**Эбстракт**

**Введение**

Среди разнообразных симфизиологических связей (Беклемишев 1970) прямые топические взаимодействия играют самую важную роль. Эти взаимоотношения заключаются в том, что один из организмов положительно влияет на жизнь другого. Часто бывает, что тело организма одного вида предоставляет субстрат для прикрепления организмов другого вида . Например, к числу таких взаимодействий относятся связи белок и деревьев, в дуплах которых они могут строить гензда (Дайнеко & Жадько 2016), поселение обрастателей на створках моллюсков (Varigin 2018), гнездование птиц на кроне деревьев (Прокофьева 2004).

Одним из типичных примеров топических связей являются морские седвазиозы, в которых поверхность тела морских животных или растений заселяется сидячими организмами (Наумов, Федяков, ++). При этом сидячие организмы-обрастатели (консорты) не демонстрируют глубокой специализации к своему организму-субстрату (эдификатору консорции). Так, например, +++++

Среди морских седвазиозов особое место занимают поселения мидий на литоральных макрофитах. Многочисленные исследования показали, что макрофиты не являются пассивным субстратом в этой системе, но активно воздействуют на своих консортов. Так было показано, что ++++

**Расписать со ссылками**

В ответ на присутствие мидий, фукусы развивают различные защитные механизмы. Так фукоид выделяетна своих концах вещество, которое отпугивает *Mytilus T.* и *Mytilus E.* Фукоидам плохо от того, что к ним прикрепляются мидии. Мидиям же наоборот выгодно прикрепляться к *Fucus vesiculosus*, потому что фукусы обеспечивают им защиту. В то время как *Ascophyllum nodosum* никак не реагирует на мидий, прикрепленных к фукоиду. При этом было показано, что мидии прикрепляются слабее в прибойных местах, а в затишных зонах сильнее.

Недавно было показано, что литоральные *F.vesiculosus* выделяют в воду некоторые метаболиты, которые способны практически полностью блокировать прикрепление мидий к субстрату (Ершова, 2023). Второй вид беломорских фукоидов (*A.nodosum*) не оказывает такого воздействия на моллюсков. Это входит в некоторое противоречие с наблюдаемыми в природе закономерностями распределения мидий. Так было показано, что обилие мидий на двух видах упомянутых водорослей не отличается: оба вида беломорских мидий, как Mytilus edulis, так и M.trossulus, демонстрируют практически равные плотности поселения как на F.vesiculosus, так и на A. nodosum (Федорова, 2024, +++++). То есть отрицательного влияния со стороны *F.vesiculosus* увидеть не удается. Однако известно, что фукоды - это многолетние организмы (+++++). Продолжительность их жизни может достигать ++++ лет. Рост фукоидов сопровождается образованием развилок: каждый год формируется новая дихотомия (+++++). Многолетний таллом, таким образом, представляется гетерогенным микробиотопом, в котором разные участки характеризуются разным возрастом. В связи с этим можно предположить, что +++++++.

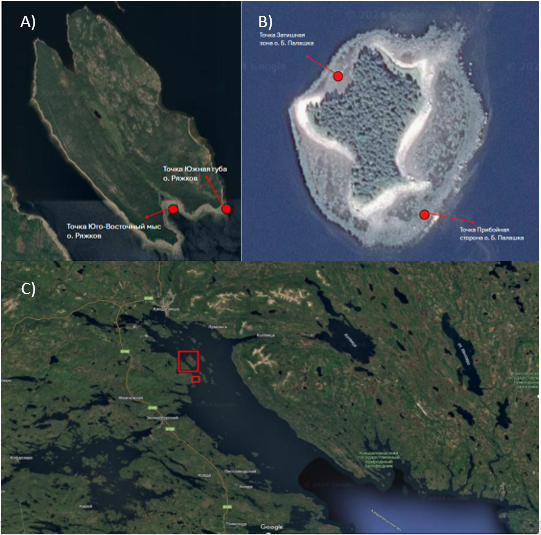
Целью данной работы было оценить насколько сила прикрепления *Mytilus edulis* и *M. trossulus* зависит от возрастных характеристик фукоидов, к которым они прикрепляются. В рамках данной цели была поставлена задача выяснить влияет ли место расположения мидий на фукоиде на силу прикрепление моллюсков.

**Материал и методика**

*Сбор фукоидов с мидиями*

Мидии были собраны в четырех точках, различающихся по степени открытости для волнового воздействия (Рис. 1). Первая точка располагалась в куту Южной губы о. Ряжков. Она находится в затишной зоне. Вторая – на Юго-Восточном мысу о. Ряжков. Эта точка находится на прибойной стороне острова. Третья – в затишной зоне о. Б. Палашка. Четвёртая – на прибойной стороне о. Б. Палашка. Выбор точек сбора материала был обусловлен присутствием мидий E- и T-морфотипа на *Ascophyllum nodosum* и *Fucus vesiculosus.*

В каждой точке мы отбирали по три пучка *A. nodosum* и три пучка *F.vesiculosus.* Водоросли срезали ножом в самом основании и каждый пучок помещали в отдельный пластиковый пакет, который транспортировали в лабораторию.



*Рисунок 1 (A – остров Ряжков, две точки сбора пробы: кут Южной губы и Юго-Восточном мыс; B – остров Большая Палашка: затишная зона и прибойная зона; C – расположение о. Ряжкова и о. Б. Палашка в Белом море).*

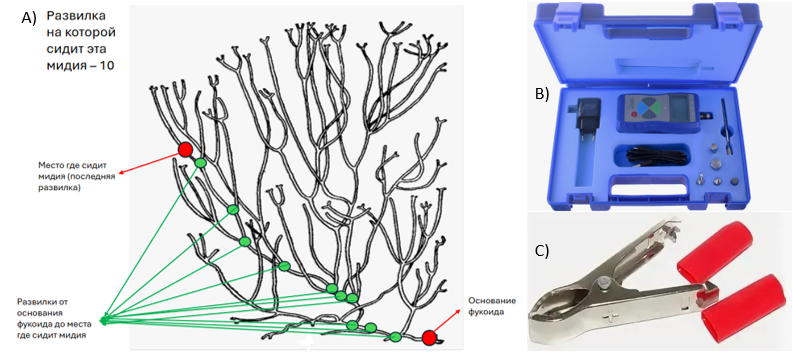
***Большую карту наверх, красное заменить на желтое или иное контрастное! Шрифт на для подписей крупнее.***

*Измерение силы прикрепления*

Водоросли располагали в плоской кювете так, чтобы можно было подсчитать количество развилок, идущих от точки его крепления к грунту до того места, где были обнаружены мидии (Рис. 2, A). Эти развилки появляются на апикальной части слоевища каждый год и могут трактоваться, как маркеры возраста (Кузнецов, 1960): чем выше развилка от основания фукуса, тем моложе эта часть фукоида. Для каждой, включенной в анализ, мидии мы определяли сколько развилок отделяет ее положение от точки крепления фукоида к субстрату.

Описанная выше работа производилась только с тем моллюсками, длина раковины которых превышала 10 мм. Далее к таким мидиям мы прикрепили зажим-крокодильчик (Рис. 2, C), который присоединяли к динамометру Мегеон-23020, при помощи которого мы измеряли силу прикрепления моллюсков (Рис. 2, B). Для этого мы постепенно увеличивали натяжение, фиксируя положение фукоида, до тех пор, пока не произойдет, отрыв моллюска от субстрата. Мы записывали максимальное значение усилия. Точность измерения силы составляла 0.001 Н.

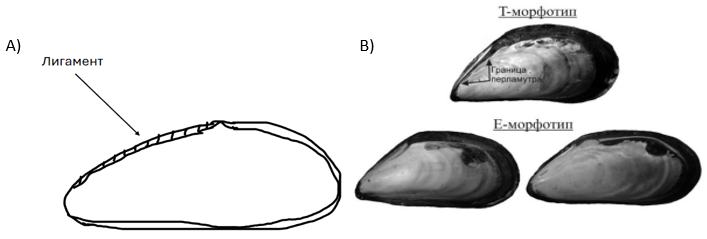
Далее каждую особь взвешивали на электронных весах с точностью до 0.001. После этого, каждая особь была помещена в кипящую воду и варилась в течении 2 минут. Далее из каждой мидии удалили мягкие ткани. Затем каждую створку подписали персональным номером. Всего дыло изучено ++++ особей, собранных с ++++ пучков.



*Рисунок 2. Схема организации таллома фукоидов и инструмены, использованные для оценки силы прикрепления идий. A – развилки на F.vesiculosus; B – динамометр Мегеон-23020; C – зажим-крокодильчик, который был использован для закрепления на раковине для соединения с динамометром.*

*Идентификация мидий по морфотипу.*

В данной работе мы разделили мидий на две группы, которые соответствуют двум морфотипам (Khaitov et al. +++). Эти морфотипы определяются характером развития перламутрового слоя в районе лигамента (Рис. ++). У мидий T-морфотипа перламутровый слой в районе лигамента недоразвит и там прослеживается токая полоска непрекрытого призматического слоя. У мидий E-морфотипа в этой зоне перламутровый слой полностью закрывает призматический слой. Указвнные морфотипы с высокой точностью соответсвуют двум видам мидий M.edulis (мидии E-морфотипа) и M.trossulus (мидии T-морфотипа). В дальейшем мы будем ассоциировать эти морфотипы с видами.



*Рисунок 3. Признаки, использованные для идентификации мидий. A – лигамент у мидии; B – Морфотипы мидий.*

*Статистическая обработка.*

Мы провели регрессионный анализ, в котором зависимой переменной была сила прикрепления мидии (использовали логарифмированное занчение, чтобы не нарушались условия примененеия регрессионного аналаиза). В качестве предикторов в модели использовали количество развилок от места прикрепления мидии до прикрепительного диска фукоида (Branch), вид фукоида (F\_Sp), морфотип мидии (Morphotype) и все возможные взаимодействия между этими перменными. Кроме того, поскольку сила прикрепления может зависеть от размера мидии (++++++) мы в анализ включили в качестве ковариаты, также, вес мидии (Mussel\_Weight). Обработка и визуализация результатов производилась с помощью языка статистического программирования R (R Core Team 2023).

**Результаты и обсуждение**

Мидии были обнаружены от +++ развилки, которая находилась в непосредственной близости от прикрепительного диска до +++. При этом чаще всего моллюски были отмечены на +++ развилках.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер развилки | M.trossulus на F.vesiculosus | M.trossulus на A.nodosum | M.edulis на F.vesiculosus | M.edulis на A.nodosum |
| 1 |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

Регрессионный анализ показал, что наблюдаются статистически значимые связи силы прикрепления с использованными предикторами. Можно заметить, что наблюдается значимая положительная связь силы прикрепления с весом мидии. То есть более крупные мидии прикрепляются сильнее. Для решения задач данной работы наиболее важным оказывается значимое взаимодействие вида фукоидов с номером ветвления. Это говорит о том, что характер связи силы прикрепления с номером ветвления оказывается разным для разных фукоидов. Для более детального анализа связей необходимо рассмотреть ход линий регрессии, которые предсказывает этамодель.

Таблица ++. Результаты регрессионного анализа связи между силой прикрепления с номером ветвления (Branch) ++++ .

Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)

(Intercept) -1.58380 0.20369 -7.776 1.00e-13 \*\*\*

Branch 0.03521 0.02074 1.697 0.09060 .

Morphotype(T) 0.91783 0.26721 3.435 0.00067 \*\*\*

F\_Sp(F.vesiculosus) 1.29592 0.30731 4.217 3.21e-05 \*\*\*

Branch:Morphotype(T) -0.02865 0.02692 -1.065 0.28788

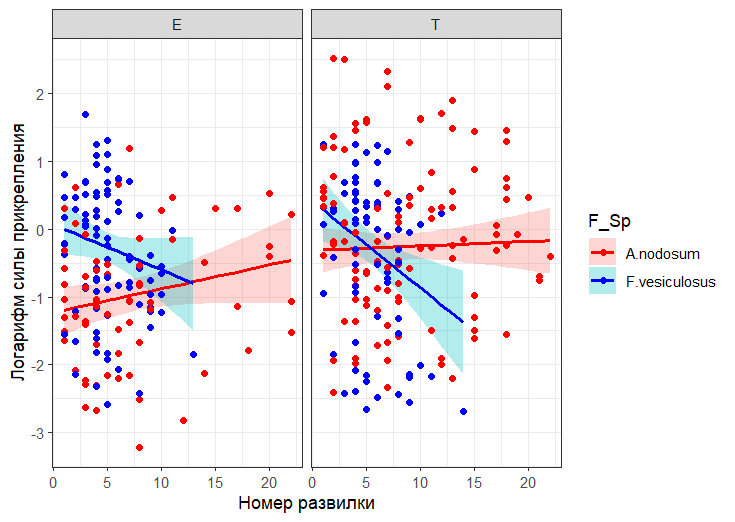
Branch:F\_Sp(F.vesiculosus) -0.10185 0.04669 -2.181 0.02986 \*

Morphotype(T):F\_Sp(F.vesiculosus) -0.57320 0.45273 -1.266 0.20639

Branch:Morphotype(T):F\_Sp(F.vesiculosus) -0.03221 0.06694 -0.481 0.63065

Mussel\_Weight 0.92728 0.14388 6.445 4.17e-10 \*\*\*

На рисунке 4 приведены линии регрессии, отражающие зависимость силы прикрепления мидий от номера развилки на фукоиде для двух групп мидий на разных видах фукоидов. Из данных, приведеных на этом рисунке видно, что



Риунок +++. Линии регрессии, отражающие связь между силой прикрепления миди и номером развилки, на котрой сидит мидия, для разных видов фукоидов и разных морфотипов мидий. Для построения линий регрессии значения веса мидий были взяты, как средние значения.

По графику можно понять, что мидии прикрепляются сильнее к основанию *Fucus vesiculosus*, чем к концу фукоида, на крайних развилках растения мидий нет совсем. По данному графику также можно понять, что мидии морфотипа T прикрепляются к фукоидам сильнее, чем мидии морфотипа E. Ещё можно заметить, что на *Ascophyllum nodosum* мидии прикрепляются по всей длине фукоида.

*Рисунок 4 (Зависимость силы прикрепления мидий разных морфотипов от порядка ветвления слоевища).*

Как выяснилось значение силы прикрепления зависит от номера развилки *Fucus vesiculosus*, на которой прикрепилась мидия. Мидии, которые сидят ближе к основанию фукоида прикрепляются сильнее, чем мидии, которые прикрепляются ближе к концу фукусов. Это означает, что фукоиды борются с мидиями. На *Ascophyllum nodosum* морфотип-E. и морфотип-T. прикрепляются равномерно по всему тело.

**Обсуждение**

Номер развилки на которой сидит мидия на *Ascophyllum nodosum* не имеет значения, так как этот вид фукоида ничего не выделяет. Однако номер развилки на которой сидит мидия на Fucus *vesiculosus* играет свою роль в жизни фукуса, потому что этот фукоид выделяет особое вещество, которое ослабляет силу прикрепления Mytilus T. и Mytilus E. благодаря этому Fucus *vesiculosus* защищается от мидий.

**Благодарности**

Хотелось бы выразить благодарность Вадиму Михайловичу Хайтову как научному руководителю, Кандалакшскому заповеднику за возможность работы и команде LIX Беломорской экспедиции за помощь разбора материала.

**Литература**

Ершова Т (2023) Влияние Fucus vesiculosus и Ascophyllum nodosum на прикрепление Mytilus edulis и Mytilus trossulus. Работа депонирована в библиотеке Лаборатории экологии морского бентоса (гидробиологии) ЭБЦ «Крестовский остров».

Прокофьева И (2004) Расположение гнёзд разных птиц на одних и тех же деревьях. Русский орнитологический журнал 13:170–173.

Беклемишев ВН (1970) Биоценологические основы сравнительной паразитологии.

Дайнеко Н, Жадько С (2016) Ботаника: геоботаника.

Varigin A (2018) Biotic links in the fouling community of Odessa Bay (Black Sea). Biosystems Diversity 26:24–29.