

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ  
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН  
Зоологический институт РАН  
Московский государственный университет  
Санкт-Петербургский государственный университет  
Гидробиологическое общество при РАН  
Паразитологическое общество при РАН

МАТЕРИАЛЫ  
XIII ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ

**ИЗУЧЕНИЕ, РАЦИОНАЛЬНОЕ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА  
ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ БЕЛОГО МОРЯ**

приурочено к 60-летию Беломорской биостанции  
Зоологического института РАН  
МЫС КАРТЕШ

Санкт-Петербург, 17–20 октября 2017 г.



СПб 2017

## МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ЛИТОРАЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ (ГУБА ЧУПА, КАНДАЛАКШСКИЙ ЗАЛИВ, БЕЛОЕ МОРЕ)

*О.Н. Савченко, А.Д. Наумов*

*Беломорская биологическая станция ЗИН РАН, Санкт-Петербург, Россия  
e-mail: olga\_nks@mail.ru*

Многолетние регулярные мониторинговые исследования позволяют отслеживать и прогнозировать долговременную динамику донных сообществ и отдельных входящих в них видов. С этой целью в течение 30 лет, начиная с 1987 года, в двух губах Кандалакшского залива ведутся наблюдения над двумя литоральными сообществами.

### **Материал и методика**

Губа Сельдяная представляет собой илисто-песчаную литораль, губа Медвежья – каменисто-песчаную. В каждой губе организовано по четыре станции в виде разрезов, от нижней литорали до верхней в губе Сельдяной и до средней литорали в губе Медвежьей. На каждой станции отбирается по три повторности. Съёмки проводятся четыре раза в год в одни и те же сроки и охватывают все гидробиологические сезоны. Отбор материала проводится с помощью трубчатых вложенных друг в друга пробоотборников площадью ( $1/_{262}$ ,  $1/_{131}$  и  $1/_{254}$  м<sup>2</sup>). Всего за 30 лет проведено 119 съёмок, что составляет в общей сложности 947 станций или 2841 пробу.

В настоящей работе для анализа материала используются, в основном, два метода – метод компонентной фильтрации (Colebroock, 1978; Ibanez, Dauvin, 1988; Наумов, 2006) и метод динамического фазового портрета (Айламазян, 1989; Терещенко, 2009). Метод компонентной фильтрации (вариант сингулярного спектрального анализа) заключается в разложении исходного ряда на составляющие компоненты. По характеру этих компонент, по их вкладу в суммарную дисперсию исходного ряда можно делать выводы о характере динамики системы. Суть метода фазового портрета заключается в том, что состояние сколь угодно сложной системы представляется точкой в фазовом пространстве или пространстве параметров, а эволюция этой системы – перемещением этой точки. В случае динамического фазового портрета по оси  $X$  откладываются значения параметра, а по оси  $Y$  – скорость его изменения или первая производная. Существуют некоторые характерные паттерны или виды фазового портрета (Ризниченко, 2011). Наиболее часто встречаются устойчивый и неустойчивый фокусы, а также предельный цикл. Фокус представляет собой спираль. Если траектория системы стремится к центральной точке – это устойчивый фокус, характерный для затухающих колебаний. Если же траектория системы стремится от центральной точки – состояние неустойчивое, амплитуда колебаний нарастает. В случае предельного цикла траектория системы вращается в окрестностях некоего воображаемого эллипса, на коротких временах то приближаясь к нему, то удаляясь от него, но не выходит за границы области в окрестности этого эллипса. Режим предельного цикла это устойчивое состояние, характерное для режима автоколебаний, то есть колебаний, параметры которых устанавливаются внутренними механизмами системы (Андронов и др., 1981). Еще одна характеристика, представляющая интерес – объем фазового пространства. Для открытых неравновесных систем, а

мы имеем дело именно с такими системами, изменение фазового объема говорит о смене качественного состояния системы (Николис, Пригожин, 2008).

### **Многолетняя динамика некоторых массовых видов**

#### *Губа Медвежья*

С начала 2000-х в губе Медвежьей наблюдается рост биомассы практически всех видов. Заметно увеличивается биомасса *Zostera marina*, Linnaeus 1753. Кроме того, если ранее этот вид фиксировался только на первой станции, с начала 2000-х он распространяется и на вторую станцию. На станции 1 компонентная фильтрация выявляет главный тренд, имеющий характер длинного цикла, с периодом, сопоставимым со временем исследования. Помимо этого, выделяется несколько циклических составляющих. Короткий цикл с периодом 3–4 года, и стохастическая составляющая в виде короткого 2-х летнего цикла. По нашим наблюдениям значимость стохастической составляющей растет с ростом нестабильности условий. Наиболее длинный цикл имеет период около пяти лет. С увеличением биомассы его амплитуда резко уменьшается. Фазовый портрет собственного цикла – это смена двух предельных циклов, один устойчивый цикл резко сменяется другим меньшего объема. Фазовый портрет суммы главного тренда и основного цикла показывает сдвиг фазового портрета и изменение объема фазового пространства. На станции 2 динамика биомассы зостеры менее стабильна. Вторая станция является границей распространения зостеры на литорали в губе Медвежьей. Очевидно, условия для нее здесь не являются оптимальными и собственный автоколебательный цикл не может сформироваться в полной мере.

Биомасса других массовых видов, например *Cladofora sericea* (Hudson) Kützing 1843, *Hydrobia ulvae* (Pennant, 1777), *Macoma balthica* (Linnaeus, 1758), также увеличивается с начала 2000-х годов. При этом сохраняется период колебаний, составляющий от 4 до 6 лет. Амплитуда непостоянна, с ростом биомассы в большинстве случаев она меняется или в сторону увеличения или в сторону уменьшения. Изменения проходят через периоды неустойчивых состояний, что на фазовых портретах проявляется в виде кратковременной смены предельного цикла фокусом.

#### *Губа Сельдяная*

В губе Сельдяной периодически происходят катастрофические выносы льда в весенний период. Если погодные условия складываются определенным образом и это совпадает с определенной фазой приливного цикла, происходит единовременный вынос льда из губы. Это приводит к перепахиванию верхнего слоя грунта и снижению биомассы практически всех видов. Годы выноса известны по визуальным наблюдениям. Это 1994, 1998, 2002, 2005, 2006 (Наумов, 2013). С 2010 года происходило несколько выносов подряд (наши наблюдения). Определенную роль играют также вмерзания верхнего слоя грунта в зимний период. Исследования 2013 года показали, что большая часть вмерзших в лед животных гибнет. Структура сообщества восстанавливается сравнительно быстро, к концу сезона. На восстановление биомассы нужно более длительное время. Следующие практически друг за другом выносы и вмерзания не позволяют системе восстановиться в полной мере и в последние годы, когда выносы следуют подряд или с небольшим промежутком, наблюдается снижение биомасс практически всех видов. При этом на-

блюдается не только снижение биомассы, но и затухание собственных колебаний. В целом динамика всех видов менее стабильна, чем в губе Медвежьей. На фазовых портретах заметно существование двух областей – нарушенного и восстановленного состояний, между которыми происходят колебания системы.

#### **Динамика сообществ в целом**

В качестве показателя структуры сообщества можно рассматривать индекс олигомиксности (Наумов, 1991). Его изменение имеет квазициклический характер. Наиболее равномерные регулярные колебания наблюдаются на первой, самой нижней станции. Например, в губе Медвежьей период колебаний составляет 4–6 лет, при этом амплитуда меняется незначительно. Характер колебаний сохраняется на смену доминант, изменение биомасс отдельных видов и суммарной биомассы сообщества в целом, а также небольшой рост индекса олигомиксности. Чем стабильнее условия, тем более регулярный характер имеют колебания. Кроме того, например, на четвертой станции в губе Медвежьей, колебания становятся регулярными при достижении определенной биомассы сообщества. В губе Сельдяной в последнее время наблюдается уменьшение амплитуды колебаний, и нарушение их регулярности. По-видимому, это связано с уменьшением суммарной биомассы сообщества. Кроме того, необходимо отметить, что автоколебания в обеих губах не синхронны.

#### **Устойчивость сообществ**

Вопросы устойчивости являются одними из наиболее важных в динамике сообществ. Понятие устойчивости является многоуровневым. В теории динамических систем существует несколько типов устойчивости (Никаноров и др., 2012). Один из основных – устойчивость по Ляпунову. Этот тип устойчивости характеризует поведение соседних траекторий. Если траектории сходятся – система устойчива, если траектории расходятся – система неустойчива. В норме на коротких временах происходит смена этих направлений. Такой тип устойчивости принято называть локальной устойчивостью, она может быть выражена численно с помощью показателя Ляпунова. Другой тип устойчивости – устойчивость по Лагранжу. В этом случае система устойчива, если ее траектория не выходит за границы некоей области, то есть динамическое решение ограничено сверху и снизу. Проблема заключается в определении этой области. Для эмпирических данных, это возможно только на основе достаточно длительных наблюдений. С этой точки зрения, для отдельных видов в губе Медвежьей наблюдается выход за границы устойчивого состояния с формированием новой устойчивой области. На уровне всего сообщества система устойчива. В губе Сельдяной, даже с учетом нарушений, вызванных выносом льда, динамика отдельных видов также в целом устойчива. В последнее время, несмотря на происходящее снижение биомасс и уменьшение амплитуды колебаний, формально система тоже не выходит за пределы устойчивости по Лагранжу. Но, поскольку, основной режим биологической системы – это режим автоколебаний, представляющий собой предельный цикл, устойчивое динамическое решение или норма функционирования представляет собой решение ограниченное не только внешним, но и внутренним радиусом. И выход за пределы и внешнего и внутреннего радиуса означает выход за пределы

нормы функционирования. Также как удаление от предельного цикла, – это нарушение устойчивости режима автоколебаний. Исходя из вышесказанного, сообщество в губе Сельдяной, вероятно, близко к потере устойчивости.

### **Выводы**

Многолетние изменения биомасс отдельных видов и интегральных показателей сообщества имеют квазициклический характер.

Период квазициклов для большинства видов и интегральных характеристик составляет 5–7 лет.

Наиболее стабильна циклическая динамика в наиболее стабильных условиях (на первой станции в обеих губах). С увеличением высоты на литорали в большинстве случаев возрастает вклад стохастической компоненты.

Изменения на уровне отдельных видов и увеличение суммарной биомассы сообщества в губе Медвежьей не приводят к нарушению глобальной устойчивости структуры системы.

Для восстановления сообщества в губе Сельдяной после выносов льда необходимо определенное время (Naumov, 2013). Следующие подряд или с коротким интервалом выносы льда приводят к нарушению глобальной устойчивости сообщества.

Авторы благодарят всех коллег, участвовавших в сборе материала: В.В. Федкова, М.В. Фокина, Д.А. Аристова, К.Л. Биягова, а также помогавшим в работе студентам СПбГУ

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ грант № 15-29-02507 офи\_м.

### **Список литературы**

Айламазян А.К. 1989. Информатика и теория развития. // А.К. Айламазян, Е.В. Стась. – М.: 174.

Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. 1981. Теория колебаний. 2-е изд., перераб. и испр. – М.: 918.

Наумов А.Д. 1991. К вопросу об изучении биоценозов макробентоса Белого моря. // А.Д. Наумов, В.В. Федяков (ред.). Тр. Зоол. ин-та РАН. Т. 233. Бентос Белого моря. Популяции, биоценозы, фауна. – Л.: 127–147.

Наумов А.Д. 2006. Двусторчатые моллюски Белого моря. Опыт эколого-фаунистического анализа. // Исследования фауны морей. Т. 59 (67) – СПб: 1–367.

Николис Г., Пригожин И. 2008. Познание сложного. – М.: 1–352.

Никаноров А.М., Трофимчук М.М., Сухоруков Б.Л. 2012. Методы экспериментальной гидроэкологии: монография. – Ростов/Д: 1–309.

Резниченко Г.Ю. 2011. Лекции по математическим моделям в биологии. М.–Ижевск: 1–560.

Терещенко В. Г. 2009. Изменение видового разнообразия сообществ гидробионтов как динамический процесс. // Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія. Вип. 17. Т. 1: 217–225.

Colebrook J. M. 1978. Continuous plankton records: zooplankton and environment, North-East Atlantic and North Sea 1948–1975. // Oceanologia acta. № 1: 9–23.

Ibanez F., Dauvin J.-C. 1988. Long-term changes (1977–1987) in a muddy fine sand *Abra alba* – *Melinna palmata* community from Western English Channel: multivariate time-series analysis. // Mar. ecol. Prog. Ser. Vol. 49: 65–81.

Naumov A. D. 2013. Long-term fluctuations of soft-bottom intertidal community structure affected by ice cover at two small sea bights in the Chupa Inlet (Kandalaksha Bay) of the White Sea. // Hydrobiologia. Vol. 706: 159–173.