

Что мы знаем об экологии системы *Mytilus edulis*-*M.trossulus* в Белом море?

Вадим Хайтов, Антон Ковалев, Петр Стрелков



Предыстория

Два вида мидий в Европе (Vainola, Strelkov, 2011)

Mar Biol

ORIGINAL PAPER

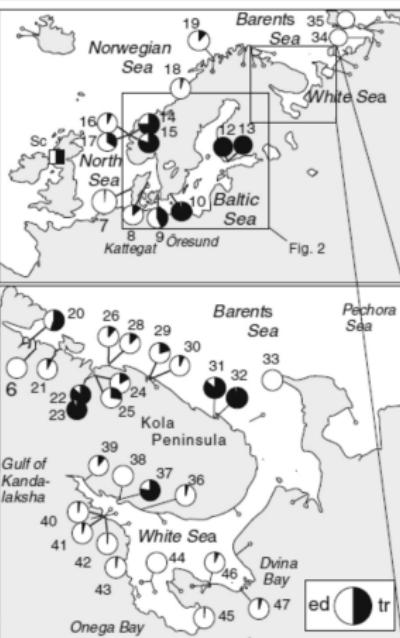
Mytilus trossulus in Northern Europe

Risto Väistö - Risto Strelakos

Received: 29 June 2010 / Accepted: 14 December 2010
© The Author(s) 2011. This article is published with open access at Springerlink.com

Abstract From data on allozyme, nuclear DNA and mitochondrial DNA markers, we show that the originally North Pacific/Northwest Atlantic mussel *Mytilus trossulus* is widespread on North European coasts, earlier thought to be inhibited only by *Mytilus edulis*. Several local occurrences of *M. trossulus*, interspersed with a dominant *M. edulis*, were recorded on the North Sea, the Norwegian Sea and Barents Seas coasts of Norway and the Baltic and White Sea coasts of Kola Peninsula in Russia. The proportion of *M. trossulus* genetic background was at any one site varied from 0 to 95%. These new occurrences are likely to be the result of 15,000 years ago.

genotypic disequilibria are higher than those in the steep transition zone between the Baltic mussel and *M. edulis*; there is no evidence of a collapse toward a hybrid swarm unlike in the Baltic. The Barents and White Sea *M. trossulus* are genetically slightly closer to the NW Atlantic than NE Pacific populations, while the Baltic mussel has unique features distinguishing it from the others. We postulate that the presence of *M. trossulus* in Northern Europe is a result of repeated independent inter- or transoceanic cryptic invasions of various ages, up to recent times.



- Тихоокеанская мидия (*M.trossulus*) широко распространена вдоль побережья Европы
 - **Рабочая гипотеза:** *M.trossulus* была интродуцирована в акваторию Баренцева, а затем и Белого моря, во время II Мировой войны.

Два вида мидий в Белом море (Katolikova et al., 2016)



Genetic, Ecological and Morphological Distinctness of the Blue Mussels *Mytilus trossulus* Gould and *M. edulis* L. in the White Sea

Marina Katolikova^{1*}, Vadim Khaitov^{2,3}, Risto Väinölä⁴, Michael Gantsevich⁵,

⁴ Department of Mathematics and Statistics, Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia.

¹ Department of Ionotherapy and Hydrotherapy, Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, RUSSIA
² Department of Radiobiology, Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, RUSSIA

2 Department of Environmental Zoology,
Saint-Petersburg 358919 University, Saint-Petersburg, Russia,
Kunashir Island, State Nizhny Novgorod
Kunashir Island, 84 Lomonosov Avenue, Petropavlovsk-Kamchatsky, Kamchatka
Kunashir Island, 44 Elenin Street, Petropavlovsk-Kamchatsky, Kamchatka
Kunashir Island, 100-102, 10th floor, 125009, Moscow, Russia, A. Fomin Museum of
Natural History, 125009, Moscow, Russia.

³ Kara-Bashka State Nature Reserve, Kara-Bashka, Murmansk Region, Russia, ⁴ Finnish Museum of Natural History, University of Helsinki, Helsinki, Finland, ⁵ Department of Invertebrate Zoology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

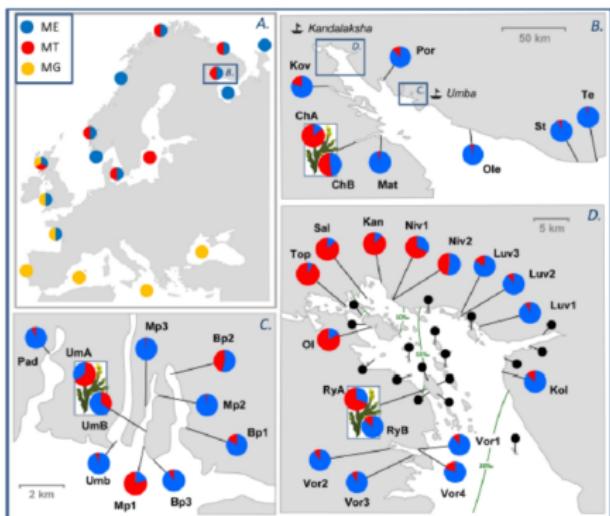
8 en Internet en la red

Two blue mussel lineages of Pliocene origin, *M. edulis* (ME) and *M. trossulus* (MT), co-occur and hybridize in several regions on the shores of the North Atlantic. The two species were distinguished from each other by molecular methods in the 1980s, and a large amount of comparative data on them has been accumulated since that time. However, while ME and MT are now routinely distinguished by various genetic markers, they tend to be overlooked in ecological studies since morphological characters for taxonomic identification have been lacking, and no consistent habitat differences between lineages have been reported. *Ruspolia* is a new name proposed for the MT lineage.

Editor: Donald James Colgan, Australian Museum,
AUSTRALIA

Received December 10, 2015

Annotated March 20, 2016



- Более 1000 мидий из 26 поселений были генотипированы по 4 аллозимным локусам: *Est-D*, *Gpi*, *Pgm*, *Odh*
 - В Кандалакшском заливе представлены смешанные поселения *M.edulis* и *M.trossulus*
 - Доля *M.trossulus* варьирует в широких пределах.

История первая: Использование морфотипов для определения видов

Использование морфотипов для определения видов (Khaitov et al., 2021)

PLOS ONE

ПРИЛАДЫ АВТОБУСА

Species identification based on a semi-diagnostic marker: Evaluation of a simple conchological test for distinguishing blue mussels *Mytilus edulis* L. and *M. trossulus* Gould

Vadim Khaitov^{1,2*}, Julia Marchenko³, Marina Katolikova^{1,3}, Risto Viinölä⁴, Sarah E. Kinneyton^{2,5}, David B. Carlson⁵, Michael Gantzevich^{2,7}, Boaz Shani^{1,8}

1 St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia, 2 Kandalaksha State Nature Reserve, Kandalaksha, Murmansk Region, Russia, 3 Murmansk Marine Biological Institute, Murmansk, Russia, 4 Finnish Museum of Natural History, University of Helsinki, Helsinki, Finland, 5 Department of Biology & Schiller Coastal Studies Center, Bowdoin College, Brunswick, Maine, United States of America, 6 School of Marine Sciences and Darling Marine Center, University of Maine, Walpole, Maine, United States of America, 7 Department of Invertebrate Zoology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, 8 Laboratory of Monitoring and Conservation of Natural Arctic Ecosystems, Murmansk Arctic State University, Murmansk,

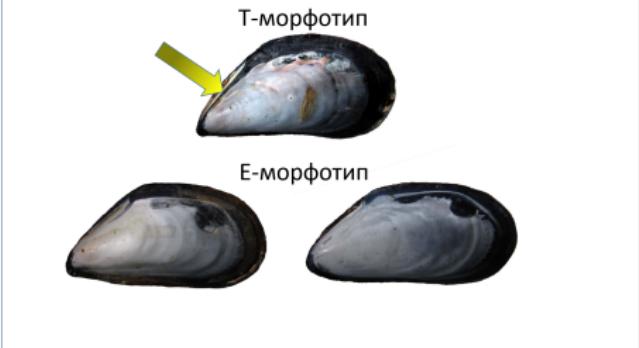


 OPEN ACCESS

Citation: Khalov V, Marchenko J, Katolkova M, Väinö R, Kingston SE, Carlon DB, et al. (2021) Species identification based on a simple conchological marker: Evaluation of a simple conchological test for distinguishing blue mussels *Mytilus edulis* L. and *M. trossulus* Gould. PLoS ONE 16(7): e0249587. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249587>

Abstract

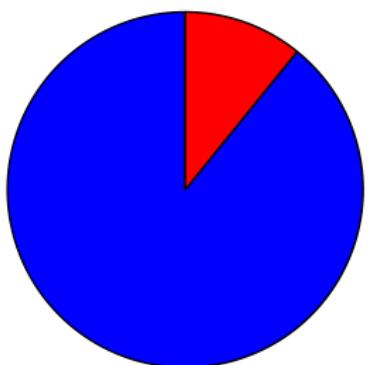
Cryptic and hybridizing species may lack diagnostic taxonomic characters leaving researchers with semi-diagnostic ones. Identification based on such characters is probabilistic, the probability of correct identification depending on the species composition in a mixed population.



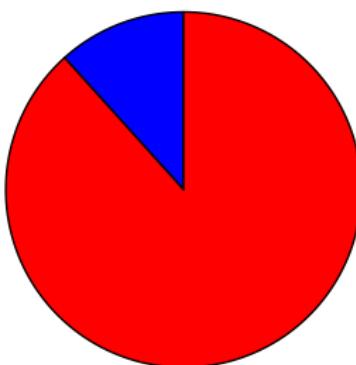
Использование морфотипов для определения видов (Khaitov et al., 2021)

Связь между морфотипами и видами мидий

E-морфотип



T-морфотип



■ M.edulis ■ M.trossulus

- Морфотип – это полудиагностический маркер.

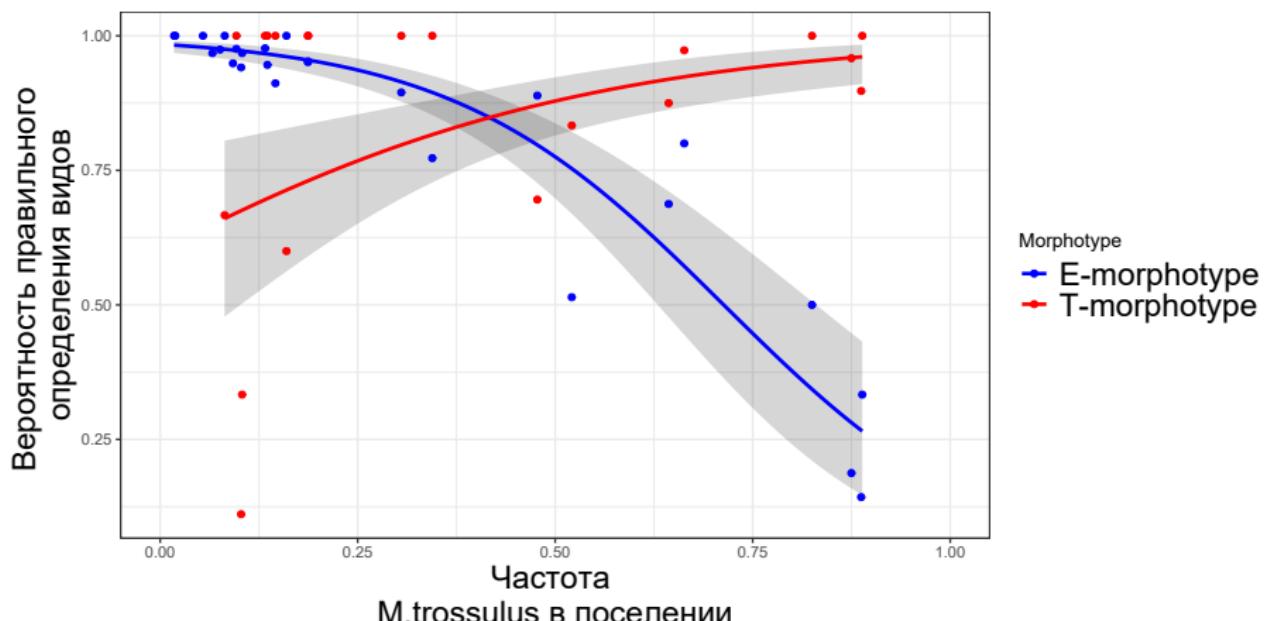
Использование морфотипов для определения видов (Khaitov et al., 2016)

В соответствии с теоремой Байеса, вероятность правильного определения вида по морфологическому маркеру зависит от частоты вида в смешанном поселении.

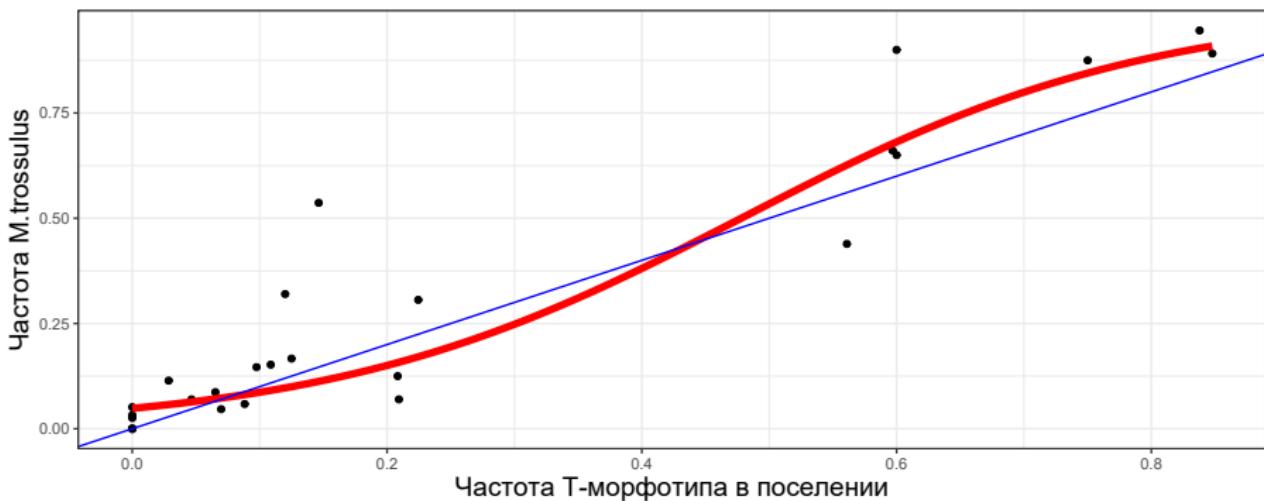
$$P(Mt|T) \propto P(T|Mt)P_{Mt}$$

$$P(Me|E) \propto P(E|Me)P_{Me}$$

Модель, описывающая зависимость между $P(Mt|T)$ и $P(Me|E)$ от распространенности вида



Частота *M. trossulus* сильно коррелирует с частотой мидий Т-морфотипа



- В смешанных поселениях *M.edulis* и *M.trossulus* доля *M.trossulus* может быть рассчитана на основе доли Т-морфотипа.

$$P_{Mt} = \frac{e^{-3.0+6.2P_T}}{1 + e^{-3.0+6.2P_T}}$$

Что мы теперь можем себе позволить?

- Если мы знаем морфотип конкретной мидии, то теперь мы можем с определенной вероятностью отнести данную особь к *M.trossulus* (или *M.edulis*). Но для этого нам надо иметь оценку частоты *M.trossulus* в том месте, откуда взята мидия.

Что мы теперь можем себе позволить?

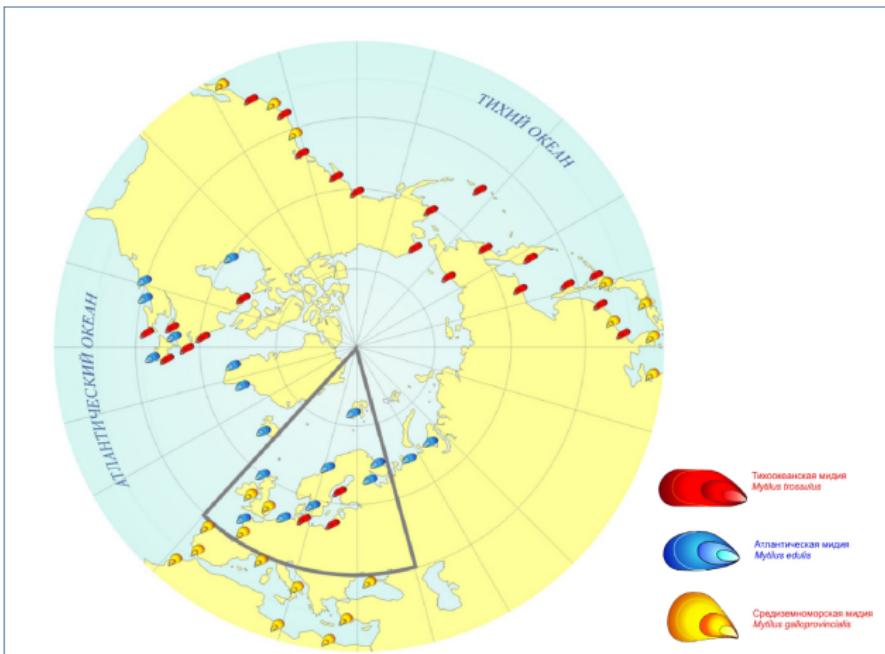
- Если мы знаем морфотип конкретной мидии, то теперь мы можем с определенной вероятностью отнести данную особь к *M.trossulus* (или *M.edulis*). Но для этого нам надо иметь оценку частоты *M.trossulus* в том месте, откуда взята мидия.
- Мы можем достаточно точно оценить таксономическую структуру смешанного поселения без дорогостоящей процедуры генотипирования (например, мы можем использовать сухие раковины из старых, даже доисторических сборов).

Что мы теперь можем себе позволить?

- Если мы знаем морфотип конкретной мидии, то теперь мы можем с определенной вероятностью отнести данную особь к *M.trossulus* (или *M.edulis*). Но для этого нам надо иметь оценку частоты *M.trossulus* в том месте, откуда взята мидия.
- Мы можем достаточно точно оценить таксономическую структуру смешанного поселения без дорогостоящей процедуры генотипирования (например, мы можем использовать сухие раковины из старых, даже доисторических сборов).
- Мы можем проводить экологические исследования смешанных поселений *M.edulis* и *M.trossulus*, которые требуют большого количества особей, включенных в анализ.

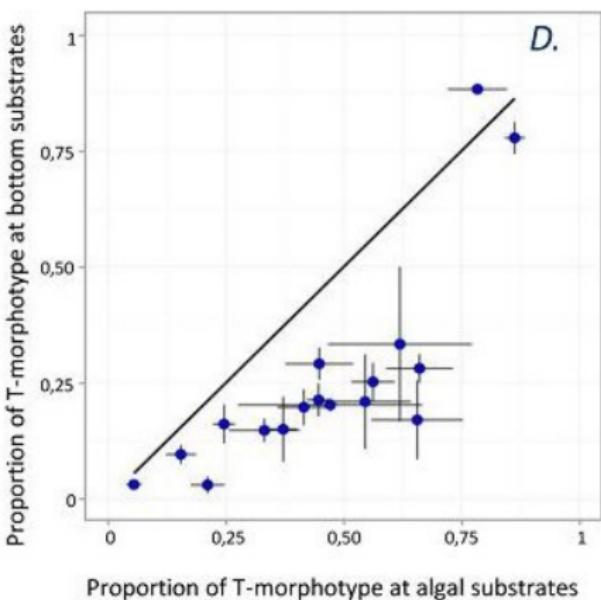
История вторая: Где живут *M.trossulus*?

Тихоокеанские мидии тяготеют к опресненным местообитаниям?



(Стрелков, Хайтов, Католикова, 2012)

А может быть тип субстрата?



(Из Katolikova et al., 2016)

Показано, что на таломах фукоидов частота *M.trossulus* выше, чем на грунте.

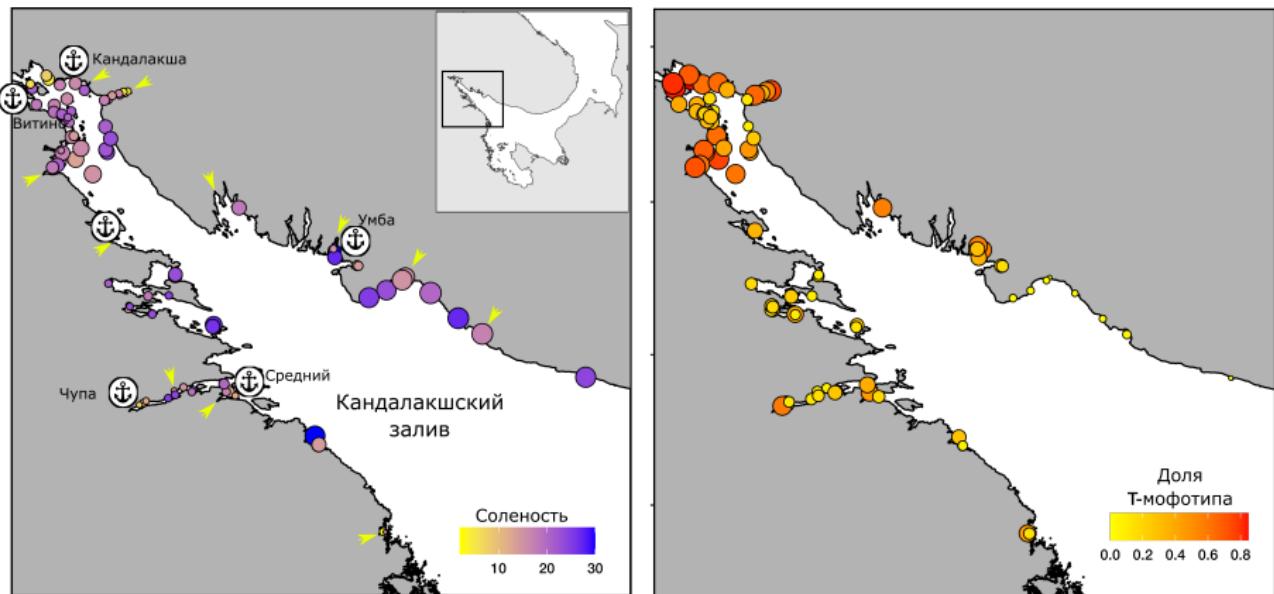
Если *M.trossulus* завезли в Белое море, то может их надо искать в районах портов?



Однако порты обычно располагаются в очень затишных районах.

Может быть дело в степени прибойности?

Распределение частот Т-морфотипа



Было собран материал на 95 точках на всем побережье Кандалакшского залива.

В каждой точке были взяты выборки как с фукоидов, так и с поверхности грунта.

Регрессионная модель

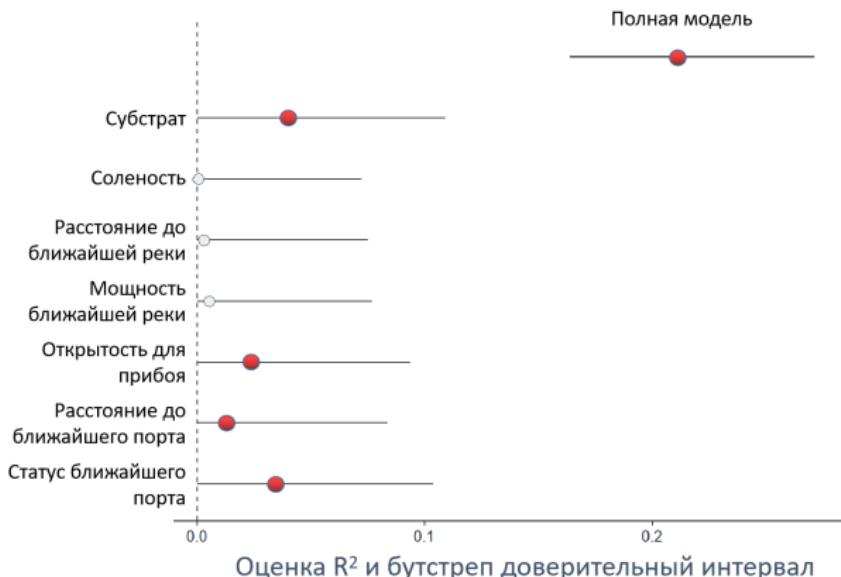
Зависимая переменная: Частота Т-морфотипа

Предикторы:

- Тип субстрата (Фукоиды VS Грунт);
- Соленость;
- Расстояние до устья ближайшей реки;
- Мощность ближайшей реки (Большой водосборный бассейн VS Малая площадь водосбора);
- Расстояние до ближайшего порта;
- Статус ближайшего порта (Действующий VS Заброшенный);
- Степень открытости побережья для волнового воздействия.

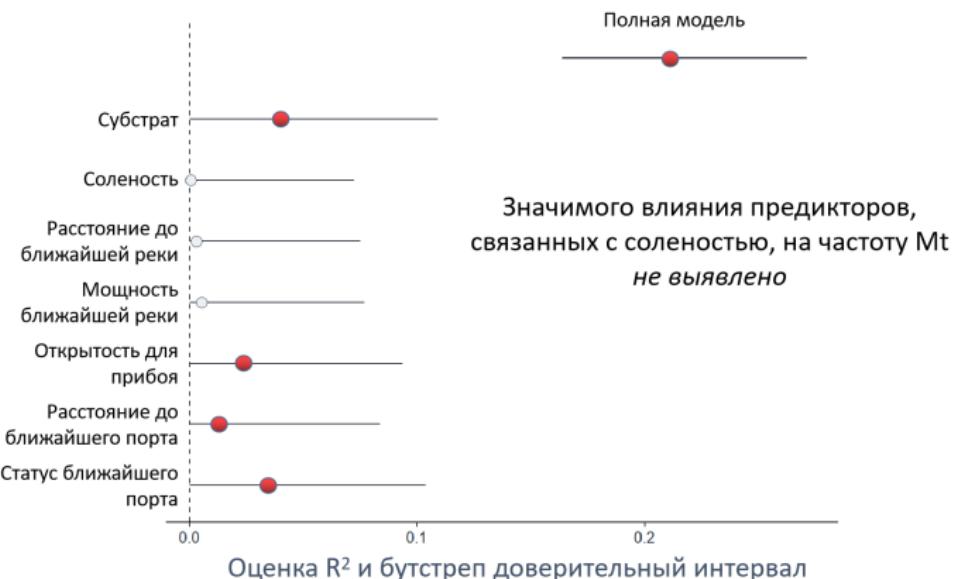
Тип регрессионной модели: *beta-binomial GLMM*

Результаты оценки влияния предикторов

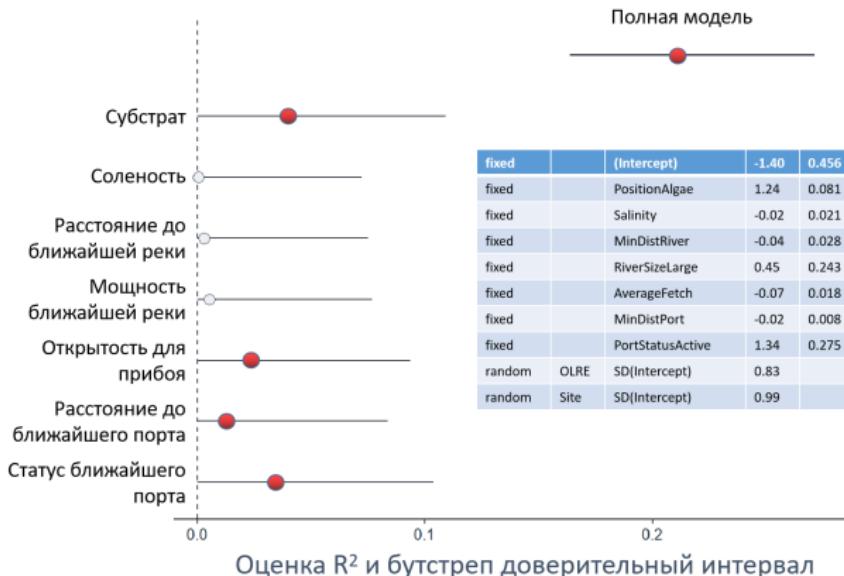


R^2 - получастный коэффициент детерминации (semi-partial coefficient of determination), описывает вклад каждого предиктора в общий коэффициент детерминации (Stoffel et al., 2021)

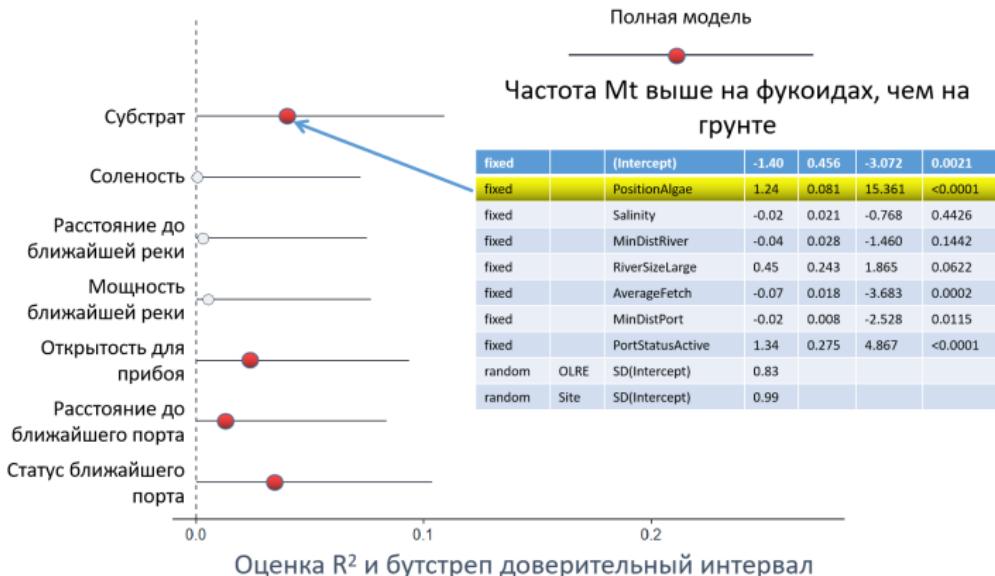
Результаты оценки влияния предикторов



Результаты оценки влияния предикторов



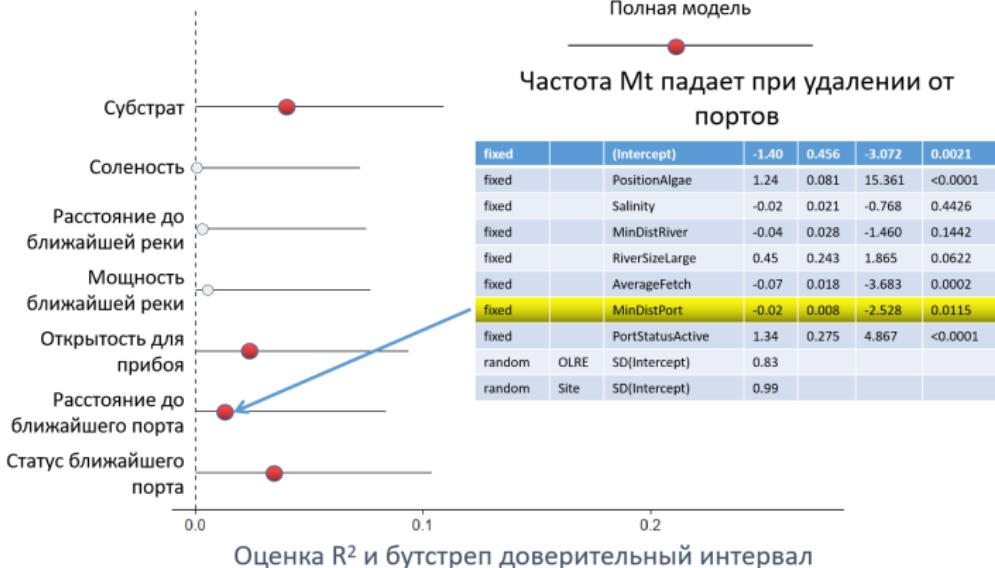
Результаты оценки влияния предикторов



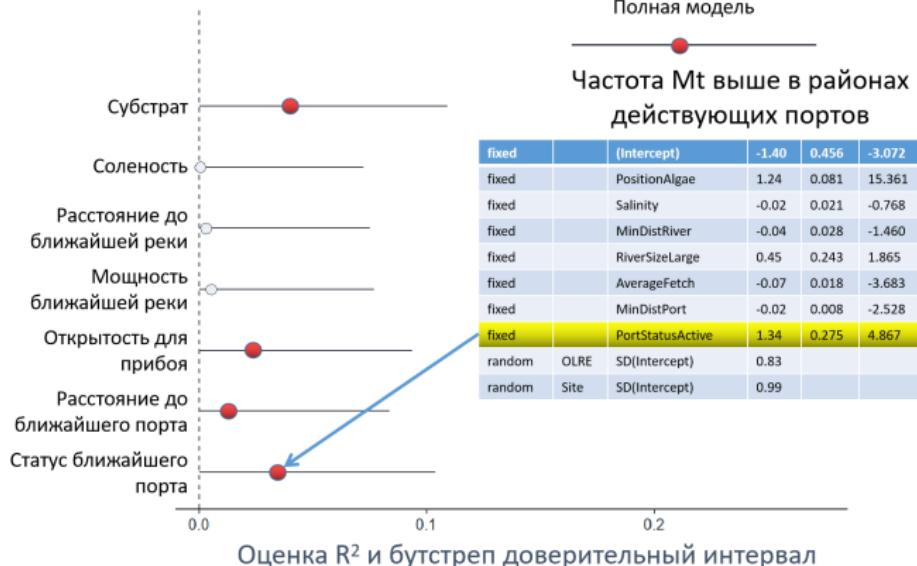
Результаты оценки влияния предикторов



Результаты оценки влияния предикторов



Результаты оценки влияния предикторов

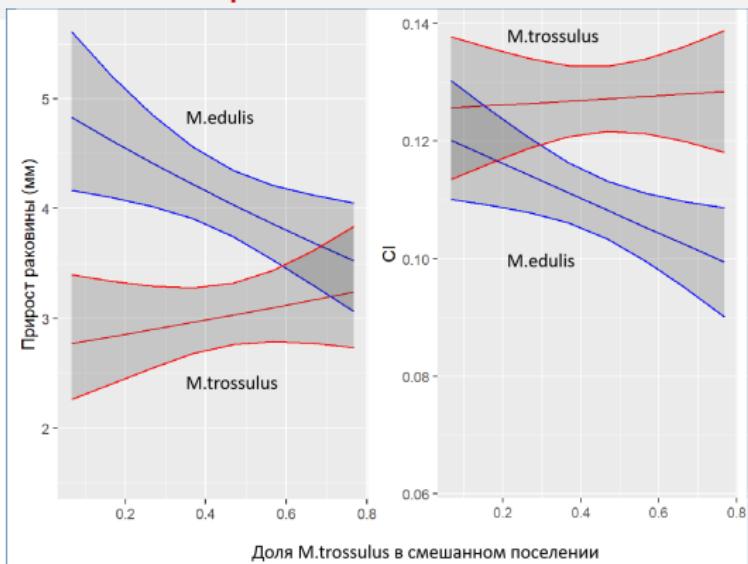


Где живет *M.trossulus*?

- Локально *M.trossulus* и *M.edulis* расходятся по разным нишам: первый вид тяготеет к фукоидам, второй к поверхности грунта.
- *M.trossulus* избегают мест с высокой прибойностью.
- Частота *M.trossulus* выше в районе портов, особенно действующих.

История третья: Кто кого?

Какой из видов более сильный конкурент можно решить только в экспериментах



- Если в поселении доминируют *M.trossulus*, то скорость роста *M.edulis* замедляется и соотношение веса мягких тканей и веса раковины падает.
- Значимого ухудшения состояния *M.trossulus* в поселениях, где доминируют *M.edulis* выявлено не было.

Кто кого?

- *M.trossulus* представляется более сильным конкурентом
- Вероятным механизмом подавления конкурента является более сильное прикрепление биссусом.

Предыстория **История первая:** Использование морфотипов для определения видов
ooo oooooooo

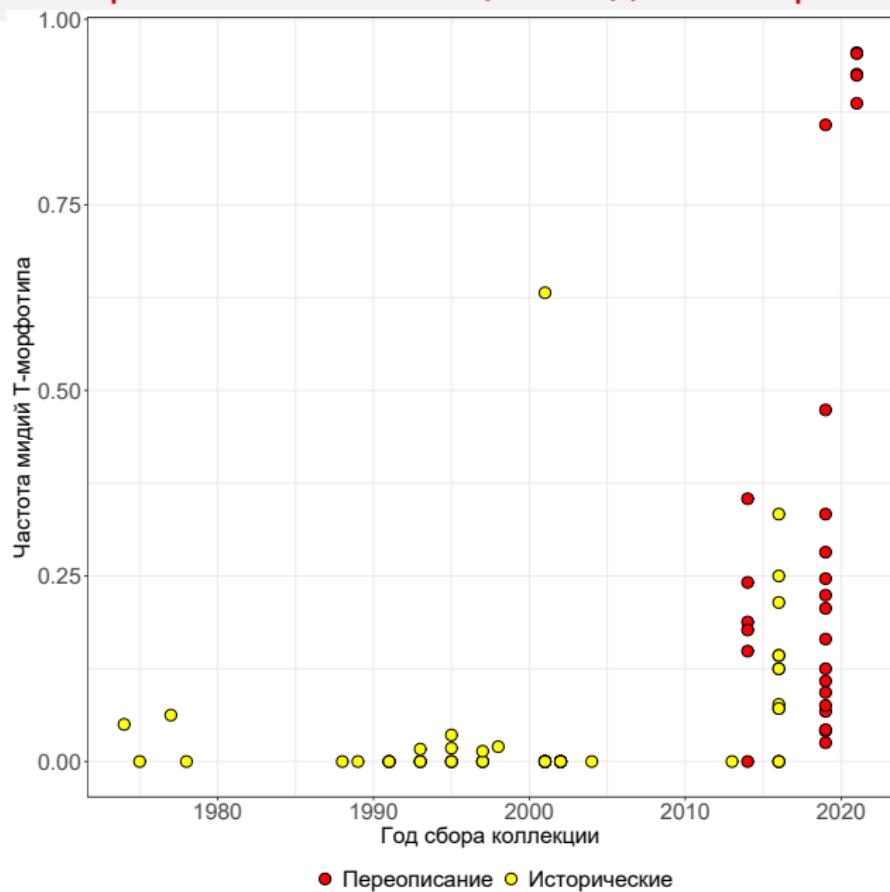
История вторая: Где живут *M.trossulus*? **История третья:**
oooooooooooooooooooo ooo

История четвертая: Хроника нашествия *M.trossulus*

Исторические коллекции мидий из Кандалакшского залива

- Мы нашли несколько коллекций датированных сухих раковин, собранных в 1970-е - 2000-е годы.
 - Коллекции не были доступны для генотипирования, но можно было оценить морфотип мидий.
 - Поскольку местонахождение поселений было известно, мы пересобрали мидий из тех же точек в 2010, 2019 и 2021-м гг.

Исторические коллекции мидий и переописанные поселения

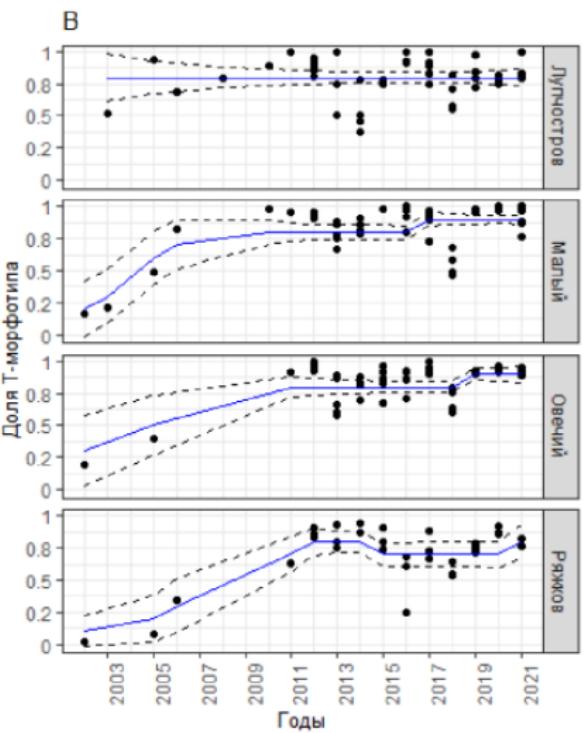


В коллекциях, собранных после 2010 года, частота Т-морфотипа резко увеличивается.

Мониторинг четырех поселений мидий



- В куту залива частота *M.trossulus* все время наблюдалась на высоком уровне (около 80 %)
- На островах, удаленных от кута, наблюдался интенсивный рост частоты *M. trossulus*



Что получается

1. Концентрация *M.trossulus* в районах портов хорошо согласуется с гипотезой о недавнем вселении этого вида.
2. Видны признаки конкурентных отношений (локальное разделение ниш) между видом-вселенцем (*M.trossulus*) и нативным видом (*M.edulis*)
3. За счет более прочного биссусса *M.trossulus* способна подавлять *M.edulis*.

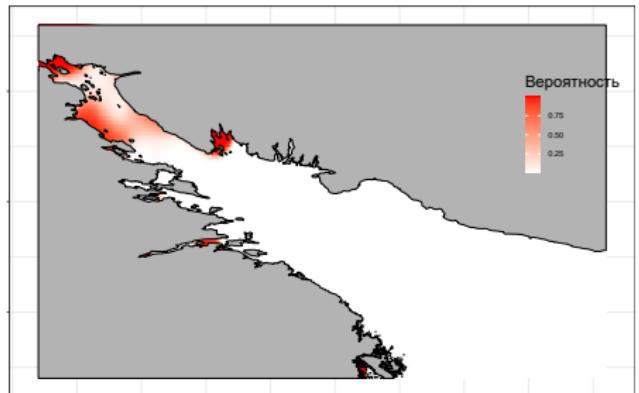
Что получается

1. Концентрация *M.trossulus* в районах портов хорошо согласуется с гипотезой о недавнем вселении этого вида.
 2. Видны признаки конкурентных отношений (локальное разделение ниш) между видом-вселенцем (*M.trossulus*) и нативным видом (*M.edulis*)
 3. За счет более прочного биссусса *M.trossulus* способна подавлять *M.edulis*.
 4. *M.trossulus* можно считать **инвазивным видом**. О последствиях этой инвазии можно пока только догадываться...

История пятая: Вытеснит ли *M.trossulus* нативный вид?

Распределение *M.trossulus* согласуется с течениями в Кандалакшском заливе

Вероятность встретить поселение,
где частота *M.trossulus* > 50%



- Возможно *M.trossulus* разносятся течениями из кута Кандалакшского залива (из окрестностей активно действующих портов).
 - В окрестностях закрытых портов *M.trossulus* их заметно меньше.
 - Вероятно, есть какой-то фактор, сдерживающий расселение *M.trossulus*.

Течения в Белом море



Может быть это хищники?

Reference: Biol. Bull. 234: 85–95. (April 2018)
 © 2018 The University of Chicago

Discriminating Eaters: Sea Stars *Asterias rubens* L. Feed Preferably on *Mytilus trossulus* Gould in Mixed Stocks of *Mytilus trossulus* and *Mytilus edulis* L.

VADIM KHAITOV^{1,2,*}, ANNA MAKARYCHEVA¹, MIKHAIL GANTSEVICH³,
 NATALIA LENTSMAN², MARIA SKAZINA², ANASTASIA GAGARINA^{2,4},
 MARINA KATOLIKOVA⁵, AND PETR STRELKOV^{2,6}

¹Laboratory of Marine Benthic Ecology, Kandalaksha State Nature Reserve, Lineinaya Str. 37,
 Kandalaksha 184040, Russia; ²Saint Petersburg State University, Universitetskaya Emb. 79,
 St. Petersburg 199034, Russia; ³Department of Invertebrate Zoology, Faculty of Biology,
 M.V. Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory 1, build.12, Moscow 119234, Russia;
 and Laboratory of Marine Invertebrates Biology, School of Natural Sciences, Far Eastern Federal
 University, Sukhanova Str. 8, Vladivostok 690090, Russia; ⁴Zoological Institute, Russian Academy
 of Sciences, Universitetskaya Emb. 1, St. Petersburg 199034, Russia; ⁵Murmansk Marine
 Biological Institute, Kola Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Vladimirovskaya Str. 17,
 Murmansk 183010, Russia; and ⁶Laboratory of Monitoring and Conservation of Natural Arctic
 Ecosystems, Murmansk Arctic State University, Kapitana Egorova Str. 16,
 Murmansk 183038, Russia

Abstract. Sea stars *Asterias rubens* are important natural enemies of the blue mussel *Mytilus* in the North Atlantic. We asked whether these predators distinguish between the cryptic species *M. edulis* and *M. trossulus* that occur sympatrically in the White Sea. In mixed experimental stocks, the odds of being eaten by sea stars were about four times greater for *M. trossulus*. We also showed that *A. rubens* preferred smaller mussels to larger ones, irrespective of their specific affinity. Our findings support earlier indirect observations showing that sea stars recognize *M. trossulus* as a more preferable prey than *M. edulis*. Dramatic differences in the vulnerability to sea star predation may explain the segregation of habitats

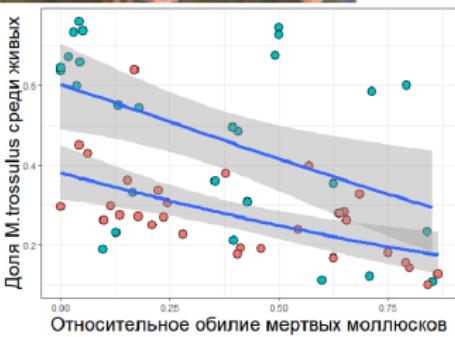
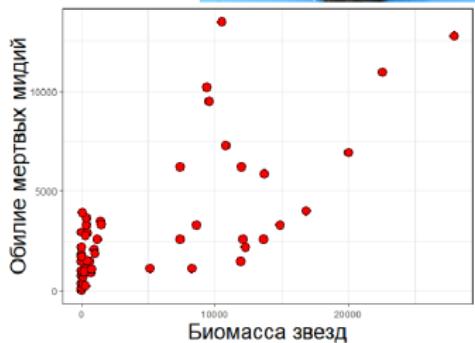
sublittoral usually tends to occupy habitats where the sea star predators are scarce.

Introduction

Blue mussels (*Mytilus* spp.), well-known ecosystem engineers, are an important component of coastal communities (Seed and Suchanek, 1992; Buschbaum *et al.*, 2009). The structure and dynamics of their populations are, in many respects, a function of biological interactions between mussels and coexisting organisms (Tsuchiya and Nishihira, 1985, 1986; Dittmann, 1990; Khaitov, 2013). A powerful biological factor

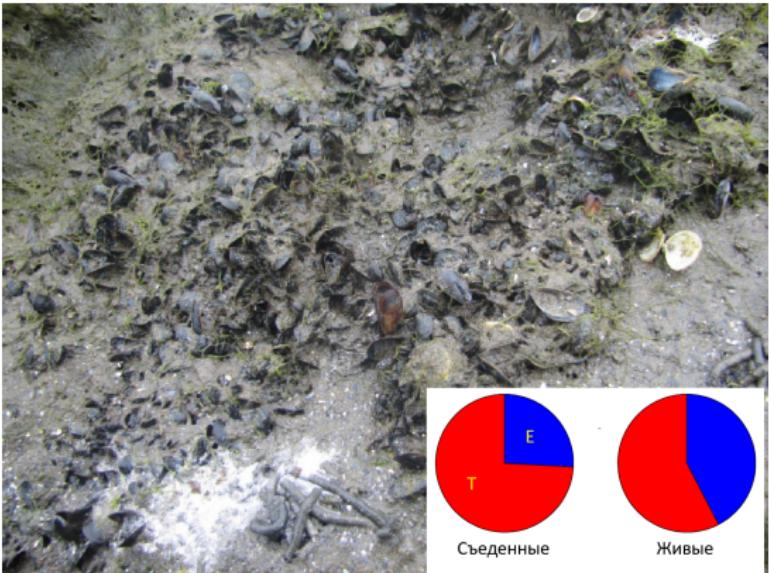
- *Asterias rubens* в смешанных поселениях двух видов мидий с большей вероятностью атакуют *M.trossulus*
- Вероятной причиной такого предпочтения является более тонкая и более гибкая раковина *M.trossulus*

Тактика выжженой земли



После атаки со стороны массового скопления морских звезд среди живых остаются преимущественно *M.edulis*.

На литорали тоже не все просто для *M.trossulus*



Кулики-сороки тоже предпочитают *M.trossulus*.

Финансовая поддержка

Исследование было выполнено при поддержке гранта РНФ № 19-74-20024
(руководитель П. П. Стрелков)



Российский
научный фонд

Спасибо за внимание!