

УДК 633.268 (470.11)

СОСТОЯНИЕ ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ *ALOPECURUS ARUNDINACEUS* POIR. НА ТЕРРИТОРИИ ОСТРОВА БОЛЬШОЙ СОЛОВЕЦКИЙ (АРХАНГЕЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ) ПРИ РАЗНОЙ СТЕПЕНИ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

Н. М. Казнина*, К. Б. Таскина, А. А. Игнатенко

Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН»
(ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910),
*kaznina@krc.karelia.ru

Антропогенная нагрузка на Большой Соловецкий остров постоянно увеличивается, что связано с активной хозяйственной деятельностью, ведущейся на острове, и заметным повышением за последние десять лет количества туристов. Это отрицательно сказывается на растительном покрове территории, приводя к изменению или нарушению ценопопуляций отдельных видов и целых растительных сообществ. Негативное антропогенное воздействие на растительность усугубляют неблагоприятные природные условия, в том числе низкие температуры и короткий вегетационный сезон. Тщательное изучение состояния отдельных видов растений, произрастающих на острове, и их ценопопуляций, позволит не только определить степень антропогенного воздействия на растительность, но и оценить опасность ее дальнейшего повышения. В рамках настоящего исследования изучено состояние одного из доминирующих на приморских лугах видов растений – лисохвоста тростникового (*Alopecurus arundinaceus* Poir.) на участках с разной степенью антропогенной нагрузки. Оценку состояния растений выполняли на основании ряда показателей роста генеративного побега. Для оценки жизненности ценопопуляций использовали индекс виталитета (IVC). Уровень внутривокупационной изменчивости признаков оценивали по величине коэффициента вариации. Обнаружено, что на участке с сильным антропогенным загрязнением растения имеют признаки угнетенного состояния, в частности, у них отмечены меньшие, чем на условно чистом участке, высота побега и его биомасса, размеры подфлагового и флагового листьев, а также длина соцветия, что отрицательно сказывается на продуктивности и возобновляемости данной ценопопуляции, а малое значение индекса IVC свидетельствует о ее низкой жизненности. На участке со средним уровнем загрязнения состояние растений можно оценить как удовлетворительное. Изучаемые морфологические признаки у них практически не отличались от имеющихся у растений на условно чистом участке, но, судя по величине индекса IVC и низким значениям вариабельности морфологических признаков, можно предположить, что в случае усиления антропогенной нагрузки состояние данной ценопопуляции будет ухудшаться.

Ключевые слова: *Alopecurus arundinaceus*; Соловецкий архипелаг; антропогенное загрязнение; морфологические показатели побега; жизненность ценопопуляции

Для цитирования: Казнина Н. М., Таскина К. Б., Игнатенко А. А. Состояние ценопопуляций *Alopecurus arundinaceus* Poir. на территории острова Большой Соловецкий (Архангельская область) при разной степени антропогенной нагрузки // Труды Карельского научного центра РАН. 2025. № 8. С. 127–136. doi: 10.17076/eco2202

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (FMEN-2024-0016).

N. M. Kaznina*, K. B. Taskina, A. A. Ignatenko. VITALITY OF ALOPECURUS ARUNDINACEUS POIR. CENOPOPULATIONS ON BOLSHOY SOLOVETSKY ISLAND (ARKHANGELSK REGION) UNDER VARIOUS LEVELS OF ANTHROPOGENIC PRESSURE

*Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences (11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia), *kaznina@krc.karelia.ru*

Human impact on Bolshoy Solovetsky Island of the Solovetsky Archipelago is constantly growing due to long-term economic activity on the island and a rising tourist traffic. This impact results in noticeable damage to the vegetation in some areas, which is aggravated by unfavorable natural conditions, including low temperatures and a short growing season. Hence, thorough study of the state of individual plant species and their populations in specific habitats on the island will help determine the severity of anthropogenic impact on vegetation and assess the risk of its further intensification. In this study, we explored the well-being of one of the dominant plant species in coastal meadows – the creeping foxtail (*Alopecurus arundinaceus* Poir.), in areas under varying degrees of anthropogenic pressure. The assessment was based on a number of parameters of generative shoot growth. The vitality index (IVC) was applied for the cenopopulations. The intrapopulation variability of traits was estimated by the coefficient of variation. Plants in the heavily polluted area exhibited signs of stunted growth. In particular, they had lower shoot height and biomass, smaller subflag and flag leaves, as well as shorter inflorescences than plants in relatively clean site. Thus, the productivity and sustainability of this cenopopulation was affected, and the low value of the IVC index indicated its low vitality. The well-being of plants in the site with medium-level pollution can be evaluated as satisfactory: the morphological attributes were nearly the same as in plants of the relatively clean site. Yet, the value of the IVC index and the low coefficient of variation of morphological traits suggest that if the impact grows heavier, the well-being of this cenopopulation will be degraded.

Keywords: *Alopecurus arundinaceus*; Solovetsky Archipelago; anthropogenic pollution; morphological parameters of the shoot; vitality of the cenopopulation

For citation: Kaznina N. M., Taskina K. B., Ignatenko A. A. Vitality of *Alopecurus arundinaceus* Poir. cenopopulations on Bolshoy Solovetsky Island (Arkhangelsk Region) under various levels of anthropogenic pressure. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2025. No. 8. P. 127–136. doi: 10.17076/eco2202

Funding. The study was funded from the Russian federal budget through state assignment to KarRC RAS (FMEN-2024-0016).

Введение

Одной из важнейших экологических проблем современности является загрязнение окружающей среды различными поллютантами, связанное с активной хозяйственной деятельностью человека. Большое количество

разных источников антропогенных выбросов и многообразие видов отходов отрицательно сказываются на состоянии естественных биоценозов [Лянгузова, 2016]. Растения в силу прикрепленного образа жизни в значительной степени подвержены антропогенному воздействию. Даже относительно небольшое

увеличение содержания некоторых поллютантов в почве, воде и воздухе вызывает у растений целый ряд изменений в физиологических процессах, приводя к снижению их продуктивности и, как следствие, нарушению или даже полной деградации растительных сообществ [Parazian, Blande, 2020]. Экосистемы Севера очень чувствительны к возрастанию антропогенного прессинга. Почвенно-климатические особенности (низкие температуры, небогатые по минеральному составу почвы и др.), а также медленное восстановление биоты делают северные регионы уязвимыми к любого рода загрязнениям [Богданович и др., 2014; Федорец, Бахмет, 2016; Lyanguzova et al., 2018]. Постоянный мониторинг флоры и оценка жизненного состояния отдельных видов растений и их ценопопуляций на территориях с высоким уровнем антропогенной нагрузки позволяют своевременно выявлять опасность деградации растительного покрова.

Соловецкий архипелаг – крупнейшая островная территория в акватории Белого моря. Острова Соловецкого архипелага не подвергались промышленному воздействию, однако на протяжении многих лет здесь ведется хозяйственная деятельность человека [Струсовская, 2012]. Кроме того, Соловецкие острова, и прежде всего остров Большой Соловецкий, являются популярной туристической зоной. Туристическая нагрузка на территорию архипелага постоянно возрастает, и если в 2000 году количество посетителей составило 10 тыс. человек, то в 2024 году, по данным информационного агентства «Регион 29», – 64 170 человек [На Соловках..., 2025]. Наибольшему антропогенному воздействию подвержены морская акватория и природные ландшафты вблизи поселка Соловецкий и вдоль популярных туристических маршрутов [Полинкина, 2007]. Среди основных источников антропогенного загрязнения острова – сточные воды, свалки бытовых отходов, дизельная электростанция, автомобильный и морской транспорт. В результате его территория загрязнена органическими отходами, нефтепродуктами, тяжелыми металлами. Так, на некоторых участках острова обнаружено значительное увеличение в почве и растениях содержания таких тяжелых металлов, как Pb, Zn и Cu, превышение ПДК и фоновых значений по которым достигает критических величин [Попова и др., 2016]. Помимо этого, погодные условия острова отрицательно сказываются на восстановлении растительных сообществ. Климат Соловецкого архипелага характеризуется продолжительным холодным периодом

и коротким летом. Вегетационный сезон (с температурой выше 5 °C), в течение которого создаются условия для роста и развития растений, составляет всего 128 дней [Болотов и др., 2007]. При этом в течение вегетации преобладают холодные ветра северо-восточного направления. Отметим также охлаждающее воздействие Белого моря в результате поднятия придонных холодных вод [Океанографические..., 1991].

Среди растительных сообществ острова Большой Соловецкий определенный интерес представляют разнотравно-злаковые так называемые приморские луга. Они находятся вдоль приливно-отливной зоны и на некоторых участках острова подвергаются антропогенному воздействию. Это, в частности, выбросы сточных вод, бытовые отходы, выбросы от работы водного и автомобильного транспорта и др. Высоким обилием здесь характеризуются *Festuca ovina* L., *F. arenaria* Osbeck, *Elytrigia repens* (L.) Nevski и *A. arundinaceus* Poir. [Болотова и др., 2007]. На сегодняшний день состояние ценопопуляций этих видов на территории острова не изучено, вместе с тем такого рода исследования позволят определить степень антропогенной нагрузки на наиболее посещаемые туристами участки острова и опасность дальнейшего ее повышения.

Целью исследований явилось изучение жизненного состояния растений и ценопопуляций *Alopecurus arundinaceus* острова Большой Соловецкий на участках с разной степенью антропогенной нагрузки.

Материалы и методы

Исследования проведены на территории острова Большой Соловецкий в июне 2025 года. На острове были заложены три пробные площади (ПП) по 300 м² с разной степенью антропогенной нагрузки (рис. 1): ПП 1 (N65°00'726", E35°42'559") – условно чистый участок, находящийся вдали от хозяйственной деятельности и туристических потоков; ПП 2 (N65°01'449", E35°41'885") – участок со средней степенью антропогенного загрязнения, расположенный в активной туристической зоне; ПП 3 (N65°01'401", E35°42'263") – участок с сильной степенью антропогенного загрязнения вследствие выбросов сточных вод и повышенного содержания в почве Pb, Zn и Cu [Попова и др., 2016].

На каждой пробной площади выделяли три учетные площадки размером 1×1 м в зоне приморских лугов, где доминирующим видом был лисохвост тростниковый (*Alopecurus*



Рис. 1. Схематическая карта района исследований и места отбора проб:

1, 2 и 3 – месторасположение пробных площадей (ПП). Здесь и далее: ПП 1 – условно чистый участок, ПП 2 – участок со средним уровнем антропогенной нагрузки, ПП 3 – участок с высоким уровнем антропогенной нагрузки

Fig. 1. Schematic map of the research area and sampling sites:

1, 2 and 3 – location of the sampling sites (PP). PP 1 is a relatively clean site, PP 2 is a site with an average level of anthropogenic load, PP 3 is a site with a high level of anthropogenic load

arundinaceus) – евразийский бореальный вид, который является гемикриптофитом, гигроме-зофитом, галофитом. Это многолетнее травяни-стое рыхлодерновинное растение с ползучими побегами и серовато- или сизовато-зелены-ми листьями. Для него характерно семенное и вегетативное размножение. Произрастает на пойменных, приозерных, засоленных, солонцеватых лугах, по берегам рек и водоемов [Федорова, 2019].

Оценку состояния растений выполняли на основании следующих показателей роста генера-тивного побега: высота и биомасса, размеры листовой пластинки подфлагового и флагового листьев, длина и ширина соцветия. Площадь листовой пластинки вычисляли по формуле $S = 2/3ld$, где l – длина (см), d – ширина листо-вой пластинки (см) [Аникиев, Кутузов, 1961].

Для оценки жизненности ценопопуляций *A. arundinaceus* использовали популяционный индекс – индекс виталитета ценопопуляций (IVC), рассчитываемый по размерным спектрам составляющих ценопопуляции особей генера-тивного состояния. Индекс рассчитывали по формуле:

$$IVC = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{X_i}{\bar{X}_i}}{N},$$

где X_i – среднее значение i -го признака в цено-популяции, \bar{X}_i – среднее значение i -го призна-ка для всех ценопопуляций, N – число призна-ков.

Наибольшее значение индекса соответству-ет лучшим условиям реализации ростовых по-тенций, наименьшее – худшим условиям [Иш-бирдин, Ишмуратова, 2004; Федорова, 2019].

Уровень внутривидовой изменчивости признаков оценивали по величине коэффициента вариации (V , %). Объем выборки в пределах одной учетной площадки составлял 8 растений.

На рисунках и в таблице 1 данные представлены как средние значения \pm стандартные отклонения. Для оценки типа распределения данных использовали W-тест Шапиро – Уилка (Shapiro–Wilk’s W -test), однородность групповых дисперсий оценивали с помощью теста Левена (Levene’s test). При нормальном распределении данных и однородности дисперсий статистическую значимость различий между средними величинами оценивали с помощью однофакторного дисперсионного анализа (One-Way ANOVA test) с последующим попарным сравнением средних с использованием критерия Тьюки (Tukey’s HSD test, $p < 0,05$). При нормальном распределении данных и неоднородности дисперсий статистическую значимость различий между средними величинами оценивали с помощью t -критерия Уэлча с поправкой Холма (Welch’s t -test with Holm’s adjustment, $p < 0,05$). Разными латинскими буквами отмечены статистически значимые отличия средних значений.

Результаты и обсуждение

Известно, что об уровне антропогенной нагрузки на урбанизированные территории можно

судить по состоянию произрастающей там растительности и/или отдельных видов растений, которое оценивается по изменению их морфологических признаков, появлению различных деформаций органов, хлорозов и некрозов листьев, снижению продуктивности. На основе этих изменений создан биоиндикационный метод изучения степени антропогенного влияния на природную среду [Биоиндикация..., 1988]. Как правило, у травянистых растений при увеличении степени загрязнения территорий поллютантами отмечается торможение роста и снижение продуктивности. Так, указанные эффекты наблюдали у *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. [Pietrini et al., 2003], *Matricaria chamomilla* L. [Прокопьев и др., 2014] и *Taraxacum officinale* Wigg. s.1 [Жуйкова, 2009]. В наших исследованиях у *A. arundinaceus* на участке со средним (ПП 2) и сильным (ПП 3) уровнем антропогенной нагрузки также уменьшалась высота побега (в 1,1 и 1,5 раза соответственно по сравнению с условно чистой территорией) (рис. 2, а) и его биомасса (соответственно в 1,9 и 2 раза) (рис. 2, б).

Большой вклад в формирование продуктивности растений вносят листья, что связано с их основной фотосинтезирующей функцией. У многолетних злаков важными являются подфлаговый и флаговый лист как основные «поставщики» ассимилятов для формирования колоса и семян [Куперман, 1984; Табаленкова, 2007].

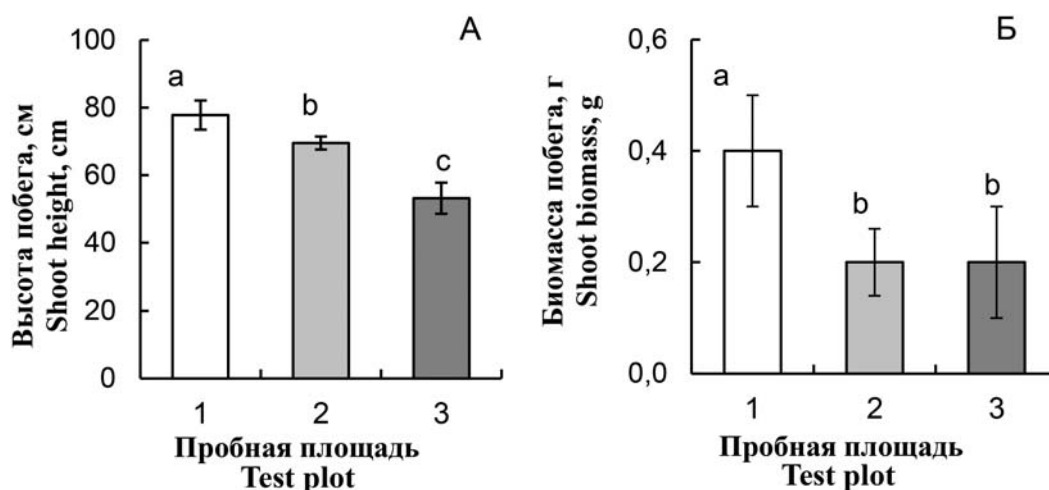


Рис. 2. Высота побега (А) и его биомасса (Б) у *Alopecurus arundinaceus* при разном уровне антропогенной нагрузки.

Здесь, в табл. 1 и на рис. 3 разными латинскими буквами отмечены статистически значимые отличия между средними значениями при $p < 0,05$

Fig. 2. The height of the shoot (А) and its biomass (Б) in *Alopecurus arundinaceus* at different levels of anthropogenic load.

Here, in Table 1 and Fig. 3 statistically significant differences between the mean values are marked with different Latin letters at $p < 0.05$

Изучение морфологических показателей подфлагового и флагового листьев у растений *A. arundinaceus*, произрастающих на разных по степени антропогенной нагрузки территориях, показало, что их длина, ширина и площадь уменьшались по мере увеличения степени загрязнения участка, однако значимые различия отмечались только между условно чистой (ПП1) и наиболее антропогенно загрязненной (ПП3) площадками (табл. 1). В частности, длина подфлагового листа у растений на ПП3 была в 1,5 раза меньше, чем на ПП1, ширина – в 1,6 раза; у флагового листа – в 1,4 и 1,8 раза соответственно. Площадь обоих листьев оказалась в 2,5 раза меньше на ПП3 по сравнению с ПП1.

Уменьшение размеров листовой пластинки в условиях антропогенного загрязнения отмечалось в целом ряде исследований [Wuytack et al., 2011; Казнина и др., 2015; Mehmood et al., 2024]. Подобный эффект может быть связан с отрицательным воздействием некоторых поллютантов, в частности тяжелых металлов, на деление и растяжение клеток, с недостаточным поступлением элементов минерального питания и воды вследствие уменьшения размеров корневой системы и/или нарушения поглощения и транспорта ионов [Burzynski, Klobus, 2004].

О влиянии антропогенного загрязнения на репродуктивные органы многолетних злаков

Таблица 1. Размеры подфлагового и флагового листьев у *Alopecurus arundinaceus* при разном уровне антропогенной нагрузки

Table 1. The sizes of the subflag and flag leaves in *Alopecurus arundinaceus* at different levels of anthropogenic load

Показатель Parameter	Пробная площадь Test plot		
	1	2	3
Подфлаговый лист Subflag leaf			
Длина листа, см Leaf length, cm	18,9 ± 5,2 ^a	15,0 ± 4,3 ^{ab}	12,2 ± 1,8 ^b
Ширина листа, см Leaf width, cm	1,6 ± 0,3 ^a	1,4 ± 0,1 ^a	1,0 ± 0,1 ^b
Площадь листа, см ² Leaf area, sm ²	20,9 ± 8,7 ^a	13,9 ± 4,2 ^a	8,4 ± 2,0 ^b
Флаговый лист Flag leaf			
Длина листа, см Leaf length, cm	12,5 ± 4,1 ^a	9,6 ± 2,4 ^a	9,0 ± 2,6 ^a
Ширина листа, см Leaf width, cm	1,4 ± 0,3 ^a	1,0 ± 0,1 ^{ab}	0,8 ± 0,1 ^b
Площадь листа, см ² Leaf area, sm ²	11,9 ± 7,6 ^a	6,7 ± 2,6 ^b	4,8 ± 2,1 ^b

сведений в литературе крайне мало. Вместе с тем известно, что у этих видов размеры соцветия являются наиболее стабильными в неблагоприятных условиях внешней среды признаками [Калинина, Лайдинен, 1997]. Ранее нами обнаружено, что, например, у *Dactylis glomerata* L. на загрязненных тяжелыми металлами территориях длина соцветия оставалась практически такой же, как и на чистых участках [Казнина и др., 2015], тогда как у *Phleum pratense* L. она заметно уменьшалась с увеличением уровня загрязнения [Казнина и др., 2009]. В ходе проведения настоящего исследования установлено, что на участке со средним уровнем антропогенного воздействия (ПП 2) длина соцветия практически не отличалась от таковой у растений условно чистой территории (ПП 1), тогда как на наиболее загрязненном участке (ПП 3) она оказалась почти в 2 раза меньше (рис. 3, а). Ширина соцветия была несколько выше у растений с ПП 2 (рис. 3, б). Уменьшение размеров соцветия, наблюдаемое в большей степени на сильно загрязненном участке, в дальнейшем негативно отразится на семенной продуктивности растений.

Помимо оценки состояния отдельных особей, растущих на антропогенно нарушенных территориях, важно определить жизненность и устойчивость к этим условиям всей ценопопуляции вида. Жизненность ценопопуляции (жизненное состояние) – это приспособленность данного вида растений к окружающей обстановке. Она показывает, является ли обстановка для вида благоприятной или нет [Фардеева, Гиниятуллина, 2012]. Определение жизненного состояния позволяет сравнивать ценопопуляции вида в разных условиях произрастания [Изучение..., 2016]. Для этого применяют методы градиентного анализа, к которым относится расчет индекса виталитета ценопопуляций (IVC). Например, сравнение значений IVC двух ценопопуляций степного злака *Psathyrostachys caespitosa* (Sukacz.) Peschkova показало существенные различия их виталитетных состояний, что определялось разными условиями произрастания (разным мезорельефом склонов), а также различной степенью антропогенного воздействия [Кардашевская, Егорова, 2024].

В проведенном исследовании жизненность оценивали по индексу виталитета ценопопуляций *A. arundinaceus*, который рассчитывали на основе всех изученных морфометрических показателей генеративного побега. Наибольшее значение IVC (1.38) выявлено у ценопопуляции, произрастающей на условно чистом участке (ПП 1), что свидетельствует о благоприятных условиях для роста и развития растений

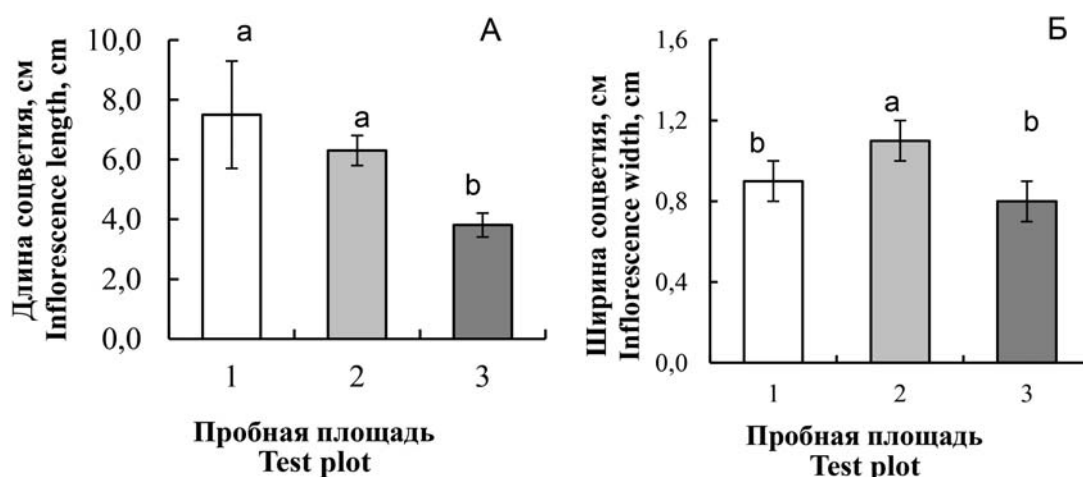


Рис. 3. Длина (А) и ширина (Б) соцветия у *Alopecurus arundinaceus* при разном уровне антропогенной нагрузки

Fig. 3. The length (A) and width (Б) of inflorescences in *Alopecurus arundinaceus* at different levels of anthropogenic load

(табл. 2). Ценопопуляция на участке со средним уровнем антропогенной нагрузки (ПП 2) характеризовалась средним уровнем жизнеспособности (IVC = 0,98). Тогда как пробная площадь с сильной антропогенной нагрузкой (ПП 3) имела выраженные неблагоприятные условия для роста ценопопуляции *A. arundinaceus*, на что указывает низкое значение IVC (0,68).

Об устойчивости популяций к действию тех или иных неблагоприятных факторов среды можно также судить по характеру и величине изменений коэффициента вариации отдельных показателей [Давыдова, Моченят, 1991]. Предполагается, что увеличение гетерогенности признаков у растений создает основу для формирования устойчивых к неблагоприятным факторам среды популяций за счет естественного отбора наиболее устойчивых генотипов. Повышение уровня внутривидовой изменчивости морфологических признаков при антропогенном загрязнении почвы обнаружено, в частности, у *Agrostis tenuis* L. [Karataglis, 1980], *Deschampsia cespitosa* (L.) Beauv. [Cox, Hutchinson, 1981] и *P. pratense* [Лайдинен и др., 2021]. Проведенный нами анализ изменчивости морфологических признаков генеративного побега *A. arundinaceus* показал, что с увеличением степени антропогенной нагрузки возрастает вариабельность высоты генеративного побега, его биомассы, а также ширины соцветия, указывая на усиление изменчивости растений по данным признакам, что способствует выживанию вида в неблагоприятных условиях среды. Вариабельность таких признаков, как площадь листьев и длина соцветия, оказалась выше на относительно чистой территории (ПП 1).

Таблица 2. Вариабельность морфологических признаков (V, %) генеративного побега *Alopecurus arundinaceus* при разном уровне антропогенной нагрузки

Table 2. Variability of morphological parameters (V, %) of the generative shoot of *Alopecurus arundinaceus* at different levels of anthropogenic load

Показатель Parameter	Пробная площадь Test plot		
	1	2	3
Высота побега Shoot height	5,53	2,69	8,65
Биомасса побега Shoot biomass	25,29	23,83	35,50
Площадь подфлагового листа Subflag leaf area	41,61	30,53	24,14
Площадь флагового листа Flag leaf area	63,34	38,17	44,07
Длина соцветия Inflorescence length	24,43	8,09	9,62
Ширина соцветия Inflorescence width	7,64	9,63	13,86

Закключение

В ходе исследования получены новые сведения о состоянии отдельных особей и ценопопуляций *A. arundinaceus*, произрастающих на разных по степени антропогенной нагрузки участках Большого Соловецкого острова. Обнаружено, что на территории со средним уровнем загрязнения состояние растений, оцениваемое по ряду морфологических признаков главного генеративного побега, можно оценить как удовлетворительное. Изучаемые морфологические показатели у них практически не отличались от показателей растений условно чистого участка.

Вместе с тем, судя по величине индекса IVC, а также низким значениям вариабельности морфологических признаков, можно предположить, что в случае усиления антропогенной нагрузки состояние данной ценопопуляции будет ухудшаться. На участке с сильным антропогенным загрязнением растения имеют признаки угнетенного состояния: у них гораздо меньшая, чем на условно чистой территории, высота побега и его биомасса, размеры подфлагового и флагового листьев, а также длина соцветия, что негативно влияет на продуктивность и возобновляемость данной ценопопуляции. Кроме того, малое значение индекса IVC свидетельствует о низкой ее жизненности. Увеличение же вариабельности ряда морфологических признаков генеративного побега, очевидно, направлено на выживание ценопопуляции *A. arundinaceus* в этих условиях.

Литература

- Аникиев В. В., Кутузов Ф. Ф. Новый способ определения площади листовой поверхности у злаков // Физиология растений. 1961. Т. 8, № 3. С. 375–377.
- Биоиндикация загрязнений наземных экосистем / Ред. Р. Шуберт. М.: Мир, 1988. 348 с.
- Богданович Н. И. Экология северных территорий. Архангельск: САФУ, 2014. 312 с.
- Болотов И. Н., Водовозова Т. Е., Грищенко И. В. Климат и микроклимат // Природная среда Соловецкого архипелага в условиях меняющегося климата / Ред. Ю. Г. Шварцман, И. Н. Болотов. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. С. 31–43.
- Болотова Г. Н., Болотов И. Н., Чуракова Е. Ю. Почвенно-растительный покров // Природная среда Соловецкого архипелага в условиях меняющегося климата / Ред. Ю. Г. Шварцман, И. Н. Болотов. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. С. 44–53.
- Давыдова В. Н., Моченят К. И. Внутрипопуляционные особенности минерального состава *Phlomis tuberosa* при градиенте свинца в среде // Устойчивость к тяжелым металлам дикорастущих видов / Ред. Н. В. Алексеева-Попова. Л.: БИН, 1991. С. 118–128.
- Жуйкова Т. В. Реакция ценопопуляций и травянистых сообществ на химическое загрязнение среды: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Екатеринбург, 2009. 27 с.
- Изучение популяций растений на промышленных отвалах: учеб. пособие / Ред. Т. А. Радченко. Екатеринбург: УрФУ, 2016. 228 с.
- Ишбирдин А. Р., Ишмуратова М. М. Адаптивный морфогенез и эколого-ценотические стратегии выживания травянистых растений // Методы популяционной биологии: Материалы VII Всерос. популяционного семинара. Ч. 2 (Сыктывкар, 16–21 февр. 2004 г.). Сыктывкар, 2004. С. 113–120.
- Казнина Н. М., Титов А. Ф., Батова Ю. В., Доршакова Н. В., Карапетян Т. А. Оценка степени техногенного загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами по состоянию растительности // Труды Карельского научного центра РАН. 2015. № 2. С. 89–94. doi: 10.17076/eco26
- Казнина Н. М., Титов А. Ф., Лайдинен Г. Ф., Батова Ю. В. Влияние промышленного загрязнения почвы тяжелыми металлами на морфологические признаки растений *Phleum pratense* L. // Труды Карельского научного центра РАН. 2009. № 3. С. 50–55.
- Калинина С. И., Лайдинен Г. Ф. Морфологические изменения природных популяций *Alopecurus pratensis* (Poaceae) при интродукции // Ботанический журнал. 1997. Т. 82, № 10. С. 38–48.
- Кардашевская В. Е., Егорова Н. Н. Мониторинг виталитетного состояния ценопопуляций *Agrostis diluta* Kurcz. и *Psathyrostachys caespitosa* (Sukaczew) Peschkova в Центральной Якутии // Вестник СВФУ. 2024. Т. 21, № 3. С. 18–28. doi: 10.25587/2222-5404-2024-21-3-18-28
- Куперман Ф. М. Морфофизиология растений. М.: Высшая школа, 1984. 240 с.
- 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. Т. 57, вып. 4. С. 359–369. doi: 10.31857/S0033994621040063
- Лянгузова И. В. Тяжелые металлы в северотаежных экосистемах России. Saarbrücken: Lap Lambert Academic Publ., 2016. 269 с.
- На Соловках подвели итоги туристического сезона // Информационное агентство «Регион 29» [Электронный ресурс]. URL: <https://region29.ru/2024/11/30/674adfd4b628d44fb309ed82.html> (дата обращения: 14.07.2025).
- Океанографические условия и биологическая продуктивность Белого моря: Аннотированный атлас. Мурманск: ПИНРО, 1991. 115 с.
- Полинкина Л. Н. Рекреационный потенциал территории // Природная среда Соловецкого архипелага в условиях меняющегося климата / Ред. Ю. Г. Шварцман, И. Н. Болотов. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. С. 158–161.
- Попова Л. Ф., Андреева Ю. И., Никитина М. В. Оценка уровня загрязнения почвенно-растительного покрова острова Большой Соловецкий тяжелыми металлами // Принципы экологии. 2016. № 2. С. 62–69. doi: 10.15393/j1.art.2016.5002
- Прокопьев И. А., Филиппова Г. В., Шеин А. А., Габышев Д. В. Влияние городского техногенного загрязнения на морфологические, биохимические характеристики и семенную продуктивность ромашки аптечной // Экология. 2014. № 1. С. 22–29. doi: 10.7868/S0367059713060097
- Струсовская О. Г. Оценка ресурсов листьев *Vaccinium vitis-idaea* (Ericaceae) на островах Соловецкого архипелага // Растительные ресурсы. 2012. Вып. 2. С. 207–211.
- Табаленкова Г. Н. Продуктивность сельскохозяйственных культур в подзоне средней тайги Европейского Северо-Востока России: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2007. 38 с.
- Фардеева М. Б., Гиниятуллина Л. Я. Жизненность и состояние ценопопуляций *Corydalis solida* (L.)

Clairv. в зоне хвойно-широколиственных лесов // Ученые записки Казанского университета. 2012. Т. 154, кн. 1. С. 165–176.

Федорец Н. Г., Бахмет О. Н. Особенности формирования почв и почвенного покрова Карело-Кольского региона // Труды Карельского научного центра РАН. 2016. № 12. С. 39–51. doi: 10.17076/eco358

Федорова А. И. Влияние минерального питания на жизненное состояние некоторых доминирующих видов многолетних злаков // Известия Самарского научного центра РАН. 2019. Т. 21, № 2(2). С. 159–164.

Burzyński M., Kłobus G. Changes of photosynthetic parameters in cucumber leaves under Cu, Cd and Pb stress // Photosynthetica. 2004. Vol. 42, no. 4. P. 505–510. doi: 10.1007/S11099-005-0005-2

Cox R. M., Hutchinson T. C. Multiple and co-tolerance to metals in the grass *Deschampsia caespitosa*: adaptation, preadaptation and “cost” // J. Plant Nutr. 1981. Vol. 3, no. 1. P. 731–741. doi: 10.1080/01904168109362875

Karataglis S. S. Differential tolerance of *Agrostis tenuis* populations growing at two mine soils to Cu, Zn, Pb // Phytol. 1980. Vol. 20, no. 1–2. P. 15–22.

Lyanguzova I., Yarmishko V., Gorshkov V., Stavrova N., Bakka I. Impact of heavy metals on forest ecosystems of the European north of Russia // Heavy Metals / Eds. Saleh H. M., Aglan R. F. 2018. P. 91–114. doi: 10.5772/intechopen.73323

Mehmood Z., Yang H.-H., Awan M. U. F., Ahmed U., Hasnain A., Luqman M., Muhammad S., Sardar A. A., Chan T.-Y., Sharjeel A. Effects of air pollution on morphological, biochemical, DNA, and tolerance ability of roadside plant species // Sustainability. 2024. Vol. 16. Art. 3427. doi: 10.3390/su16083427

Papazian S., Blande J. D. Dynamics of plant responses to combinations of air pollutants // Plant Biol. (Stuttg). 2020. Suppl 1. P. 68–83. doi: 10.1111/plb.12953

Pietrini F., Iannelli M. A., Pasqualini S., Massacci A. Interaction of cadmium with glutathione and photosynthesis in developing leaves and chloroplasts of *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel // Plant Physiol. 2003. Vol. 133, no. 2. P. 829–937. doi: 10.1104/pp.103.026518

Wuytack T., Wuyts K., Van Dongen S., Baeten L., Kardel F., Verheyen K., Samson R. The effect of air pollution and other environmental stressors on leaf fluctuating asymmetry and specific leaf area of *Salix alba* L. // Environ. Pollut. 2011. Vol. 159(10). P. 2405–2411. doi: 10.1016/j.envpol.2011.06.037

References

Anikiev V. V., Kutuzov F. F. A new method for determining the leaf surface area of cereals. *Fiziologiya rastenii* = Russ. J. Plant Physiol. 1961;8(3):375–377. (In Russ.)

Bogdanovich N. I. Ecology of the Northern territories. Arkhangelsk: SAFU; 2014. 312 p. (In Russ.)

Bolotov I. N., Vodovozova T. E., Grishchenko I. V. Climate and microclimate. *Prirodnaya sreda Solovetskogo arhipelaga v usloviyakh menyayushchegosya klimata* = The natural environment of the Solovetsky Archipelago in a changing climate. Ekaterinburg: UrO RAN; 2007. P. 31–43. (In Russ.)

Bolotova G. N., Bolotov I. N., Churakova E. Y. Soil and vegetation cover. *Prirodnaya sreda Solovetskogo arhipelaga v usloviyakh menyayushchegosya klimata* = The natural environment of the Solovetsky Archipelago in a changing climate. Ekaterinburg: UrO RAN; 2007. P. 44–53. (In Russ.)

Burzyński M., Kłobus G. Changes of photosynthetic parameters in cucumber leaves under Cu, Cd and Pb stress. *Photosynthetica*. 2004;42(4):505–510. doi: 10.1007/S11099-005-0005-2

Cox R. M., Hutchinson T. C. Multiple and co-tolerance to metals in the grass *Deschampsia caespitosa*: adaptation, preadaptation and “cost”. *J. Plant Nutr.* 1981;3(1):731–741. doi: 10.1080/01904168109362875

Davydova V. N., Mochenyat K. I. Intrapopulation features of the mineral composition of *Phlomis tuberosa* at a lead gradient in the medium. *Ustoichivost' k tyazhelym metallam dikorastushchikh vidov* = Resistance to heavy metals of wild species. Leningrad: BIN; 1991. P. 118–128. (In Russ.)

Fardeeva M. B., Giniyatullina L. Ya. Vitality and condition of cenopopulations of *Corydalis solida* (L.) Clairv. in the zone of coniferous and broad-leaved forests. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta* = Proceedings of Kazan University. 2012;154(1):165–176. (In Russ.)

Fedorets N. G., Bakhmet O. N. Peculiarities of soil and soil cover formation in the Karelia-Kola region. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN* = Transactions of the Karelian Research Centre RAS. 2016;12:39–51. (In Russ.). doi: 10.17076/eco358

Fedorova A. I. The influence of mineral nutrition on the vital condition of some dominant species of perennial cereals. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk* = Proceedings of the Samara Scientific Center RAS. 2019;21(2):159–164. (In Russ.)

Ishbirdin A. R., Ishmuratova M. M. Adaptive morphogenesis and ecological-cenotic survival strategies of herbaceous plants. *Metody populyatsionnoi biologii: Materialy VII Vseros. populyats. seminara. Ch. 2* (Syktyvkar, 16–21 fevr. 2004 g.) = Methods of population biology: Proceedings of the VII All-Russ. population seminar. Part 2 (Syktyvkar, Feb. 16–21, 2004). Syktyvkar; 2004. P. 113–120. (In Russ.)

Kalinina S. I., Laidinen G. F. Morphological changes in natural populations of *Alopecurus pratensis* (Poaceae) during introduction. *Botanicheskii zhurnal* = Botanical Journal. 1997;82(10):38–48. (In Russ.)

Karataglis S. S. Differential tolerance of *Agrostis tenuis* populations growing at two mine soils to Cu, Zn, Pb. *Phyton*. 1980;20(1–2):15–22.

Kardashevskaya V. E., Egorova N. N. Monitoring of the vital state of *Agrostis diluta* Kurcz. and *Psathyrostachys caespitosa* (Sukaczhev) Peschkova in Central Yakutia. *Vestnik SVFU* = Vestnik of North-Eastern Federal University. 2024;21(3):18–28. (In Russ.). doi: 10.25587/2222-5404-2024-21-3-18-28

Kaznina N. M., Titov A. F., Batova Yu. V., Dorshakova N. V., Karapetyan T. A. The assessment of anthropogenic pollution of the environment with heavy metals based on the condition of vegetation. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN* = Transactions of the Karelian Research Centre RAS. 2015;2:89–94. (In Russ.). doi: 10.17076/eco26

Kaznina N. M., Titov A. F., Laidinen G. F., Batova Yu. V. Effect of industrial heavy metal pollution of soil on the morphological characteristics of *Phleum pratense* L. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2009;3:50–55. (In Russ.)

Kuperman F. M. Morphophysiology of plants. Moscow: Vysshaya shkola; 1984. 240 p. (In Russ.)

Laidinen G. F., Kaznina N. M., Batova Yu. V., Titov A. F. Effect of industrial heavy metal soil contamination on *Phleum pratense* (Poaceae) in northern Karelia. *Rastitel'nye resursy = Plant Resources*. 2021;57(4): 359–369. (In Russ.). doi: 10.31857/S0033994621040063

Lyanguzova I. V. Heavy metals in the Northern taiga ecosystems of Russia. Spatial and temporal dynamics in aerotechnogenic pollution. Saarbrücken: Lap Lambert Academic Publ.; 2016. 269 p. (In Russ.)

Lyanguzova I., Yarmishko V., Gorshkov V., Stavrova N., Bakkal I. Impact of heavy metals on forest ecosystems of the European north of Russia. *Heavy Metals*. 2018. P. 91–114. doi: 10.5772/intechopen.73323

Mehmood Z., Yang H.-H., Awan M. U. F., Ahmed U., Hasnain A., Luqman M., Muhammad S., Sardar A. A., Chan T.-Y., Sharjeel A. Effects of air pollution on morphological, biochemical, DNA, and tolerance ability of roadside plant species. *Sustainability*. 2024;16:3427. doi: 10.3390/su16083427

Oceanographic conditions and biological productivity of the White Sea: an annotated atlas. Murmansk: PINRO; 1991. 115 p. (In Russ.)

Papazian S., Blande J. D. Dynamics of plant responses to combinations of air pollutants. *Plant Biol. (Stuttg)*. 2020;1:68–83. doi: 10.1111/plb.12953

Pietrini F., Iannelli M. A., Pasqualini S., Massacci A. Interaction of cadmium with glutathione and photosynthesis in developing leaves and chloroplasts of *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel. *Plant Physiol*. 2003;133(2):829–937. doi: 10.1104/pp.103.026518

Polinkina L. N. Recreational potential of the territory. *Prirodnaya sreda Solovetskogo arhipelaga v usloviyakh menyayushchegosya klimata = The natural environment*

of the Solovetsky Archipelago in a changing climate. Ekaterinburg: UrO RAN; 2007. P. 158–161. (In Russ.)

Popova L. F., Andreeva Yu. I., Nikitina M. V. Assessment of soil and plant cover contamination by heavy metals of the Bolshoi Solovetsky Island. *Printsipy ekologii = Principles of Ecology*. 2016;2:62–69. (In Russ.). doi: 10.15393/j1.art.2016.5002

Prokop'ev I. A., Filippova G. V., Shein A. A., Gabyshhev D. V. Impact of urban anthropogenic pollution on seed production, morphological and biochemical characteristics of chamomile, *Matricaria chamomila* L. *Russ. J. Ecol*. 2014;45(1):18–23. doi: 10.1134/S106741361306009X

Radchenko T. A. (ed.). Study of plant populations in industrial waste dumps: a study guide. Ekaterinburg: UrFU; 2016. 228 p. (In Russ.)

Schubert R. (ed.). Bioindication of terrestrial ecosystems pollution. Moscow: Mir; 1988. 348 p. (In Russ.)

Strusovskaya O. G. Estimation of *Vaccinium vitis-idaea* (Ericaceae) leaf resources in the Solovetsky Archipelago islands. *Rastitel'nye resursy = Plant Resources*. 2012; 2:207–211. (In Russ.)

Tabalenkova G. N. Productivity of agricultural crops in the middle taiga subzone of the European Northeast of Russia: Summary of DSc (Dr. of Biol.) thesis. Moscow; 2007. 38 p. (In Russ.)

The results of the tourist season were summed up in Solovki. *Informatsionnoe agentstvo "Region 29" = Region 29 News Agency*. (In Russ.). URL: <https://region29.ru/2024/11/30/674adfd4b628d44fb309ed82.html> (accessed: 14.07.2025).

Wuytack T., Wuyts K., Van Dongen S., Baeten L., Kardel F., Verheyen K., Samson R. The effect of air pollution and other environmental stressors on leaf fluctuating asymmetry and specific leaf area of *Salix alba* L. *Environ. Pollut*. 2011;159(10):2405–2411. doi: 10.1016/j.envpol.2011.06.037

Zhuikova T. V. Reaction of cenopopulations and herbaceous communities to chemical pollution: Summary of DSc (Dr. of Biol.) thesis. Ekaterinburg; 2009. 27 p. (In Russ.)

Поступила в редакцию / received: 28.08.2025; принята к публикации / accepted: 21.10.2025.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Казнина Наталья Мстиславовна

д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник
лаборатории экологической физиологии растений

e-mail: kaznina@krc.karelia.ru

Таскина Ксения Борисовна

главный биолог лаборатории экологической
физиологии растений

e-mail: tasamayaksenia@gmail.com

Игнатенко Анна Анатольевна

канд. биол. наук, научный сотрудник лаборатории
экологической физиологии растений

e-mail: angelina911@ya.ru

CONTRIBUTORS:

Kaznina, Natalya

Dr. Sci. (Biol.), Leading Researcher

Taskina, Ksenia

Chief Biologist

Ignatenko, Anna

Cand. Sci. (Biol.), Researcher