

## СТАТЬЯ

УДК 574.2

DOI 10.17513/use.38211

## ВЛИЯНИЕ СОЛЕННОСТИ НА ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН РАСТЕНИЙ-ГАЛОФИТОВ ЛИТОРАЛИ БЕЛОГО МОРЯ: ОЦЕНКА ПЛАСТИЧНОСТИ

Марковская Е.Ф., Теребова Е.Н., Павлова М.А.

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», Петрозаводск,  
e-mail: eterebova@gmail.com

В работе исследованы масса (г), прорастание семян (%) и пластичность (CV,%; индекс пластичности (ИП),%) этих показателей у растений-галофитов *Plantago maritima* L., *Tripolium vulgare* Bess. ex Nees., *Triglochin maritima* L., *Glaux maritima* L. прибрежных территорий Белого моря в условиях солёности 0; 10; 24‰ в лабораторном эксперименте. Для оценки пластичности использовали анализ коэффициента вариации (CV) признаков и формулу:  $ИП = (M_{max} - M_{min}) / M_{max} \times 100$  (%). Наиболее низкие значения массы имели семена *G. maritima* (2,8±0,3), более высокие значения установлены у массы семян *T. maritima* (5,5±1,5) и *P. maritima* (6,6±2,0), и наибольшую массу показали семена *T. vulgare* (9,0±1,8). При сравнении уровня пластичности массы семян установлено, что наименее варьирует масса *T. maritima* и *G. maritima* (19±5 и 16±3%), несколько выше этот показатель у *P. maritima* – 22±2%, а наиболее пластичной оказалась масса семян *T. vulgare* – 29±4%. Максимальная всхожесть также установлена для семян *T. vulgare* (68–72%). Анализ степени пластичности (ИП) всхожести семян при разной солёности выявил, что наибольшая средняя степень пластичности 92% характерна для процесса прорастания семян *T. vulgare*, 64% – степень пластичности прорастания семян *T. maritima* и 45% – *P. maritima*. Так как семена *G. maritima* не проросли в условиях различной солёности, то степень пластичности установить не удалось. Семена *T. vulgare*, в отличие от других исследованных видов галофитов, проросли во всех вариантах солёности воды, что может свидетельствовать о более высоком уровне их солеустойчивости. На основании собственных и литературных данных делается вывод о высоком адаптивном потенциале вида *T. vulgare* и незначительном вкладе семенного размножения, по сравнению с вегетативным, в развитие растений-галофитов литорали Белого моря.

**Ключевые слова:** галофиты, прорастание семян, масса, пластичность, литораль, вегетативное размножение

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда Российской Федерации (тема № 23-67-10006).

## THE INFLUENCE OF SALINITY ON THE GERMINATION OF SEEDS OF HALOPHYTE PLANTS IN THE LITTORAL ZONE OF THE WHITE SEA: ASSESSMENT OF PLASTICITY

Markovskaya E.F., Terebova E.N., Pavlova M.A.

Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, e-mail: eterebova@gmail.com

In this work, the weight (g), seed germination (%) and plasticity (CV,%; plasticity index (PI),%) of these indicators in halophyte plants *Plantago maritima* L., *Tripolium vulgare* Bess. ex Nees., *Triglochin maritima* L., *Glaux maritima* L. on the coastal areas of the White Sea under salinity conditions of 0; 10; 24‰ in a laboratory experiment. To assess plasticity, we used the analysis of the coefficient of variation (CV) of traits and the formula:  $PI = (M_{max} - M_{min}) / M_{max} \times 100$  (%). The lowest mass values were found for the seeds of *G. maritima* (2,8±0,3), higher values were found for the seeds of *T. maritima* (5,5±1,5) and *P. maritima* (6,6±2,0), and the seeds of *T. vulgare* showed the maximum weight (9,0±1,8). We compared the level of plasticity of seed mass. The mass of *T. maritima* and *G. maritima* varies the least (19±5 and 16±3%), this indicator is slightly higher in *P. maritima* – 22±2%, and the seed mass of *T. vulgare* had the greatest plasticity – 29±4%. The highest germination rate was also found for *T. vulgare* seeds (68–72%). Analysis of the degree of plasticity (PI) of seed germination at different salinities revealed that the highest average degree of plasticity – 92% – is typical for the germination process of *T. vulgare* seeds, 64% – for *T. maritima* seeds, and 45% – for *P. maritima* seeds. Since the seeds of *G. maritima* did not germinate under conditions of different salinities, the degree of plasticity could not be determined. The seeds of *T. vulgare*, in contrast to other studied halophyte species, sprouted in all water salinities, which may indicate a higher level of salt tolerance of the seeds. In conclusion, the adaptation potential of *T. vulgare* is high and the contribution of seed reproduction to the development of halophyte plants in the littoral zone of the White Sea, compared to vegetative reproduction, is low.

**Keywords:** halophytes, seed germination, mass, plasticity, littoral, vegetative propagation

This work was supported by the Russian Science Foundation of the Russian Federation (topic no. 23-67-10006).

На литорали Белого моря обитают галофиты – высшие растения, адаптированные к высокому содержанию солей в почве и воде

[1]. Произрастая на приливно-отливной зоне моря, галофиты испытывают на себе его динамику: два раза в сутки в течение примерно

восьми часов постепенно полностью заливаются морской водой в прилив и осушаются в отлив. В зоне контакта моря и суши происходит постоянное варьирование условий среды обитания растений (содержания кислорода, инсоляции, температуры, волновой динамики, уровня солености и элементного состава морской воды и грунтов). В процессе формирования приморских биогеоценозов в условиях прибрежных морских территорий идет эволюционный отбор видов растений, способных существовать в условиях периодически изменчивой среды, как в сезонном, так и в суточном цикле.

Вопросы эволюции тесно связаны с проблемой полиморфизма признаков вида и свойством их пластичности. Вопрос природы, роль и эволюционные последствия фенотипической пластичности как адаптивного свойства растений широко обсуждается [2]. Пластичность можно определить как изменение фенотипического проявления генотипа, которое происходит в ответ на определенные условия окружающей среды и которое усиливает способность организма к выживанию и размножению в таких условиях [3]. Особый интерес представляет понятие адаптивной пластичности [4], которая определяет резерв организма на настоящие и будущие связи организма со средой и свидетельствует о незавершенности процесса адаптации. Реализация свойства полиморфизма, пластичности в природе тесно связана со стратегией выживания или жизни вида [2].

Стратегия выживания вида базируется на многоуровневых адаптациях растений, затрагивающих все этапы онтогенеза растений. У галофитов были установлены и изучены эколого-физиологические [5, 6] приспособления к действию засоления и загрязнения [7] среды обитания. Считается, что изменчивость признака у растений в постоянно меняющихся условиях среды должна быть выше, чем в стабильных условиях существования. Ранее нами на метаболических показателях хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях влияния фактора загрязнения было показано, что вариабельность (CV, %) концентраций основных веществ хвои (азотных, фосфорных, углеводных веществ и фотосинтетических пигментов) превышала уровни индивидуальной изменчивости признака (15%), принятый для сосны обыкновенной, и составляла 30–60% [8]. Относительно показателей прорастания семян – инициального процесса роста и развития галофитов на ли-

торали – данных очень мало. Таким образом, оценка всхожести семян доминантных видов литорали актуальна в связи с изучением механизмов адаптации онтогенеза галофитов в постоянно меняющихся условиях обитания. Цель исследования – изучить влияние солености на прорастание и пластичность морфометрических показателей, степени всхожести семян растений-галофитов литорали Белого моря.

#### Материалы и методы исследования

Работа выполнена в мае – июне 2017 г. на семенах четырех доминантных видов растений приливно-отливной зоны Белого моря: *Plantago maritima* L., *Tripolium vulgare* Bess. ex Nees., *Triglochin maritima* L., *Glaux maritima* L. Семена для работы были собраны в августе – сентябре 2016 г. на растениях, произрастающих на литорали на Карельском побережье в районе с. Сухое Беломорского района Республики Карелия (рисунок). Семена хранились в холодильнике при температуре 5–7 °С.

*Glaux maritima* L. (млечник морской) – криногалофит, на побережье Белого моря обычен для маршевых сообществ западного побережья, на других территориях побережья встречается редко. С точки зрения распространения имеет разорванный ареал в умеренной зоне Северного полушария. Лимитирующим фактором для распространения является захламливание береговой зоны. *Triglochin maritima* L. (триостренник морской) – эвгалофит, плюризональный вид, имеет циркумполярный ареал, встречается повсеместно на побережье Белого моря в зоне заливания солеными водами. *Tripolium vulgare* Bess. ex Nees (астра солончаковая) – эвгалофит, бореальный евразийский вид, широко встречается на морских побережьях Голарктики. *Plantago maritima* L. (подорожник морской) – эвгалофит, гипоарктический евразийский вид, на побережье Белого моря встречается повсеместно в зоне периодического затопления соленой водой [9].

Экспериментальная работа была выполнена с использованием световой установки в камеральных условиях. Семена проращивались при естественной освещенности (около 6 клк) в условиях разного уровня солености: 0; 10; 24 ‰. Соленость 10 ‰ была взята как наиболее часто наблюдаемая соленость, а 24 ‰ – это максимальное значение солености на Белом море. Семена проращивались в чашках Петри (по 25 семян), повторность опытов (n = 5–7) в каждом варианте солености.





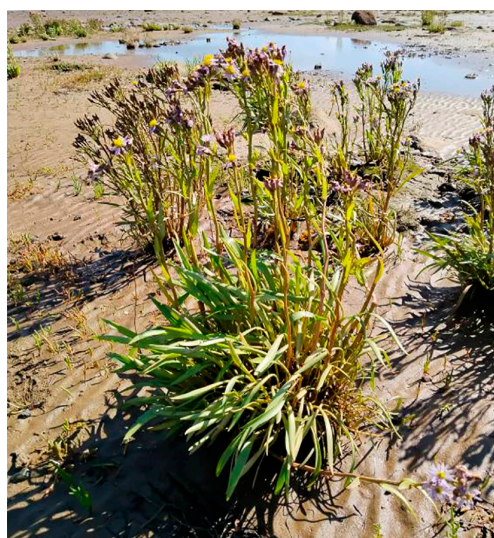
*Glaux maritima L.*



*Triglochin maritima L.*



*Plantago maritima L.*



*Tripolium vulgare Bess. ex Nees.*

*Исследованные виды галофитов на литорали Белого моря (фото авторов)*

Эксперимент длился 42 дня, с 2.06.2017 по 14.07.2017 г. Проросшими семенами считали такие, у которых корешки развились нормально, а один главный корешок имел длину не менее длины семени. Загнившие семена относили к непроросшим, и количество их учитывалось отдельно.

*Определение пластичности морфологических показателей семян*

Для определения пластичности массы семян рассчитывали коэффициент вариации CV, % как отношение стандартного отклонения  $\sigma$  к среднему  $\mu$ . Он показывает степень изменчивости по отношению к среднему показателю выборки и может, как предлагается в работах [3, 4], использоваться для расчета пластичности.

*Определение степени пластичности всхожести семян*

Расчет степени (индекса) пластичности (%) по формуле

$$\text{ИП} = (M_{\max} - M_{\min}) / M_{\max} \times 100 (\%),$$

где  $M_{\max}$  – максимальное значение свойства в одном варианте условий

(соленость 0 ‰);

$M_{\min}$  – минимальное значение свойства в другом варианте условий

(соленость 10 или 24 ‰) по [3].

Результаты измерения морфометрических показателей обработаны с помощью параметрического критерия Фишера ( $p < 0,05$ ), данные при этом представлены в виде средних арифметических значений и их стандартных ошибок.

**Результаты исследования  
и их обсуждение**

*Исходная характеристика  
семенного материала*

Поскольку собранные семена формировались в сходных условиях местообитания растений-галофитов на литорали, это позволило исключить влияние макрофакторов среды на образование семян. Различия связаны только с местом исходного произрастания растений: растения млечника морского произрастают на супралиторали в зоне контакта море – суша, а все остальные растения – на средней литорали в условиях полного заливания во время прилива.

Измерение массы семян (табл. 1) показало, что исследуемые виды галофитов различаются по массе семени и диапазону варьирования. Анализ показал, что наиболее низкие значения массы имели семена млечника морского, более высокие значения, в 1,5–2 раза, имела масса семян у триостренника морского, подорожника морского, и наибольшую массу имели семена астры солончаковой. При сравнении показателя пластичности массы семян установлено, что наименее варьирующим оказалось прорастание семян триостренника и млечника, которые имеют среднее значение CV 19 и 16% соответственно, несколько выше этот показатель у подорожника – 22%, и наиболее пластичным оказался показатель массы семян у астры – 29%. Пластичность показывает роль факторов среды в формировании семени: чем она выше, тем больше масса семян зависит от условий обитания растений. Расчет среднего значения пластичности показал увеличение этого значения от минимального  $16 \pm 3$  у млечника до  $29 \pm 4$  у астры. Низкие значения пластичности у млечника связаны и с более низкими значениями массы семян. Промежуточные

положения занимают показатели семян триостренника и млечника, для которых получены более высокие по сравнению с млечником значения массы и более широкий диапазон пластичности. В итоге оказалось, что наибольшая масса семян и ее пластичность была получена у астры солончаковой, возможно формирование семян у которой более, чем у других видов, зависит от уровня напряженности факторов среды (химический состав морской воды и грунтов [10], местоположение на материнском растении, срок закладки, жизненное состояние материнского организма), которые могут участвовать в формировании семян.

*Анализ процесса прорастания семян*

Общий процент проросших семян в разных вариантах опыта варьировал и составил для млечника морского – от 0 до 4% в пресной воде; для триостренника морского – 8–32% с максимумом в пресной воде и минимумом в соленой; для астры солончаковой – от 4 до 72%; для подорожника морского – 36–64%. В среднем (для всех вариантов опыта) самый высокий процент прорастания семян был отмечен для астры – 72%. Для подорожника эти значения составили 64%; для триостренника – 32%; для млечника – 4%. При прорастании семян галофитов в контрольных условиях было установлено, что наиболее раннее появление первых проростков было отмечено у растений подорожника и астры. Семена этих видов взошли на третий день. Семена триостренника в среднем взошли на 7-й, млечника – на 11-й день. Проращивание семян в условиях солености 10 ‰ показало, что наиболее раннее появление первых проростков было отмечено у растений астры – на 5-й день. Для этого вида были отмечены наибольшие значения всхожести – 68%. В среднем процент всхожести составил 32%.

**Таблица 1**

Масса семян растений-галофитов литорали Белого моря

Вид	Диапазон массы одного семени (мг)	Среднее значение массы одного семени (мг)	Диапазон уровня пластичности (CV, %)	Среднее значение уровня пластичности (CV, %)
<i>Glaux maritima</i>	2,5–3,0	2,8±0,3	14–20	16±3 <sup>a</sup>
<i>Triglochin maritima</i>	4,6–7,0	5,5±1,5	14–33	19±5 <sup>a</sup>
<i>Plantago maritima</i>	6,1–7,0	6,6±2,0	11–33	22±2 <sup>ab</sup>
<i>Tripolium vulgare</i>	8,4– 9,3	9,0±1,8	26–32	29±4 <sup>c</sup>

Примечание: значения с разными буквенными индексами статистически значимо отличаются друг от друга согласно критерию Фишера ( $p < 0,05$ ).

Таблица 2

Показатели прорастания семян растений-галофитов литорали Белого моря

Вид	Соленость, ‰	Кол-во суток, на которые проросли первые проростки, сут	Кол-во проростков в 1-й день их прорастания, шт.	Макс. кол-во проростков на 15 сутки, шт.	Макс. кол-во проростков на 30 сутки, шт.	Прорастание на 42 сутки, %
<i>Glaux maritima</i>	0	11	1	1	1	4
	10	–	–	–	–	–
	24	–	–	–	–	–
<i>Triglochin maritima</i>	0	7	3	7	8	32
	10	10	2	2	2	8
	24	–	–	–	–	–
<i>Plantago maritima</i>	0	3	8	14	15	64
	10	5	3	9	9	36
	24	–	–	–	–	–
<i>Tripolium vulgare</i>	0	3	6	18	18	72
	10	5	2	17	17	68
	24	10	1	1	1	4

Таблица 3

Индекс пластичности (ИП) прорастания семян растений-галофитов литорали Белого моря

Вид	Соленость, ‰	В 1-й день прорастания, %	На 15 сут-ки, %	На 30 сут-ки, %	На 42 сут-ки, %	Среднее значение ИП, %
<i>Triglochin maritima</i>	0–10	33	71	75	75	64 <sup>a</sup>
<i>Plantago maritima</i>	0–10	63	36	40	44	45 <sup>b</sup>
<i>Tripolium vulgare</i>	0–10	67	6	6	6	21 <sup>c</sup>
	0–24	83	94	94	94	92 <sup>d</sup>

Примечание: значения с разными буквенными индексами статистически значимо отличаются друг от друга согласно критерию Фишера ( $p < 0,05$ ).

Все семена подорожника проросли на 5-й день и имели относительно высокие показатели всхожести – 36%. Самые первые проростки у триостренника были отмечены на 10-й день. Максимальная отмеченная всхожесть составила 8%. Однако стоит отметить, что в большом числе проб семена не проросли. Семена млечника оказались неспособными в условиях солености воды 10 ‰. Анализ прорастания семян галофитов при солености 24 ‰ позволил установить, что семена растений астры проросли на десятый день. Величина всхожести составила от 0 до 4%. Семена остальных рас-

тений оказались неспособными при солености воды 24 ‰ (табл. 2).

Анализ степени пластичности (ИП) всхожести семян при разной солености выявил, что наибольшая средняя степень пластичности 92% характерна для процесса прорастания семян астры, 64% – степень пластичности прорастания семян триостренника и 45% – подорожника. Так как семена млечника не проросли в условиях различной солености, то степень пластичности установить не удалось (табл. 3).

В работе установлено, что наиболее жизнеспособные семена были у астры со-



лончаковой, которые имели большую массу и высокую всхожесть. Семена этого вида, в отличие от других исследованных видов, проросли во всех вариантах солености воды, что может свидетельствовать о более высоком уровне солеустойчивости семян. Несмотря на плотность оболочки, семена астры легко набухают и быстро прорастают. Развитию семян астры способствует и свойство гетерофилии [11].

Близкие к астре солончаковой значения массы были получены на семенах подорожника морского. Особенностью этого вида является присутствие в оболочках семян слизистых клеток, которые разбухают от влаги, лопаются, и липкая слизь приклеивает семена к комочкам земли и всему, что движется по приливно-отливной зоне, и это помогает семенам подорожника распространяться. Семена подорожника более тяжелые по сравнению с семенами триостренника и млечника. Кроме того, подорожник растет куртинами и иногда очень большими, что обеспечивает воспроизведение семенного потомства вблизи материнского растения. Семена этого вида не проросли при высокой солености воды 24 ‰, что может быть связано с их низкой солеустойчивостью.

Семена триостренника морского в целом показали высокую всхожесть, но наибольшие значения отмечаются в варианте с пресной водой, хотя проростки были получены и при солености 10 ‰. Эти ограничения могут быть связаны с биологическими особенностями вида, который может обитать не только на приливно-отливной зоне, но и в разных пресных местообитаниях, например стоячих болотах [12]. Семена у триостренника среднего размера, и их очень много на одной куртине за счет большого числа репродуктивных побегов. Особенностью вида является длительное репродуктивное развитие в течение вегетации [9]. Часть семян не успевает сформироваться, что может сказаться и на количестве зрелых семян.

Самое низкое значение прорастания семян в условиях лаборатории наблюдалось у млечника морского. Вид имеет наиболее легкие семена, что часто связано со слабым развитием зародыша на материнском растении. Этот результат может быть связан и с его географическим ареалом, край которого и находится на побережье Белого моря. Это определило и его локальные местообитания – на краю супралиторали на стыке двух сред: суша – море, что делает его бо-

лее уязвимым к воздействию экстремальных факторов среды, в частности к высокой освещенности [13].

Анализ показателей пластичности позволил установить, что наибольшие ее значения характерны для вида астра солончаковая. Это может свидетельствовать о расширении нормы реакции и развития адаптивной фенотипической пластичности [2] и в целом о большем адаптивном потенциале астры солончаковой, по сравнению с другими видами галофитов.

Сопоставление данных, полученных в настоящей работе, с результатами исследования Н.С. Котелиной [14], выполненных также на литорали Белого моря в 1948 г. на видах галофитов (*Triglochin maritima* L., *Plantago maritima* L., *Aster tripolium* L. (название для 1948 г.), *Glaux maritima* L.) почти 70 лет спустя, показало различия. Так, в лабораторных опытах с растениями 1948 г. всхожесть семян астры составила только 7%, что значительно ниже, чем в нашем эксперименте (до 72%); всхожесть семян триостренника составила 15%, а в наших опытах – до 32%; всхожесть семян подорожника – 22%, а в наших опытах – до 64%. Однако Н.С. Котелина отмечает отсутствие прорастания в лабораторных условиях семян растений млечника, что получено и в нашей работе. Однако автору в полевых условиях в 1948 г. удалось найти 5 семенных всходов млечника морского на м<sup>2</sup>, что подтверждает наличие семенного размножения у этого вида в природе. Также по данным Н.С. Котелиной потенциальный объем семенного материала, который был исследован автором на растениях-галофитах побережья Белого моря составил для триостренника морского 17420 семян/м<sup>2</sup>, для подорожника морского – 3920 семян/м<sup>2</sup>, солероса европейского (*Salicornia europaea* L.) – 3600 семян/м<sup>2</sup>, астры солончаковой – 4000 семян/м<sup>2</sup>, млечника морского – 1040 семян/м<sup>2</sup>, а число всходов составило: для триостренника – 55 шт/м<sup>2</sup>, для подорожника – 58 шт/м<sup>2</sup>, астры – 30 шт/м<sup>2</sup> и млечника – 5 шт/м<sup>2</sup>. По этим данным можно рассчитать процент всходов от общего потенциального объема имеющегося семенного материала на литорали. Для млечника морского он составил 0,5%, для астры солончаковой – 0,75%, для подорожника морского – 1,45% и для триостренника морского – 0,32%. Однако дальнейшее развитие этих семенных всходов подвергается влиянию негативных факторов: межвидовой конкуренции со стороны других

видов, уничтожению животными, действию приливов и отливов, штормов, влиянию холодных периодов вегетации, деградации растительных сообществ и грунтов литорали [15]. В итоге на приморских территориях продолжают существование единичные особи семенного возобновления галофитов. Поэтому, по сравнению с вегетативным, вклад семенного размножения в развитие растений галофитов литорали невелик.

### Заключение

В работе исследованы масса, прорастание семян и пластичность этих показателей у *Plantago maritima* L., *Tripolium vulgare* Bess. ex Nees., *Triglochin maritima* L., *Glaux maritima* L. прибрежных территорий Белого моря в условиях солёности 0; 10; 24 ‰ в лабораторном эксперименте. Наиболее низкие значения массы имели семена *G. maritima* ( $2,8 \pm 0,3$  г), более высокие значения установлены у массы семян *T. maritima* ( $5,5 \pm 1,5$  г) и *P. maritima* ( $6,6 \pm 2,0$  г), и наибольшую массу показали семена *T. vulgare* ( $9,0 \pm 1,8$  г). Максимальная всхожесть также установлена для семян *T. vulgare* (68–72%). Семена *T. vulgare*, в отличие от других исследованных видов галофитов, проросли во всех вариантах солёности воды, что может свидетельствовать о более высоком уровне их солеустойчивости.

При сравнении уровня пластичности массы семян установлено, что наименее варьирует масса *T. maritima* и *G. maritima* ( $19 \pm 5$  и  $16 \pm 3$  %), несколько выше этот показатель у *P. maritima* –  $22 \pm 2$  %, и наиболее пластичной оказалась масса семян *T. vulgare* –  $29 \pm 4$  %.

Анализ степени пластичности (ИП) всхожести семян при разной солёности выявил, что наибольшая средняя степень пластичности, 92 %, характерна для процесса прорастания семян астры, 64 % степень пластичности прорастания семян триостренника и 45 % – подорожника. Так как семена млечника не проросли в условиях различной солёности, то степень пластичности установить не удалось.

На основании собственных и литературных данных делается вывод о высоком адаптивном потенциале вида *T. vulgare* и незначительном вкладе семенного размножения,

по сравнению с вегетативным, в развитие растений-галофитов литорали Белого моря.

### Список литературы

1. Мосеев Д.С., Сергиенко Л.А. Приморская растительность эстуариев рек на полуострове Канин // Растительность России. 2020. № 39. С. 47–74. DOI: 10.31111/vegus/2020.39.47.
2. Марков А.В., Иваницкий С.Б. Эволюционная роль фенотипической пластичности // Вестник Московского университета Сер. 16. Биология. 2016. № 4. С. 3–9.
3. Cornelissen J.H.C., Lavorel S., Garnier E., Diaz S. A handbook of protocols for standardized and easy measurement of plant functional traits worldwide // Australian Journal of Botany. 2003. Vol. 51. P. 335–380. DOI: 10.1071/BT02124.
4. Valladares F., Wright S.J., Lasso E., Kitajima K., Pearcy R.W. Plastic phenotypic response to light of 16 congeneric shrubs from a Panamanian rainforest // Ecology. 2000. Vol. 81. P. 1925–1936. DOI: 10.1890/0012-9658.
5. Теребова Е.Н., Павлова М.А. Галофит астра солончаковая (*Aster tripolium* L.) – гипераккумулятор Fe, Ni, Pb на литорали Белого моря (п. Рабочееостровск) // Успехи современного естествознания. 2021. № 11. С. 144–150. DOI: 10.17513/use.37726.
6. Воронкова Н.М., Буковская Е.В., Безделева Т.А., Бурдукова О.Л. Морфологические и биологические особенности растений в связи с адаптацией к условиям морских побережий // Экология. 2008. № 1. С. 3–9.
7. Terebova E.N., Markovskaya E.F., Pavlova M.A., Oreshnikova N.V. Cell wall functional activity and metal accumulation of halophytic plant species *Plantago maritima* and *Triglochin maritima* on the White Sea littoral zone (NW Russia) // Czech Polar Reports. 2020. Vol. 10, Is. 2. P. 169–188. DOI: 10.5817/CPR2020-2-14.
8. Теребова Е.Н., Галибина Н.А., Сазонова Т.А., Таланова Т.Ю. Индивидуальная изменчивость метаболических показателей ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной в условиях промышленного загрязнения // Лесоведение. 2003. № 1. С. 72–77.
9. Сергиенко Л.А. Флора и растительность побережий Российской Арктики и сопредельных территорий. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2008. 225 с.
10. Terebova E.N., Pavlova M.A., Oreshnikova M.V. Iron Accumulation of Halophytes in the Littoral Zone of the White Sea // Biology Bulletin. 2023. Vol. 50, Is. 4. P. 684–695. DOI: 10.1134/S1062359023700243.
11. Марковская Е.Ф., Сергиенко Л.А., Шкляревич Г.А., Сони́на А.В., Стародубцева А.А., Смолькова О.В. Природный комплекс побережья Белого моря. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. 83 с.
12. Раменская М.Л., Андреева В.Н. Определитель высших растений Мурманской области и Карелии. Л.: Наука, 1982. 432 с.
13. Заславская Н.В. Флора и растительность засоленных приморских экотопов Западного побережья Белого моря: дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск: ПетрГУ, 2007. 193 с.
14. Котелина Н.С. О семенном и вегетативном размножении некоторых галофитов побережья Белого моря: сборник научных работ студентов Карело-Финск. гос. унив. № 1. Петрозаводск, 1949. 78 с.
15. Акимов В.А., Дурнев Р.А., Соколов Ю.И. Опасные гидрометеорологические явления на территории России. 2009. 316 с.