

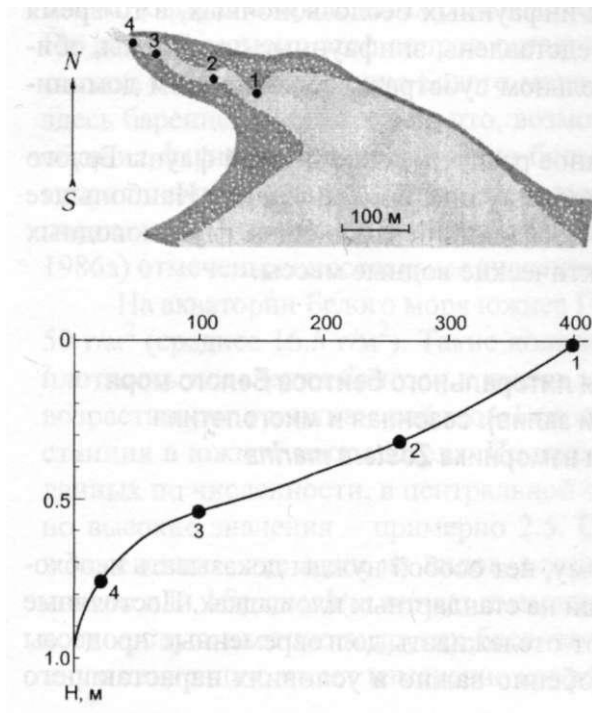
**6.9. Многолетние исследования литорального бентоса Белого моря  
в губе Чупа (Кандалакшский залив): сезонная и многолетняя  
динамика биомассы взморника *Zostera marina***

В настоящее время, по-видимому, нет особой нужды доказывать необходимость мониторинговых наблюдений на стандартных площадках. Постоянные регулярные исследования позволяют отслеживать долговременные процессы в природных сообществах, что особенно важно в условиях нарастающего

антропогенного пресса. По этой причине большинство подобных работ проводится в местах потенциальной антропогенной опасности и имеет целью получение информации для коррекции хозяйственной деятельности. Между тем особый интерес представляют изыскания, проводящиеся в областях, затронутых влиянием человека в наименьшей степени, так как только они могут служить контролем для процессов, протекающих в областях, подверженных прессу техногенного давления. Именно такие наблюдения над литоральным бентосом в двух удаленных от поселения людей точках проводятся Беломорской биологической станцией Зоологического института РАН на протяжении уже двух десятилетий.

Исследования проводились в двух небольших бухтах Кандалакшского залива Белого моря, описанных В.В.Федяковым, А.М.Шереметевским (1991). Сельдяная бухта расположена на северном берегу губы Чупа и открыта на юго-юго-восток. Длина бухты приблизительно 400 м, а ширина - 100 м. В кут бухты впадает небольшой ручеек, в отлив текущий по литорали. Русло его весьма переменчиво. На входе в нее берега представлены валунной россыпью, сменяющейся в куту на глинистые отложения. Литораль кута бухты илистая. Разрез проложен вдоль русла ручья (рис. 6.33).

Медвежья бухта - это почти прямоугольный водоем, открытый к северо-северо-востоку, приблизительно 300-метровой ширины и 200-метровой длины. В него впадает два небольших ручья, устье большего из которых расположено в северо-северо-западной части бухты. Грунт берегов смешанный, каменисто-



песчаный. Разрез, на котором брались пробы, располагается на песчаной литорали восточного берега (рис. 6.34).

В летнее время в Медвежьей бухте соленость прибрежных вод зависит от стадии приливного цикла. При отливе ручей течет в море беспрепятственно, и в ясные дни степень минерализации воды в бухте составляет примерно 11 ‰. Во время дождя она может снижаться до 9 ‰. На прибывшей воде воды

Рис. 6.33. План и профиль разреза в Сельдяной бухте. Здесь и на рис. 6.34 цифрами обозначены номера стандартных бентосных станций; по оси абсцисс - длина разреза, м

стока подпруживаются приливной волной, и соленость в бухте повышается до 22-24 ‰. Влияние приливного цикла на соленость воды в Сельдяной бухте в большей степени зависит от погодных условий. В дождливые дни соленость здесь в отлив бывает примерно 10, а в прилив — ~16 ‰. В солнечную погоду эти показатели увеличиваются соответственно до 18 и 23 ‰. Зимой соленость на поверхности в обеих бухтах может падать вплоть до 5 ‰ из-за аккумуляции пресной воды под льдом.

Летом температура воды в обеих бухтах может достигать 14-16 °С, в то время как зимой падает до -0.9 °С. Из-за более низкой солености ледостав в Медвежьей бухте начинается приблизительно на неделю раньше, чем в Сельдяной. Время же начала образования льда зависит от погодных условий и варьирует от года к году, причем наиболее раннее его формирование отмечено в октябре, а наиболее позднее - в феврале. Среднее время существования ледового покрова приближается к полугоду. Отсутствие каменистого бара приводит к тому, что в обеих бухтах в отлив лед ложится непосредственно на грунт, и его верхние слои, особенно на верхних горизонтах литорали, могут вмораживаться в него. Это приводит к тому, что при ветреной погоде во время схода льда, тающий лед выносится из бухт, причем он уносит с собой верхний слой грунта вместе с содержащимися в нем организмами. Такое явление в Сельдяной бухте наблюдалось в 1988, 1994, 1998 и 2002 гг. В Медвежьей бухте повреждений донных осадков тающими льдами не наблюдалось.

Гранулометрический состав фунта в обеих бухтах представлен в табл. 6.22. Из которой видно, что в Медвежьей бухте преобладают хорошо промытые осадки с преобладанием песчаных фракций. В Сельдяной бухте основную

часть осадков составляют алевриты. Помимо этого, здесь достаточно велика доля гниющих растительных остатков и терригенного материала, в результате чего грунт издает отчетливый запах сероводорода.

Наблюдения в обеих бухтах ведутся с весны 1987 года по настоящее время четыре раза в год: во время гидрологических весны (конец мая-начало июня), лета (конец июля-начало августа), осени (конец октября-начало ноября) и зимы (конец марта-начало апреля).

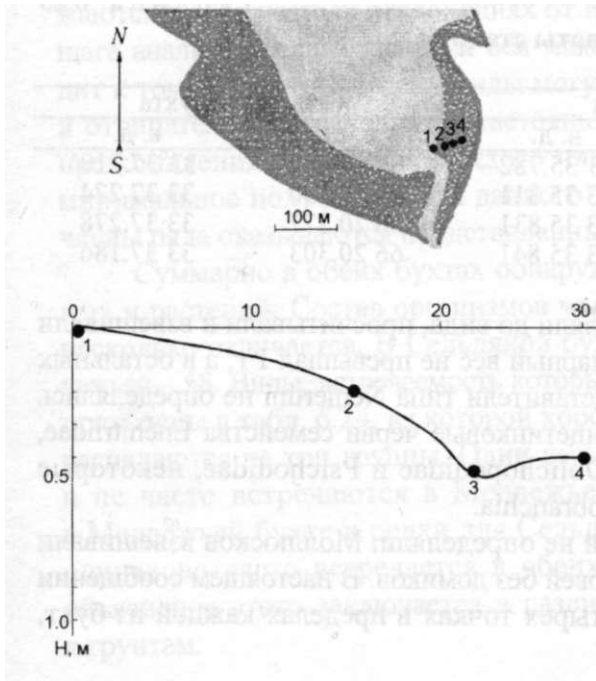


Рис. 6.34. План и профиль разреза в Медвежьей бухте

Таблица 6.22

**Характеристики грунта в местах исследования  
(по: Федяков, Шереметевский, 1991)**

Характеристика	Медвежья бухта	Сельдяная бухта
Гранулометрический состав, % объема:		
галька	1	1
гравий	5	5
песок	55	23
пелит	38	46
алеврит	1	25
Медианный размер, мм	0.13	0.04
Содержание воды, % объема	43	70
Соленость поровых вод, ‰	24.0	24.3

На каждом из разрезов (рисунки 6.33, 6.34) пробы брали на четырех стандартных станциях, по три раза на каждой (табл. 6.23). Нумерация проб начинается от нуля глубин и увеличивается в сторону верхних горизонтов. Пробы брали тремя трубчатыми пробоотборниками площадью  $3.9 \cdot 10^{-3}$ ,  $7.6 \cdot 10^{-3}$  и  $1.53 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$ , вложенными один в другой. Пробоотборники заглубляли на 10-15 см. Промывку проб производили на колонке почвенных сит с размером ячеек 0.5, 1 и 3 мм. Организмы размером 0.5-1 мм учитывались из наименьшего пробоотборника, размером 1-3 мм - из двух первых, а крупнее 3 мм - из всех трех. Полученные данные приведены к 1 м.

Таблица 6.23

**Координаты станций**

Номер станции	Медвежья бухта		Сельдяная бухта	
	с. ш.	в. д.	с. ш.	в. д.
1	66°21.085'	33°35.782'	66°20.277'	33°37.310'
2	66 21.082	33 35.811	66 20.290	33 37.274
3	66 21.081	33 35.831	66 20.277	33 37.278
4	66 21.081	33 35.841	66 20.303	33 37.186

Все организмы из проб определяли до вида, просчитывали и взвешивали с точностью до 0.001 г, если их суммарный вес не превышал 1 г, а в остальных случаях с точностью до 0.01 г. Представители типа Nemertini не определялись до вида. Не определены также малощетинковые черви семейства Enchitriidae, личинки двукрылых из семейств Dolichopodidae и Psychodidae, некоторые Chironomidae, Gammaroidea и Opisthobranchia.

Плотность поселения растений не определяли. Моллюсков взвешивали с раковинной, а многощетинковых червей без домиков. В настоящем сообщении материалы, полученные на всех четырех точках в пределах каждой из бухт, объединены.

Временные ряды обрабатывали методом компонентной фильтрации (Colebrook, 1978; Ibanez, Dauvin, 1988). Основная идея метода сводится к тому, что, смещая временной ряд данных последовательных наблюдений с некоторым определенным шагом известное число раз, получают первичную матрицу, на основе которой рассчитывается матрица автокорреляций. Недостающие значения в верхней части первичной матрицы, которые возникают из-за сдвига ряда данных, заполняются средними величинами.

Полученная автокорреляционная матрица подвергается факторному анализу по методу главных компонент. Находят собственные значения и собственные векторы этой матрицы, а также значения факторов. Далее по значениям факторов рассчитывают отфильтрованные по компонентам временные переменные, умножая значения фактора на собственный вектор соответствующей главной компоненты.

Полученные временные переменные и представляют собой различные тренды. Количество сдвигов и их шаг должны быть подобраны таким образом, чтобы первая компонента отражала основной тренд изменения анализируемой величины, а вторая - наиболее короткий возможный цикл.

В настоящей работе описанный метод используется в оригинальной модификации, разработанной совместно с В.В.Федяковым, которая осуществляет этот поиск продолжительности полученных трендов при помощи автокорреляционного анализа.

Временные переменные, начиная со второй, рассчитываются после того, как изымается дисперсия каждого предыдущего тренда, поэтому они выражаются в абсолютных отклонениях от исключенной на каждом предыдущем шаге анализа предшествующей оси максимального варьирования. Это приводит к тому, что вторичные тренды могут принимать как положительные, так и отрицательные значения. В настоящей работе для удобства графического представления данных из каждого члена временного вектора вычиталось минимальное полученное для данного тренда значение. Таким образом, все члены ряда оказываются представленными положительными величинами.

Суммарно в обеих бухтах обнаружено более 100 видов донных животных и растений. Состав организмов макробентоса в исследованных районах несколько отличается. В Сельдяной бухте обнаружено 62 таксона, а в Медвежьей - 58. Виды, встречаемость которых статистически неотличима от 100 %, приведены в табл. 6.24, из которой хорошо видно, что наиболее частые виды распадаются на три группы. Одни весьма характерны для Сельдяной бухты и не часто встречаются в Медвежьей, другие, наоборот, представлены в Медвежьей бухте и редки для Сельдяной. Наконец, третья группа видов одинаково часто встречается в обеих бухтах. Наиболее правдоподобное объяснение этого заключается в различии требований тех или иных видов к грунтам.

Таблица 6.24  
Встречаемость видов, наиболее характерных для исследованных бухт, %

Вид	Сельдяная бухта	Медвежья бухта
<i>Chironomus salinarius</i>	97.96±4.04	–
<i>Cricotopus vitripennis</i>	93.88±6.85	–
<i>Littorina saxatilis</i>	95.92±5.65	–
<i>Zostera marina</i>	91.84±7.82	–
<i>Hydrobia ulvae</i>	97.96±4.04	97.96±4.04
<i>Macoma balthica</i>	97.96±4.04	97.96±4.04
<i>Mya arenaria</i>	91.84±7.82	91.84±7.82
<i>Peloscolex benedeni</i>	97.96±4.04	97.96±4.04
<i>Pygospio elegans</i>	97.96±4.04	95.92±5.65
<i>Arenicola marina</i>	–	93.88±6.85
<i>Capitella capitata</i>	–	93.88±6.85
<i>Mytilus edulis</i>	–	97.96±4.04
<i>Scoloplos armiger</i>	–	95.92±5.65

Средняя биомасса макробентоса в Сельдяной бухте составляет  $634.19 \pm 70.68$  г/м<sup>2</sup>, а в Медвежьей -  $187.58 \pm 23.06$  г/м<sup>2</sup>. Доминантные виды приведены в табл. 6.25. В этом случае тоже можно выделить три группы видов, одни из которых доминируют в Сельдяной бухте, другие - в Медвежьей, а третьи обычны для обеих из них.

Таблица 6.25  
Виды, доминирующие по средней биомассе в Сельдяной и Медвежьей бухтах, г/м<sup>2</sup>

Вид	Сельдяная бухта	Медвежья бухта
<i>Mya arenaria</i>	63.81±9.91	–
<i>Eleocharis</i> sp.	18.31±5.21	–
<i>Zostera marina</i>	291.82±42.80	29.47±8.02
<i>Cladophora fracta</i>	113.15±18.93	5.50±1.58
<i>Hydrobia ulvae</i>	72.19±7.36	25.95±1.78
<i>Macoma balthica</i>	19.00±2.08	11.60±1.22
<i>Mytilus edulis</i>	–	60.40±10.72
<i>Arenicola marina</i>	–	13.38±1.76
<i>Scoloplos armiger</i>	–	6.30±0.50

В Сельдяной бухте по биомассе преобладают автотрофные организмы, в то время как в Медвежьей доминирующим видом оказывается мидия. Эти отличия так же, как и трехкратное превышение общей биомассы в Сельдяной бухте по сравнению с Медвежьей, скорее всего, объясняются различиями в характере осадков обеих бухт.

Общая биомасса бентоса в Сельдяной бухте имеет ясно выраженную сезонную динамику, которая практически не прослеживается на материале Медвежьей бухты. В обеих бухтах обнаруживаются циклические колебания общей биомассы, продолжительностью приблизительно 4-5 лет, связать которые с климатическими условиями не удастся (А.Д.Наумов и др., неопубликованные данные).

Основной вид, определяющий динамику обилия бентоса в Сельдяной бухте - взморник (морская трава) *Zostera marina*. В Медвежьей бухте доминирует *Mytilus edilis*, а взморник, наряду с *Hydrobia ulvae*, занимает субдоминантное место в донном сообществе (табл. 6.25). Таким образом, учитывая, что этот вид играет важную роль в литоральных биоценозах, основные черты динамики его обилия представляют значительный интерес.

Сезонная динамика *Zostera marina* в Сельдяной бухте выражена достаточно четко и соответствующий ей временной тренд исчерпывает 16.23 % общей дисперсии биомассы. Для имеющегося массива такая доля объясненной дисперсии достоверна на уровне значимости 0.01. Усреднение значений сезонного вектора для весны, лета, осени и зимы позволяет оценить характер изменений биомассы взморника в течение года (рис. 6.35). Нетрудно видеть, что ее сезонные колебания достигают  $140 \text{ г/м}^2$ , причем трава за первые летние месяцы достигает максимального развития, после чего начинается постепенная деградация. Надо полагать, что в основном это происходит за счет отмирания листьев. Зимой зеленые части растений в Сельдяной бухте во время отливов нередко вмораживаются в лед и отрываются от корневищ приливами, что, по-видимому, играет немаловажную роль в уменьшении биомассы морской травы в зимнее время.

Помимо сезонного тренда, компонентная фильтрация позволяет выделить циклическую временную переменную динамики биомассы взморника в обеих бухтах с продолжительностью цикла, близкой к 5 годам. Хотя в обоих случаях эти тренды и объясняют тот факт, что общая дисперсия биомассы достигает 20 %, на них накладывается рефлекс сезонной динамики, сильно затрудняющий анализ полученных данных. Чтобы этого избежать, были построены ряды среднегодовых биомасс, которые и подвергались дальнейшей обработке. Компонентная фильтрация этих рядов дает в обоих случаях временной вектор с хорошо выраженной 5-летней циклическостью (рис. 6.36). Для материала из Сельдяной бухты эта переменная исчерпывает 24.5 % общей дисперсии биомассы, а для материала из Медвежьей - 25.1 %. Обе доли достоверны на уровне значимости 0.01. В Сельдяной бухте отклонения продолжительности цикла от 5 лет заметно слабее, чем в Медвежьей. Это хорошо

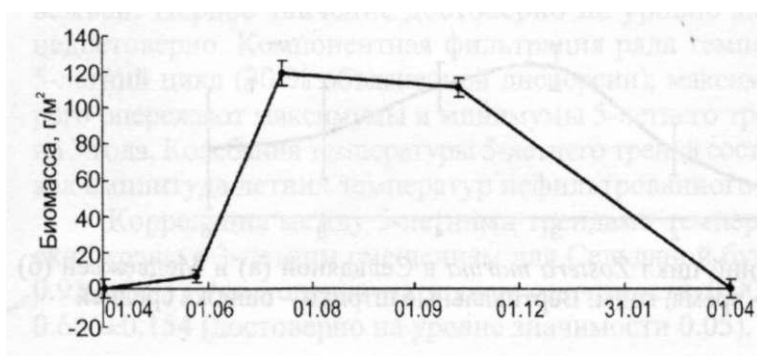


Рис. 6.35. Сезонная динамика биомассы *Zostera marina* в Сельдяной бухте. По оси абсцисс - дата; вертикальными штрихами обозначена средняя ошибка

заметно и по относительно большим ошибкам среднегодовых значений 5-летнего цикла (рис. 6.37) и по меньшей стабильности интервала между максимальными и минимальными значениями временной переменной в Медвежьей бухте (табл. 6.26).

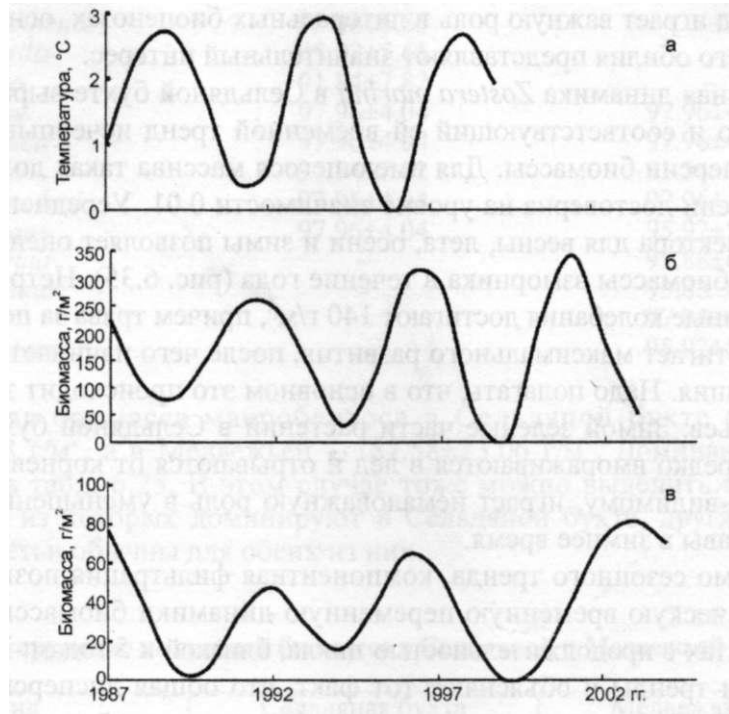


Рис. 6.36. Пятилетние тренды колебаний летней температуры (а) и биомассы *Zostera marina* в Сельдяной (б) и Медвежьей (в) бухтах

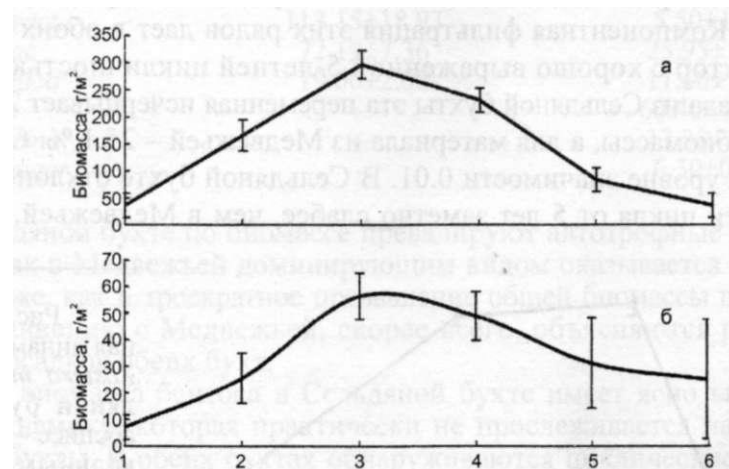


Рис. 6.37. Пятилетний цикл *Zostera marina* в Сельдяной (а) и Медвежьей (б) бухтах. По оси абсцисс - время, годы. Вертикальные штрихи - ошибка средней



Таблица 6.26  
**Годы максимальных и минимальных значений летней температуры в поверхностном слое воды и биомассы *Zostera marina* в исследованных бухтах, выявленные методом компонентной фильтрации среднегодовых значений**

Температура		Биомасса			
		Сельдяная бухта		Медвежья бухта	
мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.
1991	1989	1989	1991	1990	1992
1996	1994	1994	1996	1994	1996
–	1998	1999	2001	1999	2003

В Медвежьей бухте на имеющемся материале сезонная динамика биомассы *Zostera marina* не прослеживается.

Интересно попытаться вскрыть причины, приводящие к достаточно четкой цикличности динамики биомассы взморника. В Сельдяной бухте минимумы этого цикла хорошо коррелируют с аномальными условиями схода льда. Обычно лед здесь распадается на месте, однако изредка при сильных весенних ветрах его выносит из бухты, причем чаще всего этот вынос повреждает поверхностный слой грунта, содержащий корневища зостеры. Это наблюдалось в 1988, 1994, 1999 и 2002 гг. (сравним с рис. 6.36 и табл. 6.26). Однако в Медвежьей бухте обнаруживается практически синхронный цикл динамики биомассы взморника, хотя в ней повреждений поверхностного слоя осадков за все время проведения исследований ни разу не наблюдалось.

Это обстоятельство заставляет проверить зависимость биомассы взморника от основных факторов среды, в первую очередь, от солености и температуры. Данные по температуре и солености поверхностных слоев воды за 1987–1998 гг., полученные в процессе проведения ежедекадных гидрологических наблюдений вблизи Беломорской биостанции, приведены в работе В.Я.Бергера с соавторами (Berger et al., 2003). Связь динамики биомассы морской травы с изменениями солености на имеющемся материале нами не выявлена.

Коэффициенты корреляции между рядом летних температур (средняя за июнь, июль и август для каждого года) и биомассой *Z. marina* оказываются максимальными при смещении ряда биомасс на 3 года. Эти коэффициенты равны  $0.710 \pm 0.137$  для материала из Сельдяной бухты и  $0.465 \pm 0.217$  - из Медвежьей. Первое значение достоверно на уровне значимости 0.01, второе недостоверно. Компонентная фильтрация ряда температур выявляет четкий 5-летний цикл (30 % объясненной дисперсии), максимумы и минимумы которого опережают максимумы и минимумы 5-летнего тренда биомассы *Z. marina* на 3 года. Колебания температуры 5-летнего тренда составляют  $2.8^\circ\text{C}$ , в то время как амплитуда летних температур нефильтрованного ряда достигают  $4.8^\circ\text{C}$ .

Корреляция между 5-летними трендами температуры и биомассы морской травы с 3-летним смещением для Сельдяной бухты оказывается равной  $0.939 \pm 0.033$  (достоверно на уровне значимости 0.001), а для Медвежьей -  $0.666 \pm 0.154$  (достоверно на уровне значимости 0.05).

Полученные результаты позволяют выдвинуть предположение, что на обилие zostеры влияют температурные условия трехлетней давности. Встает вопрос: достаточна ли амплитуда температурного цикла, значительно меньшая, чем общие летние колебания температуры, для генерации столь заметного цикла биомассы, учитывая, что, судя по сезонной динамике, наиболее интенсивная вегетация приходится на время прогрева воды, а не на самое теплое время года?

Последнее утверждение нуждается в дополнительной проверке.

Для этого были подвергнуты компонентной фильтрации значения Северо-Атлантического колебания (АОI) за 1987-2001 гг. отдельно для июня, июля и августа. Для июля и августа в интересующем нас периоде циклические колебания арктического индекса не выявлены, а для июня обнаруживается четкий 5-летний цикл, почти синхронный с аналогичным циклом летних температур (32 % общей дисперсии индекса). Его максимумы приходятся на 1989, 1994 и 2000 гг., а минимумы - на 1992 и 1997 гг. (сравним с рис. 6.36 и табл. 6.26). Этот тренд, при условии 3-летнего смещения, дает корреляцию с трендом биомассы из Сельдяной бухты, равную  $0.948 \pm 0.028$ , а из Медвежьей -  $0.783 \pm 0.107$ . Обе корреляции достоверны на уровне значимости 0.01. Таким образом, если климатические факторы влияют на обилие взморника в Белом море, то наиболее важным временем года оказывается период весенне-летнего прогрева поверхностного слоя воды и начала вегетации морской травы, причем реакция растения отстает от воздействия фактора на 3 года.

Вопрос, достаточна ли амплитуда температур выявленного цикла для генерации отмеченной периодической динамики обилия *Zostera marina*, не может быть разрешен в рамках применявшихся методов, и требует дополнительных исследований.

На первый взгляд не ясно, почему выявленный 4-5-летний цикл динамики общей биомассы бентоса в обеих бухтах не удается связать ни с динамикой температуры, ни с динамикой арктического индекса (А.Д.Наумов и др., неопубликованные данные), в то время как определяющая его в значительной степени динамика морской травы такую связь обнаруживает. Ответ, скорее всего, кроется в особенностях колебаний биомассы других видов, зависящих от других причин. Так, два массовых вида двустворчатых моллюсков со значительной биомассой (табл. 6.25) - *Macoma balthica* и *Mya arenaria* - ни в одной из исследованных бухт не обнаруживают заметной динамики биомассы, ни сезонной, ни 5-летней (Наумов, 2004). Надо полагать, что наложение циклических и ациклических колебаний биомассы значительного количества видов, зависящих в каждом конкретном случае от своих причин и имеющих весьма различную продолжительность, маскирует 5-летний цикл zostеры, поэтому динамика суммарной биомассы бентоса не обнаруживает тех тенденций, которые прослеживаются на материале морской травы.