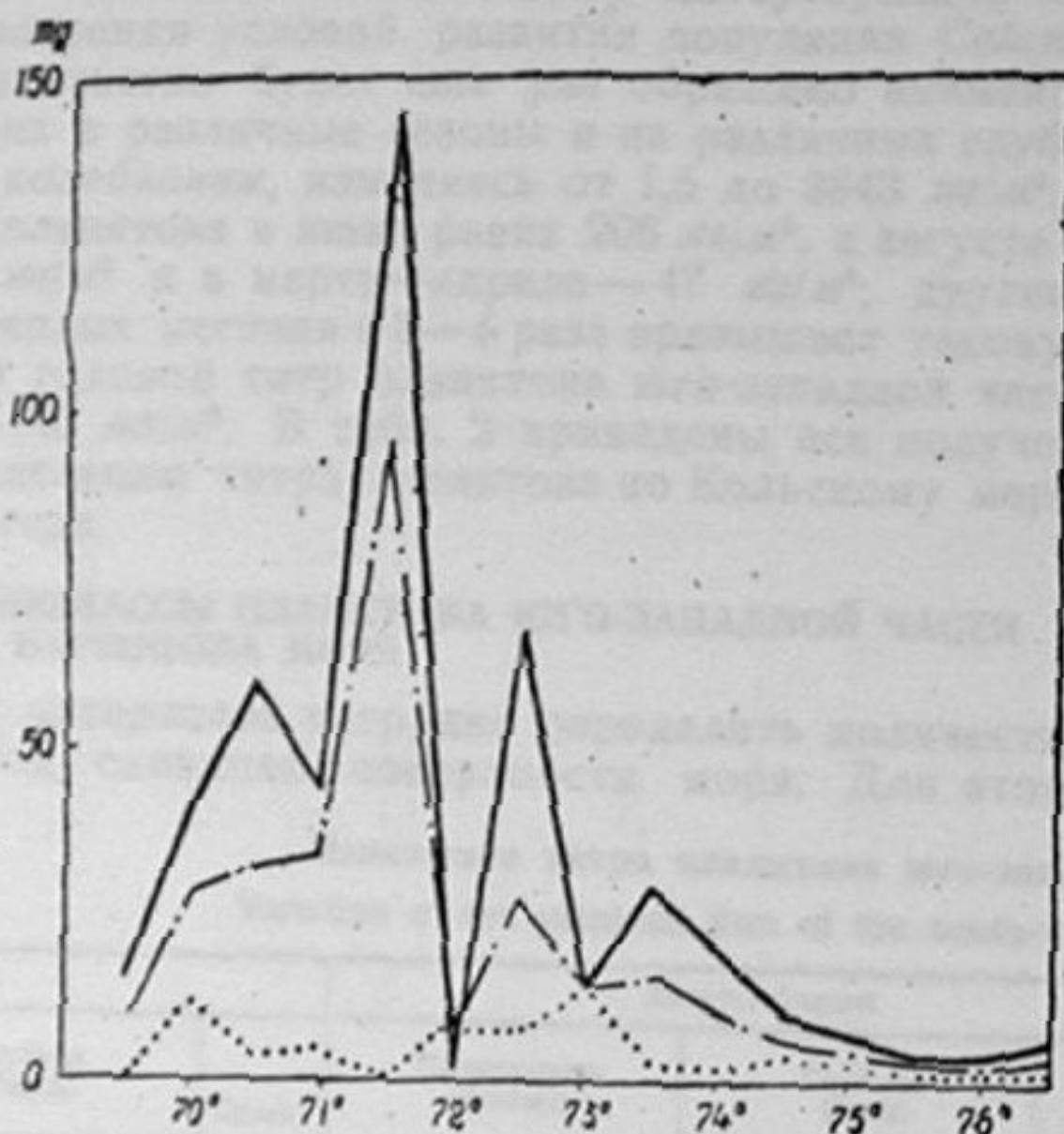
	Июнь June	Август August	Декабрь December	Март—апрель March—April	Среднее за год Yearly average
<i>Calanus finmarchicus</i>	88,02	90,94	68,88	74,00	80,46
<i>Pseudocalanus elongatus</i>	0,90	0,97	1,42	2,59	1,47
<i>Metridia longa</i>	2,70	2,62	7,43	5,38	4,53
<i>Metridia lucens</i>	0,10	0,04	1,81	0,57	0,63
<i>E. norvegica</i> + <i>C. hyperboreus</i>	1,24	0,42	1,58	1,09	1,08
Другие Copepoda	0,03	0,05	0,15	0,12	0,09
Euphausiacea	3,47	1,14	8,22	8,46	5,32
Amphipoda	0,26	0,95	1,21	0,88	0,83
Chaetognatha	1,56	1,04	5,13	5,15	3,22
Coelenterata	0,10	0,12	4,11	1,72	1,51
Mollusca	0,03	1,66	—	—	0,42
Phytoplankton	1,56	?	0,04	0,02	0,41
Varia	0,03	0,05	0,02	0,02	0,03
	100 %	100%	100%	100%	100%

Рассматривая полученные данные, прежде всего следует решить, можно ли их считать соответствующими тому, что имеется в действительности. Как известно, употребляемые для сбора планктона сети не могут считаться безупречными орудиями лова. Сравнительно небольшая величина входного отверстия сети, незначительная скорость поднятия ее во время производства лова, а также сильная вибрация тянущего сеть троса, действующая отпугивающим образом на ряд организмов, не позволяют считать полученные данные надежными по отношению к крупным и легко подвижным видам. Несомненно, что наши сети, особенно из газа № 3, приспособлены для лова лишь определенной по величине группы организмов, измеряемых миллиметрами. Вся мелочь, легко проходящая через отверстия газа, учитывается иными способами, что же касается большинства крупных животных планктона, для ловли которых наши сети по существу мало пригодны, то, очевидно, для сбора их надо будет применять другие методы. Несомненно, что в отношении этих видов наши данные являются

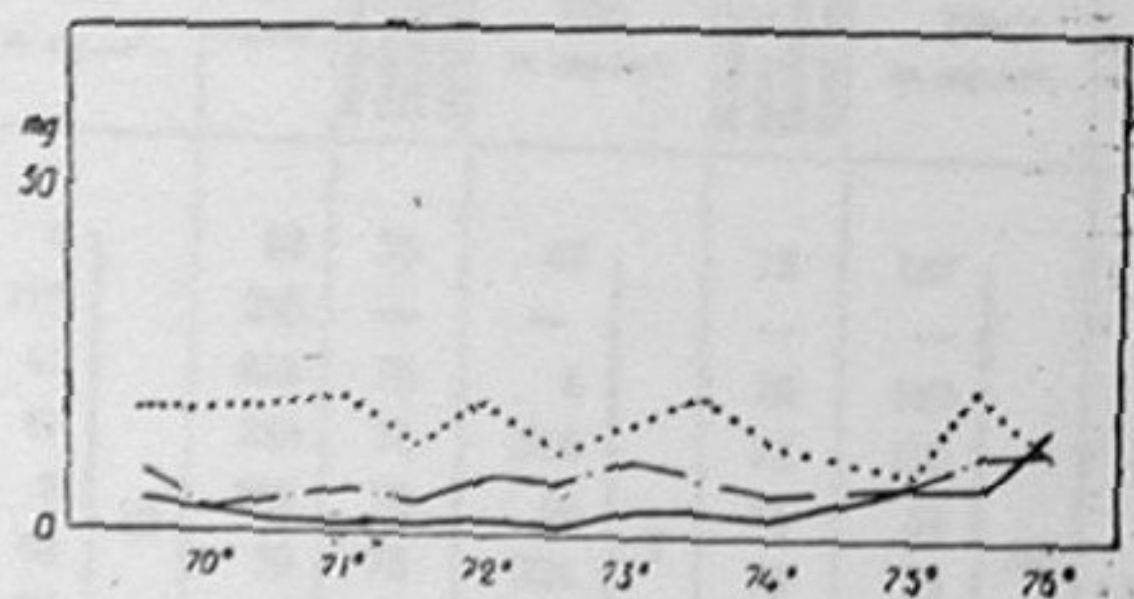
преуменьшенными, однако мы не имеем еще возможности с точностью определить размеры погрешностей. Поэтому можно сказать, что значение Euphausiacea и Amphipoda в планктоне юго-западной части Баренцова моря должно быть большим, чем это отмечено было выше. Однако мы не предполагаем, что это обстоятельство существенным образом может изменить все наше представление о планктоне этого района. Подтверждение этому мы видим в том, что в сборах, произведенных большими орудиями лова, как, например, икряной сетью или мальковым тралом, соотношения между отдельными группами животных принципиально не отличаются от тех, которые наблюдались в нашем материале. О неполноте наших данных в отношении фитопланктона нами было уже указано выше.

Второй особенностью в распространении планктона юго-западной части Баренцова моря является резко выраженная сезонность в распределении планктона по вертикальному направлению, что легко заметно при рассмотрении рис. 2 и 3. В июне (рис. 2А и 3а) вся толща воды подразделяется на две части. Верхний слой от поверхности до глубины в 50—25 м заселен густо, в нем заключается около $\frac{2}{3}$ всего планктона. Этот слой, отличающийся большой величиной титра планктона, резко отделяется от нижележащих слоев воды с более разреженным населением. В это время года большие скопления планктона в поверхностных слоях занимают по Кольскому меридиану все пространство от берегов Мурмана до 74° N. Севернее этой широты столь резких отличий по вертикальному направлению уже не наблюдается, планктон распределяется равномернее, а его титр уменьшается в десятки раз.

Более или менее сходную картину можно наблюдать в августе (рис. 2В и 3б). И в это время года поверхностные слои воды резко отличаются по развитию в них планктона от нижележащих слоев. Полной идентич-



а

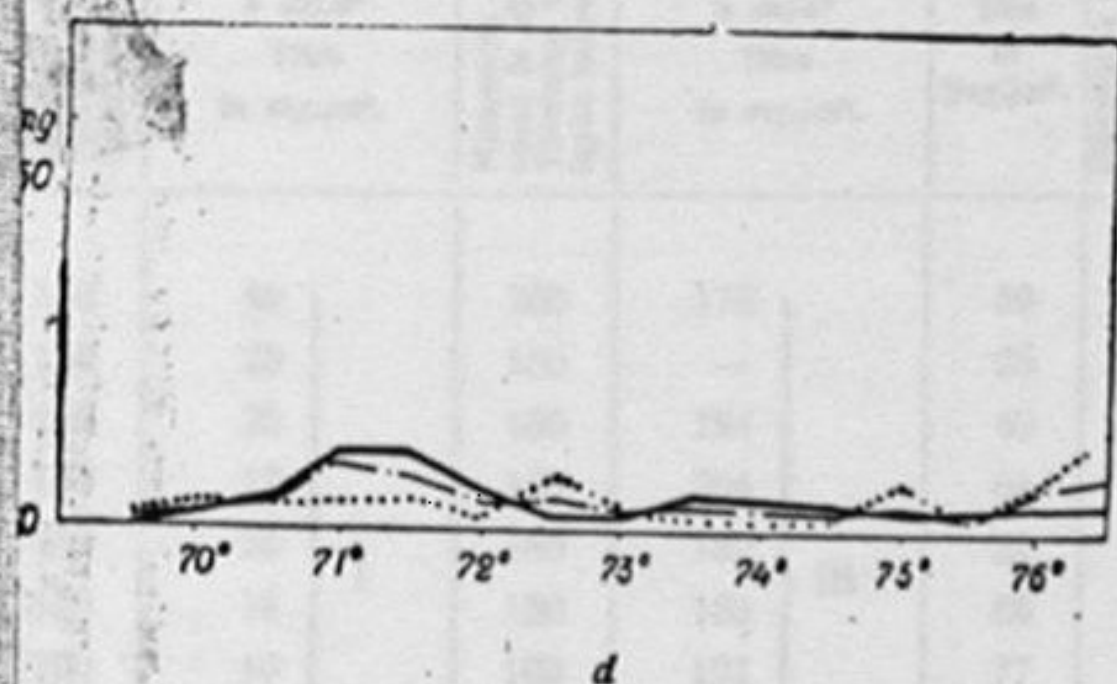
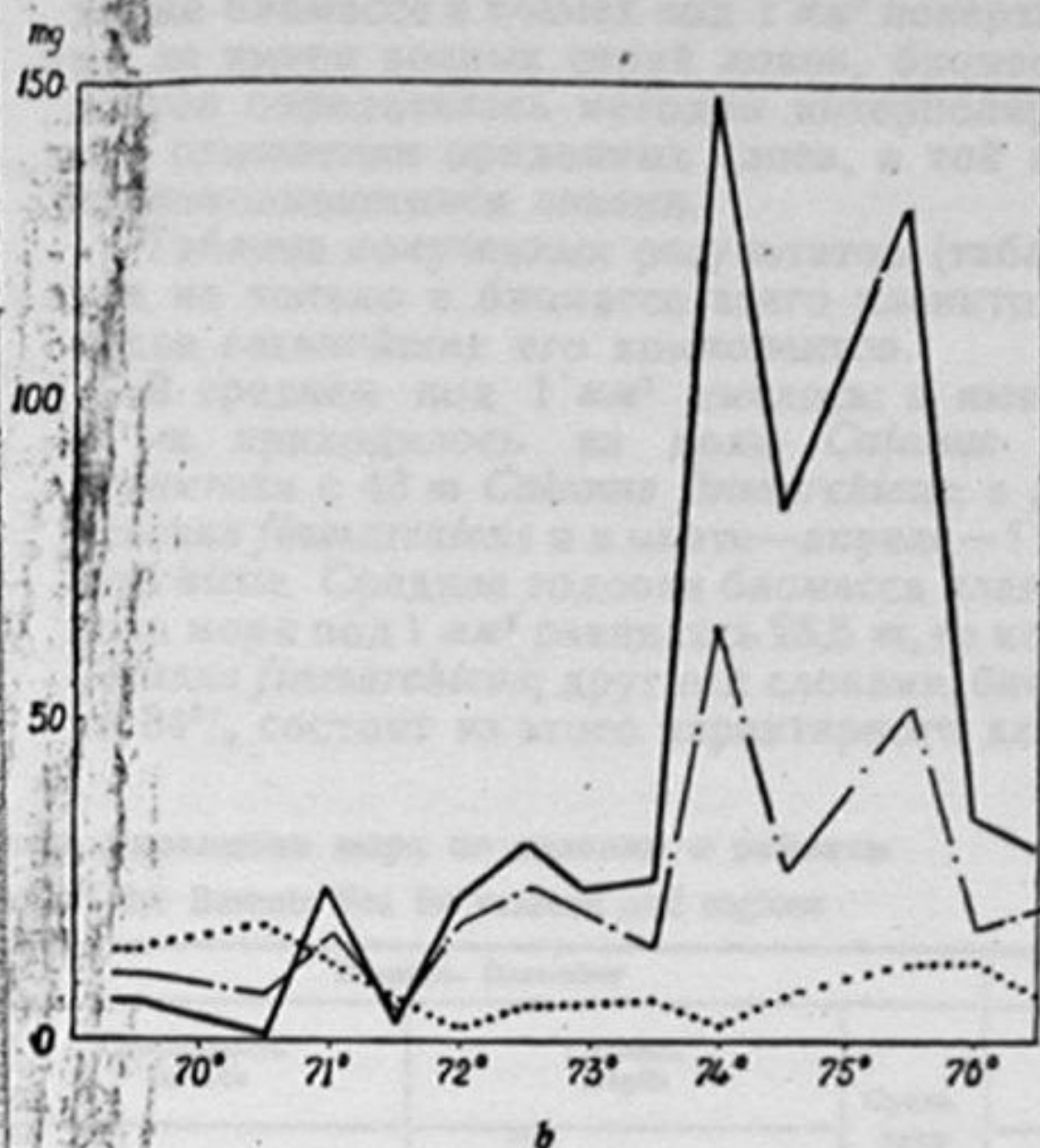


с

Рис. 3. Распределение титра планктона в мг на 1 м³ в различных слоях воды в различные сезоны года: а — в июне (граница слоев на глубине 75—50 м); с — в декабре (граница слоев на глубине 100 м). Обозначения: — верх столб

Fig. 3. Distribution of the plankton titre in mgs. per 1 m³ layers at different seasons of the year: а — in June (border of layers at a 75—50 m depth.); с — in December (border of layers at a 100 m. depth.). Symbols: — upper layer;

ности в обоих случаях однако не имеется. В противоположность июньскому распределению в августе огромные массы планктона располагаются в северной части разреза. Южнее 72° N, т. е. там, где за два месяца до этого времени наблюдалось мощное развитие планктона, поверхностные



по Кольскому меридиану в поверхностном и глубинном (граница слоев на глубине 75 м); *b* — в августе (граница слоев на глубине 150—100 м); *d* — в марте—апреле (граница слоев; нижний слой; — — — среднее на весь воды).

along Kola meridian in the surface and bottom water of layers at a 75 m. depth); *b* — in August (border of layers at a 150—100 m depth); *d* — in March—April (border bottom layer; — — — on the average per column of water.

время года резких отличий в содержании планктона в различных слоях воды не наблюдается. Он распределен более или менее равномерно от дна до поверхности, и только в центре Нордкапского течения можно отметить характерное увеличение плотности населения на глубине 100—50 м.

слои воды в августе оказываются весьма обедненными. Отметим затем второе отличие, заключающееся в наличии для этого времени года ясно выраженного увеличения титра планктона в придонных слоях, легко замечаемого почти по всему разрезу. Другими словами, кроме поверхностного большого максимума, наблюдается еще другой, более слабо развитый, глубинный; средние же слои являются наиболее обедненными.

Начавшийся летом процесс опускания планктона вглубь моря заканчивается через несколько месяцев; в декабре (рис. 2С и 3с) мы замечаем ясно выраженную концентрацию планктона в придонных слоях почти по всему разрезу, и только на самых северных станциях, на широте 75° — 76° N, наблюдается более или менее равномерное распределение планктона по всей толще воды. В южной части разреза по Кольскому меридиану декабрьское распределение планктона диаметрально противоположно тому, которое наблюдалось в июне; тогда большая часть населения находилась в поверхностных слоях воды, теперь оно перешло вниз.

Дальнейшие изменения в распределении планктона мы замечаем при рассмотрении последнего разреза, падающего на зимний период времени, на март—апрель (рис. 2D и 3d). В это

Рассмотренная нами картина сезонных изменений в вертикальном распределении планктона по существу не представляет больших затруднений для своего понимания. Нам уже приходилось отмечать то значение, которое имеет *Calanus finmarchicus* в планктоне Баренцова моря. Это позволяет нам сопоставить биологию этого вида с интересующим нас явлением. Ниже, при рассмотрении условий развития популяции *Calanus finmarchicus*, на это обстоятельство будет еще раз обращено внимание.

Величина титра планктона в различные сезоны и на различных глубинах подвергается сильным колебаниям, изменяясь от 1,5 до 3843 мг/м³.

Средняя величина титра планктона в июне равна 206 мг/м³, в августе — 230 мг/м³, в декабре — 81 мг/м³ и в марте — апреле — 47 мг/м³; другими словами, масса планктона теплых месяцев в 3—4 раза превышает таковую холодных месяцев. Средний годовой титр планктона юго-западной части Баренцова моря равняется 140 мг/м³. В табл. 2 приведены все полученные нами данные по распределению титра планктона по Кольскому меридиану в различные месяцы года.

6. СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ БИОМАССЫ ПЛАНКТОНА ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦОВА МОРЯ

На основании полученных материалов нетрудно определить количество планктона, находящегося под единицей поверхности моря. Для этого

Изменение титра планктона юго-западной
Variation of the plankton titre of the south-western

	Июнь. June				Август. August										
	Поверхность Surface		Глубина Depth		Средн. титр в мг/м³ Average titre in mg./m³.	Поверхность Surface		Глубина Depth		Средн. титр в мг/м³ Average titre in mg./m³.					
	Мощность слоя: выше (в м) Thickness of layer: above (in m.)	Титр в мг/м³ Titre in mg./m³.	Мощность слоя: ниже (в м) Thickness of layer: below (in m.)	Титр в мг/м³ Titre in mg./m³.		Мощность слоя: выше (в м) Thickness of layer: above (in m.)	Титр в мг/м³ Titre in mg./m³.	Мощность слоя: ниже (в м) Thickness of layer: below (in m.)	Титр в мг/м³ Titre in mg./m³.						
69°30'	75	161	I	75	4	III	98	75	63	I	75	137	III	100	
70°00'	75	412		75	115		293	—	—		75	—		—	—
70°30'	75	596		75	41		318	75	8		75	182		66	
71°00'	75	428		75	47		333	75	216		75	120		177	
71°30'	75	1438		75	0		959	75	16		75	58		37	
72°00'	75	19		75	83		70	75	224		75	22		183	
72°30'	75	672		75	78		276	75	314		75	45		247	
73°00'	75	136		75	136		136	75	244		75	64		199	
73°30'	75	294		75	27		160	75	249		75	67		145	
74°00'	75	200		75	16		95	75	1479		75	25		648	
74°30'	75	104	75	36	65	50	835	75	60	281					
75°00'	—	—	—	—	—	—	—	50	—	—					
75°30'	75	39	II	75	12	IV	26	50	1319	II	50	119	IV	—	
76°00'	75	36		75	6		19	50	350		50	126		519	
76°30'	75	61		75	23		42	75	300		75	79		182	
														211	
Средние Average	I—436 мг/м³ II—60 мг/м³		III—55 мг/м³ IV—19 мг/м³		206 мг/м³	I—167 мг/м³ II—857 мг/м³		III—87 мг/м³ IV—82 мг/м³		230 мг/м³					

сначала вычислялся вес планктона в каждом горизонте, что достигалось перемножением величины титра на протяженность данного горизонта, а затем сложением полученных цифр определялась биомасса планктона в граммах под 1 м² поверхности моря; полученные цифры соответствуют также биомассе в тоннах под 1 км² поверхности моря. В тех случаях, когда мы не имеем полных серий ловов, биомасса неисследованных нами горизонтов определялась методом интерполирования; то же следует отметить и в отношении придонных слоев, в той или иной степени не затронутых производившимися ловами.

Таблица полученных результатов (табл. 3) показывает сезонные изменения не только в биомассе всего планктона под 1 км², но также и в биомассе главнейших его компонентов.

В среднем под 1 км² имелось: в июне 31 т планктона, из которых 27 т приходилось на долю *Calanus finmarchicus*; в августе — 47 т планктона с 43 т *Calanus finmarchicus*; в декабре — 24 т планктона с 17 т *Calanus finmarchicus* и в марте—апреле — 11,5 т планктона с 8,5 т *Calanus finmarchicus*. Средняя годовая биомасса планктона юго-западной части Баренцева моря под 1 км² равнялась 28,5 т, из которых 24 т приходилось на долю *Calanus finmarchicus*; другими словами, биомасса планктона Баренцева моря на 84% состоит из этого характерного для северных морей вида *Copepoda*

части Баренцева моря по сезонам и районам
part of the Barents Sea for seasons and regions

Таблица 2

Table 2

Декабрь. December					Март—Апрель. March—April				
Поверхность Surface		Глубина Depth		Средн. титр в мг/м ³ Average titre in mg./m ³ .	Поверхность Surface		Глубина Depth		Средн. титр в мг/м ³ Average titre in mg./m ³ .
Мощность слоя: выше (в м) Thickness of layer: above (in m.)	Титр в мг/м ³ Titre in mg./m ³ .	Мощность слоя: ниже (в м) Thickness of layer: below (in m.)	Титр в мг/м ³ Titre in mg./m ³ .		Мощность слоя: выше (в м) Thickness of layer: above (in m.)	Титр в мг/м ³ Titre in mg./m ³ .	Мощность слоя: ниже (в м) Thickness of layer: below (in m.)	Титр в мг/м ³ Titre in mg./m ³ .	
150	45	150	176	89	100	3	100	19	13
150	25	150	—	25	100	22	100	40	27
150	20	150	194	49	100	42	100	38	40
150	17	150	204	64	100	110	100	38	86
150	10	150	132	51	100	112	100	45	79
150	18	150	188	86	100	55	100	33	44
100	10	100	121	77	100	20	100	82	51
50	40	50	155	109	100	24	100	37	29
150	37	150	196	90	100	51	100	25	40
100	31	100	141	67	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	100	42	100	26	35
100	79	100	75	78	100	31	100	69	39
100	71	100	213	128	100	29	100	30	30
100	158	100	129	143	100	38	100	73	56
—	—	—	—	—	100	40	100	141	83
I—25 мг/м ³		III—167 мг/м ³		81	44 мг/м ³		50 мг/м ³		47
II—103 мг/м ³		IV—139 мг/м ³		мг/м ³					мг/м ³

Таблица 3
Table 3Биомасса планктона под 1 км². (в тоннах)Plankton biomass under 1 km² (in tons)

	<i>Calanus finmarchicus</i>	<i>Pseudocalanus elongatus</i>	<i>Metridia longa</i>	<i>Metridia lucens</i>	<i>Euchaeta norvegica-Calanus hyperboreus</i>	Другие Copepoda Other Copepoda	Купанула- cea	Amphi- poda	Chaeto- gnathia	Coelente- ra	Mollusca	Phyto- plankton	Varia	Итого Планктон Total plankton
Июнь June	27,11	0,28	0,83	0,03	0,38	0,01	1,07	0,08	0,48	0,03	0,01	0,48	0,01	30,80
Август August	42,76	0,46	1,23	0,02	0,20	0,02	0,54	0,45	0,41	0,06	0,78	?	0,02	47,03
Декабрь December	16,72	0,34	1,80	0,44	0,38	0,04	2,00	0,30	1,24	1,00	—	0,01	—	24,27
Март— Апрель March—April	8,46	0,30	0,61	0,07	0,13	0,01	0,97	0,10	0,59	0,20	—	—	—	11,14
Среднее Average	23,76	0,34	1,12	0,14	0,27	0,02	1,15	0,23	0,70	0,32	0,20	0,12	0,01	28,38

Зная общую поверхность Баренцова моря, которая по последним данным (4) равна $1\,360\,000\text{ км}^2$, нетрудно определить биомассу планктона, заключающуюся во всем море. Мы прекрасно сознаем все возникающие при этом затруднения; полученные данные вряд ли могут считаться точными, и несомненно, что дальнейшие исследования внесут поправки в наши цифры; однако мы все же думаем, что характер их существенным образом от этого не изменится, и считаем возможным рассматривать их в качестве первых приближенных данных.

Особенно важно для нас знание биомассы планктона для определения общей продукции моря; в этом отношении биомасса Баренцова моря, состоящая на $\frac{4}{5}$ из одного вида, может служить прекрасным объектом исследования.

При определении биомассы моря нам необходимо знать не только общее количество веществ, находящихся в живых организмах во всем водоеме, но также и химический состав этих веществ. В настоящее время мы располагаем в этом отношении вполне точными данными. Благодаря любезности А. П. Виноградова, ознакомившего нас со своей работой „Химический состав морского планктона“ (2) еще в рукописи, мы получили возможность характеризовать биомассу Баренцова моря с точки зрения химического состава.

Для Баренцова моря, по данным А. П. Виноградова, в планктоне, состоящем почти исключительно из *Calanus finmarchicus*, содержание различных веществ было следующее (табл. 4):

Таблица 4

Table 4

Химический состав планктона в процентах сухого веса (по А. П. Виноградову)
Chemical composition of plankton in percentage of the dry weight (According to A. P. Vinogradov)

Место взятия пробы Locality of collection	Сухой остаток Dry residue	Потеря при высушивании Loss of weight in drying	Общий азот на сухое вещество Total nitrogen per dry substance	Чистый хитин на сухое вещество Chitin per dry substance	Белок на сухое вещество Protein per dry substance	Жир на сухое вещество Fat per dry substance	Зола Ashes	Калорийность на сухое вещество Calories per dry substance
Мотовский залив Motovskij Gulf	13,3	86,7	10,21	3,72	62,56	19,3	14,04	5,742
Баренцово море около о. Медвежьего Barents Sea near Bear Island	14,3	85,7	10,48	2,99	64,38	14,8	16,10	5,339
	15,2	84,8	9,98	3,48	61,00	21,5	14,64	—

По этим данным мы получаем для планктона Баренцова моря, состоящего преимущественно из *Calanus finmarchicus*, среднее содержание белка—62,65%, жира—18,50%, хитина—3,49% его сухого веса; сухой же вес в среднем равняется $\frac{1}{6}$ сырого веса.

Этими данными мы воспользовались для определения содержания в планктоне Баренцова моря различных групп органических веществ, находящихся в Crustacea; что же касается остальных организмов, то мы, основываясь на литературных указаниях, считаем для них содержание белка в среднем равным 20%, а жира—3% их сухого веса.

Полученные результаты сведены в табл. 5, при рассмотрении которой можно видеть, какое колоссальное количество органических веществ находится в водах Баренцова моря в виде организмов планктона. Количество белка колеблется в пределах от 1,5 до 6,5 млн. т, количество жира—от 0,5 до 2 млн. т. Среднее за год для белка равно 4 млн. т, для жира—

1 млн. т. Необходимо отметить, что указанные величины соответствуют определенному моменту времени. Количество органических веществ, продуцируемых организмами планктона в течение года, естественно, во много раз больше. Чтобы оценить значение указанных нами количеств, достаточно указать, что количество белка, находящегося в организмах планктона Баренцова моря, превышает годовую потребность в этом веществе всего населения СССР.

Таблица 5
Table 5

Биомасса планктона Баренцова моря и ее химический состав (в млн. тонн)
The Barents Sea plankton biomass and its chemical composition (in million tons)

	Сырой вес Raw weight	Сухой вес Dry weight	В том числе. Among others			
			Белок Protein	Жир Fat	Хитин Chitin	Зола Ashes
Июнь June	41,9	7,0	4,3	1,3	0,2	1,2
Август August	63,9	10,0	6,5	1,9	0,4	1,8
Декабрь December	33,0	5,4	3,2	0,9	0,2	1,1
Март—Апрель March—April	15,5	2,6	1,5	0,5	0,1	0,5
Среднее Average	38,6	6,4	3,9	1,1	0,2	1,2

Несомненно то огромное значение, которое в жизни моря приходится на долю планктона. Трудно указать другой источник питания, который был бы столь мощно развит. Большое количество самых разнообразных животных, вплоть до рыб и млекопитающих, питается непосредственно планктоном.

Даже у такой хищной рыбы, как треска, четвертую часть пищи составляют планктические организмы, что же касается пелагических рыб, как сельдь, песчанка и др., то все они являются типичными планктоядными организмами. Излюбленной пищей для многих китов, как известно, является планктон; даже птицы по временам находят в нем источник своего питания. Еще большее количество организмов существует косвенным образом за счет планктона, так как большинство пищевых цепей начинается с него.

Однако не только в вышеуказанном отношении нас интересует мир пелагиали. Вполне естественно возникает вопрос о прямом использовании планктона, который может служить не только в качестве технического вещества, но и источником для получения витаминов. Нельзя отрицать также возможности применения его в виде пищевого вещества. Мы не сомневаемся, что вопрос об использовании планктона будет решаться в ближайшем времени.

7. ПРОДУКЦИЯ ПЛАНКТОНА БАРЕНЦОВА МОРЯ

Определение производительности моря может проводиться различными способами. Самым простым по существу методом явилось бы вычисление количества органических веществ, образуемых продуцентами в течение определенного времени. Несмотря на кажущуюся простоту этого способа, определение при помощи его продукции водоема встречает столь сильные затруднения, что практически становится почти невозможным.

При рассмотрении вопроса даже в наиболее простом виде, применительно к открытой части моря без учета влияния берегов, решение поставленной задачи чрезвычайно сложно. Мы слишком мало знаем о длительности жизни отдельных видов организмов, количестве генераций, изменениях в скорости размножения в зависимости от различий в среде, наконец, о темпе уничтожения в результате поедания, чтобы могли при таком большом числе неизвестных решить поставленную задачу.

Мы думаем, что те же данные можно получать более просто и с большей степенью точности применением диаметрально противоположного способа, а именно путем определения количества веществ, берущихся от продуцентов потребителями разного рода. Правда, и в данном случае решение вопроса не столь просто, как можно думать. Сравнительно редко между продуцентами и потребителями наблюдается простая зависимость. В большинстве случаев картина сильно затемняется наличием определенных пищевых цепей; кроме того существует ряд организмов, питающихся продуктами распада как продуцентов, так и консументов; отметим, наконец, что и в этом случае мы должны располагать данными о длительности жизни, скорости уничтожения и т. п.

Тем не менее мы думаем, что сравнительно нетрудно преодолеть всякого рода затруднения, упрощая определения и отчасти их схематизируя. Самыми удобными районами для этих исследований являются замкнутые или почти замкнутые водоемы с многочисленным, но однообразным населением. Наиболее благоприятными в этом смысле водоемами являются, вероятно, Каспийское и Аральское моря. Баренцово море в силу своей широкой связи с окружающими морями менее пригодно для наших целей, однако весьма ценным обстоятельством, в особенности по отношению к планктону, является однообразие его населения. Как было указано, биомасса зоопланктона Баренцова моря состоит на $\frac{4}{5}$ из одного вида — *Calanus finmarchicus*. Если мы сочтем за возможное определить для этого организма то количество веществ, которое им потребляется в течение одного года, то тем самым мы получим возможность судить о годовой продукции фитопланктона. Вполне очевидно, что полученные величины можно считать только ориентировочными и во всяком случае преуменьшенными, однако несомненно, что они могут в силу своей реальности служить материалом для решения основной задачи — определения производительности моря.

Количество веществ, потребленных или, лучше сказать, усвоенных каким-либо видом, живущим в определенном районе моря, можно с точностью определить лишь в том случае, когда мы знаем не только количественные соотношения различных возрастных групп, изменения в возрастном составе данной популяции в течение изучаемого периода времени и средние веса для определенных стадий развития или групп, но также и интенсивность окислительных процессов, связанных с жизнедеятельностью организмов.

В настоящее время мы можем считать, что для *Calanus finmarchicus* все вышеуказанное нам более или менее точно известно. Мы знаем количественное распределение по сезонам различных возрастных стадий *Calanus finmarchicus* в различных районах Баренцова моря, имеем точные данные по их весовым соотношениям и можем определить интенсивность дыхания этого вида. В этом отношении до недавнего времени мы располагали лишь данными А. Рütger'a (9), однако несомненно, что его определение дыхательного обмена у *Copepoda* является чрезмерно преувеличенным. Об этом с полной уверенностью можно заключить на основе тех тщательных исследований, которые были недавно проведены в отдельности для пятой стадии и зрелых особей *Calanus finmarchicus* S. M. Marshall'em, A. G. Nicholls'ом и A. P. Orr'ом (7).

По данным указанных авторов потребление кислорода *Calanus finmarchicus* находится в большой зависимости от термичности и очень мало

зависит от изменений других условий среды. В частности, при повышении температуры с 5° до 15° потребление кислорода для 1000 экз. пятой стадии в один час увеличивается с 0,17 до 0,42 см^3 , т. е. в $2\frac{1}{2}$ раза. В отношении Баренцова моря известно, что амплитуда колебания температуры этого холодноводного бассейна относительно очень невелика.

Это позволяет нам определить интенсивность дыхания *Calanus finmarchicus* Баренцова моря в различные сезоны. Зрелые особи этого вида в количестве 1000 экз. потребляют кислорода в один час летом 0,33 см^3 , или 4,7 мг, а зимой — 0,29 см^3 , или 4,1 мг. Для пятой стадии соответственно имеем летом 0,19 см^3 , или 2,7 мг, а зимой — 0,14 см^3 , или 2,0 мг.

Из приведенных ранее данных легко определить, что в 1 кг сырого вещества *Calanus finmarchicus* находится 167 г сухого вещества, содержащего 62,7% белка и 18,5% жира. Отсюда узнаем, что количество белка в 1 кг сырого вещества *Calanus finmarchicus* равно 104 г, а жира — 31 г.

На окисление белка идет $104 \times 1,28 = 133$ г кислорода, на окисление жира $31 \times 2,88 = 89$ г кислорода. Таким образом мы определяем, что на окисление 1 кг сырого вещества *Calanus finmarchicus* идет в общей сложности 222 г кислорода.

Зная число экземпляров взрослых особей в пятой стадии, заключающееся в 1 кг, можно определить в процентах количество вещества, окисляющегося в течение суток. В результате произведенных вычислений имеем:

пятая стадия:	летом окисляется в сутки	5,7%	сырого веса
"	зимой	3,8%	"
взрослые особи:	летом	6,8%	"
"	зимой	5,4%	"

Таким образом мы получаем возможность определить количество веществ, окисляющихся в течение определенного периода времени, причем данные для пятой стадии нами были распространены и на все остальные стадии развития.

При вычислении результатов было принято, что количество экземпляров *Calanus finmarchicus* изменялось равномерно от одного срока наших исследований к другому, другими словами, эти изменения приравнивались к арифметической прогрессии. Зная биомассу отдельных стадий развития под 1 км^2 поверхности моря, можно определить количество веществ, которое было потрачено ими на окислительные процессы в течение суток в начале и в конце периода определенной длительности. Это позволяет нам при помощи элементарной формулы узнавать сумму ежедневных трат, т. е. определять количество веществ, истраченных данной стадией развития в течение определенного срока. После этого узнается количество веществ, истраченных всеми стадиями развития.

При определении количества веществ, усвоенных организмами, мы должны учитывать не только трату веществ на окислительные процессы, но также и фактическое увеличение биомассы в течение определенного периода времени. Полученные данные для различных широт Баренцова моря приведены в табл. 6.

Суммируя полученные цифры, можно определить, что количество веществ, усвоенных *Calanus finmarchicus* в течение года, колеблется в круглых цифрах от 290 до 480 т под 1 км^2 . Принимая во внимание, что нашими исследованиями не затронут период максимального развития молодых стадий *Calanus finmarchicus*, мы считаем полученные цифры минимальными, в особенности для более южных широт, где исследования стали проводиться спустя месяц после начала размножения рассматриваемого вида.

Таблица 6
Table 6

Количество веществ, усвоенных *Calanus finmarchicus* в течение года (в тоннах под 1 км² поверхности моря)
Quantity of substances assimilated by *Calanus finmarchicus* in the course of a year (in tons under 1 km² of the sea surface)

	Начало мая— начало июня Beginning of May—beginning of June	Начало июня—конец июня (начало июля) Beginning of June—end of June (beginning of July)	Конец июня (начало июля)— начало августа End of June (beginning of July)—beginning of August	Начало августа— конец декабря Beginning of August— end of December	Конец декабря—конец марта (начало апреля) End of December—end of March (beginning of April)	Годовое количе- ство Yearly quantity										
	Длитель- ность периода Length of period	Увеличение биомассы Increase of biomass	Окисление Oxidation	Длительность периода Length of period	Увеличение биомассы Increase of biomass	Окисление Oxidation	Длительность периода Length of period	Увеличение биомассы Increase of biomass	Окисление Oxidation							
69°30'N	4/V—4/V1	15	12	4/V1—24/V1	14	31	24/V1—8/VIII	3	78	8/VIII—22/XII	—	116	22/XII—28/III	1	21	291
70°30'—72°30'N	6/V—6/V1	43	50	6/V1—26/V1	6	52	26/V1—10/VIII	1	72	10/VIII—24/XII	1	95	24/XII—29/III	1	44	364
73°00'N	7/V—7/V1	12	21	7/V1—27/V1	7	26	27/V1—11/VIII	5	68	11/VIII—25/XII	—	131	25/XII—5/IV	1	37	308
74°30'N	8/V—8/V1	5	6	8/V1—9/VII	—	6	9/VII—13/VIII	22	48	13/VIII—1/I	—	221	1/I—4/IV	1	39	348
75°30'—76°30'N	10/V—10/V1	2	4	10/V1—8/VII	—	3	8/VII—16/VIII	25	67	16/VIII—30/XII	1	302	30/XII—2/IV	—	80	484

Так как *Calanus finmarchicus* питается прямо или косвенно за счет фитопланктона, то на основе полученных данных можно характеризовать величину фактической продукции фитопланктона Баренцова моря. Несомненно, что наши данные являются преуменьшенными, так как, с одной стороны, при наших вычислениях определялись количества усвоенных, а не потребленных веществ, с другой же стороны, все расчеты велись по отношению лишь к одному виду, правда, чрезвычайно широко распространенному и доминирующему в биомассе планктона, роль же остальных потребителей совершенно не учитывалась. Значение последних, как указывалось, не может быть преуменьшено, в особенности по отношению к таким группам, как Euphausiacea и Amphipoda, для которых мы еще не располагаем точными данными об их количественных соотношениях в различные сезоны года.

Наконец, необходимо отметить, что только часть продуцируемого растительными организмами вещества идет на питание организмов планктона; известная часть его переходит в раствор, другая часть — в детрит, а часть потребляется различного рода донными животными и рыбами.

Все это заставляет нас считать, что истинная величина фактической продукции фитопланктона Баренцова моря должна быть в несколько раз больше той, которая определена нами на основе изучения потребления питательных веществ у *Calanus finmarchicus*, и выражаться величинами порядка нескольких тысяч тонн на 1 км².

Москва, 1936.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Богоров В. Г., Весовая характеристика планктеров Баренцова моря. II. Copepoda. „Бюллетень ВНИРО“ № 2, М., 1934.
2. Виноградов А. П., Химический состав морского планктона, „Труды ВНИРО“ т. VII, М., 1938.
3. Зенкевич Л. А. Производительность морских водоемов СССР (тезисы). „Труды Фаунистической конференции ЗИН АН 3—8 февраля 1932 г.“ Секция гидробиологическая. Л., 1934.
4. Зубов Н. Н., Гидрологические работы Морского научного института в юго-западной части Баренцова моря летом 1928 г. на э/с „Персей“. „Труды Государственного океанографического института“, т. II, вып. 1, М., 1932.
5. Яшнов В. А., Инструкция по сбору и обработке планктона. „Инструкции ВНИРО“, № 1, М., 1934.
6. Demoll R., Betrachtungen über Produktionsberechnungen. „Arch. f. Hydrobiol.“, Bd. 18, 1927.
7. Marshall S. M., Nicholls A. G. and Orr A. P., On the Biology of *Calanus finmarchicus*. VI. Oxygen consumption in relation to environmental conditions. „Journ. Mar. Biol. Assoc.“, N. S., V. 20, № 1, 1935.
8. Naumann E., Ueber einige neue Begriffe der Sestonkunde. „Sunds Univ. Arsskr.“ N. F. Avd. 2, Bd. 20, № 3, 1924.
9. Pütter A., Die Ernährung der Copepoden. „Arch. f. Hydrobiol.“, Bd. 15, 1925.
10. Ström K. M., Tyrifjord. A Limnological Study, „Skrift. Norske Vidensk. Akad. Oslo“, M.-N. kl., 1932, № 3.
11. Thienemann A., Der Produktionsbegriff in der Biologie, „Arch. f. Hydrobiol.“, Bd. 22, 1931.

PLANKTON PRODUCTIVITY OF THE SOUTH-WESTERN PART OF THE BARENTS SEA

By W. Jeschnov

SUMMARY

1. INTRODUCTION

One of the main problems among a number of works started by the State Oceanographical Institute (presently reformed into the Institute of Marine Fisheries and Oceanography of the USSR) on the study of the plankton of northern seas is the study of plankton productivity of the Barents Sea.

As far as the Barents Sea is concerned we had at our disposal, at the time when the work was started, detailed data only on the qualitative composition of the phyto- and zooplankton. There were in fact no data whatever on quantitative estimation of the plankton. This fact, naturally, made us lay the chief stress on the exact estimation of the elements of the plankton. Considering it an absolute necessity to have a strictly differentiated material for the study of plankton productivity we estimated from the very beginning the different stages of development, in particular for all Copepoda; besides the size of organisms was determined, particularly for organisms whose growth proceeds gradually.

Besides data on quantitative estimation of the plankton population in different seasons of the year we want information on weight interrelations for the plankton as a whole as well as for its separate components. The first is easily obtainable by weighing the whole sample or determining the volume thereof and subsequently expressing it in weight units; the latter, naturally, obliges us to determine the individual weights of separate organisms different stages of development. This work was most thoroughly carried out by B. G. Bogorov (1). The technical difficulties arising in the process of determining the weight of minutest organisms, chiefly of the vegetative ones, obliged us to obtain these data in an indirect way—by calculating the volume of organisms and subsequently expressing it in weight units. For the phytoplankton organisms these calculations were made by P. I. Ussatchev, for zooplankton ones — by us.

2. MATERIALS

Plankton sampling upon which our work is based, was performed during the period from December 1929 till August 1930 (fig. 1).

All sampling was performed by means of a Nansen's net of miller silk № 3 and № 25.

3. METHODS OF ADOPTION

The data obtained were then expressed in volume units, a cubic meter being taken for such. Then the titre of each species and stage of development was determined; for the small species the latter was obtained by multiplying the number of specimens by the average weight of organism or the respective stage of development, and for the larger forms — by the weight corresponding to size. Finally corrections for the angle of deviation of line from the vertical during haulage were introduced and thus the actual limits of the layers were determined.

4. GENERAL CONCEPTIONS

Before we pass over to the study of seasonal distribution of quantities of plankton, we find it necessary to dwell shortly upon some general conceptions, and will stress but those moments which are needed for the exposition of the results obtained.

The first thing we want to emphasize is, that the word „biomass“ has been used in many senses. In the majority of cases it was used to express in weight units that quantity of substance in living organisms, that is to be found at a given moment in the whole basin (6). In some cases this conception means quantity of substance contained per 1 cubic meter of water for the pelagic organisms or per 1 square meter of the bottom area for the benthic organisms. Finally there were cases when biomass meant the quantity of substance in a single specimen of some species. In order to avoid misinterpretation this conception should evidently be used in a more limited sense.

We think it reasonable to express by biomass the quantity of substance that is to be found at a given moment in living organisms of a basin in its whole or in one of its parts. This definition may relate both to all organisms inhabiting the given basin and to any group of the same organisms, or even to separate species and stages of development. In this conception the term biomass characterizes the generative properties of the whole area in question for a certain time interval. Naturally the biomass may be a single one, an average yearly one, that of a certain season and so on.

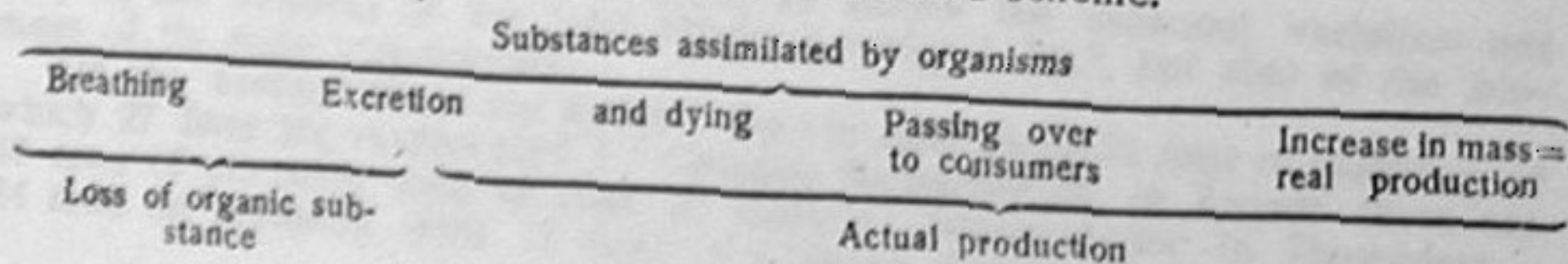
We think to term as titre the quantity of substance in living organisms, expressed in grams or some other weight units, which is to be found per 1 cubic meter of water or per 1 square meter of the sea bottom. The study of titres allows us to compare the productive properties of various biotops of the same basin or of biotops of different basins. It is obvious that in this case, too, the determinations may be single ones, yearly average ones and so on, and may be considered for the whole complex of organisms as well for some group or species.

Finally the quantity of substance of a single specimen of some species is best termed as the weight of organism.

By real production [net production K. M. Ström (11)] we mean that quantity of substance by which the mass of organisms is increased during a certain lapse of time. For a separate organism this corresponds to its individual increase in weight. For a species real production is equal to the increase during a certain time interval of the mass of the population of a species resulting from the growth of organisms and of their reproduction. The same is applicable to the real production of a genus etc, or any other biological group.

It is easy to see that the knowledge of the real production only is quite insufficient in a vast number of cases. This is especially so with phytoplankton organisms, the real production of which is frequently expressed by a small value in spite of the enormous quantity of substances produced by them during the period of vegetation. This calls forth the necessity for determining another conception — actual production [Production A. Thienemann (12)], by which is to be understood not only the quantity of substances causing the increase of the mass of organisms, but also the quantity which passes or may pass over to all kinds of consumers, whether be taken from live or dead organisms or from the products of their disintegration.

All the above stated may be represented in a scheme:



5. SEASONAL VARIATIONS IN THE TITRE OF THE PLANKTON OF THE SOUTH-WESTERN PART OF THE BARENTS SEA

In the appended sections (fig. 2) is given the distribution of the plankton titre for the Kola meridian from the Murman coast till 75° — 76° N at different seasons of the year; in the first in spring (June), in the second—in summer (August), in the third—in autumn (December) and in the fourth—in winter (March—April). All sections were plotted thus: the short cross lines on the vertical, corresponding to the given station, show the upper and lower limits of each catch; the interrogatory mark shows the absence of material for the given space for one or other reason; in each layer the distribution of plankton has been arbitrarily taken for equal. The computed titre of the plankton is marked by a circle, its area being proportional to the titre value. One square mm. has been taken for a unit of surface, corresponding to the plankton mass of one milligram per one cubic meter of water. The area of each sector corresponds to the titre of a certain species or of a group of organisms; the small sectors are fused into one group—varia.

When studying the sections it is not difficult to see a number of peculiarities in the distribution of the plankton. The first thing to be noted is the prevailing in all the sections of one of the Copepoda species—*Calanus finmarchicus*, marked in the drawings in black. In most cases the titre of *Calanus finmarchicus* exceeds by far that of all the other organisms taken together. Not infrequently, especially in the summer months, all the plankton mass consists of this one species. On the average for the Kola meridian the titre of *Calanus finmarchicus* forms in June about 88%, of the total plankton titre, in August—91%, in December—69% and in March-April—74%; the yearly average is 80%.

The other Copepoda, among which *Metridia longa* and *Pseudocalanus elongatus* are of the greatest importance, play in the life of the Barents Sea a secondary role; the titre of all taken together is only 5% of the total plankton titre in June; 4%—in August, 12%—in December and 10%—in March-April; the yearly average is evaluated at 8%.

Thus we see that the plankton of the south-western part of the Barents Sea is constituted on the average of $\frac{9}{10}$ of Copepoda (for weight), only $\frac{1}{10}$ remaining for all the rest of the organisms. Among the latter the Euphausiacea should be noted (the yearly average being 5%), Amphipoda (1%), Chaetognatha (3%), Coelenterata ($1\frac{1}{2}\%$) and Mollusca ($\frac{1}{2}\%$).

As to phytoplankton it should be borne in mind that its titre is not particularly great. It is only in June that it reaches approximately $1\frac{1}{2}\%$ of the total plankton titre; whereas in autumn and winter its value is many times smaller. However this is true for the average data of all the sections; in some isolated cases the role of the phytoplankton may be very great. For instance in June in the northern part of the section along the Kola meridian between $75^{\circ}30'$ — $76^{\circ}30'$ N the phytoplankton titre amounted to about $\frac{1}{8}$ of the zooplankton titre. Next it should be noted that the phytoplankton titre in the period of its maximum development remains wholly unknown to us; there is no material available for that time, all information being brief and disconnected.

More detailed data for seasonal variations of the titre of the main plankton components of the south-western part of the Barents Sea are given in the appended table (table 1).

The second characteristic feature of the distribution of plankton in the south-western part of the Barents Sea is the strongly conspicuous seasonability in the vertical direction, which may be easily seen from figures 2 and 3. In June (fig. 2A and 3a) the whole layer of water is divided into two parts. The upper layer from the surface down to a depth of 50—25 m. is densely populated, containing about $\frac{2}{3}$ of the whole plankton population. This layer remarkable for the high figure of its plankton titre, differs widely from the underlying water layers with more thinned population. At this time of the

year great accumulations of plankton occur in the surface layers along the Kola meridian from the Murman coast to 74° N. Further north no such abrupt differences in the vertical direction are observed, the distribution of plankton, being more even and its titre decreasing.

A similar picture may be observed in August (fig. 2B and 3b). However, the two cases are not absolutely identical. Contrary to the distribution of plankton in June enormous plankton masses are distributed in August in the northern part of the section. Southward from 72° N, where two months before a mighty development of plankton was to be observed, the surface water layers in August are greatly thinned. Another characteristic difference of this time of the year is the marked increase of the plankton titre in the bottom layers, which is conspicuous throughout the section. In other words, besides the great surface maximum there is another one, less strongly developed, a depth maximum; the middle layers are the most impoverished ones.

The sinking of the plankton into the depth of the sea begins in summer and ends after a few months; in December (fig. 2C and 3c) a strongly stressed concentration of the plankton is to be witnessed in the bottom layers nearly through all the section; only at the northern stations at 75° — 76° N a more or less uniform distribution of plankton may be observed along the vertical of the water layers. In the southern part of the section along the Kola meridian the distribution of plankton in December is directly opposite to that observed in June. At that time of the year the greatest part of population is to be found in the uppermost water layers. In December nearly all of it has moved downwards.

We may note the further variations in plankton distribution when examining the last section, coinciding with the winter period—March-April (fig. 2D and 3d). At this time no acute fluctuations in plankton distribution in the different water layers was observed. It is distributed more or less homogeneously from bottom to surface; it is only in the centre of the North-Cape current that characteristic increase in quantity of population is to be noted at a depth of 100–50 m.

The picture of seasonal variations of the vertical plankton distribution is practically easily explained. We have already pointed to the great importance of *Calanus finmarchicus* in the plankton of the Barents Sea. It allows us to compare the biology of the species in question with the studied phenomenon.

The value of the plankton titre in different seasons and at different depths is subject to wide fluctuations, the range being from 1.5 mg. per 1 m^3 to 3843 mgs. per 1 m^3 .

The average value of the plankton titre in June is 206 mg. per 1 m^3 , in August—230 mg per 1 m^3 , in December—81 mg per 1 m^3 , and in March-April—47 mgs. per 1 m^3 , in other words the mass of plankton in warm months is about 3–4 times that of the cold months. The average yearly titre of the south-western part of the Barents Sea is 140 mgs. per 1 m^3 . In the appended table (table 2) are given all data available on the plankton titre distribution along the Kola meridian at different months of the year.

6. SEASONAL CHANGES OF PLANKTON BIOMASS IN THE SOUTH-WESTERN PART OF THE BARENTS SEA

On the basis of materials obtained it is not difficult to determine the quantity of plankton under a unit of surface.

The table of results obtained (table 3) shows the seasonal variation not only of the biomass of the total plankton under 1 km^2 , but also of the biomass of its main components.

On the average there are under 1 km^2 in June about 31 tons of plankton, of which 27 tons are represented by *Calanus finmarchicus*; in August there are 47 tons of plankton with 43 tons of *Calanus finmarchicus*; in December—24 tons of plankton with 17 tons of *Calanus finmarchicus* and in March—

April — $11\frac{1}{2}$ tons of plankton with $8\frac{1}{2}$ tons of *Calanus finmarchicus*. The average yearly plankton biomass of the south-western part of the Barents Sea under 1 km^2 equals $28\frac{1}{2}$ tons, of which 24 tons falls to the lot of *Calanus finmarchicus*; in other words the plankton biomass of the Barents Sea is constituted to 84% of the latter species characteristic for the northern seas.

7. PRODUCTION OF PLANKTON OF THE BARENTS SEA

The productivity of the sea may be determined in different ways. The simplest method would be the calculation of quantities of organic substances, formed by the producers during a certain time interval. In spite of the seeming simplicity of this method, its use in determining the production of a basin meets with such difficulties that it becomes practically infeasible. Too little is known about the length of different species, the number of generations, variations in the rate of growth, dependence of variations in the medium and finally about the rate of destruction in result of consumption; to allow us to solve the problem.

We think it possible to obtain the same data in a much simpler way and with greater accuracy by applying the directly opposite method, i. e., determination of quantity of substance taken from the different kinds of producers. It is true, in this case, too, the solution of the problem is not as simple as it might seem. A direct relationship is rather rarely observed between the producers and consumers. In most cases the picture is strongly dimmed by the presence of food chains; besides there is a number of organisms feeding on products of decomposition both of producers and consumers; however it should be remembered that in this case, too, we must have at our disposal data on length of life, rate of disintegration etc.

However we think it possible to overcome all kinds of handicaps by simplifying the determination and somewhat schematizing it. As has already been mentioned $\frac{1}{3}$ of the zooplankton biomass of the Barents Sea is constituted by one species *Calanus finmarchicus*. If we succeed in determining the quantity of substance consumed annually by this organism we shall be able to estimate the yearly production of phytoplankton. It is quite evident that the value obtained should be considered as approximate, and at any rate lower than the actual ones; however these values being real, they may supply material for the solution of the main problem — the determination of the productivity of the sea.

The quantity of substance consumed or more exactly assimilated by some species living within a certain sea area may be accurately determined only in the case when we know not only the quantitative relationship between the different age groups, the variation in the age composition of a given population in the course of a studied period of time and the average weights for definite stages of development or groups, but the intensity of oxydation processes connected with the life activity of organisms.

At present we may consider that all the above mentioned is more or less known to us about *Calanus finmarchicus*. We know the seasonal quantitative distribution for the different stages of *Calanus finmarchicus* in the different regions of the Barents Sea; we have exact data on their weight relationship, and are able to determine the intensity of breathing of this species.

The data of S. M. Marshall, A. G. Nicholls and A. P. Orr (7) show that the consumption of oxygen in *Calanus finmarchicus* is largely dependent on thermics and hardly at all on their variations of the medium. For instance with the rise of temperature from 5° to 15° the oxygen consumption for 1000 specimens of the fifth stage increases from 0.17 cm^3 to 0.42 cm^3 per hour, i. e., by $2\frac{1}{2}$ times. As regards the Barents Sea it is well known that the amplitude of temperature fluctuations of this cold water basin is relatively small.

This allows us to estimate the intensity of breathing of *Calanus finmarchicus* of the Barents Sea at different seasons of the year. 1000 adult specimens of this species consume $0,33 \text{ cm}^3$ or $4,7 \text{ mg. O}_2$ per hour in summer, and $0,29 \text{ cm}^3$ or $4,1 \text{ mg. O}_2$ per hour in winter. For the fifth stage we have respectively $0,19 \text{ cm}^3$ or $2,7 \text{ mg. O}_2$ in summer and $0,14 \text{ cm}^3$ or $2,0 \text{ mg. O}_2$ in winter. 1 kg. of raw substance of *Calanus finmarchicus* contains 167 grs. of dry matter, the latter containing in its turn 62,7% protein and 18,5% fat. From this we compute the quantity of protein in one kilogram of raw substance of *Calanus finmarchicus* which equals 104 grs. and the quantity of fat—31 grs.

The oxydation of protein exiges $104 \times 1,28 = 133 \text{ grs. oxygen}$; the oxydation of fat— $31 \times 2,88 = 89 \text{ grs. oxygen}$. Thus we find that the oxydation of 1 kg. of raw substance of *Calanus finmarchicus* exiges altogether 222 grs. of oxygen.

The number of adult specimens and specimens of the fifth stage included in 1 kg. being known we determine the percentage of substance oxydized in the course of 24 hours. The results of the computations are as follows:

fifth stage in summer—5,7% of raw weight oxydized
 fifth stage in winter—3,8% of raw weight oxydized
 adult specimens in summer—6,8% of raw weight oxydized
 adult specimens in winter—5,4% of raw weight oxydized.

Thus we are able to determine the quantity of substance oxydized in a certain period of time, the data of the fifth stage being applied to all the other stages of development.

When computing the results it was assumed that the quantity of specimens of *Calanus finmarchicus* varied proportionally from one term of our investigations to another; in other words these variations might be expressed in arithmetical progression. The biomass of each stage of development under every square kilometer of the sea surface being known, we may determine the quantity of substance spent by them for oxydation processes in the course of 24 hours at the beginning and at the end of a certain period. This allows us to determine by means of an elementary formula the total amount of daily expense, i. e., the quantity of substance spent by a given stage of development during a definite term. Then we determine the quantity of substance spent by all stages of development. The data obtained are given in the appended table (table 6).

When determining quantity of substances assimilated by organisms we have to estimate not only the expenditure of substance on oxydation processes but the actual increase in biomass, as well, during a certain period of time. The values of real production of *Calanus finmarchicus* at different latitudes for definite terms are also shown in this table. The total yearly assimilation of substances by *Calanus finmarchicus* ranges between 290—480 tons under 1 km^2 .

The figures obtained may characterize the value of actual production for the phytoplankton of the Barents Sea. No doubt our data are somewhat minimized as all the calculations were made for only one species, though widely distributed and predominating in the plankton biomass; the role of the other consumers was not taken into account. The importance of the latter, as has already been mentioned, should not be underestimated, particularly in relation to such groups as Euphausiacea and Amphipoda, for which we have no exact data for their quantitative relationship at different seasons of the year.

Finally it is necessary to stress, that not all the quantity of substance produced by the plant organisms is consumed as food by the plankton organisms; some part of it is dissolved, some becomes detritus, some is consumed by all kinds of bottom animals and fishes.