

Оригинальная статья

Оценка устойчивости дикорастущих злаков северо-западного сектора Российской Арктики к хлоридному засолению

К. Б. Таскина✉, Н. М. Казнина

Институт биологии КНЦ РАН, г. Петрозаводск, Российская Федерация

✉tasamayaksenia@gmail.com

Аннотация

Дикорастущие злаки широко распространены во всех типах растительности. Известна их важная роль в природе и хозяйственной деятельности человека. В частности, они находят применение в восстановлении почв, нарушенных антропогенным воздействием. Возможность использования дикорастущих злаков для восстановления засоленных участков суши и прибрежных территорий изучена слабо. Вследствие этого было исследовано воздействие разных концентраций хлорида натрия (20, 40, 60, 80, 100 и 200 мМ) на прорастание семян и начальные этапы роста четырех видов многолетних злаков (*Agrostis capillaris* L., *Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv., *Phalaris arundinacea* L., *Phleum pratense* L.), произрастающих на территории Беломорского района Республики Карелия, который относится к арктической зоне. Исследования выявили ярко выраженную зависимость прорастания семян и начального роста проростков от концентрации соли в корнеобитаемой среде и от вида растений. Так, все изученные виды успешно проросли при концентрациях хлорида натрия от 20 до 80 мМ, тогда как повышение концентрации соли до 100 и 200 мМ вызывало задержку прорастания у большинства из них. Выявлено также, что у злаков рост корня и побега замедлялся (в разной степени в зависимости от вида) при использовании NaCl в концентрации 60 мМ и выше, однако полного торможения роста не наблюдалось. Учитывая, что изученные виды злаков устойчивы к низким температурам вегетационного сезона, характерным для мест их произрастания, высказано предположение о возможности их использования в фиторемедиации арктических территорий со степенью засоления до 100 мМ (0,6 % солености). На основании анализа полученных данных по всхожести и начальному росту проростков составлен ряд солеустойчивости (по убыванию) изученных видов многолетних злаков: *P. pratense* > *A. capillaris* > *P. arundinacea* > *D. cespitosa*.
Ключевые слова: прорастание семян, рост, засоление, арктические территории, *Agrostis capillaris* L., *Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv., *Phalaris arundinacea* L., *Phleum pratense* L.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания КарНЦ РАН по теме «Механизмы устойчивости и адаптации растений к неблагоприятным факторам внешней среды» за счет средств федерального бюджета (проект № FMEN-2022-0004).

Для цитирования: Таскина К.Б., Казнина Н.М. Оценка устойчивости дикорастущих злаков северо-западного сектора Российской Арктики к хлоридному засолению. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2024;29(2):287–294. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2024-29-2-287-294>

Original article

Assessment of the resistance of wild grasses in the northwestern region of the Russian Arctic to chloride salinization

Ksenia B. Taskina✉, Natalia M. Kaznina

Institute of Biology, Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russian Federation

✉tasamayaksenia@gmail.com

Abstract

Wild grasses are prevalent across various types of vegetation, playing a significant role in both natural ecosystems and human economic endeavors. The potential of using grasses to restore areas affected by tidal erosion and saline soils has not been fully investigated. A study was conducted to examine the impact of different levels of NaCl salinity (rang-

ing from 20 to 200 mM) on seed germination and early growth of *Agrostis capillaris* L., *Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv., *Phalaris arundinacea* L., and *Phleum pratense* L. These plants are commonly found in the Arctic region within the Belomorsky district of the Republic of Karelia. Through research, a direct connection was discovered between the germination of seeds and the growth of seedlings based on the salt levels in the root environment and the type of grass species present. In summary, all species successfully germinated at NaCl concentrations of 20–80 mM. However, germination rates decreased at 100 and 200 mM in most cases. When exposed to NaCl concentrations of 60 mM and higher, the growth of root and shoot in the grasses was slowed down to some extent (depending on the species), but not completely inhibited. Due to the resilience of wild grasses to cold temperatures, it is proposed that they could be used in the phytoremediation of Arctic areas with a salinity level of up to 100 mM (0.6 % salinity). An analysis of the data resulted in a ranking of grass species based on their salt resistance: *P. pratense* > *A. capillaris* > *P. arundinacea* > *D. cespitosa*.

Keywords: Keywords: seeds germination, plant growth, salinity, arctic territories, *Agrostis capillaris* L., *Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv., *Phalaris arundinacea* L., *Phleum pratense* L.

Funding. This study was conducted within the framework of the state assignment for the Karelian Research Centre of the RAS “Mechanisms of plant resistance and adaptation to adverse environmental factors” (project No. FMEN-2022-0004).

For citation: Taskina K.B., Kaznina N.M. Assessment of the resistance of wild grasses in the northwestern region of the Russian Arctic to chloride salinization. *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2024;29(2):287–294. (In Russ.); <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2024-29-2-287-294>

Введение

Дикорастущие представители семейства Poaceae имеют широкую географию распространения. В большинстве случаев это многолетние растения, которые практически во всех типах растительности занимают содоминирующее, а в некоторых зонах (луга, степи, саванны) – доминирующее положение в фитоценозах. Заросли этих злаков важны для гнездования, а семена – для питания птиц и мелких грызунов [1]. Кроме того, многолетние злаки широко используются в качестве кормовых растений для домашних животных, многие из них являются основными компонентами естественных сенокосов и пастбищ [2]. Необходимо отметить и участие дикорастущих злаков в восстановлении почв, нарушенных вследствие антропогенного воздействия, в частности, при высоких концентрациях тяжелых металлов в окружающей среде [3, 4].

Возможность использования дикорастущих злаков для восстановления засоленных участков суши и прибрежных территорий изучена слабо [5, 6]. Вместе с тем в последнее время засоление почв становится все более актуальной проблемой во многих странах, что связано с постоянным увеличением площади засоленных территорий. Наиболее опасное и в то же время самым распространенное засоление – натрий-хлоридное [7]. При повышении концентрации ионов натрия и хлора в корнеобитаемой среде у растений тормозятся рост и развитие, замедляются процессы фотосинтеза и дыхания, снижаются продуктивность и способность к репродукции. Это приводит к уменьшению флористического биоразно-

образия на засоленных территориях, а иногда и к полной деградации естественных фитоценозов. Вследствие этого поиск видов растений, способных успешно расти на почвах с высоким уровнем засоления, и изучение их солеустойчивости чрезвычайно важны с точки зрения возможного их использования в фиторемедиации засоленных территорий.

Изучение в этом плане растений, произрастающих в арктической зоне, особенно актуально, поскольку северные фитоценозы характеризуются низкой продуктивностью, а их естественное восстановление происходит крайне медленно и в нем участвует сравнительно ограниченное число видов. При этом, несмотря на очаговый характер антропогенных нарушений, в настоящее время все чаще наблюдается деградация целых экосистем, следствием которой является нарушение растительного покрова [8].

К главным особенностям арктических почв относят засоление верхних слоев. При этом для прибрежных территорий арктической зоны также характерен натрий-хлоридный тип засоления. Его распространенность в грунте вдоль арктического побережья Евразии и на островах изменяется преимущественно в пределах 0,05–2 % [7]. С увеличением антропогенной нагрузки на арктические территории возрастает и риск увеличения степени засоления почв, что может привести к снижению флористического биоразнообразия. Вследствие этого изучение устойчивых к засолению видов, в том числе среди представителей семейства Poaceae, становится весьма актуальным.

Цель настоящей работы заключалась в оценке устойчивости к засолению ряда дикорастущих видов семейства Poaceae, произрастающих в арктической зоне Российской Федерации. Исследования проводились на начальных этапах развития растений, поскольку именно в фазе проростков они наиболее чувствительны к засолению [9, 10], а оценка их солеустойчивости, проведенная на этом этапе развития, считается более точной [11].

Материалы и методы исследования

Объектами исследования служили дикорастущие виды семейства Poaceae: полевица тонкая (*Agrostis capillaris* L.), щучка дернистая (*Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv.), двукосточник тростниковый (*Phalaris arundinacea* L.) и тимopheвка луговая (*Phleum pratense* L.), различающиеся по чувствительности к засолению. В частности, *A. capillaris* (рыхлодерновинная форма) и *P. arundinacea* (дерновинный корневищный злак) умеренно чувствительны к высоким концентрациям солей в субстрате, тогда как *D. cespitosa* (плотнoderновинная форма) и *P. pratense* (рыхлодерновинная форма) характеризуются высокой чувствительностью к засолению [1, 2].

Семена злаков были собраны в природных (дикорастущих) популяциях Беломорского района Республики Карелия, входящего в арктическую зону РФ. Солеустойчивость видов оценивали по дружности (энергии) прорастания и всхожести семян, а также по ряду морфофизиологических

показателей на начальных этапах роста проростков. Семена злаков проращивали в лабораторных условиях в чашках Петри, в темноте при температуре 22 °C. В качестве контроля использовали дистиллированную воду, в вариантах опыта в раствор вносили соль NaCl (х.ч.) в концентрациях 20, 40, 60, 80, 100 и 200 мМ. Энергию прорастания определяли через 7 сут, всхожесть семян – через 14 сут [12]. Для изучения морфометрических показателей злаки выращивали под светоустановкой при температуре 22–25 °C, влажности 60–70 %, ФАР 100 мкмоль/(м² · с) и 14-ч часовом фотопериоде. Спустя 14 сут измеряли морфометрические показатели проростков (длину корня и высоту побега).

Для определения энергии прорастания и всхожести семян были взяты четыре чашки Петри для каждого варианта опыта, по 25 семян в каждой [13]. Для измерения морфометрических показателей биологическая повторность в пределах каждого варианта опыта составляла 10 растений. В таблицах и на рисунках представлены средние значения и их стандартные ошибки. Достоверность различий между контролем и опытом оценивали с помощью критерия Стьюдента при уровне значимости $P < 0,05$.

Результаты

Проведенные исследования выявили определенные различия в устойчивости изученных видов злаков к засолению. Так, у *D. cespitosa* энергия прорастания семян заметно снижалась (по

Таблица 1

Влияние разных концентраций NaCl на энергию прорастания семян дикорастущих злаков

Table 1

Impact of defferent levels of NaCl on the germination energy of wild grass seeds

Концентрация NaCl, мМ NaCl concentration, mM	Вид растения Plant species			
	<i>A. capillaris</i>	<i>P. arundinacea</i>	<i>P. pratense</i>	<i>D. cespitosa</i>
0 (Контроль) 0 (Control)	19,25±1,25	15,00±0,91	23,25±1,11	18,25±0,48
20	19,00±1,29	13,75±1,70	22,75±0,48	17,25±1,70
40	19,50±0,50	12,50±2,18	23,25±0,85	13,25±0,63*
60	15,00±1,87	10,2±0,63*	21,25±0,85	12,25±0,85*
80	15,00±1,00*	11,75±1,31*	23,25±0,25	12,00±2,38*
100	10,75±1,93*	8,00±0,71*	24,50±0,29	9,25±1,11*
200	3,50±0,87*	1,75±0,25*	19,50±0,29*	1,75±1,11*

Примечание. Здесь и в табл. 2 * – различия с контролем достоверны при $P < 0,05$.
Note. Here and in table 2 * – differences with the control are significant at $P < 0.05$.

Таблица 2

**Влияние разных концентраций NaCl
на всхожесть семян дикорастущих злаков**

Table 2

Impact of different levels of NaCl on the germination of wild grass seeds

Концентрация NaCl, мМ NaCl concentration, mM	Вид растения Plant species			
	<i>A. capillaris</i>	<i>P. arundinacea</i>	<i>P. pratense</i>	<i>D. cespitosa</i>
0 (Контроль) 0 (Control)	21,50±0,50	19,25±0,85	23,75±0,95	19,25±0,25
20	20,25±1,18	17,00±0,91	23,75±0,63	19,00±1,41
40	22,50±1,04	16,75±1,65	23,50±0,96	17,50±1,66
60	19,25±1,45	13,25±0,85*	22,75±0,95	18,50±1,26
80	18,25±1,55	13,75±0,95*	23,25±0,25	17,50±1,19
100	14,75±2,21*	12,50±1,44*	24,50±0,29	12,75±1,11*
200	3,75±0,75*	2,00±0,41*	21,50±0,50	5,25±1,60*

сравнению с контролем) уже при использовании хлорида натрия в концентрации 40 мМ, у *P. arundinacea* значительное уменьшение этого показателя отмечалось при концентрации соли 60 мМ, а у *A. capillaris* – при 80 мМ (табл. 1). Наиболее устойчивым к засолению видом оказалась *P. pratense*, у которой только наибольшая (200 мМ) концентрация NaCl приводила к снижению энергии прорастания семян.

По всхожести семян наименее устойчивым видом оказался *P. arundinacea*, у которого значительное снижение числа всхожих семян наблюдалось при использовании хлорида натрия в концентрациях 60 мМ и выше (табл. 2). У *D. cespitosa* и *A. capillaris* всхожесть семян заметно сни-

жалась при более высоких концентрациях соли (100 и 200 мМ), в наибольшей степени – при 200 мМ. В отличие от этого, у *P. pratense* при всех изученных уровнях засоления всхожесть семян была высокой и не отличалась от контрольного варианта.

На начальных этапах роста и развития растения характеризуются высокой чувствительностью к стрессовым воздействиям. Поэтому изучение их стрессоустойчивости целесообразно проводить именно на этих этапах [9–11]. Морфометрический анализ проростков многолетних злаков выявил определенные различия в ответной реакции на засоление. Так, у *A. capillaris* и *P. pratense* замедление роста корня наблюдалось уже при

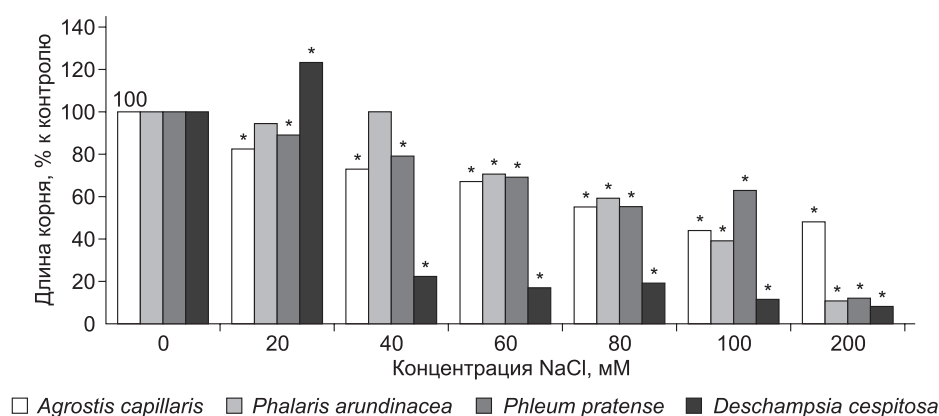


Рис. 1. Влияние разных концентраций NaCl на длину корня дикорастущих злаков. Здесь и на рис. 2 * – различия с контролем не достоверны

Fig. 1. Impact of different levels of NaCl concentrations on the root length of wild grasses. Here and in fig. 2 * – differences with the control are not significant.

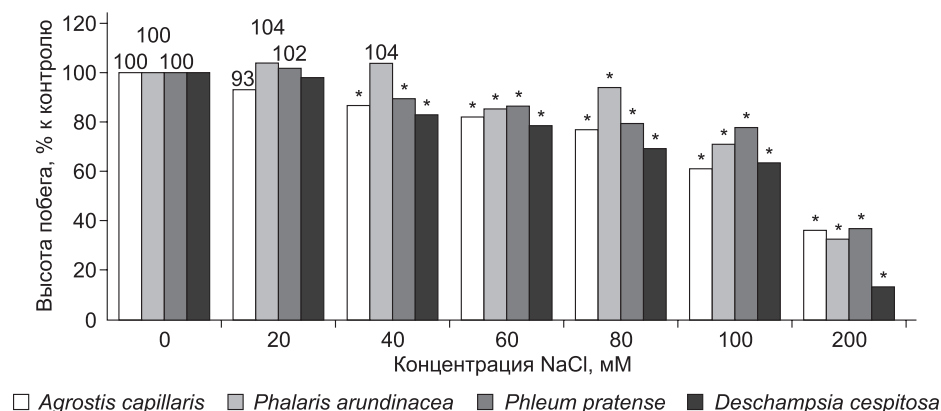


Рис. 2. Влияние разных концентраций NaCl на высоту побега дикорастущих злаков

Fig. 2. Impact of different levels of NaCl concentrations on the shoot length of wild grasses

концентрации хлорида натрия 20 мМ, тогда как у *D. cespitosa* в этих условиях длина корня, наоборот, оказалась больше, чем в контроле, а значительное уменьшение этого показателя отмечалось лишь при 40 мМ NaCl и выше (рис. 1). У *P. arundinacea* торможение роста корня наблюдалось только при концентрации соли 60 мМ и выше. Вместе с тем при сильном засолении (200 мМ) в меньшей степени уменьшалась (на 55 % по отношению к контролю) длина корня у *A. capillaris*, тогда как у других видов злаков она снижалась более, чем на 90 %.

Отрицательное воздействие хлорида натрия на рост побега было выражено в несколько меньшей степени, чем корня. В частности, при концентрации хлорида натрия 20 мМ замедления роста побега не наблюдалось ни у одного из изученных видов (рис. 2). При концентрации соли 40 мМ и выше обнаружилось уменьшение высоты побега у *A. capillaris*, *P. pratense* и *D. cespitosa*, а при концентрации 60 мМ и выше – у *P. arundinacea*. Наиболее сильное снижение высоты побега отмечено у всех видов злаков при наибольшей концентрации NaCl (200 мМ). Результаты исследования выявили также, что наименее устойчивой к засолению оказалась *D. cespitosa*, у которой высота побега при наибольшей концентрации соли уменьшалась на 90 % по сравнению с контролем, тогда как у остальных видов – менее чем на 65 %.

Обсуждение результатов

Важная роль многолетних злаков в восстановлении растительности на засоленных почвах [14] во многом объясняется их высокой ценотической активностью и повышенной устойчивостью к различным неблагоприятным факторам внеш-

ней среды [15]. Кроме того, способность этих злаков к кущению и формированию дернины позволяет им успешно осваивать нарушенные территории, что крайне важно в условиях увеличивающейся антропогенной нагрузки. Ранее нами отмечалась перспективность использования некоторых видов многолетних злаков в технологии фиторемедиации загрязненных тяжелыми металлами территорий, расположенных в северных регионах [4, 15]. Что касается засоления, то такого рода данных крайне мало. Хотя логично предположить, что эти виды окажутся способными успешно произрастать и на засоленных почвах, в том числе в суровых почвенно-климатических условиях арктической зоны.

Одним из методов сравнительного определения солеустойчивости разных видов (сортов) растений является изучение их способности к прорастанию в неблагоприятных условиях внешней среды. В многочисленных работах указывается на значительное снижение всхожести семян при высоких концентрациях солей в почве. Вместе с тем показано, что устойчивость разных видов к засолению неодинакова. Например, у *P. arundinacea* L. энергия прорастания и всхожесть семян снижалась уже при концентрации соли 50 мМ, у *Lolium rigidum* Gaudin и *Sorghum bicolor* (L.) Moench – при 100 мМ [16], а у *Zea mays* L. уменьшение числа проросших семян отмечали лишь при концентрации хлорида натрия 245 мМ [17]. В наших исследованиях наименее устойчивым оказался *P. arundinacea*, у которого уже при использовании хлорида натрия в концентрации 60 мМ (0,35 % солёности) снижалась всхожесть семян, а наиболее устойчивая – *P. pratense*, всхожесть семян которой оставалась высокой даже

при использовании наибольшей концентрации соли (200 мМ, 1,2 % солености).

Показатели роста растений, как известно, являются хорошими индикаторами их устойчивости к различным стрессорам, в том числе к избытку соли в корнеобитаемой среде [13]. При этом у более солеустойчивых видов, как правило, они снижаются (по отношению к контролю) в меньшей степени, чем у более чувствительных. Так, у растений *Hordeum maritimum* With. [18], *H. hystris* Roth. [19] и *Arrhenatherum elatius* (L.) P. Beauv. ex J. Presl & C. Presl. [20] при концентрации хлорида натрия 200 мМ замедления роста корня и побега не наблюдалось. Вместе с тем у *Dactyloctenium radulans* (R. Br.) P. Beauv. уменьшение линейных размеров корня и побега было отмечено уже при 100 мМ NaCl [17].

Негативное влияние засоления на рост корня и побега во многом связано с нарушением водного баланса и ионного гомеостаза клеток. В частности, при высоких концентрациях ионов Na⁺ и Cl⁻ снижается водный потенциал раствора в прикорневой среде, что приводит к дегидратации клеток растений и нарушению водного обмена [21]; изменяется элементный состав растений [22]; нарушается состояние клеточных мембран и снижается активность ферментов [23, 24]. У всех изученных нами видов злаков отмечалось замедление роста корня и в несколько меньшей степени роста побега, что наиболее отчетливо проявлялось при использовании хлорида натрия в наиболее высокой концентрации (200 мМ). При этом обнаружены отчетливые видовые различия в устойчивости растений разных видов к засолению. В частности, *A. capillaris* по морфометрическим параметрам оказалась более солеустойчивым видом, *P. pratense* и *P. arundinacea* – менее устойчивыми, а *D. cespitosa* – самым чувствительным к засолению видом.

Заключение

В целом изученные виды многолетних злаков способны успешно прорасти и поддерживать активность ростовых процессов на начальных этапах онтогенеза при концентрации хлорида натрия 20, 40 и 80 мМ (0,12, 0,23, 0,48 % солености). Повышение концентрации до 100 мМ (0,6 % солености) вызывает некоторую (менее чем на 30 % по сравнению с контролем) задержку прорастания у большинства из них. Учитывая, что изученные виды злаков устойчивы и к низким температурам вегетационного сезона, характерным

для мест их произрастания, можно предположить возможность использования этих видов в фиторемедиации арктических территорий с указанной степенью засоления. В условиях сильного засоления (200 мМ – 1,2 % солености) всхожесть семян изученных злаков значительно снижалась (на 70–90 % по сравнению с контролем), за исключением *P. pratense*. При этом у всех видов заметно тормозился рост корня (на 55–90 % по отношению к контролю) и побега (65–94 %), что в дальнейшем может отрицательно сказаться на их жизнеспособности в этих условиях.

На основании анализа полученных данных по всхожести и начальному росту проростков можно составить следующий ряд солеустойчивости (в порядке убывания) изученных видов многолетних злаков: *P. pratense* > *A. capillaris* > *P. arundinacea* > *D. cespitosa*.

Список литературы / References

1. Plants database. National plant data team. URL: <http://plants.usda.gov>.
2. Цвелев Н.Н. Злаки СССР. Л.: Наука; 1976. 787 с. Tsvelev N.N. Poaceae USSR. Leningrad: Nauka; 1976. 787 p. (In Russ.)
3. Bezel V.S., Zhuikova T.V. Chemical pollution: Transfer of chemical elements to the aboveground phytomass of herbaceous plants. *Russian Journal of Ecology*. 2007; 38(4):238–246. <http://doi.org/10.1134/S1067413607040042>.
4. Казнина Н.М., Лайдинен Г.Ф., Батова Ю.В., Титов А.Ф. Устойчивость семенного потомства растений из природных популяций *Deschampsia cespitosa* арктической зоны к повышенным концентрациям цинка. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2022; 27(1):70–79. <http://doi.org/10.31242/2618-9712-2022-27-1-70-79>.
5. Kaznina N.M., Laidinen G.F., Batova Y.V., Titov A.F. Resistance of seed progeny of plants from natural populations of *Deschampsia cespitosa* in the Arctic zone to elevated zinc concentrations. *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2022;27(1):70–79. (In Russ.) <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2022-27-1-70-79>
5. Imadi S., Shah S., Kazi A., et al. Chapter 18 – Phytoremediation of saline soils for sustainable agricultural productivity. In: Ahmad P. (ed.). *Plant Metal Interaction*. Elsevier; 2016, pp. 455–468. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-803158-2.00018-7>
6. Jampasri K., Sittiwongpeng K., Raknak K. Effect of salinity on the growth and cadmium accumulation of *Vetiveria nemoralis*. *Environment and natural resources journal*. 2017;15(2):62–70. <http://doi.org/10.14456/enrj.2017.13>.
7. Трофимов В.Т., Красилов Н.С. Засоленные мерзлые грунтовые толщи Арктического побережья России и их инженерно-геологические особенности.

Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. 2017;92(4):49–57.

Trofimov V.T., Krasilova N.S. Saline frozen soils of Russian Arctic coast and their engineering geological specific. *Bulletin of Moscow society of naturalists. Geological series*. 2017;92(4):49–57. (In Russ.)

8. Тишков А.А., Белоновская Е.А., Глазов П.М. и др. Антропогенная трансформация арктических экосистем России: подходы, методы, оценки. *Арктика: экология и экономика*. 2019;36(4):38–51. <http://doi.org/10.25283/2223-4594-2019-4-38-51>.

Tishkov A.A., Belonovskaya Y.A., Glazov P.M., et al. Anthropogenic transformation of the Russian Arctic ecosystems: approaches, methods, assessments. *Arctic: Ecology and Economy*. 2019;36(4):38–51. <http://doi.org/10.25283/2223-4594-2019-4-38-51>. (In Russ.)

9. Шарипова Г.В., Веселов Д.С. Ростковая реакция на засоление растений разных сортов ячменя и ее связь с водным обменом. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2011;43(2):129–135.

Sharipova G.V., Veselov D.S. Growth reaction to salinity of different varieties of barley and its relationship with the water exchange. *Physiology and biochemistry of culture plants*. 2011;43(2):129–135. (In Russ.)

10. Кононенко Н.В., Диловарова Т.А., Канавский Р.В. и др. Оценка морфологических и биохимических параметров устойчивости различных генотипов пшеницы к хлоридному засолению. *Вестник РУДН. Серия: Агрономия и животноводство*. 2019;14(1):18–39. <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2019-14-1-18-39>

Kononenko N.V., Dilovarova T.A., Kanavsky R.V., et al. Evaluation of morphological and biochemical resistance parameters to chloride salination in different wheat genotypes. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2019;14(1):18–39. <http://doi.org/10.22363/2312-797X-2019-14-1-18-39>. (In Russ.)

11. Niknam V., Bagherzadeh M., Ebrahimzadeh H., Sokhansanj A. Effect of NaCl on biomass and contents of sugars, proline and proteins in seedlings and leaf explants of *Nicotiana tabacum* grown in vitro. *Biologia Plantarum*. 2004;48:613–615. <https://doi.org/10.1023/B:BIOP.0000047163.70240.69>.

12. ГОСТ-12038-84: Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. 01.07.86. М.: ИПК Издательство стандартов; 2004. 10 с.

State Standard 12038-84. Agricultural seeds. Methods for determination of germination. Moscow: Standart Publ.; 2004. 10 p. (In Russ.)

13. Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям: Методическое руководство. Л.: ВИР; 1988. 228 с.

Diagnostics of plant resistance to stress: (methodological guide). Leningrad: VIR Publ.; 1988. 228 p. (In Russ.)

14. Дедова Э.Б. Повышение природно-ресурсного потенциала деградированных земель Калмыкии комплексной мелиорацией: Автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. Москва. 2012. 48 с.

Dedova E.B. Increasing the natural resource isolation of degraded lands of Kalmykia by integrated reclamation: Abstr. ... Diss. Doct. Sci, Moscow. 2012. 48 p. (In Russ.)

15. Лайдинен Г.Ф., Казнина Н.М., Батова Ю.В., Титов А.Ф. Влияние промышленного загрязнения почвы тяжелыми металлами на растения *Phleum pratense* (Poaceae) в условиях Северной Карелии. *Растительные ресурсы*. 2021;57(4):359–369. <https://doi.org/10.31857/S0033994621040063>.

Laydinen G.F., Kaznina N.M., Batova Yu.V., Titov A.F. Effect of industrial heavy metal soil contamination on *Phleum pratense* (Poaceae) in the Northern Karelia. *Plant resources*. 2021;57(4):359–369. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0033994621040063>

16. Cong L.L., Zhang X.Q., Li Y.X., et al. Response of reed Canary grass to salt stress during seed germination and vegetative stage. *Advanced Materials Research*. 2012;518–523:5355–5362. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.518-523.5355>

17. Uçarlı C. Effects of salinity on seed germination and early seedling stage. In: Fahad S., Saud S., Chen Y., Wu C., Wang D. (eds.). *Abiotic stress in plants*. IntechOpen. 2020; pp. 1–21. <https://doi.org/10.5772/intechopen.93647>.

18. Ferchichi S., Hessini K., Dell Aversana E., et al. *Hordeum vulgare* and *Hordeum maritimum* respond to extended salinity stress displaying different temporal accumulation pattern of metabolites. *Functional Plant Biology*. 2018;45(11):1096–1109. <https://doi.org/10.1071/fp18046>.

19. Lombardi T., Lupi B. Salt-tolerance in wild *Hordeum* (Poaceae) species: Differences between *H. maritimum* With. and *H. hystris* Roth. *Atti della società Toscana di scienze naturali*. 2006;113:31–35.

20. Zan W., Xi Y.F., Xuemin W., Hongwen G. Growth and physiological response of tall oat grass to salinity stress. *African Journal of Biotechnology*. 2011;10(37):7126–7130. <https://doi.org/10.5897/AJB11.809>

21. Балнокин Ю.В. Ионный гомеостаз и солеустойчивость растений. М.: Наука; 2012. 99 с.

Balnokin Y.V. *Ionic homeostasis and salt resistance of plants*. Moscow: Nauka; 2012. 99 p. (In Russ.)

22. Rajendran K., Tester M., Roy S.J. Quantifying the three main components of salinity tolerance in cereals. *Plant Cell Environment*. 2009;32(3):237–249. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2008.01916.x>.

23. Zhu J.K. Genetic analysis of plant salt tolerance using Arabidopsis. *Plant Physiology*. 2000;124(3):941–948. <https://doi.org/10.1104/pp.124.3.941>.

24. Roychoudhury A., Paul S., Basu S. Cross-talk between abscisic acid-dependent and abscisic acid-independent pathways during abiotic stress. *Plant Cell Report*. 2013;32(7):985–1006. <https://doi.org/10.1007/s00299-013-1414-5>.

25. Semida W.M., Rady M.M. Pre-soaking in 24-epibrassinolide or salicylic acid improves seed germination, seedling growth, and anti-oxidant capacity in *Phaseolus vulgaris* L. grown under NaCl stress. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 2014;89(3):338–344. <https://doi.org/10.1080/14620316.2014.11513088>

Об авторах

ТАСКИНА Ксения Борисовна, главный биолог, <https://orcid.org/0000-0001-5322-9798>, ResearcherID: rid44902, SPIN: 5899-1112, e-mail: tasamayaksenia@gmail.com

КАЗНИНА Наталья Мстиславовна, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0003-3092-563X>, ResearcherID: A-5917-2014, SPIN: 9653-3490, e-mail: kaznina@krc.karelia.ru

Вклад авторов

Таскина К.М. – проведение статистического анализа, проведение исследования, администрирование данных, создание черновика рукописи, редактирование рукописи, визуализация

Казнина Н.М. – разработка концепции, ресурсное обеспечение исследования, редактирование рукописи, руководство исследованием

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

About the authors

TASKINA, Ksenia Borisovna, Chief Biologist, <https://orcid.org/0000-0001-5322-9798>, ResearcherID: rid44902, SPIN: 5899-1112, e-mail: tasamayaksenia@gmail.com

KAZNINA, Natalia Mstislavovna, Dr. Sci. (Biol.), Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0003-3092-563X>, ResearcherID: A-5917-2014, SPIN: 9653-3490, e-mail: kaznina@krc.karelia.ru

Authors' contribution

Taskina K.B. – formal analysis, investigation, data curation, original draft, review & editing, visualization

Kaznina N.M. – conceptualization, resources, review & editing, supervision

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

Поступила в редакцию / Submitted 09.02.2023

Поступила после рецензирования / Revised 20.04.2023

Принята к публикации / Accepted 15.05.2024