

Устойчивость семенного потомства растений из природных популяций *Deschampsia cespitosa* арктической зоны к повышенным концентрациям цинка

Н.М. Казнина*, Г.Ф. Лайдинен, Ю.В. Батова, А.Ф. Титов

Институт биологии ФИЦ КНЦ РАН, Петрозаводск, Россия

*kaznina@krc.karelia.ru

Аннотация. В условиях вегетационного опыта изучали устойчивость к высоким концентрациям цинка (110 и 165 мг/кг песчаного субстрата) в корнеобитаемой среде семенного потомства растений из трех природных популяций *Deschampsia cespitosa*, находящихся в разных районах Республики Карелия (Беломорском, Кемском и Лоухском), входящих в арктическую зону Российской Федерации (РФ). Приведено краткое описание климатических особенностей указанных районов и степени их загрязненности поллютантами. Установлено, что растения, выросшие из семян, собранных во всех трех популяциях, хорошо приживались на субстрате с избытком цинка, однако их дальнейший рост в этих условиях зависел от места сбора семян. Наиболее устойчивым к избытку цинка оказалось семенное потомство растений Беломорской популяции (самой южной из изученных), которые в природной среде произрастали в более благоприятных климатических условиях, однако на протяжении достаточно продолжительного времени подвергались наиболее сильному антропогенному воздействию. Растения же, выращенные из семян растений Лоухской популяции – самой северной, но расположенной на экологически чистой территории, – оказались гораздо менее устойчивы к избытку цинка в корнеобитаемой среде. Сделан вывод о возможности и перспективности использования *D. cespitosa* для восстановления загрязненных цинком территорий арктической зоны РФ. При этом подчеркивается, что для этих целей лучше использовать семена растений, произрастающих в естественных условиях на северных территориях с повышенным уровнем фоновой техногенной нагрузки.

Ключевые слова: *Deschampsia cespitosa*, популяции, избыток цинка, приживаемость, рост растений.

Благодарности. Работа выполнена в рамках госзадания ИБ КарНЦ РАН (FMEN-2022-0004).

Введение

Активное освоение арктических территорий России во многом связано с эксплуатацией старых и разработкой новых месторождений и добычей полезных ископаемых. Это предполагает строительство горнорудных, нефтегазодобывающих и металлургических предприятий, прокладку автомобильных и железных дорог, трубопроводов, линий электропередач и т. д. Эксплуатация таких объектов неизбежно сопровождается увеличением в окружающей среде концентрации различных поллютантов, включая тяжелые металлы (ТМ) [1–3]. В свою очередь, это ведет к ухудшению состояния окружающей среды и дополнительным экологическим рискам, поскольку природа Крайнего Севера чрезвычайно чувствительна к воздействию различного рода за-

грязнителей, а биоценозы арктической зоны отличаются не только низкой продуктивностью и замедленным круговоротом органического вещества, но и большой уязвимостью к различного рода антропогенным воздействиям [4, 5]. Относительно растительных сообществ показано, что их естественное восстановление в северных условиях происходит также крайне медленно и в нем участвует сравнительно ограниченное число видов растений [2, 6]. Поэтому сильное загрязнение почвы, воздуха и воды ТМ может привести к деградации растительного покрова, а в некоторых случаях и к его полному разрушению. Поэтому поиск возможных путей восстановления растительности на нарушенных территориях арктической зоны, в том числе с использованием видов местной флоры, адаптированных к

условиям Севера, является чрезвычайно актуальным.

Некоторые виды многолетних злаков, как известно, способны успешно произрастать в условиях пониженных температур и высоком уровне освещенности, что характерно для арктических территорий в период активной вегетации растений [7]. Обнаружен также ряд дикорастущих злаков, устойчивых к высоким концентрациям ТМ, что позволяет им становиться доминантами в естественных фитоценозах на загрязненных территориях за счет захвата участков, освобождающихся при элиминации менее устойчивых растений [8–12]. Однако сведений об устойчивости к ТМ многолетних злаков, произрастающих в арктической зоне, практически нет. Хотя они необходимы для выявления видов, перспективных для использования при восстановлении почв северных территорий, загрязненных ТМ.

Одним из видов злаков, широко распространенных в северных регионах, является щучка дернистая (*Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv.). Это многолетний плотнокустовой верховой злак с широкой экологической амплитудой и высокими почвозадерняющими свойствами [13]. Он характеризуется зимостойкостью, хорошо переносит повышенную увлажненность и высокий уровень инсоляции, устойчив к закислению почв и низкой обеспеченности их элементами минерального питания. Помимо этого, имеются единичные сведения о том, что в более южных регионах данный вид может успешно расти вблизи промышленных предприятий на почвах, загрязненных ТМ [13–15].

Исходя из вышеизложенного, целью данной работы явилось изучение устойчивости семенного потомства растений из трех природных популяций *D. cespitosa*, находящихся в разных районах Республики Карелия, входящих в арктическую зону РФ, к повышенным концентрациям цинка как одного из наиболее распространенных техногенных загрязнителей окружающей среды среди ТМ.

Материалы и методы

Для проведения исследований использовали семена щучки (луговика) дернистой (*Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv.) из трех природных (дикорастущих) популяций, находящихся в разных районах Республики Карелия (РК), входящих в арктическую зону РФ: Беломорского (Беломорская популяция), Кемского (Кемская популяция)

и Лоухского (Лоухская популяция). Географические координаты мест произрастания популяций: Беломорская – 64°41' с.ш., 34°16' в.д., Кемская – 65°25' с.ш., 33°77' в.д., Лоухская – 66°28' с.ш., 32°79' в.д. Все популяции находились в 150 м от автомобильной трассы Кола. Растения для сбора семян отбирали методом случайной выборки.

Собранные семена после периода покоя (8 месяцев) использовали в вегетационном опыте. Для этого их проращивали в чашках Петри, а затем проклюнувшиеся семена высаживали в сосуды с песком объемом 1 л. Плотность посева для каждого образца составляла 12 растений на сосуд, повторность 4-кратная. В опытных вариантах в субстрат добавляли сернокислый цинк в концентрациях (по элементу) 110 мг/кг субстрата, что соответствует 2 ОДК для дерново-подзолистых супесчаных почв России (ГН 2.1.7.2511-09) и 165 мг/кг субстрата, соответствующее 3 ОДК. Сернокислую соль цинка вносили одноразово при закладке опыта. Полив осуществляли раствором Хогланда–Арнона.

Об устойчивости растений к избытку цинка судили на основании приживаемости проростков, а также по изменению (по отношению к контролю) ряда ростовых показателей, в частности, в фазу трех листьев измеряли высоту побега, а в фазу кущения – длину наиболее развитого корня, высоту побега, сухую биомассу подземных и надземных органов и количество побегов кущения.

Математическую обработку полученных результатов проводили с помощью программы «Excel», для определения достоверности различий использовали критерий Стьюдента. Достоверными считались различия при $P < 0,05$.

Результаты и обсуждение

По своим основным климатическим характеристикам районы РК, где были собраны семена *D. cespitosa*, не очень сильно отличаются друг от друга (табл. 1). Однако можно отметить, что по мере продвижения на север снижаются среднегодовая температура и температура самого теплого месяца – июля.

Вместе с тем указанные районы республики заметно различаются между собой по степени антропогенной нагрузки. Беломорский район характеризуется наиболее сильным антропогенным загрязнением, связанным с работой объектов горнодобывающей промышленности и наличием полигонов твердых бытовых отходов (ТБО).

Климатическая характеристика районов Республики Карелия

Table 1

Climatic characteristics of the Karelia Republic regions

Район Region	Среднегодовая температура, °С Average annual temperature, °С	Средняя температура января, °С Average January temperature, °С	Средняя температура июля, °С Average July temperature, °С	Среднегодовое кол-во осадков, мм Average annual precipitation, mm
Беломорский* Belomorsky	+3	-12	+15	500–550
Кемский** Kemsky	+1	-13	+14	550–600
Лоухский*** Loukhsky	0	-13	+13	500–550

Примечание. * [16]; ** [17]; *** [18].

Note. * [16]; ** [17]; *** [18].

В Кемском районе загрязнение окружающей среды менее сильное и обусловлено, в основном, гидротехническим строительством и наличием не-санкционированных свалок ТБО. Лоухский район с точки зрения антропогенного загрязнения является наиболее «чистым», что подтверждается также наличием в этом районе нескольких особо охраняемых природных территорий, представляющих собой территории, не затронутые антропогенной деятельностью [16–18].

Известно, что растения, произрастающие в суровых климатических условиях арктической зоны, отличаются высокой конститутивной устойчивостью к стресс-факторам, характерным для северных территорий. Учитывая, что механизмы устойчивости растений к неблагоприятным факторам внешней среды носят, в основном, неспецифический характер [19, 20] и включаются при воздействии разных видов стрессоров, логично было ожидать, что более устойчивыми к высоким концентрациям цинка окажутся растения, выращенные из семян *D. cespitosa* наиболее северной (Лоухской) популяции. Однако результаты проведенного исследования привели к иным выводам.

Важным показателем стрессоустойчивости любого вида является хорошая приживаемость проростков в неблагоприятных условиях внешней среды, которая во многом обеспечивает выживаемость всей популяции [21]. В наших опытах у *D. cespitosa* отрицательное влияние цинка в изученных концентрациях на жизнеспособность проростков не выявлено, их приживаемость

составила 90–100 % во всех вариантах опыта. Ранее нами уже было показано, что семена дикорастущих злаков, в частности *Agrostis alba*, *Bromopsis inermis*, *Calamagrostis epigeios*, *Elytrigia repens*, *Phleum pratense* и *Setaria viridis*, способны успешно прорасти при повышенных концентрациях цинка в субстрате, что, вероятно, в значительной степени связано с задержкой ионов металла в семенной оболочке [12, 22, 23]. Однако, воздействие цинка на начальный рост проростков у разных видов растений было неодинаковым и зависело от их устойчивости к данному металлу.

Поскольку рост является результирующим показателем активности многих физиологических процессов, ростовые показатели часто используются при определении устойчивости того или иного вида растений к ТМ, а также при сравнении их металлоустойчивости [24–26]. Например, судя по показателям начального роста проростков, такие виды многолетних злаков, как *Elytrigia repens* и *Bromopsis inermis*, более устойчивы к избытку цинка в субстрате, тогда как *Phleum pratense* и *Agrostis gigantea* – более чувствительны [27]. В опытах у *D. cespitosa* в фазу трех листьев цинк в изученных нами концентрациях тормозил рост побегов. В частности, в присутствии металла в концентрации 110 мг/кг субстрата высота побега у растений, полученных из семян Беломорской популяции, была на 28 % ниже, чем в контроле, Кемской – на 32, а Лоухской – на 38 % (табл. 2). Использование концентрации цинка 165 мг/кг субстрата вызывало еще

более явно выраженное торможение роста побега у растений, выращенных из семян *D. cespitosa* из всех трех изученных популяций.

В целом ряде исследований показано, что устойчивые к ТМ растения даже в присутствии их довольно высоких концентраций в корнеобитаемой среде способны поддерживать активность физиологических процессов на необходимом уровне и это обеспечивает их рост и развитие в этих условиях [11, 22]. В проведенных нами экспериментах было обнаружено, что в фазу кущения цинк в концентрации 110 мг/кг практически не оказывал отрицательного воздействия на рост надземных и подземных органов у растений из Беломорской и Кемской популяций, лишь биомасса их корней несколько снижалась (на 45 и 32 % по отношению к контролю, соответственно) (табл. 3).

В отличие от этого, у растений из Лоухской популяции все изученные показатели роста в опытном варианте оказались меньше, чем в контрольном. При более высокой концентрации цинка (165 мг/кг субстрата) у всех изученных растений было отмечено уменьшение (по сравнению с контролем) длины наиболее развитого корня и биомассы подземных органов, причем примерно в равной степени. Заметно снижалась также биомасса побега, что наиболее ярко было выражено у растений из Лоухской популяции. Кроме того, только у этих растений высота побега в опыте оказалась меньше (на 31 %), чем в контроле.

Важно также отметить, что с увеличением содержания цинка в субстрате уменьшалось отношение биомассы корня к биомассе побега, что обусловлено более сильным угнетением роста подземных органов. Подобный эффект характерен для так называемых растений-исключителей, к которым относится и *D. cespitosa*, поскольку у них основное количество поступившего в растение цинка задерживается в корнях, где происходит его детоксикация, в частности, связывание ионов металла различными хелато-рами в цитоплазме клетки и транспорт свободных ионов или их комплексов в вакуоль.

Отрицательное воздействие ТМ, в том числе цинка, в высоких концентрациях на рост корней и побегов дикорастущих злаков ранее отмечали и другие авторы, в частности, у *Festuca rubra* L. [28], *Lolium perenne* L. [29], *Phragmites australis* [30],

Таблица 2

Влияние избытка цинка в субстрате на высоту побега (см) проростков *Deschampsia cespitosa*, выращенных из семян растений разных популяций

Table 2

Effect of excess zinc in the substrate on shoot height (cm) of *Deschampsia cespitosa* seedling grown from seeds of different populations

Популяция Population	Вариант опыта Variant		
	Контроль Control	Zn 110	Zn 165
Belomorsky	7,04±0,38	5,12±0,37	4,23±0,28*
Kemsky	7,81±0,57	4,86±0,32*	3,62±0,32*
Loukhsky	5,48±0,28	3,72±0,39*	3,70±0,14*

Примечание. Здесь и в табл. 3 * – различия с контролем достоверны при $P < 0.05$.

Note. Here and in Table. 3 * – differences with control are significant at $P < 0.05$.

Setaria viridis [23], *Saccharum* spp. [31] и *Phleum pratense* [32]. Показано, что замедление роста осевых органов во многом обусловлено снижением под действием цинка митотической активности меристематических клеток и задержкой их деления, а также уменьшением растяжения клеток [26, 31]. Подобные эффекты могут быть обусловлены утратой белками веретена присутствующих им функций в результате связывания цинком их сульфгидрильных групп [33, 34], повреждением структуры микротрубочек [34] и нарушением водного режима клеток [35]. Помимо этого, ингибирование металлом роста растяжением связано, как полагают, с нарушением проницаемости мембран в результате усиления перекисного окисления липидов [36, 37]. Вместе с тем у устойчивых к цинку видов растений даже довольно высокие концентрации металла не приводят к явно выраженным нарушениям ростовых процессов, а некоторое замедление роста корня и побега, наблюдаемое в этих условиях, может являться защитно-приспособительной реакцией в ответ на стрессовое воздействие.

Для выбора видов многолетних злаков для восстановления загрязненных ТМ почв помимо высокой металлоустойчивости важна способность к семенному возобновлению, которая, в свою очередь, во многом определяется способностью к побегообразованию. В наших исследова-

**Влияние избытка цинка в субстрате на показатели роста
75-дневных растений *Deschampsia cespitosa***

Table 3

**Effect of zinc excess in the substrate on growth rates
of 75-day old *Deschampsia cespitosa* plants**

Показатель Parameter	Вариант опыта Variant		
	Контроль Control	Zn 110	Zn 165
Беломорская популяция Belomorsky population			
Длина корня, см Root length, cm	18,8 ± 1,2	19,8 ± 1,2	12,7 ± 0,4*
Сухая подземная биомасса, мг/раст. Dry underground biomass, mg/plant	0,365 ± 0,046	0,201 ± 0,038*	0,154 ± 0,033*
Высота побега, см Shoot height, cm	18,5 ± 1,2	17,6 ± 1,1	19,3 ± 1,3
Сухая надземная биомасса, мг/раст. Dry aboveground biomass, mg/plant	0,490 ± 0,049	0,431 ± 0,034	0,424 ± 0,029*
Сухая биомасса корня/сухая биомасса побега Dry root biomass/dry shoot biomass	0,74	0,70	0,36
Кемская популяция Kemsky population			
Длина корня, см Root length, cm	21,0 ± 1,3	19,2 ± 1,0	10,9 ± 0,4*
Сухая подземная биомасса, мг/раст. Dry underground biomass, mg/plant	0,434 ± 0,080	0,294 ± 0,048*	0,133 ± 0,011*
Высота побега, см Shoot height, cm	19,9 ± 1,2	17,0 ± 0,5	18,2 ± 0,7
Сухая надземная биомасса, мг/раст. Dry aboveground biomass, mg/plant	0,450 ± 0,042	0,409 ± 0,038	0,295 ± 0,019*
Сухая биомасса корня/сухая биомасса побега Dry root biomass/dry shoot biomass	0,96	0,72	0,45
Лоухская популяция Loukhsky population			
Длина корня, см Root length, cm	18,4 ± 0,5	13,5 ± 0,7*	12,7 ± 0,6*
Сухая подземная биомасса, мг/раст. Dry underground biomass, mg/plant	0,393 ± 0,032	0,229 ± 0,013*	0,131 ± 0,011*
Высота побега, см Shoot height, cm	17,8 ± 1,1	13,0 ± 0,2*	12,2 ± 0,7*
Сухая надземная биомасса, мг/раст. Dry aboveground biomass, mg/plant	0,435 ± 0,031	0,322 ± 0,022*	0,224 ± 0,018*
Сухая биомасса корня/сухая биомасса побега Dry root biomass/dry shoot biomass	0,90	0,71	0,58

дованиях присутствие цинка в концентрации 110 мг/кг субстрата не оказало ощутимого влияния на число побегов кушения у растений *D. cespitosa* из всех популяций (см. рисунок). Но при повышении концентрации металла до 165 мг/кг субстрата число побегов кушения заметно снижалось у растений из Кемской и Лоухской популяций (на 56 и 42 % по отношению к контролю соответственно). У растений, сформированных из семян Беломорской популяции, отрицательное воздействие цинка на побегообразование не наблюдалось. Отмеченное уменьшение числа побегов кушения под действием избытка цинка может в дальнейшем стать одной из важных причин снижения семенной продуктивности растений.

Таким образом, наиболее устойчивыми к высоким концентрациям цинка в субстрате оказались растения, выращенные из семян Беломорской популяции *D. cespitosa*, которые в природной среде произрастают в более благоприятных климатических условиях, однако подвергаются наиболее сильному антропогенному воздействию. Растения же, выращенные из семян *D. cespitosa* Лоухской популяции – самой северной, но расположенной на самой экологически чистой территории – оказались гораздо менее устойчивы.

Заключение

Из полученных в ходе исследования результатов следует, что в целом *D. cespitosa* является устойчивым к избытку цинка в субстрате видом многолетних злаков. Растения, полученные из семян *D. cespitosa* из всех трех изученных природных популяций, хорошо приживались в присутствии цинка в концентрациях, в 2–3 раза превышающих ОДК, и успешно росли (по крайней мере, до фазы кушения) в этих условиях. Учитывая эволюционно приобретенную устойчивость *D. cespitosa* к условиям Севера, а также способность данного вида к созданию плотных дернин и его декоративный вид, можно сделать вывод не только о возможности, но и о перспективности его использования для восстановления почв арктической зоны РФ, загрязненных цинком.

Вместе с тем необходимо отметить, что в ходе исследования выявлены определенные различия в устойчивости растений, полученных из семян *D. cespitosa* из разных природных популяций, к избытку цинка в субстрате. Наиболее устойчивым оказалось семенное потомство расте-

ний из Беломорской популяции, которая находится в несколько более мягких климатических условиях, но характеризуется большей антропогенной нагрузкой по сравнению с двумя другими популяциями. Растения же, выращенные из семян *D. cespitosa* Лоухской популяции, расположенной в более суровых климатических условиях, но не испытывающей антропогенной нагрузки, оказались менее устойчивыми к избытку цинка. Отсюда следует, что для восстановления арктических территорий, загрязненных цинком, лучше использовать семена растений, произрастающих в северных районах с повышенным уровнем фоновой техногенной нагрузки, у которых механизмы, обеспечивающие их металлоустойчивость, работают более эффективно.

Литература

1. Крючков В.В., Макарова Т.Д. Аэротехногенное воздействие на экосистемы Кольского Севера. Апатиты, 1989. 125 с.
2. Черненко Т.В. Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение. М., 2002. 191 с.
3. Лянгузова И.В. Тяжелые металлы в северотаежных экосистемах России. Пространственно-временная динамика при аэротехногенном загрязнении. Saarbrücken, Германия, 2016. 264 с.
4. Лукина Н.В., Никонов В.В. Биогеохимические циклы в лесах севера в условиях аэротехногенного загрязнения. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1996.
5. Капелькина Л.П. О естественном зарастании и рекультивации нарушенных земель Севера // Успехи современного естествознания. 2012. № 11-1. С. 98–102.
6. Жиров В.К., Голубева Е.И., Говорова А.Ф., Хаттаев А.Х. Структурно-функциональные изменения растительности в условиях техногенного загрязнения на Крайнем Севере. М., 2007. 166 с.
7. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2015 г. Петрозаводск, 2016. 248 с.
8. Жуйкова Т.В., Мордвинова Е.С., Баймашева А.О., Фриз О.А. Фитоиндикация и промышленный регион // Биота горных территорий: история и современное состояние: Материалы конф. молодых ученых. Екатеринбург, 2002. С. 53–65.
9. Атабаева С.Д. Физиолого-биохимические основы действия тяжелых металлов на растения: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Республика Казахстан. Алматы, 2007. 38 с.
10. Маджугина Ю.Г., Кузнецов В.В., Шевякова Н.И. Растения полигонов захоронения бытовых отходов мегаполисов как перспективные виды для фиторемедиации // Физиология растений. 2008. Т. 55(3). С. 453–463.

11. *Zalewska M.* Response of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) to soil contamination with zinc // *Journal of Elementology*. 2012. Vol. 17. P. 329–343. doi: 10.5601/jelem.2012.17.2.14
12. *Казнина Н.М.* Физиолого-биохимические и молекулярно-генетические механизмы устойчивости растений семейства Poaceae к тяжелым металлам: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. СПб., 2016. 48 с.
13. *Kucharski R., Sas-Nowosielska A., Malkowski E., Japenga J., Kuperberg J.M., Pogrzeba M., Krzyżak J.* The use of indigenous plant species and calcium phosphate for stabilization of highly metal polluted sites in southern Poland // *Plant Soil*. 2005. Vol. 273. P. 291–305. doi: 10.1007/s11104-004-8068-6.
14. *Иванова Е.М., Холодова В.П., Кузнецов В.В.* Биологические эффекты высоких концентраций меди и цинка и характер их взаимодействия в растениях рапса // *Физиология растений*. 2010. Т. 57, № 6. С. 864–873.
15. *Mehes-Smith M., Nkongolo K.K.* Physiological and cytological responses of *Deschampsia cespitosa* and *Populus tremuloides* to soil metal contamination // *Water Air Soil Pollut.* 2015. Vol. 226 (4). P. 125. DOI: 10.1007/s11270-015-2382-x
16. *Информация* о результатах государственного мониторинга земель (аналитическая записка). Беломорский район. Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии, 2018.
17. *Информация* о результатах государственного мониторинга земель (аналитическая записка). Кемский район. Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии, 2018.
18. *Информация* о результатах государственного мониторинга земель (аналитическая записка). Лоухский район. Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии, 2018.
19. *Тарчевский И.А.* Метаболизм растений при стрессе. Казань: Фэн, 2001. 448 с.
20. *Кузнецов В.В.* Физиологические механизмы адаптации и создание стресс-толерантных трансгенных растений // *Проблемы экспериментальной ботаники*. Купревичские чтения VII. Минск: Тэхналогія, 2009. С. 5–78.
21. *Любезнова Н.В.* Динамика развития ювенильных растений на гераниево-копеечниковых лугах альпийского пояса Северо-Западного Кавказа // *Вестник Московского университета*. 2014. Сер. 16. Биология. № 1. С. 47–52.
22. *Титов А.Ф., Таланова В.В., Казнина Н.М., Лайдинен Г.Ф.* Устойчивость растений к тяжелым металлам. Петрозаводск, 2007. 172 с.
23. *Казнина Н.М., Титов А.Ф., Лайдинен Г.Ф., Таланов А.В.* Устойчивость щетинника зеленого к повышенным концентрациям цинка // *Изв. РАН. Серия биол.* 2009. № 6. С. 677–684.
24. *Khudsar T., Mahmooduzzafar, Iqbal M., Sairam R.K.* Zinc-induced changes in morpho-physiological and biochemical parameters in *Artemisia annua* // *Biol. Plant*. 2004. Vol. 48, No. 2. P. 255–260. DOI: 10.1023/B:BIOP.0000033453.24705.f5
25. *Sagardoy R., Morales F., Lopez-Millan A.F., Abadia A., Abadia J.* Effects of zinc toxicity on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) plants grown in hydroponics // *Plant Biology*. 2009. Vol. 11. P. 339–350.
26. *Glińska S., Gapińska M., Michlewska S., Skiba E., Kubicki J.* Analysis of *Triticum aestivum* seedling response to the excess of zinc // *Protoplasma*. 2016. Vol. 253. P. 367–377. DOI 10.1007/s00709-015-0816-3
27. *Казнина Н.М., Титов А.Ф., Лайдинен Г.Ф., Батова Ю.В.* Влияние цинка на некоторые физиологические процессы и показатели у дикорастущих злаков // *Мат-лы между. конф. «Структурные и функциональные отклонения от нормального роста и развития растений под воздействием факторов среды»*. (Петрозаводск, 20–24 июня 2011 г.). Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2011. С. 116–120.
28. *Sumeonidis L.* Tolerance of *Festuca rubra* L. to zinc in relation to mycorrhizal infection // *Biol. Metals*. 1990. Vol. 3. P. 204–207.
29. *Bonnet M., Camares O., Veisseire P.* Effects of zinc and influence of *Acremonium lolii* on growth parameters, chlorophyll a fluorescence and antioxidant enzyme activities of ryegrass (*Lolium perenne* L. cv Apollo) // *J. Exp. Bot.* 2000. Vol. 51, No. 346. P. 945–953.
30. *Jiang X., Wang C.* Zinc distribution and zinc-binding forms in *Phragmites australis* under zinc pollution // *Journal of Plant Physiology*. 2008. Vol. 165. P. 697–704. DOI: 10.1016/j.jplph.2007.05.011
31. *Jiang W., Liu D.* Pb-induced cellular defense system in the root meristematic cells of *Allium sativum* L. // *BMC Plant Biol.* 2010. 10:40. <http://www.biomedcentral.com/1471-2229/10/40>.
32. *Laidinen G.F., Kaznina N.M., Batova Yu.V., Titov A.F.* The resistance of *Phleum pratense* and *Elytrigia repens* to high concentrations of Zinc // *Biology Bulletin*. 2018. Vol. 45, No. 5. P. 454–460.
33. *Бессонова В.П.* Клеточный анализ роста корней *Lathyrus odoratus* L. при действии тяжелых металлов // *Цитология и генетика*. 1991. Т. 25, № 5. С. 18–22.
34. *Иванов В.Б., Быстрова Е.И., Серегин И.В.* Сравнение влияния тяжелых металлов на рост корня в связи с проблемой специфичности и избирательности их действия // *Физиология растений*. 2003. Т. 50, № 3. С. 445–454.
35. *Poschenrieder C., Gunse B., Barcelo J.* Influence of cadmium on water relations, stomatal resistance and abscisic acid content in expanding bean leaves // *Plant Physiol.* 1989. Vol. 90. P. 1365–1371.
36. *Tamas L., Bočová B., Huttová J., Mistrik I., Ollé M.* Cadmium-induced inhibition of apoplastic ascorbate oxidase in barley roots // *J. Plant Growth Regul.* 2006. Vol. 48. P. 41–49.

37. Sharma S.S., Dietz K.J. The relationship between metal toxicity and cellular redox imbalance // Trends Plant Sci. 2009. V. 14. P. 43–50. DOI 10.1016/j.tplants.2008.10.007.

Поступила в редакцию 21.01.2022
Принята к публикации 11.02.2022

Об авторах

КАЗНИНА Наталья Мстиславовна, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Институт биологии, Карельский научный центр Российской академии наук, 185910, Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11, Россия, <https://orcid.org/0000-0003-3092-563X>, Researcher ID A-5917-2014, e-mail: kaznina@krc.karelia.ru;

ЛАЙДИНЕН Галина Федоровна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт биологии, Карельский научный центр Российской академии наук, 185910, Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11, Россия, e-mail: laidinen@krc.karelia.ru;

БАТОВА Юлия Валерьевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт биологии, Карельский научный центр Российской академии наук, 185910, Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11, Россия, <https://orcid.org/0000-0003-3804-8651>, Researcher ID A-5920-2014, e-mail: batova@krc.karelia.ru;

ТИТОВ Александр Федорович, чл.-корр. РАН, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Институт биологии, Карельский научный центр Российской академии наук, 185910, Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-6880-2411>, Researcher ID A-6705-2014, e-mail: titov@krc.karelia.ru

Информация для цитирования

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, Т. 27, № 1. С. 70–79. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2022-27-1-70-79>

DOI 10.31242/2618-9712-2022-27-1-70-79

Resistance of seed progeny of plants from natural populations of *Deschampsia cespitosa* in the Arctic zone to elevated zinc concentrations

N.M. Kaznina*, G.F. Laidinen, Yu.V. Batova, A.F. Titov

Institute of Biology, Karelian Researches Centre of the RAS, Petrozavodsk, Russia

*kaznina@krc.karelia.ru

Abstract. This study investigated the resistance of seed progeny of plants represented by three natural populations of *Deschampsia cespitosa* to high zinc concentrations (110 and 165 mg/kg of sandy substrate) under the conditions of greenhouse experiment. These populations located in different regions of the Republic of Karelia (Belomorsky, Kemsy and Loukhsky), included in the Arctic zone of the Russian Federation. We have given a brief description of the climatic features of these areas and the degree of their contamination with pollutants. We have found that plants grown from the seeds collected in all three populations took root well on a substrate with a zinc excess, but their further growth depended on the seeds place of origin. The seed progeny of plants from the Belomorsky population, the southernmost of those studied, was the most resistant to zinc excess. They grew in the natural environment in more favorable climatic

conditions, but were subjected to the strongest anthropogenic impact for a long period. The plants grown from the seeds of the Loukhsky population, the northernmost and ecologically clean area, turned out to be much less resistant to a zinc excess. We consider that the use of *D. cespitosa* for the restoration of zinc-contaminated territories in the Arctic zone of the Russian Federation is reasonable and promising. Furthermore, we emphasize that the use of seeds of plants growing in the natural conditions in the northern territories with a high level of technogenic load is more favourable.

Keywords: *Deschampsia cespitosa*, populations, zinc excess, survival rate, plant growth.

Acknowledgements. The research was carried out within the framework of the Institute of Biophysics Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences (FMEN-2022-0004).

References

1. Kryuchkov V.V., Makarova T.D. Aerotekhnogennoe vozdeystvie na ekosistemy Kol'skogo Severa. Apatity, 1989. 125 p.
2. Chernen'kova T.V. Reakciya lesnoj rastitel'nosti na promyshlennoe zagryaznenie. M., 2002. 191 p.
3. Lyanguzova I.V. Tyazhelye metally v severotaezhnyh ekosistemah Rossii. Prostranstvenno-vremennaya dinamika pri aerotekhnogenom zagryaznenii. Saarbrucken, Germaniya, 2016. 264 p.
4. Lukina N.V., Nikonov V.V. Biogeoхимические циклы в лесах севера в условиях аэротехногенного загрязнения. Apatity: Izd-vo KNC RAN, 1996.
5. Kapel'kina L.P. O estestvennom zarastanii i regul'tivacii narushennyh zemel' Severa // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2012. No. 11-1 P. 98-102.
6. Zhiron V.K., Golubeva E.I., Govorova A.F., Haitbaev A.H. Strukturno-funkcional'nye izmeneniya rastitel'nosti v usloviyah tekhnogenogo zagryazneniya na Krajnem Severe. M., 2007. 166 p.
7. Gosudarstvennyj doklad o sostoyanii okruzhayushchej sredy Respubliki Kareliya v 2015 g. Petrozavodsk, 2016. 248 p.
8. Zhujkova T.V., Mordvinova E.S., Bajmasheva A.O., Friz O.A. Fitoindikaciya i promyshlennyj region // Biota gornyh territorij: istoriya i sovremennoe sostoyanie: Materialy konf. molodyh uchenyh. Ekaterinburg, 2002. P. 53–65.
9. Atabaeva S.D. Fiziologo-bioхимические основы действия тяжелых металлов на растения: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Республика Казахстан. Алматы, 2007. 38 p.
10. Madzhugina Yu.G., Kuznecov V.I., Shevyakova N.I. Rasteniya poligonov zahoroneniya bytovyh othodov megapolisov kak perspektivnye vidy dlya fitoremediacii // Fiziologiya rastenij. 2008. Vol. 55(3). P. 453–463.
11. Zalewska M. Response of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) to soil contamination with zinc // Journal of Elementology. 2012. Vol. 17. P. 329–343. doi: 10.5601/jelem.2012.17.2.14
12. Kaznina N.M. Fiziologo-bioхимические и молекулярно-генетические механизмы устойчивости растений семейства Poaceae к тяжелым металлам: Автореф. дис. ... doct. биол. наук. 2016. SPb. 48 p.
13. Kucharski R., Sas-Nowosielska A., Malkowski E., Japenga J., Kuperberg J.M., Pogrzeba M., Krzyżak J. The use of indigenous plant species and calcium phosphate for stabilization of highly metal polluted sites in southern Poland // Plant Soil. 2005. Vol. 273. P. 291–305. doi: 10.1007/s11104-004-8068-6.
14. Ivanova E.M., Holodova V.P., Kuznecov V.I. Biologicheskie efekty vysokih koncentracij medi i cinka i harakter ih vzaimodejstviya v rasteniyah rapsa // Fiziologiya rastenij. 2010. Vol. 57, No. 6. P. 864–873.
15. Mehes-Smith M., Nkongolo K.K. Physiological and cytological responses of *Deschampsia cespitosa* and *Populus tremuloides* to soil metal contamination // Water Air Soil Pollut. 2015. Vol. 226 (4). P. 125. DOI: 10.1007/s11270-015-2382-x
16. Informaciya o rezul'tatah gosudarstvennogo monitoringa zemel' (analiticheskaya zapiska). Belomorskij rajon. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj registracii, kadastra i kartografii, 2018.
17. Informaciya o rezul'tatah gosudarstvennogo monitoringa zemel' (analiticheskaya zapiska). Kemskij rajon. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj registracii, kadastra i kartografii, 2018.
18. Informaciya o rezul'tatah gosudarstvennogo monitoringa zemel' (analiticheskaya zapiska). Louhskij rajon. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj registracii, kadastra i kartografii, 2018.
19. Tarchevskij I.A. Metabolizm rastenij pri stresse. Kazan': Fen, 2001. 448 p.
20. Kuznecov V.I. Fiziologicheskie mekhanizmy adaptacii i sozdanie stress-tolerantnyh transgennyh rastenij // Problemy eksperimental'noj botaniki. Kuprevichskie chteniya VII. Minsk: Tekhnologiya, 2009. P. 5–78.
21. Lyubeznova N.V. Dinamika razvitiya yuvenil'nyh rastenij na geranievo-kopeechnikovyh lugah al'pijskogo poyasa Severo-Zapadnogo Kavkaza // Vestnik Moskovskogo universiteta. 2014. Ser. 16. Biologiya. № 1. P. 47–52.
22. Titov A.F., Talanova V.V., Kaznina N.M., Lajdinen G.F. Ustojchivost' rastenij k tyazhelym metallam. Petrozavodsk, 2007. 172 s.
23. Kaznina N.M., Titov A.F., Lajdinen G.F., Talanov A.V. Ustojchivost' shchetinnika zelenogo k povyshennym koncentraciyam cinka // Izv. RAN. Seriya biologicheskaya. 2009. No. 6. P. 677–684.
24. Khudsar T., Mahmooduzzafar, Iqbal M., Sairam R.K. Zinc-induced changes in morpho-physiologi-

- cal and biochemical parameters in *Artemisia annua* // Biol. Plant. 2004. Vol. 48, No. 2. P. 255–260. DOI: 10.1023/B:BIOP.0000033453.24705.f5
25. Sagardoy R., Morales F., Lopez-Millan A.F., Abadia A., Abadia J. Effects of zinc toxicity on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) plants grown in hydroponics // Plant Biology. 2009. Vol. 11. P. 339–350.
26. Glińska S., Gapińska M., Michlewska S., Skiba E., Kubicki J. Analysis of *Triticum aestivum* seedling response to the excess of zinc // Protoplasma. 2016. Vol. 253. P. 367–377. DOI 10.1007/s00709-015-0816-3
27. Kaznina N.M., Titov A.F., Laidinen G.F., Batova Y.V. Vliyaniye cinka na nekotorye fiziologicheskie processy i pokazateli u dikorastushchih zlakov // Mat-ly mezhd. konf. «Strukturnye i funkcional'nye otkloneniya ot normal'nogo rosta i razvitiya rasteniy pod vozdeystviem faktorov sredy». (Petrozavodsk, 20–24 iyunya 2011 g.). Petrozavodsk: Karelskiy nauchnyy centr RAN, 2011. P. 116–120.
28. Sumeonidis L. Tolerance of *Festuca rubra* L. to zinc in relation to mycorrhizal infection // Biol. Metals. 1990. Vol. 3. P. 204–207.
29. Bonnet M., Camares O., Veisseire P. Effects of zinc and influence of *Acremonium lolii* on growth parameters, chlorophyll a fluorescence and antioxidant enzyme activities of ryegrass (*Lolium perenne* L. cv Apollo) // J. Exp. Bot. 2000. Vol. 51, No. 346. P. 945–953.
30. Jiang X., Wang C. Zinc distribution and zinc-binding forms in *Phragmites australis* under zinc pollution // Journal of Plant Physiology. 2008. Vol. 165. P. 697–704. DOI: 10.1016/j.jplph.2007.05.011
31. Jiang W., Liu D. Pb-induced cellular defense system in the root meristematic cells of *Allium sativum* L. // BMC Plant Biol. 2010. 10:40. <http://www.biomedcentral.com/1471-2229/10/40>.
32. Laidinen G.F., Kaznina N.M., Batova Yu.V., Titov A.F. The resistance of *Phleum pratense* and *Elytrigia repens* to high concentrations of Zinc // Biology Bulletin. 2018. Vol. 45, No. 5. P. 454–460.
33. Bessonova V.P. Kletochnyy analiz rosta kornej *Lathyrus odoratus* L. pri deystvii tyazhelykh metallov // Citologiya i genetika. 1991. Vol. 25, No. 5. P. 18–22.
34. Ivanov V.B., Bystrova E.I., Seregin I.V. Sravnenie vliyaniya tyazhelykh metallov na rost kornya v svyazi s problemoj specifichnosti i izbiratel'nosti ih deystviya // Fiziologiya rasteniy. 2003. Vol. 50. No. 3. P. 445–454.
35. Poschenrieder C., Gunse B., Barcelo J. Influence of cadmium on water relations, stomatal resistance and abscisic acid content in expanding bean leaves // Plant Physiol. 1989. Vol. 90. P. 1365–1371.
36. Tamas L., Bočová B., Huttová J., Mistrík I., Ollé M. Cadmium-induced inhibition of apoplastic ascorbate oxidase in barley roots // J. Plant Growth Regul. 2006. Vol. 48. P. 41–49.
37. Sharma S.S., Dietz K.J. The relationship between metal toxicity and cellular redox imbalance // Trends Plant Sci. 2009. V. 14. P. 43–50. DOI 10.1016/j.tplants.2008.10.007.

Submitted 21.01.2022

Accepted 11.02.2022

About the authors

KAZNINA, Natalia Mstislavovna, Dr. Sci. (Biology), leading researcher, Institute of Biology, Karelian Researches Centre of the Russian Academy of the Sciences, 11 Pushkinskaya st., Petrozavodsk 185910, Russia, <https://orcid.org/0000-0003-3092-563X>, Researcher ID A-5917-2014, e-mail: kaznina@krc.karelia.ru;

LAIDINEN, Galina Fedorovna, Cand. Sci. (Biology), chief researcher, Institute of Biology, Karelian Researches Centre of the Russian Academy of the Sciences, 11 Pushkinskaya st., Petrozavodsk 185910, Russia, e-mail: laidinen@krc.karelia.ru;

BATOVA, Yulia Valerievna, Cand. Sci. (Biology), chief researcher, Institute of Biology, Karelian Researches Centre of the Russian Academy of the Sciences, 11 Pushkinskaya st., Petrozavodsk 185910, Russia, <https://orcid.org/0000-0003-3804-8651>, Researcher ID A-5920-2014. e-mail: batova@krc.karelia.ru;

TITOV, Alexander Fedorovich, corresponding member of RAS, Dr. Sci. (Biology), chief researcher, Institute of Biology, Karelian Researches Centre of the Russian Academy of the Sciences, 11 Pushkinskaya st., Petrozavodsk 185910, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-6880-2411>, Researcher ID A-6705-2014, e-mail: titov@krc.karelia.ru

Citation

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, Vol. 27, No. 1. P. 70–79. (In Russ.) <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2022-27-1-70-79>