

**ПРОДОЖИТЕЛЬНОСТЬ АККЛИМАЦИИ БЕЛОМОРСКОЙ МОРСКОЙ
ЗВЕЗДЫ *ASTERIAS RUBENS* LINNAEUS, 1758
К ИЗМЕНЕНИЮ СОЛЕННОСТИ СРЕДЫ**

А.Ю. Комендантов, А.О. Смуров

ЗИН РАН, Санкт-Петербург, Россия

e-mail: alexsmurov112004@mail.ru

Морская звезда *Asterias rubens* является одним из наиболее массовых литоральных и сублиторальных видов Белого моря. В 1980-х годах проводились исследования влияния адаптивных реакций этого вида на изменение солености и температуры (Саранчова, 1985а, Саранчова, 1985б, Саранчева, 1988). В первую очередь они были инициированы работами по марикультуре беломорской мидии на ББС ЗИН РАН. Однако, ряд вопросов, посвященных соленостным реакциям *A. rubens* остался без ответа. Целью настоящей работы было проанализировать, как меняется время адаптации *A. rubens* к изменению солености среды в пределах диапазона соленостной потенциальной толерантности. Для этого нам было необходимо построить соленостный толерантный полигон этого вида, выбрать функцию для тестирования продолжительности акклимации и оценить продолжительность акклимации в пределах толерантного полигона.

Материал и методы

Работа была выполнена на Беломорской биологической станции Зоологического института РАН. Морские звезды *A. rubens*, стандартизованные по размеру, были собраны в бухте Круглой Чупинской губы Кандалакшского залива Белого моря на илисто-песчаной литорали. Сразу после сбора животные были помещены в аквариумы с аэрируемой морской водой соленостью 25‰, которые располагались в изотермической комнате при температуре $10 \pm 1^\circ\text{C}$. Вода сменялась ежедневно. Звезды были использованы в работе через две недели после сборов и адаптации к аквариальным условиям. Солености определялись с помощью рефрактометра-солемера Atago S/Mill. Экспериментальные среды готовились разведением морской воды пресной или выпариванием.

Животные, акклимированные к соленостям вне первоначального толерантного диапазона, были получены с помощью сдвига толерантных границ в результате акклимации. После окончания акклимации, длившейся три недели, для всех величин солености акклимации были определены толерантные границы.

Оценка значений соленостных толерантных границ проводилась разработанным нами оригинальным методом. Организмы в количестве 5 экз. помещались в пластиковые контейнеры объемом 2 л с различными тестовыми соленостями. Тестовые солености готовились с интервалом 2.5‰. Ежедневно в течение двух недель определялось количество живых звезд в каждом микроаквариуме. Критерием смерти животных служило отсутствие реакции на укол иглой.

Соленость, в которой выживало 100% исследуемых организмов в течение 14 дней, считалась принадлежащей толерантному диапазону. Соответственно, за оценку толерантной границы, принимали середину интервала между макси-

мальной (в случае определения верхней границы толерантного диапазона) соленостью, при которой выживало 100% организмов, и следующей за ней минимальной летальной соленостью, при которой гибли все особи. В случае определения нижней границы поступали аналогичным образом. Для оценки значений толерантных границ были использованы животные, акклимированные к 12.5, 15, 20, 22.5, 25, 27.5, 30, 35 и 40‰. Полученные данные позволили оценить потенциальный соленостный толерантный диапазон и построить соленостный толерантный полигон.

На основании полученных оценок толерантных границ был построен соленостный толерантный полигон *A. rubens*. Оценку достоверности коэффициентов линейной регрессии и коэффициентов корреляции проводили с помощью программы STATISTICA 6.0 для WINDOWS.

Для оценки скорости адаптации морских звезд к новой солености среды в качестве показателя использовали время их переворачивания. При помещении особей *A. rubens* в аквариум с новой соленостью их клали на аборальную сторону. Тестировали время, необходимое звезде, чтобы перевернуться в правильное положение. Перед каждым опытом время переворачивания определяли для особей *A. rubens*, акклимированным к 12.5, 15, 20, 25, 30, 35, 37.5 и 40‰. В каждом опыте тестировали 5–10 звезд. В результате получали среднеарифметическое или медианное время переворачивания. Каждый опыт после перенесения в новую соленость продолжался несколько суток (некоторые более 2 недель). Тестирование проводилось через 1, 3, 7, 12, 24 ч после переноса и далее один раз в сутки. Окончанием акклимации считалось восстановление прежнего времени переворачивания или установление нового уровня функции отклика, который затем, достоверно не отличался от предыдущих значений в течение 3 дней.

Результаты и обсуждение

Соленостный толерантный полигон *A. rubens*, имеет семиугольную форму (рис.). Верхняя толерантная граница резко возрастает при изменении солености акклимации от 12.5 до 15‰, затем линейно возрастает в диапазоне 15–34‰ до достижения потенциальной толерантной границы. Для звезд, акклимированных к 12.5‰ значение верхней границы едва достигает 24‰ – нормальной летней солености Белого моря, а для звезд акклимированных к 15‰, достигает 30‰, и это значение лежит на линии регрессии верхней границы.

Горизонтальная линия нижней пороговой солености располагается в диапазоне солености акклимации от 12.5 до 22.5‰, а наклонная линия нижней пороговой солености в диапазоне от 22.5 до 42.5‰.

Время переворачивания было наименьшим у морских звезд, акклимированных к соленостям 30–35‰ – 40–47 сек. На правой части графика, оно незначительно, но достоверно ($p < 0.05$) возрастало для звезд, акклимированных к 37.5‰ и затем уменьшалось до 40 сек для звезд, акклимированных к 40‰. На левой части графика при 20–25‰ время переворачивания звезд составляло 50 сек. При дальнейшем уменьшении значения солености акклимации время переворачивания заметно возрастало: до 140 сек при 15‰ и до 846 сек. при 12.5‰.

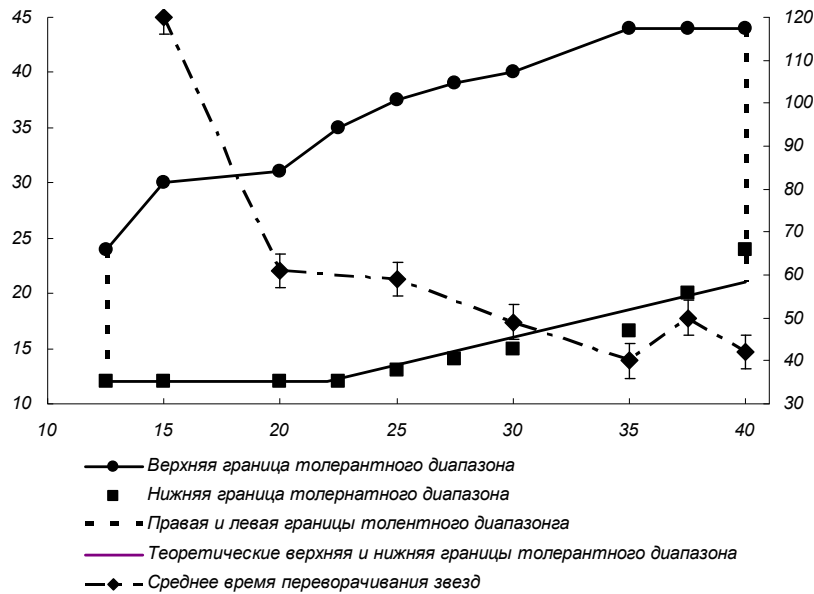


Рисунок. Соленостный толерантный полигон *Asterias rubens* и время переворачивания звезд, акклимированных к разным соленостям. По оси абсцисс – соленость акклимации, ‰; по левой оси ординат – тестовая соленость, ‰; по правой оси ординат – среднее время переворачивания звезд, мин., точки – экспериментальные данные, вертикальные штрихи – статистическая погрешность.

График зависимости времени адаптации от величины изменения первоначальной солености имеет характерную колоколообразную форму, описанную нами ранее при изучении соленостных адаптаций моллюсков *Hydrobia ulvae* и *Littorina obtusata* (Комендантов, Смуров, 2013), т.е. при небольших изменениях солености время адаптации составляет 1–2 дня, при переносе в соленость, близкую к границам толерантного диапазона время адаптации увеличивается до 1–2 недель.

В целом, следует отметить у звезд, акклимированных к пониженной солености среды, большее время для адаптации к понижению солености, в тот момент как время адаптации к повышению солености значительно меньше.

Выводы

1. По результатам наших экспериментов потенциальный толерантный диапазон у *A. rubens* лежит в диапазоне 12.5–42.5‰.
2. Переворачивание морских звезд демонстрирует признаки классической функции отклика: значительное повышение отклика сразу после воздействия, колебательный режим отклика в процессе адаптации и возвращение к исходному уровню либо выход на новый уровень в конце процесса адаптации.
3. Время переворачивания акклимированных звезд может служить маркером активности, оно является наименьшим для звезд, акклимированных в диапазоне солености 30–35‰, незначительно увеличивается для звезд, аккли-

лимированных в диапазоне 20–30‰ и очень значительно возрастает у звезд, акклимированных к соленостям ниже 20‰.

4. График зависимости времени адаптации от величины изменения первоначальной солености имеет форму близкую к таковым, которая была получена нами при изучении соленостных реакций других морских организмов.

5. В целом, время адаптации к понижению солености среды у *A. rubens* занимает большее время, чем к повышению солености среды.

Литература

Смуров А.О., Комендантов А.Ю. 2013. Продолжительность соленостной адаптации беломорских брюхоногих моллюсков *Hydrobia ulvae* (Pennant, 1777) и *Littorina obtusata* (Linnaeus, 1758). // Пятьдесят лет концепции критической солености – СПб: 201–206.

Саранчева О.Л. 1985а. Влияние температуры и солености на жизнедеятельность и распределение беломорских *A. rubens* L. // Тез докл. 2 координационного совещания по повышению продуктивности и рациональному использованию биологических ресурсов Белого моря – Архангельск: 173–174.

Саранчева О.Л. 1985б. Особенности экологии морской звезды *A. rubens* L. как компонента сообществ обрастания на искусственных субстратах. // Экология обрастания в Белом море – Л.: 40–52.

Саранчова О.Л. 1988. Исследование особенностей распространения морской звезды *Asterias rubens* L. в Белом море. Автореферат дисс. канд. наук – Л.: 24 с.