# Эколого-биологический центр “Крестовский остров”

# Лаборатория Экологии Морского Бентоса

# (гидробиологии)



# А. Бритиков

# Разделение каких экологических ниш *Littorina saxatilis* +++ и *L. obtusata* +++ мы наблюдаем на литорали Белого моря?

# Санкт-Петербург

# 2024

# Abstract

# Введение

Экологическая ниша - это многомерное пространство, формируемое условиями и ресурсами, которые обеспечивают существование видов. Весь многомерный объем, которы определяет условия окружающей среды, при которых вид может выживать и размножаться называется *фундаментальной*, или физиологической нишей. Многомерный объем который данный вид занимает в действительности, измененный в результате взаимодействия с другими видами, называется *реализованной* нишей Hutchinson (1957). Понимание как похожие между собой виды разделяют свои экологические ниши, имеет решающее значение для понимания эволюционных процессов, приспособляемости видов к разнообразным условиям среды и механизмов, определяющих биоразнообразие. Это позволяет разрабатывать стратегии сохранения и прогнозировать реакцию на изменения окружающей среды в экосистемах (Cooper 2024).

Параметры реализованной ниши зависят от стеени выраженности конкурентных отношений между сосуществующими видами (+++). Особенно сильно конкурентные отношения выражены при взаимодействии двух видов с очень похожими фундаментальными нишами (Guo 2012; Maltseva et al. 2021; Reyes-Puig et al. 2024; Hilgers et al. 2022). +++++

На литорали Белого моря сосуществуют несколько близких видов семейства *Neritrema* (+++). При этом самыми масовыми формами оказываются *L.saxatilis* (далее *Ls*) и *L.obtusata* (далее *Lo*). Про биологию +++++++++++++

Понимание различий в экологических нишах между *Ls* и *Lo* очень важно, поскольку оно показывает, как экологическая диверсификация смягчает межвидовую конкуренцию, способствует эффективной эксплуатации ресурсов (Maltseva et al. 2021). Знание этих закономерностей, в конечно итоге, может ++++ далее про поясное вертикальое распределине +++ Однако каковы механизмы, лежащие в основе пространственной сегрегации этих видов, пока непонятно.

Целью данной работы было оценить механизмы, лежащие в основе расхождения ниш *Ls* и *Lo*. В рамках посталвенной цели мы попытались решить следующие задачи. 1. Описать вертикальное распрделение двух видов на каменистой литорали о. яжков. 2. Оценить интенсивность питания двух видов в разных условиях.

# Материалы и методика

## Место сбора

Работа проводилась на территории Кандалакшского заповедника на острове Ряжков. Непосредственный сбор материалов происходил на илисто-песчаной литорали Южной губы (координаты точки сбора 667°00’27.2”N 32°34’34.4”E) и на литорали Фукусовой губы около скальных выходов (координаты точки сбора 67°00’27.6”N 32°35’07.5”E) (рис. +++).



Место сбора материалла для исследования

## Анализ вертикального распределения видов

В этом эксперименте подсчитывали число число моллюсков на разных уровнях литорали. Это нужно, чтобы оценить соотношение *Lo* и *Ls* на разных уровнях литорали.

По малой воде мы заложили две трансекты - колышки расположенные в одну линию через определенное расстояние. Одну - на литорали Южной губы, трансекта 1, другую на литорали Фукусовой губы у скальных выступов, трансекта 2 (рис. +++). Первая трансекта была поделена на двенадцать уровней. Первый уровень был отмечен колышком, находящимся на высоте 145,9 см над нулем глубин. Все последующие колышки находились на расстоянии 5 метров друг от друга. Вторая трансекта была поделена на девять уровней. Первый колышек второй трансекты находился на высоте 72,3 см над нулем глубин. Промежуток между колышками составлял 10 метров, кроме трех последних, расстояние между которыми было 5 метров.

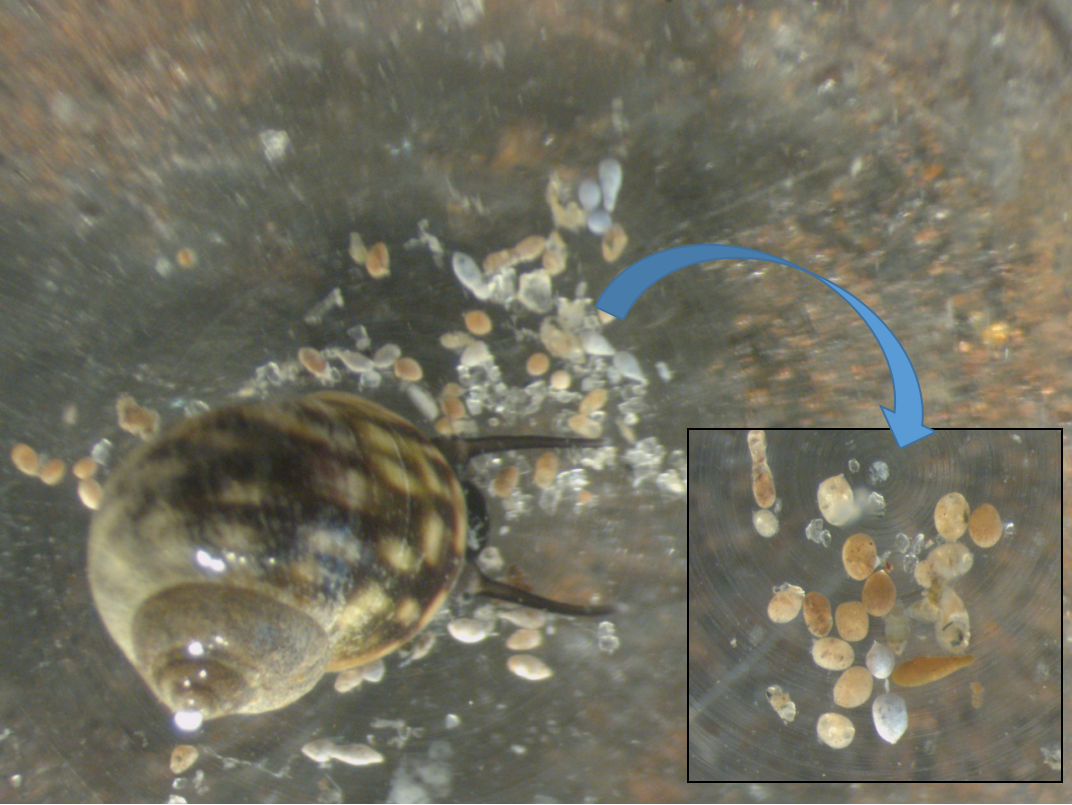
Для оценки высоты уровней трансект над нулем глубин был использован водяной уровень, работающий на принципе сообщающихся сосудов. Стометровая, силиконовая, прозрачная трубка привязывалась к размеченной рейке высотой около 1.5 метров. Через воронку, закрепленную на конце, мы наливали в трубку воду. Второй конец трубки мы подносили к уровню трансекты и ждали, пока из этого конца переставала течь вода. После этого мы измеряли высоту на которой находилиась вода на нижнем уровне трансекты (рис. +++).

На каждом уровне трансекты 1 было взято по три пробы, а на каждом уровне трансекты 2 - по пять проб. Пробы были взяты с помощью рамки 1/40 м2. Из каждой рамки мы выбирали всех улиток. Виды улиток мы различали по форме раковин и характреу исчерченности периостракума. Моллюсков после определиня подсчитывали.

## Оценка количества фекалий, выделяемых в естественных условиях

Чтобы проверить возможную причину разделения, связанную с разницей пищевых объектов мы собирали представителей двух видов моллюсков с различных субстратов: с фукоидов и с камней. Несмотря на интенсивные поиски, мы не смогли найти на камнях вне пояса фукоидов ни одной особи *Lo*, имеющих размеры близкие к размерам *Ls*, использованных в этом эксперименте. Хотя *Ls* были собраны как с камней, так и с фукоидов.

Таких моллюсков мы транспортировали в лабораторию, где мы их определяли до вида и помещали по одному в ячейку сорока-пяти луночного планшета с морской водой без взвеси. После мы закрывали планшеты, привязывали к ним утяжелитель и оставляли на литорали на одни сутки. У собранных нами после этого моллюсков мы измеряли размер устья, а также количество выделившихся фекалий (пеллет) (рис.+++).



Внешний вид пеллет *Littorina saxatilis*

## Экспериментальное изучение влияния типа субстрата на выделение пелет

Данный эксперимент был организован для того, чтобы о проверить, влияет ли тип субстрата, на котором происходит питание улиток разных видов на активность выделения пеллет. Улитки *Lo* были собраны с фукоидов, а *Ls* - с поверхности камней. Отобранных моллюсков мы помещали в контейнеры с водой накрытые сеткой на 24 часа. По прошлым исследованиям, мы знаем, что улитки рода *Littorina* отчищают свой кищечник за одни сутки (**бритиковэколого?**). Так мы получали улиток с пустыми кищечниками. Далее этих животных мы помещали в садки содержащие либо камни, либо фукоиды. Камни мы собрали с литорали (отбирали только те камни, на которых в естественных условиях были отмечены улитки).

Фукоиды двух видов *Fucus vesiculosus* и *Ascophyllum nodosum* были собраны в тех же местах, где были собраны улитки. Водоросли были очищены от эпибионтов и прочих организмов. Талломы водорослей (без разделения на виды) были помещены в садки, куда затем добавляли по 7-8 голодных особей каждого вида. Далее садки были закрыты делью с размером ячеи 4 мм и к ним были привязанны грузы. Всяконструкция располагалась на литорали на одни сутки. Всего было проведено 3 повторности в каждой из которых было установлено 3 садка с камнями и 3 садка с фукоидами. Спустя 24 часа мы извлекали садки, из кторых вынимали моллюсков. Каждая особь далее была помещена индивидуально в ячейки сорока-пяти луночного планшета. Планшеты мы помещали в приливно отливную зону на сутки. После периода экспозиции в каждой ячейке мы подсчитывали число выделившихся фекалий.

## Статистическая обработка

Все расчеты проводились с использованием функций языка статистического программирования R 4.4.2 (**R?**). В качестве порогового значения отвержения нулевой гипотезы использовался уровень значимости α=0,05.

В качестве зависимой переменной при анализ вертикального распределения видов мы использовали логарифм численности моллюсков в данной пробе. В качестве предиктора использовалось значение высоты над нулем глубин. Поскольку, визуально, вертикальное распределение видов носило нелинейный характер для построения модели была выбрана техника аддитивных обобщенных моделей (GAM, +++). Подбор парамтеров модели осуществляли с помощью пакета mgcv (+++).

Для описания выделения пелет моллюсками, собранныи в естественных условиях мы проанализировали бокс-плоты, отражающие связь количества выделенных пелет с типом субстрата, с которого были собраны моллюски. Мы не проводили в данном случае строгих статистически сравнений, так как нам не удалось найти ни одной особи *Lo* на камнях в естественных биотопах.

В качестве зависимой переменной в статистическом анализе экспериментального изучение влияния типа субстрата на выделение пелет мы использовали количество пеллет. В качестве предикторов мы использовали тип субстрата и вид моллюска. Посколькуэксперимент повторялся многократно, в качестве случайного фактора был взят номер повторности. После построения модели мы проводили попарное сравнение средних с помощью критерия Тьюки.

# Результаты

## Анализ вертикального распределения видов

Модель, описывающая вертикальное распределние видов по литорали (Табл. ++), выявила статитсически значимую зависимость обилия обоих видов от высоты горизонта.

Таблица 1. Параметры модели, описывающей вертикальное распределине видов улиток

| Член модели | edf | F-критерий | p-value |
| --- | --- | --- | --- |
| s(Real\_H):SpeciesL.saxatilis | 4.73 | 11.8 | 0e+00 |
| s(Real\_H):SpeciesL.obtusata | 5.90 | 4.7 | 2e-04 |

Рисунок +++ показывает изменение колличества моллюсков двух видов в зависимости от высоты над нулем глубин, предсказанное описанной выше моделью. Видно, что обилие этого вида в пределах пояса фукоидов было невелико. Вне пояса фукоидов их обилие резко возрастает и с повышением высоты оно незначительно увеличивается. На правом графике графике представлено логорифмическое значение от колличества *Lo* в зависимости от высоты над уровнем моря. Обилие *Lo* было максимальным в пределах пояса фукоидов достигая своего максимума приблизительно на высоте 125 см над уровнем моря. После пояса фукоидов их обилие резко падает, после чего, с увеличением высоты, незначительно увеличивается.

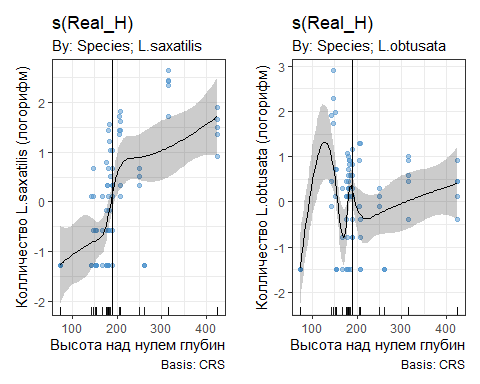


Рисунок ++, Распределение двух видов литторин по литорали. Вертикальной линией на графиках обазначено приблизительное место окончания пояса фукоидов. Серая зона вокруг линии регрессии отражает 95% доверительный интервал.

## Оценка количества фекалий, выделяемых в естественных условиях

Рисунок +++ показывает количество пеллет выделенных двумя видами моллюсков собранных с двух разных субстратов в естественных условиях. На фукоидах *Lo* выделяли заметно больше фекалий чем *Ls*. *Ls*, собранные с фукоидов выделяли приблизительно столько же пеллет, что и *Ls*, собранные с камней.

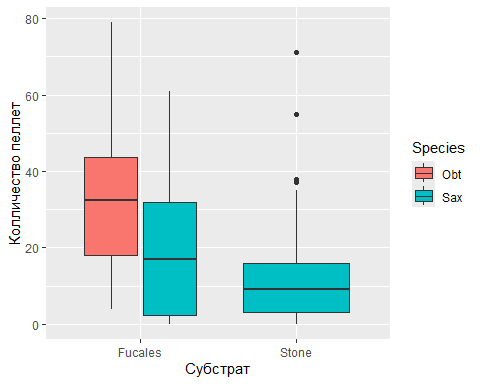
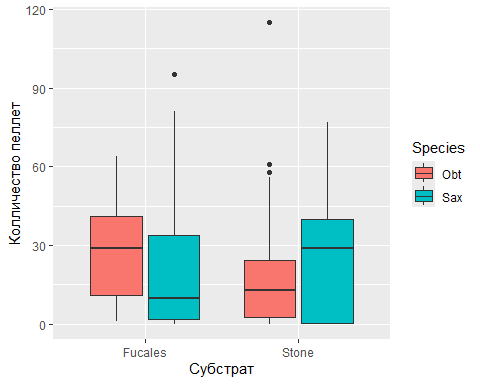


Рисунок ++, зависимость

## Экспериментальное изучение влияния типа субстрата на выделение пелет

Для представоения первичных данных проведенного эксперимента мы потроили бокс-плоты, отражающие связь количества пелет с видом моллюска и субстатом, на котором он питался. *Lo*, которые питались на фукоидах, выделяли заметно больше пеллет, чем *Lo* питавшиеся на камнях. *Ls*, которые кормились на фукоидах, в среднем, выделяли меньше пелет, чем *Ls*, которые кормиличь на камнях.

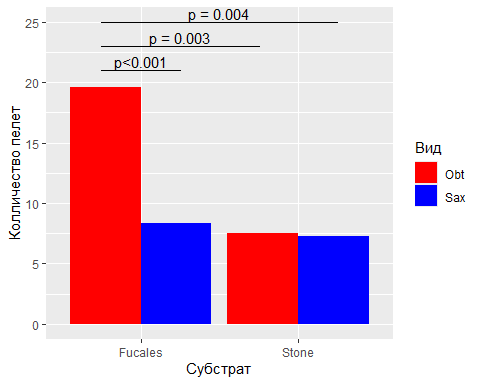


Для более строгого сравнения мы построили модель, описывающую связь количества выделенных пелет с типом субстрата, на котором кормились улитки и видом моллюска (Табл. ++). Эта модель выявила статистически значимое влияние предикторов и их взимодействия.

## Linear mixed-effects model fit by REML  
## Data: pel\_caged   
## AIC BIC logLik  
## 720.2172 740.385 -354.1086  
##   
## Random effects:  
## Formula: ~1 | Experiment  
## (Intercept) Residual  
## StdDev: 0.590644 1.213775  
##   
## Fixed effects: log(Pell + 1) ~ Species \* Substrate   
## Value Std.Error DF t-value p-value  
## (Intercept) 3.0242547 0.3685177 211 8.206539 0.0000  
## SpeciesSax -0.7887271 0.2008290 211 -3.927356 0.0001  
## SubstrateStone -0.8773645 0.2543986 211 -3.448778 0.0007  
## SpeciesSax:SubstrateStone 0.7533914 0.3543587 211 2.126070 0.0347  
## Correlation:   
## (Intr) SpcsSx SbstrS  
## SpeciesSax -0.254   
## SubstrateStone -0.225 0.366   
## SpeciesSax:SubstrateStone 0.144 -0.566 -0.626  
##   
## Standardized Within-Group Residuals:  
## Min Q1 Med Q3 Max   
## -2.3532290 -0.7719453 0.2199787 0.7672290 1.9331767   
##   
## Number of Observations: 217  
## Number of Groups: 3

| Тип эффекта | случайны фактор | Член модели | Оценка парамтера | Страдортная ошибка | Число степеней свободы | t-статистика | p-value |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| fixed |  | (Intercept) | 3.0242547 | 0.3685177 | 211 | 8.206539 | 0.0000000 |
| fixed |  | SpeciesSax | -0.7887271 | 0.2008290 | 211 | -3.927356 | 0.0001163 |
| fixed |  | SubstrateStone | -0.8773645 | 0.2543986 | 211 | -3.448778 | 0.0006798 |
| fixed |  | SpeciesSax:SubstrateStone | 0.7533914 | 0.3543587 | 211 | 2.126070 | 0.0346595 |
| ran\_pars | Experiment | sd\_(Intercept) | 0.5906440 |  |  |  |  |
| ran\_pars | Residual | sd\_Observation | 1.2137753 |  |  |  |  |

Согласно предсказаниям построенной модели (Рис. +++), статистически значимо отличается от всех остальных средних среднее количество пелет, выделенных Lo, которые питались на фукоидах.



++++

# Обсуждение

Полученные нами результаты показывают, что количество *Lo* достигает своего пика в пределах пояса фукоидов, после чего их количество резко снижается, в то время как *Ls* в пределах пояса фукоидов имеет небольшую численность, которая резко увеличивается после него. Эти данные хорошо соотносятся с литературой (Наумов and Оленев 1981).

Полученные нами результаты показывают, что *Lo* питавшиеся на камнях выделяли значимо меньше фекалий, чем представители того же вида питавшиеся на камнях. Такие результаты могут говорить о том, что *Lo* могут питаться только на фукоидах. Иная картина наблюдается у *Ls* интенсивность выделения пеллет у которых не менялась в зависимости от субстрата.

Подобные результаты можно объяснить особенностями строения радулы, зубы которой имеют много мелких выступов, помогающих им в перетирание растительной пищи (**goodwin1977inter?**; Watson and Norton 1987).*Ls* могут одинаково хорошо питаться, что на камнях, что на фукоидах. Такие результаты можно объяснить иным строением зубов радулы у *Ls* (Rolán-Alvarez, Rolán, and Johannesson 1996).

Другим объяснением подобного разделения экологических ниш может быть различия в метаболизме. Так в работе McMahon (1990) Роберт МакМахон предположил существование двух стратегий у приливно-отливных брюхоногих моллюсков. Обитатели эулиторальной зоны (низкого и среднего литорали) борются за сохранение метаболической активности, даже на воздухе во время отлива, в то время как обитатели высокой литорали замедляют метаболические процессы и закрывают раковины оперкулами. *Lo* в основном придерживаются первой стратегии из-за чего не могут выжить во время отлива на более высоких уровнях литорали, а *Ls* придерживаются второй стратегии от чего могут встречаться на большем колличестве литторальных уровней.

# Заключение

Таким образом можно сказать, что соотношение саксатилис и обтузат менялось следующим образом: на более низком уровне литорали преобладали *L. obtusata*, а после пояса фукоидов количество *L. obtusata* уменьшалось, а *L. saxatilis*, наоборот, увеличивалось. Такое разделение может быть обусловлено тем что обтузаты, имея фундаментальное разделение ниш, преобладали в нижней зоне литорали, где находятся фукоиды. Саксатилисы имели реализованное разделение экологических ниш встречаясь массово лишь в тех местах, где количество обтузат было не велико.

# Благодарности

Я хотел бы поблагодарить участников Беломорской экспедиции за помощь в подготовке и постановке полевого эксперимента, сотрудников Кандалакшского Государственного Природного заповедника за предоставление возможности сбора материала для написания данной исследовательской работы и моего научного руководителя Вадима Михайловича Хайтова, без участия которого не был бы поставлен эксперимент и написана данная работа.

# Список литературы

Cooper, Jacob C. 2024. “Ecological Niche Divergence or Ecological Niche Partitioning in a Widespread Neotropical Bird Lineage.” *PeerJ* 12: e17345.

Guo, Zhiqiang. 2012. “Séparation de Niche Entre Deux Espèces Invasives de Gobies.” PhD thesis, Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier.

Hilgers, Leon, Stefanie Hartmann, Jobst Pfaender, Nora Lentge-Maaß, Ristiyanti M Marwoto, Thomas von Rintelen, and Michael Hofreiter. 2022. “Evolutionary Divergence and Radula Diversification in Two Ecomorphs from an Adaptive Radiation of Freshwater Snails.” *Genes* 13 (6): 1029.

Hutchinson, G. 1957. “Concluding Remarks–Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology 22: 415–427. Reprinted in 1991: Classics in Theoritical Biology.” *Bull. Math. Biol* 53: 193–213.

Maltseva, Arina L, Marina A Varfolomeeva, Roman V Ayanka, Elizaveta R Gafarova, Egor A Repkin, Polina A Pavlova, Alexei L Shavarda, Natalia A Mikhailova, and Andrei I Granovitch. 2021. “Linking Ecology, Morphology, and Metabolism: Niche Differentiation in Sympatric Populations of Closely Related Species of the Genus Littorina (Neritrema).” *Ecology and Evolution* 11 (16): 11134–54.

McMahon, Robert F. 1990. “Thermal Tolerance, Evaporative Water Loss, Air-Water Oxygen Consumption and Zonation of Intertidal Prosobranchs: A New Synthesis.” In *Progress in Littorinid and Muricid Biology: Proceedings of the Second European Meeting on Littorinid Biology, Tjärnö Marine Biological Laboratory, Sweden, July 4–8, 1988*, 241–60. Springer.

Reyes-Puig, Carolina, Urtzi Enriquez-Urzelai, Miguel A Carretero, and Antigoni Kaliontzopoulou. 2024. “Is It All about Size? Dismantling the Integrated Phenotype to Understand Species Coexistence and Niche Segregation.” *Functional Ecology* 38 (11): 2350–68.

Rolán-Alvarez, E, E Rolán, and K Johannesson. 1996. “Differentiation in Radular and Embryonic Characters, and Further Comments on Gene Flow, Between Two Sympatric Morphs of Littorina Saxatilis (Olivi).” *Ophelia* 45 (1): 1–15.

Smith, Thomas M, and RL Smith. 2012. “Elements of Ecology, Eight Editions.” *Person Benjamin Cummings: San Francisco*, 1–611.

Watson, David C, and Trevor A Norton. 1987. “The Habitat and Feeding Preferences of Littorina Obtusata (l.) and l. Mariae Sacchi Et Rastelli.” *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 112 (1): 61–72.

Наумов, Андрей Донатович, and Анатолий Викторович Оленев. 1981. *Зоологические Экскурсии На Белом Море: Пособие Для Летней Учебной Практики По Зоологии Беспозвоночных*. ЛГУ.