

Регуляция суточной активности галофитов приливно-отливной зоны Белого моря

▶ **Марковская ЕФ, Гуляева ЕН,
Кособрюхов АА**

«Петрозаводский государственный университет», Петрозаводск
Институт фундаментальных биологических проблем РАН, Пущино

В отлива час не верь измене моря
Оно к земле воротится, любя
А.К. Толстой

Докладчик :
д.б.н., профессор Е. Ф. Марковская

Ни суша, ни море...

Приливно-отливная зона, литораль, Белого моря

Литораль – узкая полоса которая одинаково подвержена влиянию процессов протекающих как на суше, так и на море

ПРИЛИВЫ И ОТЛИВЫ

периодические колебания уровня воды (подъемы и спады) в акваториях на Земле, которые обусловлены гравитационным притяжением Луны и Солнца, действующим на вращающуюся Землю.



Ритмика биологических процессов – это наиболее интригующая область знания и исследования. И особое место в ней занимают явления, которые подчиняются лунной ритмике и на побережьях приливных морей дважды в сутки вызывают заливание и отлив морскоцй воды, формируя и поддерживая структуру и биоту на литоральной зоне прибрежной части моря.

Эта экотонная зона (море-суша) занята галофитным литоральным автотрофным комплексом растений, водорослей и лишайников. Мы исследовали растения – наземные растения, которые освоили эти нестабильные условия, а часть из которых стала морскими травами (зјстера, руппия) и ушли под воду.

Цель исследования

Выявление путей регуляции фотосинтеза у галофитов в приливно-отливной динамике на литорали побережья Белого моря.

Задачи:

Исследовать морфолого-анатомические показатели листьев приморских растений

Исследовать различные параметры фотосинтетической активности, проводимость устьиц растений в суточной динамике приливно-отливного цикла

Места исследования



- 1 - Поморский берег Белого моря в окрестностях п. Растьяноволок ($64^{\circ}32'16''N$, $34^{\circ}46'48''E$)
- 2 - Карельский берег Белого моря в окрестностях п. Кереть ($66^{\circ}17'33''N$ $33^{\circ}35'28''E$)
- 3 - Поморский берег Белого моря в окрестностях п. Колежма ($64^{\circ}22'81''N$ $35^{\circ}93'14''E$)
- 4 - Карельский берег Белого моря в окрестностях п. Рабочеостровск ($64^{\circ}59'41''N$ $34^{\circ}47'52''E$)
- 5 - губа Долгая Белого моря в окрестностях п. Соловецкий ($65^{\circ}05'52''N$ $35^{\circ}41'33''E$)

В связи с особенностями приливно-отливного цикла побережье принято делить на зоны



СУША

ЗОНА ШТОРМОВЫХ ВЫБРОСОВ

САМЫЙ ВЫСОКИЙ УРОВЕНЬ ВОДЫ В ПРИЛИВ

СУПРАЛИТОРАЛЬ

САМЫЙ НИЗКИЙ УРОВЕНЬ ВОДЫ В ОТЛИВ

ЛИТОРАЛЬ

СУБЛИТОРАЛЬ

Верхняя

Средняя

Нижняя

Объекты исследования

Высшие наземные растения, произрастающие на верхней (у берега) и нижней (у уреза воды) литорали побережий Белого моря



Plantago maritima L –
Подорожник морской



Triglochin maritima L –
Триостренник морской

Анатомические показатели

Триостренник морской (гигрофит)

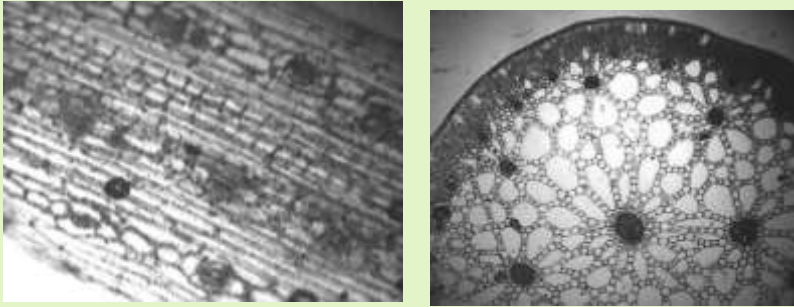


Рис. 19. Фрагмент эпидермы (ув. 40) и поперечного среза листа (ув. 10) *Tr. maritima*

- ❖ Аэренхима присутствует и занимает 60-70 % в листе, цветоносе и корневище
- ❖ Под эпидермой находится слой гиподермы

Подорожник морской (мезофит)

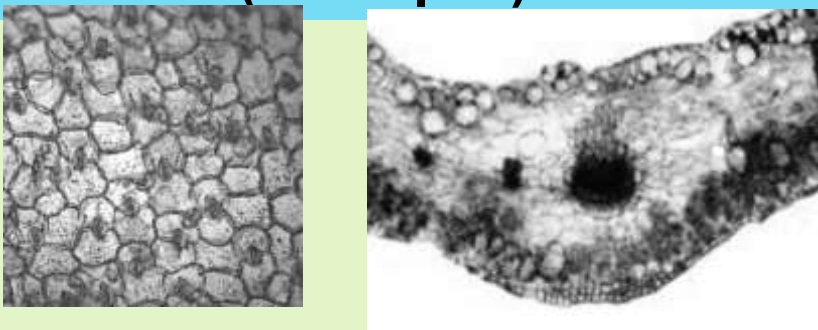


Рис. 20. Фрагмент эпидермы (ув. 40) и поперечного среза листа (ув. 10) *Tr. vulgare*

- ❖ Аэренхима присутствует только в корневище
- ❖ Центральное место в листе занимает водозапасающая паренхима

Методы исследования

Морфолого-анатомические количественные показатели

- ❖ мезофилла листа (Мокроносов, Борзенкова, 1978)
- ❖ эпидермы листа (методом отпечатков по Полаччи, (Захаревич, 1954))

Биологическая повторность 30-кратная.

Устьичная проводимость определялась Porometer (Decagon Devices, Inc., США). Биологическая повторность 20-кратная

Флуоресценция хлорофилла a: флуориметр JUNIOR-PAM (Heinz, Walz, Германия) после 30-минутной темновой адаптации. Определяли F_v/F_m , $Y(II)$, ETR, qP , NPQ. Параметры флуоресценции измеряли при интенсивности действующего света $820 \text{ мкмоль фотонов м}^{-2}\text{с}^{-1}$. Биологическая повторность 20-кратная.

Измерение скорости ассимиляции CO_2 и транспирации растений проводили с помощью переносного газоанализатора LCPro+ фирмы ADC BioScientific Ltd. Анализ углекислотных кривых CO_2 газообмена проводили по модели Farquhar et al

Результаты исследования

A wide-angle photograph of a coastal scene. In the foreground, a sandy beach is covered with patches of brown seaweed. The ocean is a vibrant blue, meeting the shore with gentle waves. In the middle ground, a long, dark bridge spans across the water. The background features a small town with several buildings, including a prominent white one with a red roof, situated on a slight rise. The sky is bright blue with scattered white clouds.

Приморская полоса – а зональный природный комплекс, характеризующийся нестабильными условиями среды (приливо-отливной динамикой)

Площадь листьев и размеры эпидермы



Вид	Верхняя литораль	Нижняя литораль
<i>Triglochin maritima</i>	212±57**	1199±347**
<i>Plantago maritima</i>	1848±235**	841±37**

Вид	Верхняя литораль		Нижняя литораль	
	Толщина эпидермы, мкм	Толщина кутикулы, мкм	Толщина эпидермы, мкм	Толщина кутикулы, мкм
<i>Triglochin maritima</i>	19±3	2±0,3	21±3	2±0,1
<i>Plantago maritima</i>	27±3**	6±1**	19±2**	3,5±0,5**

** - Различия достоверны при $p \leq 0,01$

Количество устьиц на 1мм² площади листа :



Вид	Верхняя литораль		Нижняя литораль	
	Верхняя сторона листа	Нижняя сторона листа	Верхняя сторона листа	Нижняя сторона листа
<i>Triglochin maritima</i>	78±9	82±6	73±7	75±8
<i>Plantago maritima</i>	86±13**	127±8	121±6**	149±9

** - Различия достоверны при $p \leq 0,01$

Сравнение

У растений на нижней литорали (ближе к урезу воды, высокое заливание) по сравнению с растениями у берега (низкое заливание)

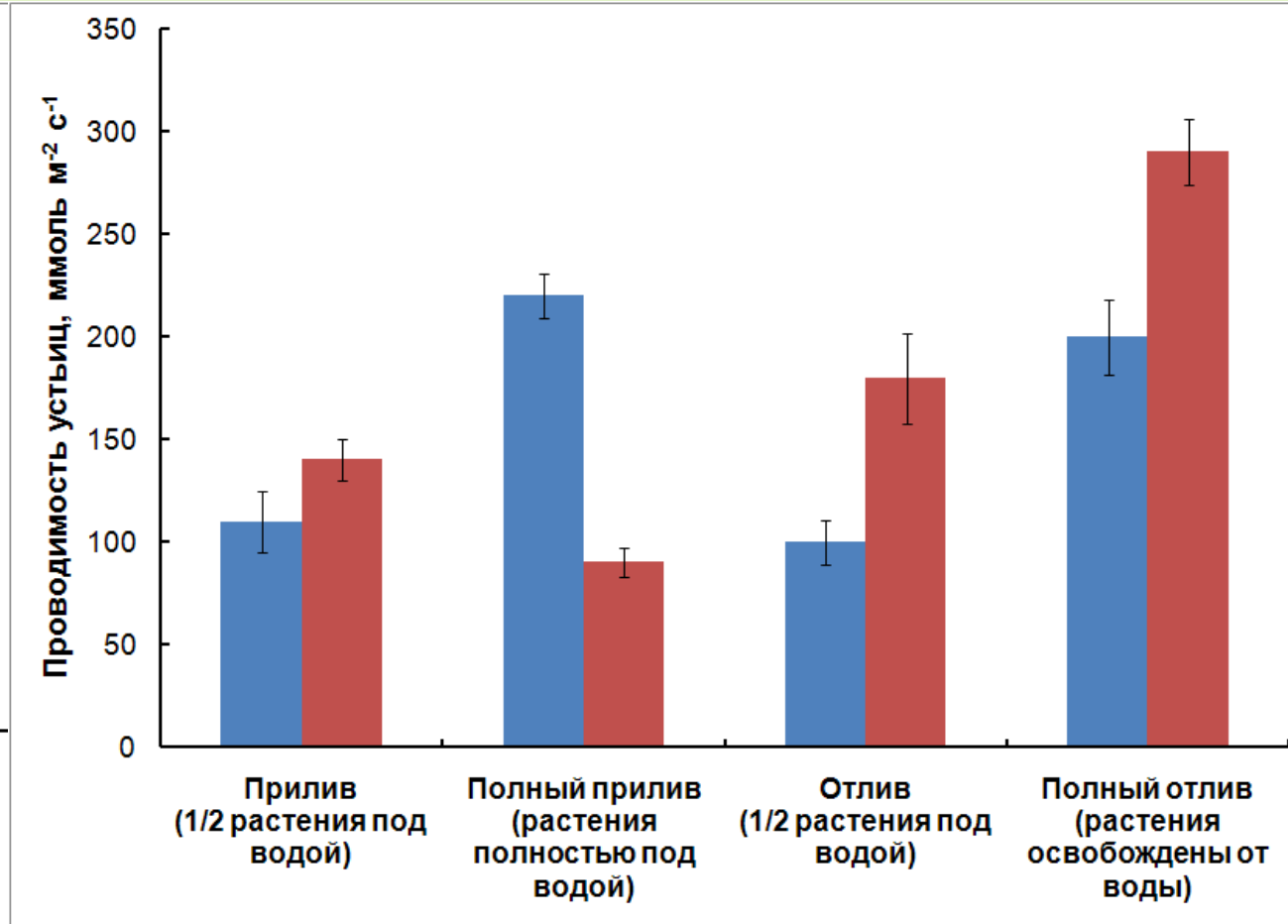
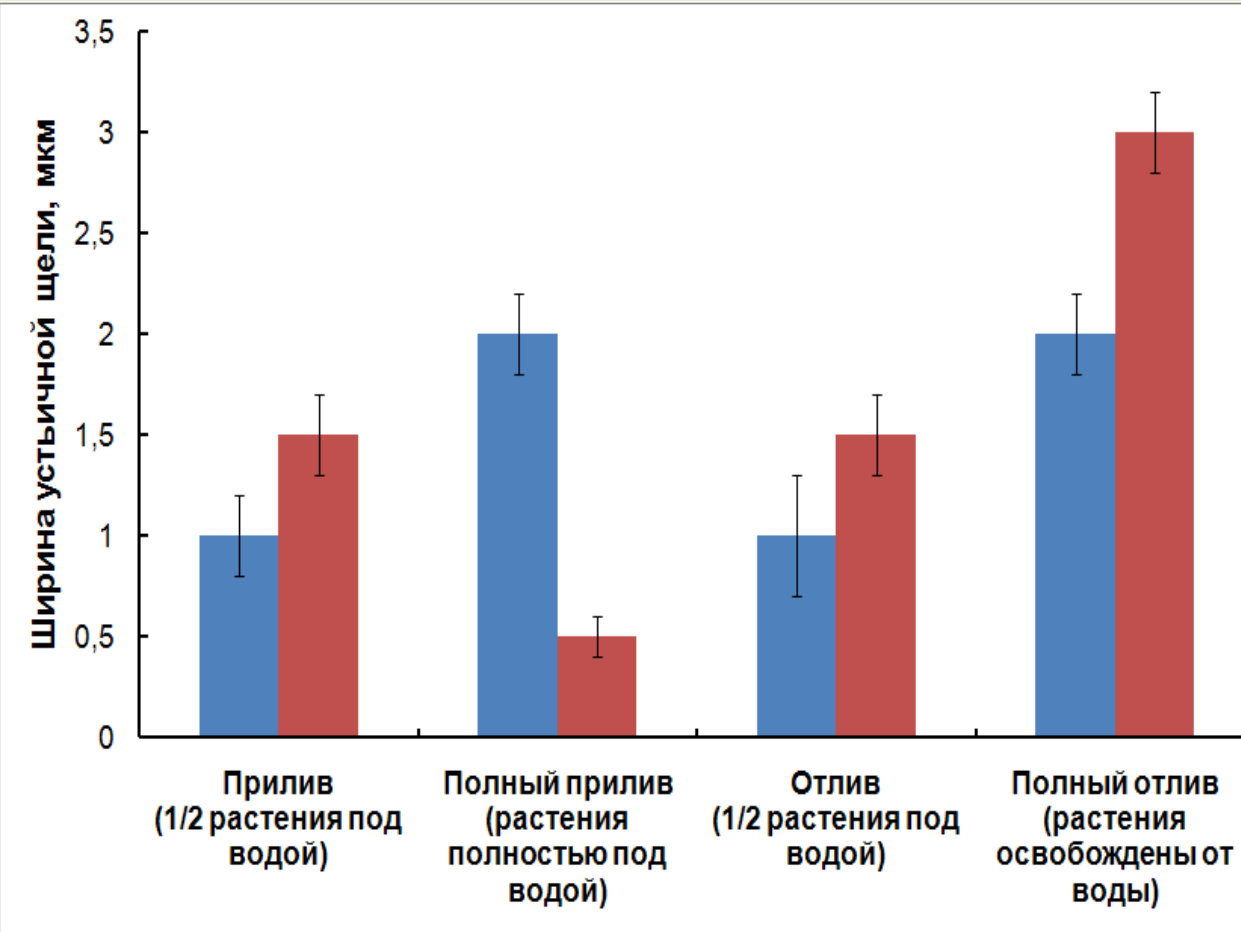
Triglochin maritima - увеличивается площадь листьев, отсутствуют изменения в размерах клеток эпидермы и кутикулы. Количество устьиц не изменяется на обеих сторонах листа.

Plantago maritima: уменьшается площадь листьев, уменьшается толщина клеток эпидермы и размеры слоя кутикулы. Количество устьиц увеличивается на обеих сторонах листа.

Суточная схема взятия проб растений в приливно-отливной динамике:

Стадия взятия проб	Описание положения растения во время приливно-отливной динамики
1	Прилив, растения залиты на половину
2	Стагнация прилива, продолжительность пребывания растения под водой около 3 часов
3	Отлив, растения залиты на половину
4	Стагнация отлива, продолжительность пребывания растения в воздушной среде около 3 часов.

Оценка состояния устьиц: ширина устьичной щели и проводимость устьиц



■ *Plantago maritima*

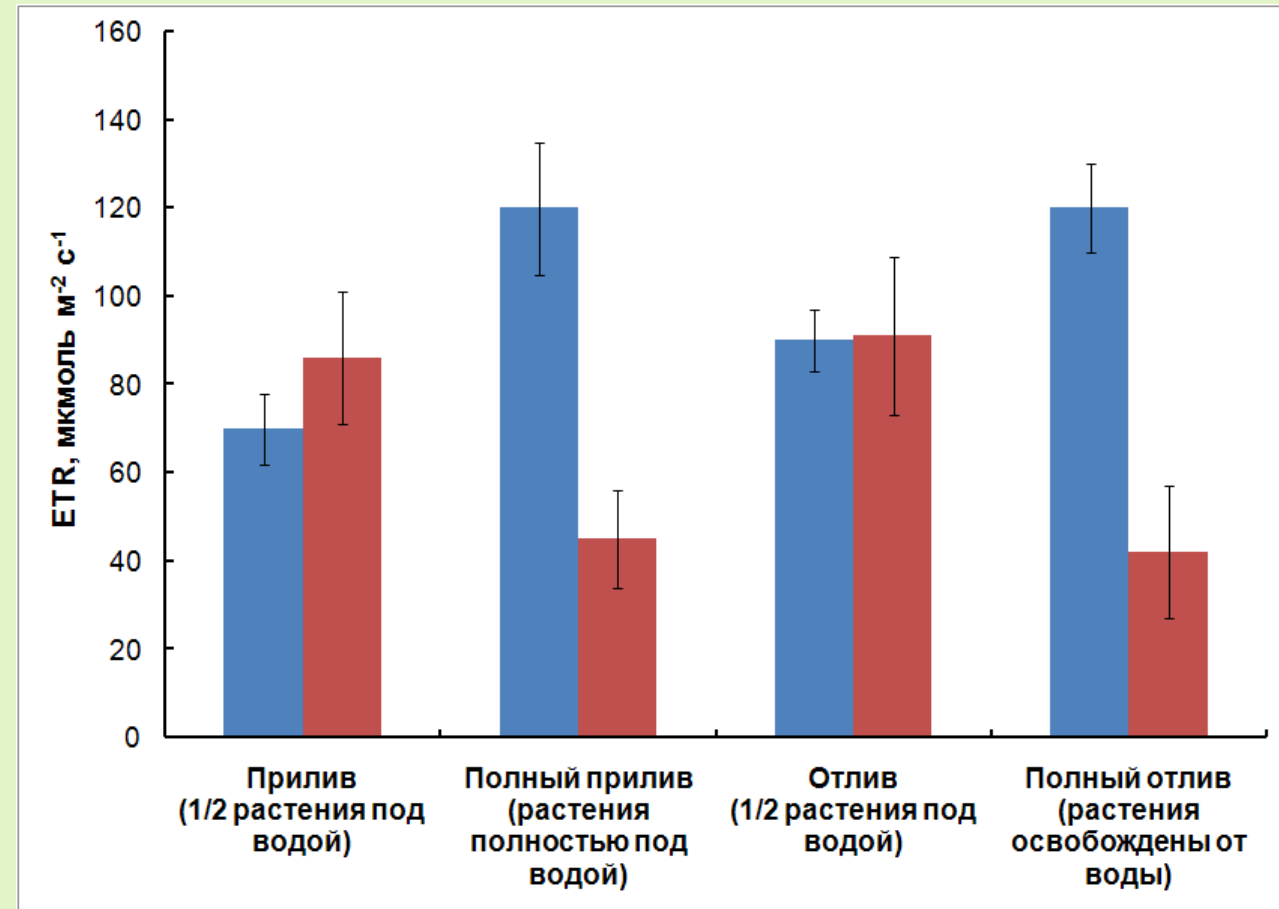
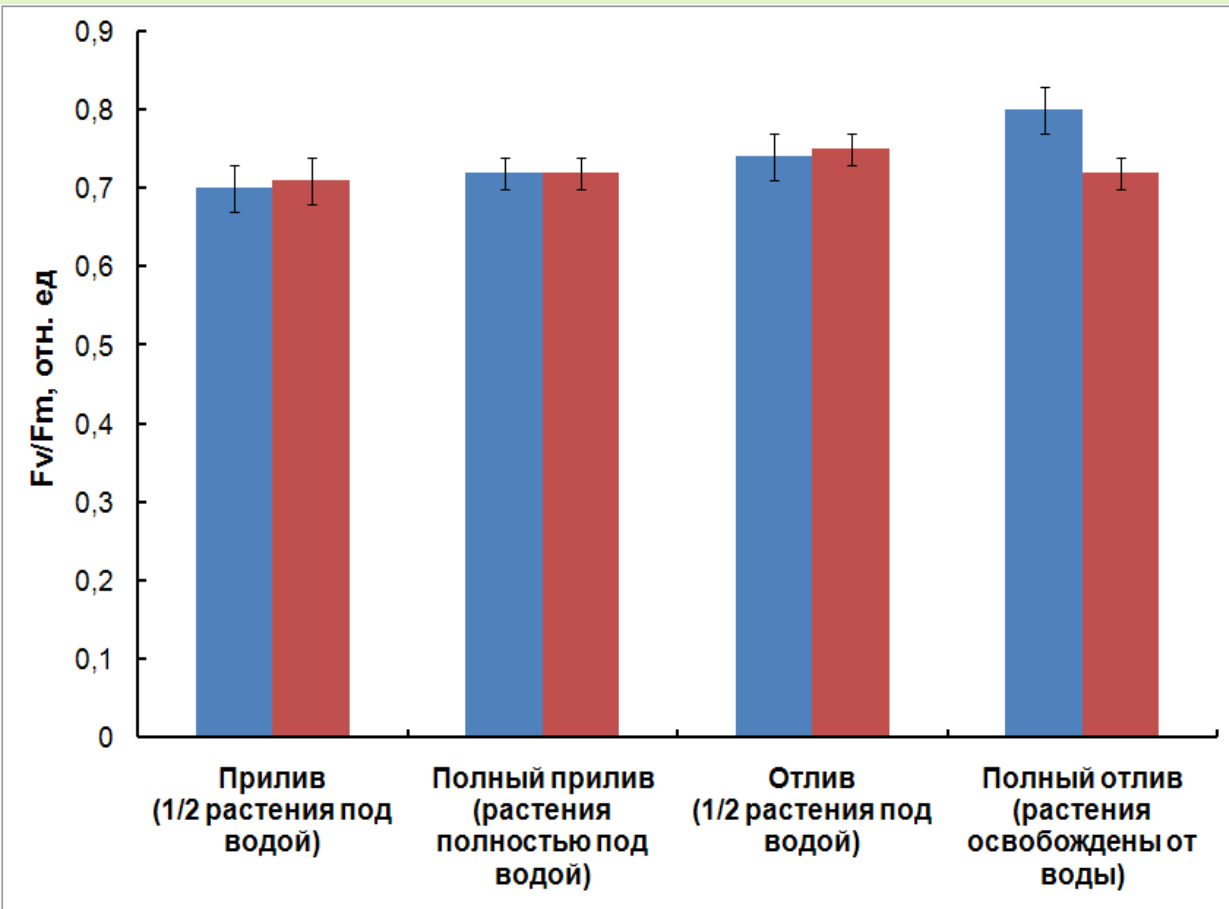
■ *Triglochin maritima*

Оценка состояния устьиц: ширина устьичной щели и проводимость устьиц

Triglochin maritima - устьица открыты больше во время переходных процессов (частичное заливание), а максимальные значения отмечены на полном отливе (осушка). Устьица имеют минимальное открытие на полном заливании.

Plantago maritima: устьица открываются максимально при полном заливании и во время полного отлива (осушка).

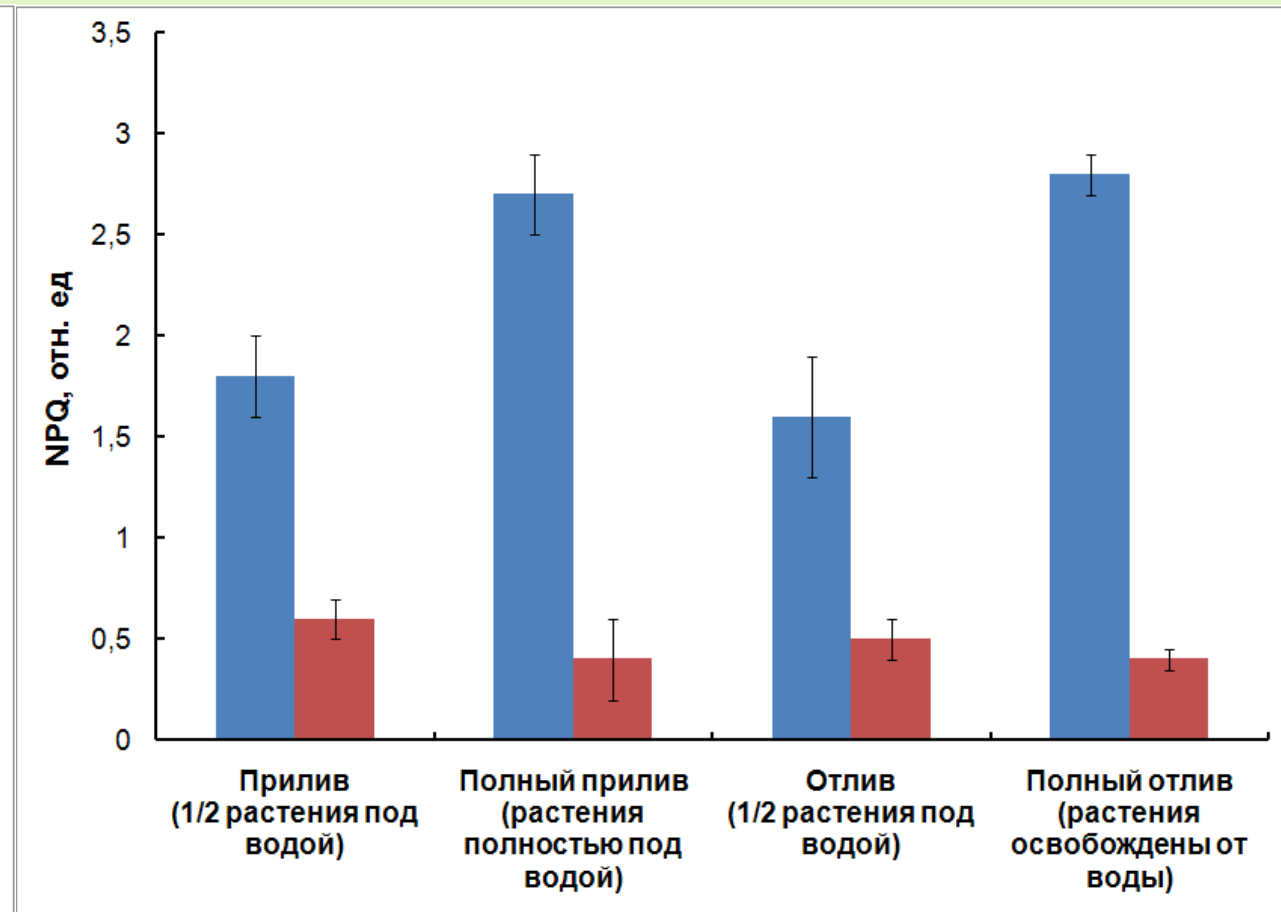
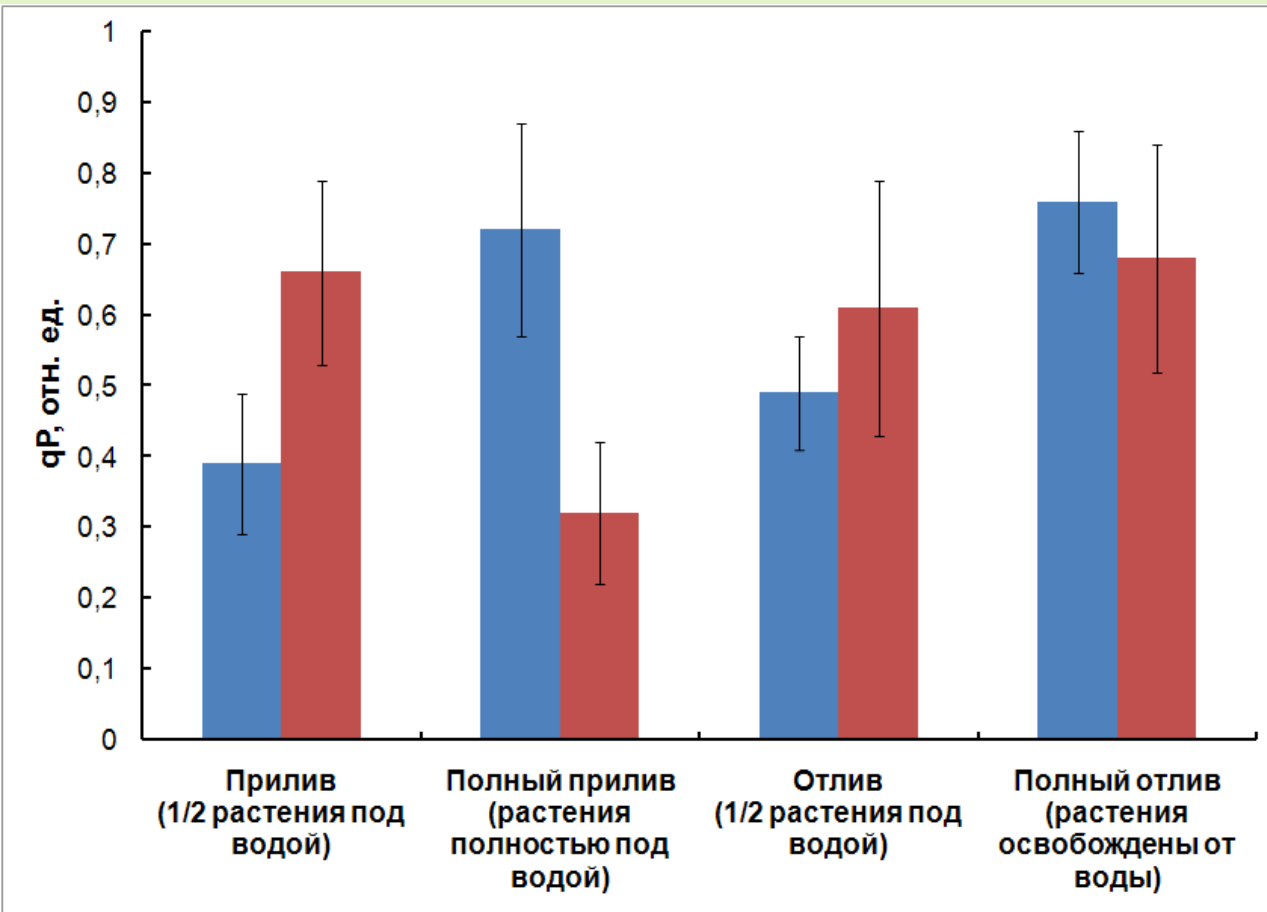
Фотохимическая активность ФА растений: F_v/F_m , ETR



■ *Triglochin maritima*

■ *Plantago maritima*

Параметры флуоресценции : qP, NPQ,



■ *Triglochin maritima*

■ *Plantago maritima*

Оценка фотохимической активности фотосинтетического аппарата

Оба вида находятся в нестрессовых условиях жизни на приливно-отливной территории во время ПОЦ

Triglochin maritima: максимальные значения основных показателей жизнедеятельности отмечаются в переходные периоды (ETR , qP), а минимальные - на полном приливе. В условиях осушки значения ETR снижаются, а qP достигают высоких значений. Низкие значения NPQ на всех стадиях ПОЦ. Стратегия избегания заливания.

Plantago maritima: максимальные значения всех показателей (ETR , qP , NPQ) высокие на полном отливе и полном приливе. А в переходные периоды они значительно ниже. Гипотеза об использовании карбоната из воды через открытые устьица. Газовые пленки. Стратегия адаптации к заливанию.

Интенсивность фотосинтеза, транспирации, эффективность использования воды, концентрация углекислого газа внутри листа

Вид	Интенсивность фотосинтеза, мкмоль CO ₂ /(м ² с)	Интенсивность транспирации, ммоль H ₂ O/(м ² с)	Pn/E	Внутренняя концентрация CO ₂ , мкмоль CO ₂ / моль
<i>Plantago maritima</i>	36,9±1,1	9,4±0,4	4,0±0,2	64±4
<i>Triglochin maritima</i>	8,4±1,2	2,8±0,2	3,0±0,1	207±15

Параметры фотосинтеза при повышенной концентрации углекислого газа :

Вид	<i>Plantago maritima</i>	<i>Triglochin maritima</i>
Максимальная скорость поглощения CO₂, мкмоль CO₂/(м²с)	85,0±4,8	48,7±3,4
Скорость темнового дыхания на свету, мкмоль CO₂/(м²с)	123,0±20,9	56,2±9,8
Максимальная скорость карбоксилирования, мкмоль CO₂/(м²с)	1,78 ± 0,24	1,38 ± 0,33
Эффективность карбоксилирования, мкмоль CO₂/(м²сПа)	428,0 ± 93,7	140,3 ± 14,4
Скорость транспорта электронов при насыщении светом, мкмоль / (м²с)	29,3 ± 46,8	13,2 ± 1,8
Скорость утилизации триозофосфатов, мкмоль CO₂/(м²с)	9,8± 1,7	-17,2 ± 3,4
Углекислотный компенсационный пункт, мкмоль CO₂/моль	115	196

Оба вида находятся в не стрессовых условиях жизни на приливно-отливной территории во время ПОЦ

***Triglochin maritima*: низкая интенсивность фотосинтеза и транспирации, но высокая концентрация внутреннего количества углекислого газа, что свидетельствует о работе аэренхимы. На увеличение CO₂ реагирует 4-х кратным повышением ИФ, но имеет низкую эффективность карбоксилирования. Это свидетельствует о том, что обитание вида лимитируется содержанием углекислого газа в данных условиях обитания.**

***Plantago maritima*: Высокий уровень интенсивности фотосинтеза и его только двукратное увеличение при насыщающих концентрациях CO₂, что может быть связано с двумя путями карбоксилирования в природных условиях (при заливании). Высокая эффективность карбоксилирования так же может быть связана с этой способностью вида. Высокие значения ЭТР так же свидетельствуют об активной ассимиляционной деятельности. Однако высокие значения NPQ свидетельствуют о том, что часть поступающей энергии вид не в состоянии использовать в условиях обитания.**

Стратегии адаптации к условиям приливно-отливного цикла: структурная (пассивная) и функциональная (активная)

Triglochin maritima

(гигрофит)

Пассивная

Увеличение площади листа и объема аэренхимы.

Количество устьиц не изменяется
Устьичная проводимость и показатели флуоресценции имеют минимальные значения при полном погружении растения в воду

Plantago maritima

(мезофит)

Активная

Увеличение количества устьиц и уменьшение толщины эпидермы и кутикулы

Повышение устьичной проводимости и показателей флуоресценции при подводном фотосинтезе. Устьичная щель широко открыта.

Наличие двух карбоксилирующих механизмов в полный прилив.

Одним из промыслов Поморья в XVI в. было солеварение. в 1563 году в Керети работало 44 соляные варницы. Из Керетской волости вывозилось в год 130000 пудов соли.



Добывался и жемчуг, но в незначительных количествах, причем каждое «десятое зерно лутчее» шло в казну великого князя.

Во времена Ивана Грозного в реке Кереть «освежали» потускневший жемчуг. Самая красивая девушка по преданию должна была сто раз окунуться с жемчужиной в реку. Секрет прост – в речной воде присутствует слабая кислотность, жемчуг после такой обработки, выглядел как новый.



С 2010 года проводит исследование кафедра ботаники и физиологии растений ПетрГУ на берегах Белого моря



Спасибо за внимание