

УДК 574.3 (268.45)

Первичная продукция Баренцева моря

П.Р. Макаревич

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН

Аннотация. В работе на основе систематизации оригинальных данных и данных научной литературы по первичной продукции различных районов Баренцева моря – открытых вод и прибрежных зон Кольского полуострова, островов и архипелагов – проведена оценка вклада в образование суммарной первичной продукции всех групп автотрофных организмов: фитопланктона, макрофитов, микрофитобентоса и криофлоры.

Abstract. The paper presents an estimation of the contribution of all groups of autotrophic organisms: phytoplankton, macrophytes, microphytobenthos, and cryoflora, into the total primary production of the Barents Sea. The analysis has been carried out on the basis of integration of original and published data on the primary production in various areas of the Barents Sea, i.e. outer shelf zones and coastal waters of the Kola Peninsula, islands and archipelagos.

Ключевые слова: первичная продукция, фитопланктон, макрофиты, микрофитобентос, криофлора

Key words: primary production, phytoplankton, macrophytes, microphytobenthos, cryoflora

1. Введение

Основой биопродуктивности морских экосистем является синтез органического вещества сообществами первичных продуцентов.

Баренцево море справедливо считается самым продуктивным среди шельфовых морей Арктики. Суммарная первичная продукция Баренцева моря, вычисленная по спутниковым наблюдениям и средним величинам первичной продукции для выделенных диапазонов содержания хлорофилла в поверхностных водах арктических морей (для периода апрель-сентябрь), равна 38.4 млн т С/год (Виноградов и др., 2000). С учетом корректировки значений для месяцев, когда наблюдалась сплошная облачность, годовая продукция составит 55 млн т С/год (Романкевич, Ветров, 2001). Рассчитанная таким образом величина среднегодовой первичной продукции в Баренцевом море составляет 0.11 гС/м² в сутки, что позволяет отнести море к мезотрофным акваториям. Столь высокая продуктивность объясняется, с одной стороны, полным набором присутствующих здесь пелагических и донных фитоценозов – водорослей-макрофитов, микрофитобентоса, фитопланктона и криофлоры, с другой – особыми условиями потока и трансформации биогенных элементов (Макаревич, Дружкова, 2010).

Баренцево море достаточно изучено в сравнении с другими арктическими морями. Вместе с тем, вопросы сезонных изменений продуктивности, роли в ней отдельных групп продуцентов и биотопов, пространственного распределения первичной продукции, связанного с разнообразием гидрологической структуры водоема, в научной литературе освещены весьма слабо.

Обобщение существующих материалов по первичному продуцированию органического вещества в различных биотопах и географических зонах Баренцева моря дает возможность оценить вклад в образование суммарной первичной продукции всех присутствующих в данном водоеме групп автотрофных организмов.

2. Микроводоросли пелагиали

На акватории Баренцева моря выделяют три типа вод: арктические, прибрежные и атлантические. Они различаются особенностями продукционных процессов. Главным образом – размахом межгодовых колебаний первичной продукции, в меньшей степени – ее среднемноголетним значением (рис. 1).

Пестрота гидрологической структуры и разнообразие сезонных изменений продуктивности различных частей пелагиали Баренцева моря приводят к существенным вариациям значений суммарной продукции при оценке ее различными авторами. В частности, в ряде работ (Романкевич и др., 1982; *Органическое вещество...*, 1990) приводятся практически совпадающие оценки первичной продукции – от 77 до 80 млн т С/год, однако по сведениям других авторов эти значения выше – от 100 до 150 млн т С/год (Матишов, Дробышева, 1994).

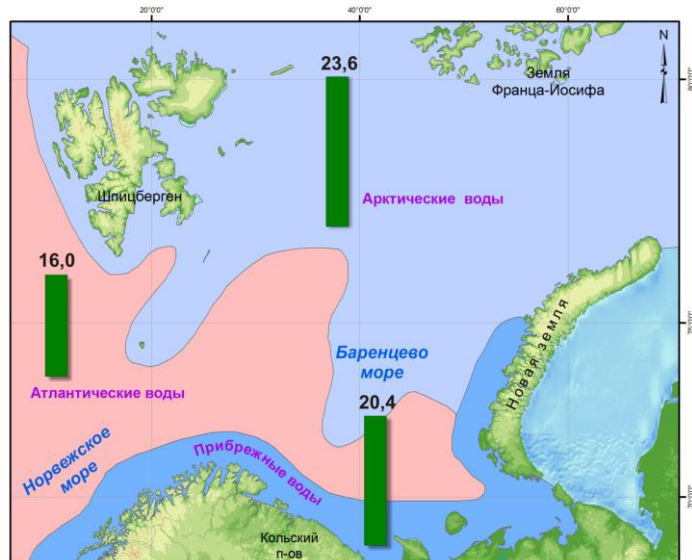


Рис. 1. Первичная продукция (среднегодовые значения, в $\text{мгС} \times \text{м}^{-2} \times \text{ч}^{-1}$) в различных водных массах Баренцева моря по данным радиоуглеродного метода (по: *Жизнь и условия...*, 1985)

В работе *Л.В. Дашкевич* и соавторов (2007) на основе обобщения опубликованных данных и с использованием существующих представлений о типичном сезонном ходе первичной продукции проведена реконструкция этого показателя для экосистемы Баренцева моря (рис. 2). В период с 1964 по 2002 гг. он варьировал от 23 (1970 г.) до 69 гС/м^2 в год (2002 г.) при среднем значении 44 гС/м^2 в год, что хорошо согласуется с оценкой, приведенной в обзоре *Е.А. Романкевича* и *А.А. Ветрова* (2001): 44.5 гС/м^2 в год.

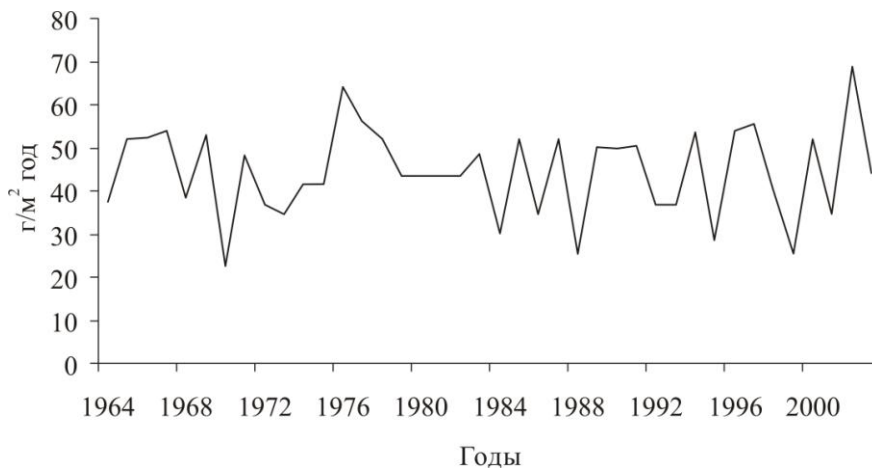


Рис. 2. Динамика годовой первичной продукции Баренцева моря в 1964-2002 гг.

Наиболее высокие значения первичной продукции в Баренцевом море отмечены в районах мелководий (Мурманская, Финмаркенская и Нордкинская банки), в прибрежной зоне и в областях смешения атлантических и собственно баренцевоморских вод (*Бобров*, 1985). Такое распределение первичной продукции связано с тем, что именно на склонах мелководий наблюдается интенсивная вертикальная циркуляция в результате встречи теплых и подвижных атлантических вод с холодными местными водами, и происходит обогащение фотической зоны биогенными элементами, которые поддерживают процесс продуцирования в летний период на высоком уровне. Юго-западные районы моря оказываются значительно более продуктивными, чем северо-восточные. В водных массах арктического происхождения по среднемноголетним данным величина первичной продукции составляет $50\text{-}100 \text{ гС/м}^2$ в год, а в атлантических водах – $100\text{-}200 \text{ гС/м}^2$ в год. На большей части моря (атлантические, прибрежные, баренцевоморские воды) среднемноголетняя величина валовой первичной продукции оценивается в $82\text{-}174 \text{ гС/м}^2$ в год.

Во временном аспекте начало и продолжительность вегетационного цикла основного первичного продуцента – фитопланктона – в различных широтных зонах Баренцева моря определяются в первую очередь уровнями инсоляции, а также ледовыми условиями: продолжительность сезона активной вегетации уменьшается с 8-9 месяцев в южной части моря до 2-3 месяцев в северной. Одновременное присутствие в пелагиали фитопланктонных сообществ, находящихся на разных стадиях развития, определяет возникновение сезонных неоднородностей распределения первичной продукции. В то же время, районы повышенной продуктивности, приуроченные к фронтальным зонам, не проявляют сезонной зависимости и связаны с восходящим движением вод вдоль фронтальной поверхности. Таким образом, согласно классификации *О.И. Кобленц-Мишке* (1985), на акватории Баренцева моря можно выделить два типа неоднородностей распределения первичной продукции: мезомасштабные и неоднородности масштаба синоптических явлений. Области повышенной продуктивности первого типа имеют сезонный характер и обусловлены различиями в сроках цветения фитопланктона на различных участках акватории. Области второго типа связаны с положением фронтальных зон (в основном полярного фронта) и сохраняются на протяжении всего вегетационного периода.

Очевидно, что и величины, и характер распределения первичной продукции на акватории водоема значительно различаются в разные сезоны. В весенний период, в апреле, свободная ото льда часть баренцевоморской акватории занята в основном водами с умеренно высокими ($200-500 \text{ мгС/м}^2$ -в сутки) и высокими ($>500 \text{ мгС/м}^2$ в сутки) величинами продукции. Летом, в июле и августе, центральные и восточные районы моря заняты преимущественно олиготрофными водами с продукцией менее 100 мгС/м^2 в сутки. При этом между пространственной и временной изменчивостью данного показателя прослеживается четкая взаимосвязь: его годовая динамика оказывается сходной в областях, содержащих определенный тип водных масс. Так, в атлантических водах, на крайнем юго-западе Баренцева моря, максимум удельной первичной продукции приурочен к концу мая – началу июня (2.5-3 млн тонн/месяц), в июле эти значения уменьшаются (0.5 млн тонн/месяц), в августе отмечается второй пик продуктивности (1.3 млн тонн/месяц). Выявленные колебания определяются, видимо, в первую очередь изменениями в сообществе зоопланктона, т.к. в теплых атлантических водах именно выедание зоопланктоном становится одним из основных регуляторов развития пелагических альгоценозов.

Сезонный процесс формирования первичной продукции в течение вегетационного периода более стабилен в районах распространения атлантических и прибрежных вод; в центральных и восточных районах Баренцева моря величины первичной продукции могут снижаться в 5 раз от весны до осени.

В арктической зоне, занимающей всю северную половину баренцевоморского бассейна, единственный зарегистрированный максимум первичной продукции (1.2 млн тонн/месяц) определяется прикромочным цветением, которое начинается в июне в период интенсивного таяния льдов и продолжается в течение всего теплого периода на узкой полосе воды вдоль отступающей ледовой кромки. Кроме этого, область повышенной продуктивности отмечается у южных берегов Земли Франца-Иосифа, где под действием господствующих летом отжимных ветров образуется пространство чистой воды, занятое активно вегетирующим комплексом фитопланктона. Похожая картина наблюдается на юго-востоке, в Печорском море – зоне максимального материкового стока. Здесь период высокой продуктивности также связан с таянием льдов и приходится на июнь-сентябрь (0.8-1.3 млн тонн/месяц), однако район, охваченный цветением, не ограничивается прикромочной полосой и занимает более протяженную площадь акватории.

Центральная часть Баренцева моря, простирающаяся от побережья Мурмана до берегов Новой Земли, занята водами смешанного генезиса, и поэтому характеризуется более сложным гидрологическим режимом, что отражается на ходе сезонных изменений продуктивности. Максимальные значения удельной первичной продукции отмечаются в апреле (6.5 млн тонн/месяц). Затем, в мае, следует непродолжительный период спада (1.5 млн тонн/месяц), сменяющийся в летние месяцы периодом стабильного нарастания величин данного показателя до 5 млн тонн/месяц. Основным фактором, определяющим динамику первичной продукции на данном участке акватории, является концентрация биогенных элементов в водной толще. Отмечающийся обычно в сентябре осенний максимум (около 4 млн тонн/месяц) формируется в южной прибрежной области водоема и обусловлен активизацией "весеннего" фитопланктона при снижении температуры воды и обогащении ее биогенами в основном за счет ветрового перемешивания.

Следует заметить, что биомасса фитопланктона подвержена значительной межгодовой изменчивости. В части Баренцева моря, находящейся под влиянием атлантических вод, отмечено четырехкратное превышение биомасс фитопланктона в период потепления (30-е гг.) над биомассами в холодный период (конец 60-х – начало 70-х гг.), когда среднегодовая температура воды снижалась с 4.2 до 3.7 °С (*Матишов и др.*, 2000).

3. Криофлора

На покрытой льдами части акватории Баренцева моря существенный вклад в процессы первичного продуцирования вносит криофлора. Лед, в процессе своего формирования, аккумулирует большое количество биогенного вещества, что позволяет обеспечить высокую продукцию ледовых микроводорослей. Период активной вегетации ледовых альгоценозов, как правило, короток, но процессы фотосинтеза в этот период очень активны. Следует отметить, что роль микрофлоры льда в создании первичного органического вещества возрастает в тех частях Баренцева моря, где биотоп для этой группы водорослей существует в течение длительного периода. Среднегодовая суточная продукция пакового ледового альгоценоза составляет около 18 мгС/м^2 в сутки (для сравнения, на долю подледного фитопланктона приходится 12 мгС/м^2) (Gosselin et al., 1997). Имеющиеся эпизодические исследования продукционных показателей однолетнего льда Баренцева моря дают предварительную оценку первичной продукции в этом биотопе как $40\text{-}50 \text{ мгС/м}^2$ в сутки. Таким образом, учитывая, что ежегодная площадь ледового покрытия Баренцева моря составляет более 50 %, а оптимальные световые условия для вегетации криофлоры составляют 5 месяцев (май-сентябрь), – годовая первичная продукция криофлоры Баренцева моря может составлять 3 млн т $C_{\text{орг}}$, т.е. около 5 % от всей первичной продукции пелагиали этого водоема.

Однако результаты исследований, проводимых в течение последних двадцати лет в арктических прибрежных зонах, позволяют сделать вывод, что именно в данном биотопе водорослями припайного льда создается основной объем первичного органического вещества. В августе величина первичной продукции криофлоры в районе архипелага Земля Франца-Иосифа составила 42.7 мгС/м^2 в сутки (Кузнецов и др., 1994). При этом измерения проводились уже на гетеротрофной стадии сукцессии ледового сообщества, когда дыхание превышало уровень фотосинтеза более чем в 2 раза. Можно предположить, что при весеннем экспоненциальном развитии микроводорослей льда это значение будет на порядок выше.

Еще одна важнейшая функция льда. Со своей альгофлорой он является своеобразным депо "посевого материала", способного вызывать бурное цветения богатой биогенами пелагиали прикромочной области, и эта активная вегетация микроводорослей сохраняется на всей площади отступающей кромки льда (рис. 3). Специфика прикромочного цветения – развитие активной вегетации – идет как в пространстве (по горизонтали и вертикали), так и во времени.

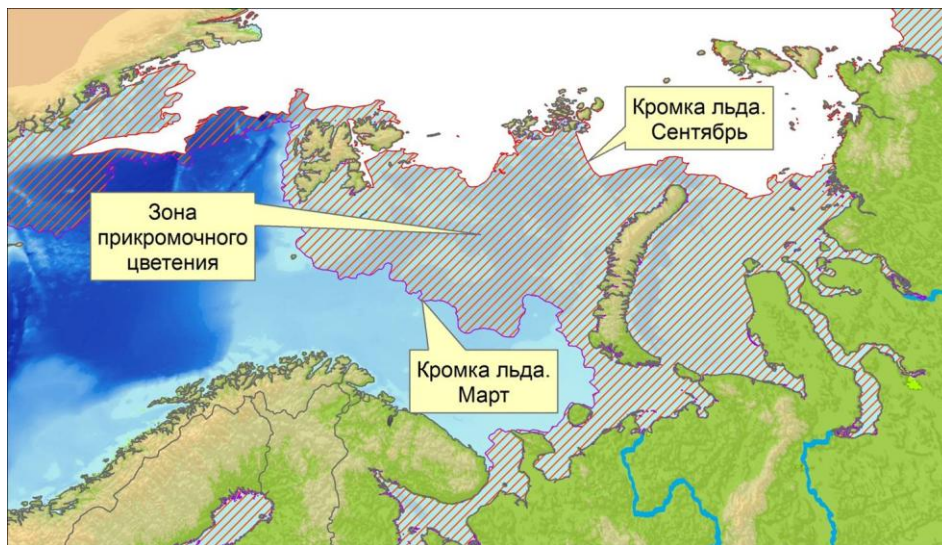


Рис. 3. Расположение кромки льда и зоны прикромочного цветения в морях Западной Арктики

В освобождающихся в весенне-летний период от ледового покрова северных и восточных районах водоема, характеризующихся так называемым прикромочным весенним цветением, уровень первичного продуцирования составляет до 540 мгС/м^3 в сутки. Это цветение существует весь теплый период года на относительно узкой полосе вдоль отступающей ледовой кромки. На освободившейся ото льда акватории (в неприкромочной зоне) продукция резко снижается до 81 мгС/м^3 в сутки.

В арктической зоне, занимающей всю северную половину баренцевоморского бассейна, единственный зарегистрированный максимум первичной продукции (1.2 млн тонн/месяц) определяется вышеописанным прикромочным цветением, которое начинается в июне в период интенсивного таяния

льдов и продолжается в течение всего теплого периода на узкой полосе воды вдоль отступающей ледовой кромки.

Полученные в ходе круглогодичных исследований арктических морей данные свидетельствуют, что продукционный потенциал фитопланктонного сообщества реализуется независимо от наличия или отсутствия сезонного льда. В частности, в Карском море сезон активной вегетации длится около 7 месяцев, включая первые 2.5-3 месяца (апрель-июнь) подледного развития. Интегральные годовые биомассы фитопланктона в одной широтной зоне Баренцева и Карского морей практически одинаковы, несмотря на разный ледовый режим. Различия заключаются главным образом в сезонных уровнях биомассы и в том, какие экологические группировки микроводорослей формируют первично-продукционный фон в тот или иной сезон года. В итоге можно заключить, что фактор ледовитости не ограничивает реализацию первично-продукционного потенциала морских пелагических экосистем.

4. Донные альгоценозы

Важная роль в биоэнергетике морских бассейнов принадлежит прибрежным экосистемам, т.к. именно в узкой полосе мелководий сосредоточено все разнообразие первичных продуцентов – макроводоросли, микрофитобентос, фитопланктон и ледовая флора (криофлора).

На мелководных участках литорали и сублиторали основную продукцию создают бентосные водоросли. Как показали наши исследования, стабильность продуцирования органического вещества осуществляют именно бентосные водоросли, сохраняющие высокую активность в течение практически всего года за счет перехода на миксо- и гетеротрофный тип питания в период полярной ночи, когда пелагические водоросли практически отсутствуют. Главными продуцентами органического вещества здесь являются водоросли-макрофиты, годовая продукция которых составляет около 630 тыс. т сырой массы, что соответствует примерно 66 тыс. т $C_{орг}$ в год. В расчете на единицу площади прибрежных районов моря продукция фитобентоса составляет 1.2-2.3 $кгC/m^2$ в год, т.е. может превышать продукцию фитопланктона на порядок (Романкевич, Ветров, 2001).

На литорали прибрежной зоны Восточного Мурмана активно развиваются макрофиты, принадлежащие трем крупным таксономическим группам – бурые, красные и зеленые водоросли. В каждой из них насчитывается более десятка видов, но при этом наиболее массовыми являются соответственно *Laminaria saccharina*, *Palmaria palmata* и *Ulvaria obscura*. В течение полярной ночи (начало декабря – третья декада января) жизнедеятельность водорослей характеризуется только дыхательными процессами. Через месяц после ее окончания скорость фотосинтеза начинает превышать потребление кислорода. Весь период вегетации продолжается около 8 месяцев в году. Снижение фотосинтеза до уровня дыхания приходится на конец сентября, после чего в донном фитоценозе преобладают деструкционные процессы.

По результатам экспериментальных исследований, проводившихся на протяжении ряда лет в губах Восточного Мурмана, продукция бурых водорослей составляла в среднем 0.98 $мгC/г$ сырого веса в сутки при колебаниях от 0.32 до 1.74 $мгC/г$ сырого веса в сутки. У зеленых водорослей величина этого показателя была несколько выше: 1.18, у красных – еще выше: 1.65 $мгC/г$ сырого веса в сутки, но и диапазон значений тоже был больше – 0.31-2.24 и 0.53-3.18 $мгC/г$ сырого веса в сутки соответственно (Кузнецов, Шошина, 2003). Однако необходимо учитывать, что в сообществе макрофитов данного района бурые водоросли являются абсолютными доминантами, а вид *Laminaria saccharina* может создавать до 85-99 % общей биомассы (Пронн, 1971). При средней биомассе ламинарии, которая составляет 8 $кг/m^2$, чистая продукция, создаваемая этими водорослями в течение года, может быть оценена в 1500 $гC/m^2$ (Кузнецов, Шошина, 2003).

Не менее важную роль в прибрежных экосистемах играют организмы микрофитобентоса, т.к. помимо непосредственного формирования первичной продукции, водоросли микрофитобентоса, в отличие от других первичных продуцентов, сохраняют высокую биомассу в течение практически всего года, переходя на миксо- и гетеротрофный тип питания в период полярной ночи. Общая оценка биомассы микрофитобентоса для Баренцева моря составляет 0.35 млн тонн, а годовой продукции – 5.3 млн тонн углерода (Ветров, Романкевич, 2004). В целом в энергетике прибрежной зоны фитобентос и фитопланктон имеют примерно одинаковое значение, за исключением прибрежной полосы воды с глубинами примерно до 10 м и менее, где в фотосинтетических процессах полностью доминируют бентические микроводоросли.

На литорали и верхней сублиторали Восточного Мурмана флора мягких грунтов представлена исключительно диатомовыми водорослями. При этом доминируют в сообществе пеннатные диатомеи, присутствующие в донных биоценозах в течение всего года (Бондарчук, Кузнецов, 1988). Можно предположить, что в зимний период, когда фотосинтез ограничен отсутствием света, они переходят на миксотрофно-гетеротрофный способ питания. Таксономический список организмов этого сообщества

включает, по данным разных исследователей, 65-70 видов и разновидностей донных диатомовых (Короткевич, 1960; Кузнецов, Шошина, 2003). В апреле-мае, во время весеннего цветения фитопланктона, и осенью, в конце периода вегетации пелагических микроводорослей, в пробах бентоса встречаются типичные планктонные виды.

Начало активного развития микрофитобентоса южного побережья Баренцева моря приходится на апрель, окончание – на сентябрь-октябрь. Исследования, проводившиеся в разных его областях, показали, что диапазон изменчивости значений продукции грунтовой флоры достаточно широк – от 80 до 500 мгС/м² в сутки. Сравнение уровней первичной продукции на участках с различными глубинами позволило установить, что ее максимальные значения обнаруживаются на мелководьях (менее 5 м): в среднем за период с апреля по сентябрь 16.4 мгС/м² при колебаниях от 0.1 до 50.6 мгС/м² в час. Согласно расчетам, в целом за это время такая величина почти в три раза превышает продукцию фитопланктона в столбе воды. На глубине 10 м данный показатель составлял в среднем 15.0 мгС/м² в час (это ниже продукции пелагического альгоценоза в 1.2 раза), а на 17 м – 9.9 мгС/м² в час (40 % от продукции фитопланктона в столбе воды) (Кузнецов, Шошина, 2003).

Большой интерес представляют исследования микрофитобентоса арктической прибрежной зоны высоких широт – района архипелага Земля Франца-Иосифа. Их результаты показали, что в течение периода открытой воды (июль-сентябрь) сообщество донных микроводорослей находится в стадии активного фотосинтеза, причем его уровень в значительной степени зависит от глубины: на мелководьях до 5 м, где имеет место разрушающее влияние на биотопы небольших стамух, айсбергов и ледяного припая, значения первичной продукции крайне низки, максимальны они на глубинах 7-20 м, а ниже происходит резкое снижение фотосинтеза (Кузнецов, Шошина, 2003). Величины этого показателя составляют в среднем от 40 до 65 мгС/м² в сутки, и лишь на одном небольшом участке доходили до 170-235 мгС/м² в сутки – там наблюдалось разрушение припайного льда, очевидно, сопровождающееся поступлением в донные осадки аллохтонного органического вещества.

Проведенные исследования сообществ автотрофов в прибрежной полосе (глубины до 10 метров) различных географических широт показали, что первичная продукция, создаваемая фитопланктоном и микрофитобентосом, имеет практически одинаковые уровни (рис. 4).

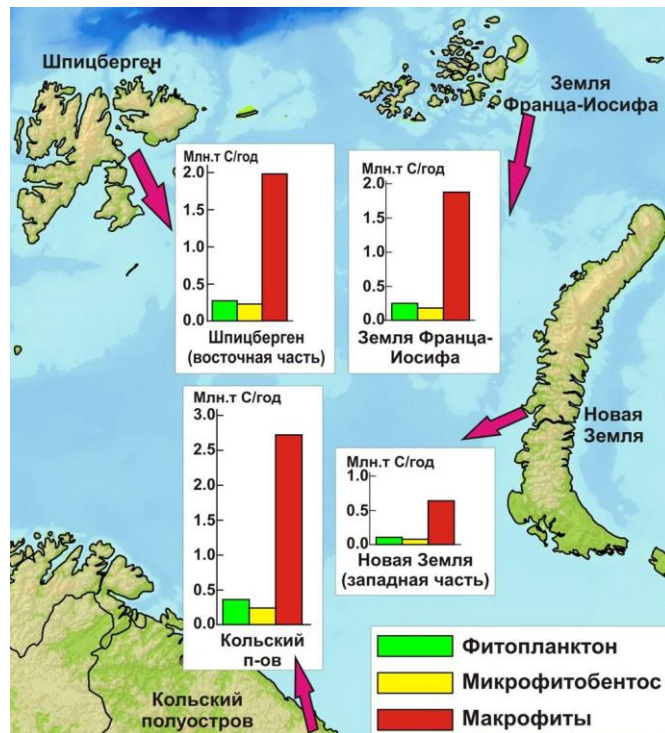


Рис. 4. Среднегодовая первичная продукция, создаваемая сообществами автотрофов в прибрежной полосе Баренцева моря (глубины до 10 м)

Небольшие различия в уровнях первичного продуцирования у макрофитов различных прибрежных зон Баренцева моря (материковое побережье, побережье архипелагов) связаны с

особенностями биотопов, т.е. с субстратом произрастания водорослей, но не с географической широтой. Таким образом, оценка суммарного вклада первичных продуцентов различных географических районов Баренцева моря в общую среднегодовую продукцию баренцевоморских прибрежных зон показала независимость этого показателя от широты (рис. 5).

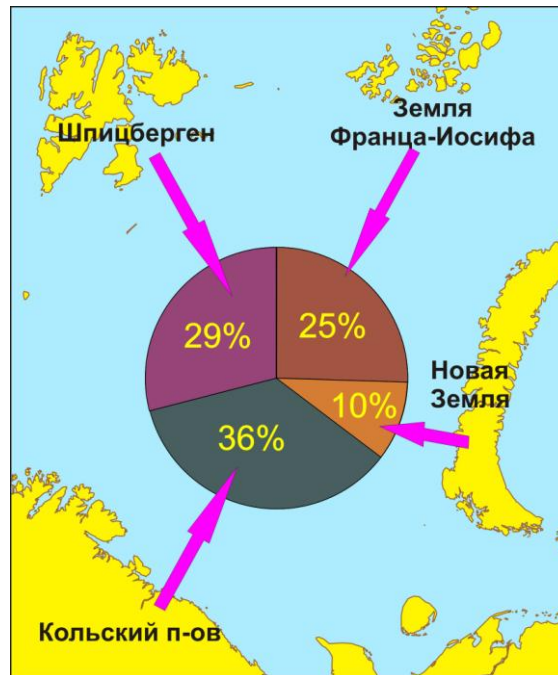


Рис. 5. Суммарный вклад первичных продуцентов в общую среднегодовую продукцию баренцевоморских прибрежных зон в районах

Анализ расчетных данных позволяет оценить значение прибрежных экосистем Баренцева моря в продукционном балансе этого бассейна. Площадь собственно прибрежья составляет менее 3 % площади рассмотренного района моря, в то время как в нем синтезируется 9-33 % всего органического вещества (в среднем примерно 14 %). Еще более ощутимыми являются различия в продуктивности прибрежья и открытого шельфа на единицу площади. Расчеты показывают, что продуктивность прибрежья больше в 3-12 раз и составляет 253 против 21.1-77 тС/км² в год. А продуктивность мелководья (полоса воды между изобатами 0 и 10 м) составляет 1222 тС/м² в год, что в 16-58 раз выше соответствующих показателей для открытого шельфа.

5. Заключение

Образование первичного органического вещества в экосистеме Баренцева моря определяется структурно-продукционными характеристиками и особенностями пространственного распределения присутствующих здесь альгоценозов: водорослей-макрофитов, микрофитобентоса, фитопланктона и криофлоры. Результаты расчетов, произведенных для всех экологических групп первичных продуцентов, показали, что альгоценозы прибрежной части Баренцева моря продуцируют 9.25 млн т С_{орг} в год, пелагиали – 60.4 млн т С_{орг} в год, льда – 10.7 млн т С_{орг} в год. Всего же суммарная годовая продукция Баренцева моря составляет чуть более 80 млн т С_{орг} в год. Продуктивность прибрежья превышает таковую открытого шельфа в 3-12 раз. Наиболее высока продуктивность узкой полосы прибрежных вод, расположенных между изобатами 0 и 10 м, где в первично-продукционном процессе основную роль играют макрофиты.

Литература

Gosselin M., Lvasseur M., Wheeler P.A. New measurements of phytoplankton and ice algal production in the Arctic Ocean. *Ibid*, v.44, N 8, p.1623-1644, 1997.

Vetrov A.A., Romankevich E.A. Carbon cycle in the Russian Arctic seas. *Berlin, Springer*, 331 p., 2004.

- Бобров Ю.А.** Исследование первичной продукции в Баренцевом море. *Жизнь и условия ее существования в пелагиали Баренцева моря. Апатиты, Кол. фил. АН СССР*, с.105-110, 1985.
- Бондарчук Л.Л., Кузнецов Л.Л.** Сезонная динамика диатомовой флоры верхней сублиторали Баренцева моря. *Новости систематики низших растений*, т.25, с.27-31, 1988.
- Виноградов М.Е., Ведерников В.И., Романкевич Е.А., Ветров А.А.** Компоненты цикла углерода в арктических морях России: первичная продукция и поток $C_{орг}$ из фотического слоя. *Океанология*, т.40, № 2, с.221-233, 2000.
- Дашкевич Л.В., Бердников С.В., Голубев В.А.** Применение модели трофодинамики Баренцева моря для анализа динамики промысловых популяций и оценки допустимых нагрузок на экосистему. *Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов российских морей Северо-Европейского бассейна (проект подпрограммы "Исследование природы Мирового океана" федеральной целевой программы "Мировой океан")*. Вып. 2. Апатиты, КНЦ РАН, с.64-93, 2007.
- Жизнь и условия ее существования в пелагиали Баренцева моря.** Под ред. Г.Г. Матишова. Апатиты, Кол. фил. АН СССР, 218 с., 1985.
- Кобленц-Мишке О.И.** Фотосинтетическая первичная продукция. *Биологические ресурсы океана. М., Наука*, с.48-62, 1985.
- Короткевич О.С.** Диатомовая флора литорали Баренцева моря. *Труды ММБИ АН СССР*, вып. 1 (15), с.68-338, 1960.
- Кузнецов Л.Л., Макаревич П.Р., Макаров М.В.** Структурные и функциональные показатели морских фитоценозов. *Окружающая среда и экосистемы Земли Франца-Иосифа. Апатиты, КНЦ РАН*, с.98-104, 1994.
- Кузнецов Л.Л., Шошина Е.В.** Фитоценозы Баренцева моря (физиологические и структурные характеристики). *Апатиты, КНЦ РАН*, 308 с., 2003.
- Макаревич П.Р., Дружкова Е.И.** Сезонные циклические процессы в прибрежных планктонных альгоценозах северных морей. *Ростов н/Д, ЮНЦ РАН*, 280 с., 2010.
- Матишов Г.Г., Дробышева С.С.** Общие закономерности структуры и развития морских экосистем европейской Арктики. *Эволюция экосистем и биогеография морей европейской Арктики. СПб., Наука*, с.9-30, 1994.
- Матишов Г.Г., Дружков Н.В., Макаревич П.Р., Дружкова Е.И., Намятов А.А.** Экологическое районирование пелагической зоны Кольского залива (Баренцево море) с использованием структурного анализа сообществ микропланктона. *Докл. РАН*, т.372, № 4, с.568-570, 2000.
- Органическое вещество донных отложений полярных зон Мирового океана.** Под ред. А.И. Данюшевской. Л., Недра, 280 с., 1990.
- Пропп М.В.** Экология прибрежных донных сообществ Мурманского побережья Баренцева моря. Л., Наука, 127 с., 1971.
- Романкевич Е.А., Ветров А.А.** Цикл углерода в арктических морях России. М., Наука, 302 с., 2001.
- Романкевич Е.А., Данюшевская А.И., Беляева А.Н., Русанов В.П.** Биогеохимия органического вещества арктических морей. М., Наука, 240 с., 1982.