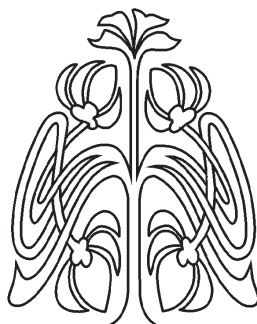
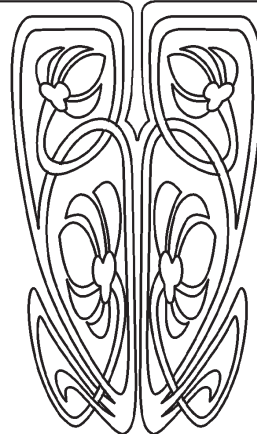




ЭКОЛОГИЯ



НАУЧНЫЙ
ОТДЕЛ



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2022. Т. 22, вып. 4. С. 460–473
Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2022, vol. 22, iss. 4, pp. 460–473
<https://ichbe.sgu.ru> <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2022-22-4-460-473>
EDN: PPNDPQ

Научная статья
УДК 582.572.3+58.002+58.009

Морфологическая изменчивость популяций *Colchicum laetum* Steven (Colchidaceae) в Нижнем Поволжье и на прилегающих территориях

А. В. Богослов , А. С. Пархоменко, А. О. Кондратьева,
И. В. Шилова, А. Д. Орлова, А. С. Кашин

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени
Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

Богослов Артём Валерьевич, ведущий биолог отдела биологии и экологии растений УНЦ
«Ботанический сад», dandelioncave@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2248-1285>

Пархоменко Алёна Сергеевна, кандидат биологических наук, заведующая отделом биоло-
гии и экологии растений УНЦ «Ботанический сад», parkhomenko_as@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9948-7298>

Кондратьева Анна Олеговна, ведущий биолог лаборатории микроклонального размноже-
ния растений УНЦ «Ботанический сад», popova.ao@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5000-8914>

Шилова Ирина Васильевна, кандидат биологических наук, доцент, ведущий биолог отдела
биологии и экологии растений УНЦ «Ботанический сад», schiva1952@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9828-4229>

Орлова Анастасия Дмитриевна, бакалавр кафедры генетики, nastya.orlowa2014@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-4225-1409>

Кашин Александр Степанович, доктор биологических наук, профессор кафедры генетики,
kashinas2@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2342-2172>

Аннотация. Приведены данные морфологической изменчивости 13 популяций редкого для Российской Федерации вида *Colchicum laetum* Steven на территории Волгоградской области, Республики Калмыкии и Ставропольского края. Отмечена сильная морфологическая изменчивость популяций на территории регионов как на внутри-, так и на межпопуляционном уровне. Судя по всему, гетерогенность окружающей среды в пространстве, как значительном, так и локальном, хорошо ощущается растениями популяций, которые по-разному приспособляются к этой неоднородности. Однако выявленное изменение морфологических параметров *S. laetum* вдоль градиента географических координат указывает на то, что, прежде всего, погодно-климатические факторы определяют у данного вида изменчивость морфологических параметров.

Ключевые слова: *Colchicum laetum*, редкий вид, популяция, морфологическая изменчивость

Для цитирования: Богослов А. В., Пархоменко А. С., Кондратьева А. О., Шилова И. В., Орлова А. Д., Кашин А. С. Морфологическая изменчивость популяций *Colchicum laetum* Steven (Colchidaceae) в Нижнем Поволжье и на прилегающих территориях // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2022. Т. 22, вып. 4. С. 460–473. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2022-22-4-460-473>, EDN: PPNDPQ

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)



Article

Morphological variability of *Colchicum laetum* Steven (Colchidaceae) populations in the Lower Volga region and surrounding territories

A. V. Bogoslov , A. S. Parkhomenko, A. O. Kondratieva, I. V. Shilova, A. D. Orlova, A. S. Kashin

Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

Artem V. Bogoslov, dandelioncave@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2248-1285>

Alena S. Parkhomenko, parkhomenko_as@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9948-7298>

Anna O. Kondratieva, popova.ao@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5000-8914>

Irina V. Shilova, schiva1952@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9828-4229>

Anastasiya D. Orlova, nastya.orlova2014@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4225-1409>

Alexandr S. Kashin, kashinas2@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2342-2172>

Abstract. Data on morphological variability of 13 populations of the species *Colchicum laetum* Steven, rare for the Russian Federation, in the territory of the Volgograd region, the Republic of Kalmykia and the Stavropol Territory are presented. A strong morphological variability of populations on the territory of the regions was noted both at the intra- and interpopulation level. Apparently, the heterogeneity of the environment in space, both significant and local, is well felt by plants of populations that adapt to this heterogeneity in different ways. However, the revealed change in the morphological parameters of *C. laetum* along the gradient of geographic coordinates indicates that, above all, weather and climatic factors determine the variability of morphological parameters in this species.

Keywords: *Colchicum laetum*, rare species, population, morphological variability

For citation: Bogoslov A. V., Parkhomenko A. S., Kondratieva A. O., Shilova I. V., Orlova A. D., Kashin A. S. Morphological variability of *Colchicum laetum* Steven (Colchidaceae) populations in the Lower Volga region and surrounding territories. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2022, vol. 22, iss. 4, pp. 460–473 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2022-22-4-460-473>, EDN: PPNDPQ

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Изучение внутривидовой изменчивости редких растений имеет неоспоримое значение в популяционной экологии, поскольку позволяет оценить уровень фенотипической изменчивости, а также установить границы популяций, что в конечном итоге способствует сохранению генофонда редких видов на уровне популяций. При этом основой любой природоохранной деятельности должен выступать долгосрочно продуманный мониторинг, основанный на сборе необходимой информации касательно общего морфологического состояния растений [1–3].

Colchicum laetum Steven – редкий вид. Эндемик России – встречается в степях Северного Кавказа, Нижнего Дона и Нижнего Поволжья. Осенний клубнелуковичный эфемероид, поликарпик, цветущий в сентябре. Листья развиваются весной, сначала узкие, потом разрастаются. Листья в числе 3–4, собраны в розетку, от линейных до широколанцетных, 6–12 мм шириной, нижние – туповатые, верхние – острые. Цветки в числе 1–3, бледно-лиловые или розовые, доли околоцветника эллиптические, островатые, (3) 3,5–4 (5) см длиной, в основании сросшиеся в очень длинную и узкую трубку. Столбики тонкие, нитевидные (рис. 1). Плод – коробочка 12–25 мм длиной. Семена очень мелкие, многочисленные [4, 5].



Рис. 1. Внешний вид цветущего генеративного растения *Colchicum laetum*
Fig. 1. Appearance of a flowering generative plant *Colchicum laetum*



Растения *C. laetum* обитают в жаркой сухой степи и полупустыне Нижнего Поволжья на тяжелых солонцовых почвах скудных природных пастбищ с изреженной растительностью. Будет важным отметить, что даже скромные требования к условиям обитания не гарантируют сохранности этого растения в настоящем времени и ближайшем будущем [6].

Материалы и методы

Морфологическую изменчивость количественных признаков растений выявляли на

протяжении весеннего сезона 2021–2022 гг. в 13 популяциях *C. laetum* из Волгоградской области, Республики Калмыкия и Ставропольского края (рис. 2, табл. 1). Морфологические характеристики, с целью поддержания единообразия в оценке, учитывались только у растений генеративного состояния [7]. В каждой популяции снимались морфометрические показатели с 30 растений. Если в популяции количество генеративных особей было меньше 30, то производились промеры имеющегося количества растений. Всего в анализе задействовано 380 образцов.

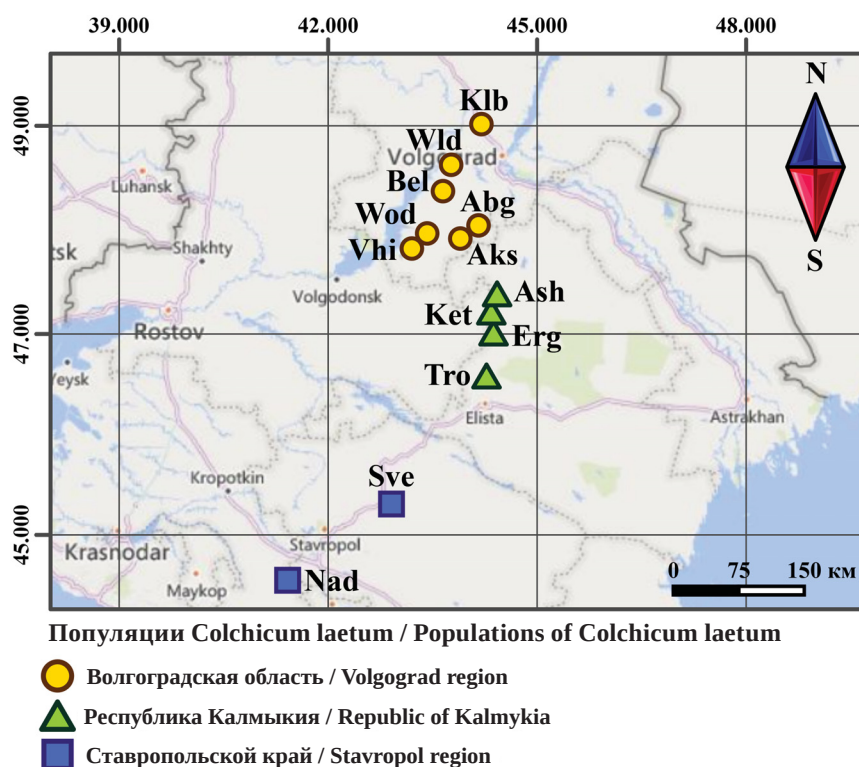


Рис. 2. Местоположение изученных популяций *Colchicum laetum* в Волгоградской области, Республике Калмыкии и Ставропольском крае

Fig. 2. Location of the studied populations of *Colchicum laetum* in the Volgograd region, the Republic of Kalmykia and the Stavropol region

Измеряли шесть количественных показателей: высоту растения, число листьев, длину листа, ширину листа, длину коробочки, количество коробочек (рис. 3). Часть указанных показателей промерялась при исследовании другого редкого для Российской Федерации вида – *Colchicum bulbocodium* subsp. *versicolor* (KerGawl.) K. Perss. [8]. Они показали свою высокую информационную ёмкость при исследовании межпопуляционной изменчивости данного вида.

Для всей генеральной совокупности растений популяций рассчитывались минимум-максимум морфометрического показателя и его 95% доверительный интервал, а также коэффициент вари-

ации. Анализ межпопуляционной изменчивости морфологических показателей проводили также с использованием описательной статистики – минимум и максимум морфометрического показателя и его 95% доверительный интервал. Также были построены диаграммы размаха (среднее арифметическое, его ошибка и стандартное отклонение) для всех популяций, включенных в анализ.

Уровень варьирования признаков оценивался по шкале, предложенной Мамаевым и Чуйко [9]: коэффициент вариации (Cv) меньше 7% – изменчивость признака очень низкая, 7–15% – низкая, 16–25% – средняя, 26–35% – повышенная, 36–50% – высокая, больше 50% – очень высокая.

Географическое местоположение исследованных популяций *Colchicum laetum*
Geographical location of the studied populations of *Colchicum laetum*

ID	Координаты / Coordinates		Географическое расположение / Geographical location
	Широта / Latitude	Долгота / Longitude	
Klb	49,01559	44,19995	Волгоградская обл., Городищенский р-н, окр. с. Котлубань / Volgograd region, Gorodishchensky district, Kotluban village
Wld	48,63137	43,76526	Волгоградская обл., Калачёвский р-н, окр. п. Волгодонской / Volgograd region, Kalachevsky district, Volgodonsoy village
Bel	48,38049	43,64795	Волгоградская обл., Калачёвский р-н, окр. х. Белоглинский / Volgograd region, Kalachevsky district, Beloglinsky village
Vhi	47,83031	43,20133	Волгоградская обл., Котельниковский р-н, окр. х. Верхнеяблочный / Volgograd region, Kotelnikovsky district, Verkhneyablochny village
Wod	47,97566	43,42131	Волгоградская обл., Октябрьский р-н, окр. х. Водянский / Volgograd region, Oktyabrsky district, Vodiansky village
Aks	47,92638	43,89695	Волгоградская обл., Октябрьский р-н, окр. с. Аксай / Volgograd region, Oktyabrsky district, Aksay village
Abg	48,05287	44,15841	Волгоградская обл., Октябрьский р-н, окр. с. Абганерово / Volgograd region, Oktyabrsky district, Abganerovo village
Erg	46,987033	44,373567	Республика Калмыкия, Кетченеровский р-н, окр.п. Ергенинский / Republic of Kalmykia, Ketchenerovsky, Ergeninsky village
Ket	47,17955	44,34176	Республика Калмыкия, Кетченеровский р-н, окр. п. Кетченеры / Republic of Kalmykia, Ketchenerovsky district, Ketchenery village
Ash	47,36396	44,42502	Республика Калмыкия, Сарпинский р-н, окр. п. Аршань-Зельмень / Republic of Kalmykia, Sarpinsky district, Arshan-Zelmen village
Tro	46,557867	44,2731	Республика Калмыкия, Целинный р-н, окр. с. Троицкое / Republic of Kalmykia, Tselinny district, Troitskoye village
Nad	44,53664	41,41764	Ставропольский край, Кочубеевский р-н, окр. с. Надзорное / Stavropol region, Kochubeevsky District, Nadzornoe village
Sve	45,31200	42,90948	Ставропольский край, Петровский р-н, окр. г. Светлогорода / Stavropol region, Petrovsky District, Svetlograd town

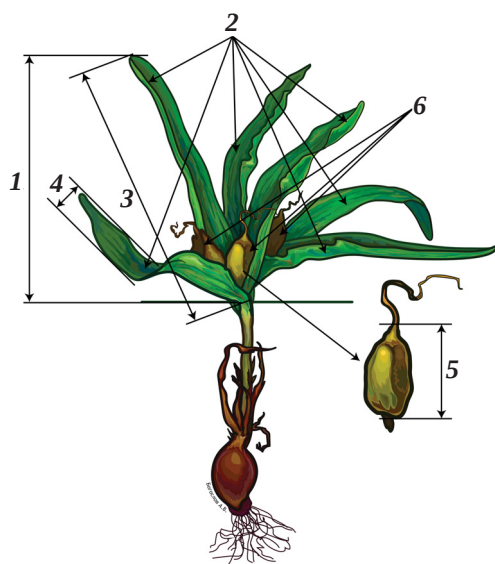


Рис. 3. Измеренные морфометрические параметры *Colchicum laetum*: 1 – высота растения, см; 2 – число листьев, шт.; 3 – длина листа, см; 4 – ширина листа, мм; 5 – длина коробочки, мм; 6 – число коробочек, шт.

Fig. 3. Measured morphometric parameters of *Colchicum laetum*: 1 – plant height, cm; 2 – number of leaves, pcs; 3 – leaf length, cm; 4 – leaf width, mm; 5 – boll length, mm; 6 – number of bolls, pcs

Ординация проводилась методами главных компонент (РСА) на основе матрицы корреляций [10, 11], – с использованием всей выборки, – и неметрического многомерного шкалирования (NMDS) [12], – с использованием средних значений признаков популяционных выборок с наложением векторов, характеризующих географические координаты местоположения популяций [13]. Кроме того, были рассчитаны непараметрические коэффициенты корреляции Спирмена [14]. При этом в случае, если коэффициенты корреляции для пар переменных были > 0.90, один признак из пары исключался из анализа главных компонент [15–18]. Корреляции признаков представлены в виде плеяды Терентьева [19]. Для градации силы связи использована шкала Чеддока [20]. Перед проведением анализа главных компонент данные подвергались процедуре стандартизации, а имеющиеся немногочисленные пропуски данных были заменены средним значением по генеральной совокупности отдельных признаков [21–24].

Для расчётов и визуализации результатов использовались программы «Statistica 10.0» [25] и «Past 3.26» [26].



Результаты и их обсуждение

Из табл. 2 следует, что растения в среднем достигают высоты 13–14 см, однако встречаются и более высокие. Например, в популяции Nad высота отдельных особей достигала 20 и более см. Максимальная высота растения (26, 20 см) отмечена именно в этой популяции. В среднем у растений было по 4–5 листьев, однако встречались отдельные экземпляры с большим коли-

чеством листьев. Максимальное число листьев (10 шт.) обнаружено в популяции Bel. Длина листа варьировала в пределах от 11,7 до 12,3 см, ширина листа – от 11,0 до 11,7 см. Длина коробочки у растений исследованных популяций укладывалась преимущественно в диапазон 25,0–26,5 мм. В среднем на одно растение приходилось от одной до двух коробочек, при максимальном их числе равном 5.

Таблица 2 / Table 2

Основные статистики измеренных морфометрических параметров по всей генеральной совокупности особей популяций *Colchicum laetum*
The main statistics of the measured morphometric parameters for the entire population of individuals of *Colchicum laetum* populations

Параметр / Parameter	мин-(95% доверительный интервал)-макс / min-(95% confidence interval) -max	Коэффициент вариации / Coefficient variations	Уровень варьирования / Level of variation
Высота растения, см / Plant height, cm	3,50–(13,24–13,98)–26,20	27,00	Повышенный / Increased
Число листьев, шт. / Number of leaves, pcs	4,78–(4,78–4,98)–10,00	19,62	Средний / Medium
Длина листа, см / Leaf length, cm	3,50–(11,71–12,29)–19,10	23,96	Средний / Medium
Ширина листа, мм / Leaf width, cm	4,82–(10,99–11,68)–25,27	30,56	Повышенный / Increased
Длина коробочки, мм / Boll length, mm	6,61–(24,96–26,52)–53,96	28,62	Повышенный / Increased
Кол-во коробочек, шт. / Number of bolls, pcs	0,00–(1,49–1,68)–5,00	59,17	Очень высокий / Very high

Уровень варьирования признаков отмечен от среднего до очень высокого. Для двух признаков (число листьев, длина листа) был характерен средний, для трёх (высота растения, ширина листа и длина коробочки) – повышенный уровень варьирования. Один признак (количество коробочек) отличался очень высоким уровнем варьирования.

В большинстве случаев доверительные интервалы параметров на межпопуляционном уровне перекрывались (табл. 3). Диаграммы размаха (рис. 4) показывают, что одни популяции по ряду параметров заметно превышали другие, в то же самое время уступая последним по другим параметрам. По высоте растений наиболее низкорослыми оказались популяция Ash из Республики Калмыкии и Wld, Bel, Abg из Волгоградской обл. Наиболее высокие растения обнаружены в ставропольской популяции Nad и волгоградской Erg (см. табл. 3, рис. 4). По данному параметру и по длине листовой пластинки различия между популяциями наиболее наглядны, а дисперсии этих признаков в различных популяциях заметно различаются.

По числу листьев, приходящихся на одно растение, популяции были наиболее сходными.

Доверительные интервалы признака между всеми популяциями в той или иной степени перекрываются. В большинстве случаев в различных популяциях более или менее равны и дисперсии признака. Минимальное число листьев в большинстве случаев равнялось четырём, в то время как максимальное значение достигало уровня 6–10 (см. табл. 3, рис. 4).

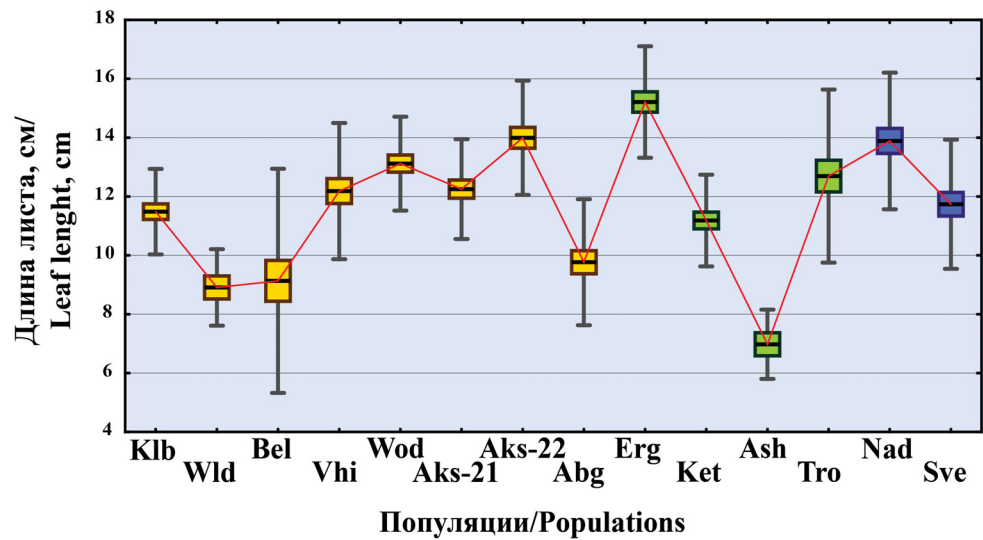
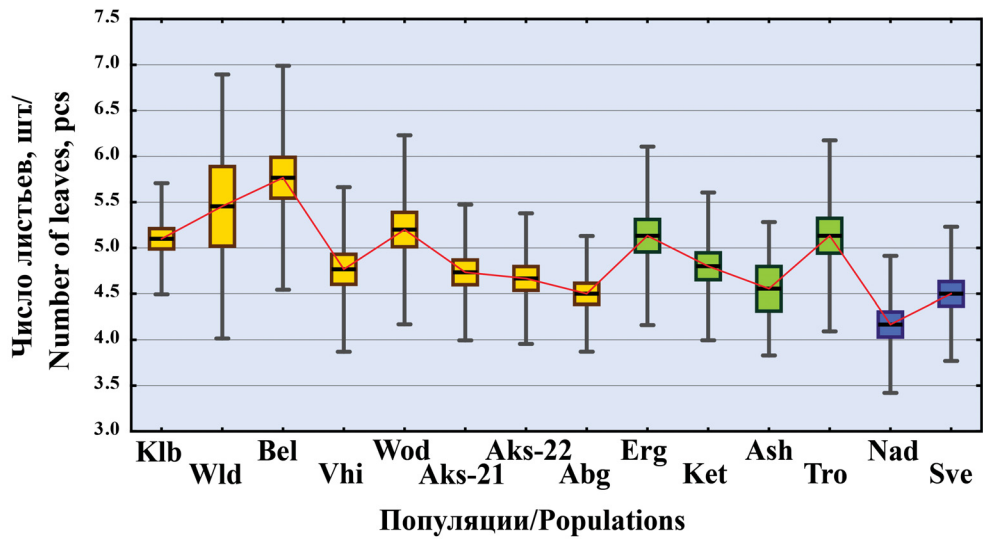
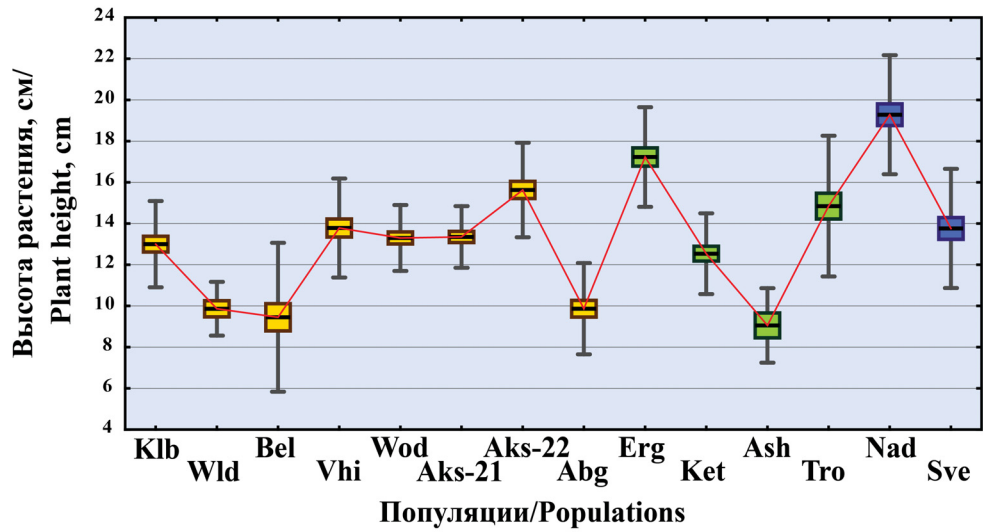
Наиболее короткие листья, так же как и в случае с параметром высоты растения, характерны для популяции Ash из Республики Калмыкии, Wld, Bel, Abg из Волгоградской обл. Наиболее длинные листья отмечены в ставропольской популяции Nad и волгоградской Erg. При этом дисперсии по этому параметру в популяциях сильно разнятся. В частности, наибольший размах признака характерен для популяции из Волгоградской обл. Bel, для которой отмечено минимальное значение длины листовой пластинки среди всех представленных популяций (3,50), а для калмыцкой популяции Ash отмечен наименьший разброс признака. При этом среди всех популяций данная отличалась самыми короткими листьями – около 6–8 см (см. табл. 3, рис. 4).



Таблица 3 / Table 3

Описательная статистика морфометрических параметров растений *Colchicum laetum*
Descriptive statistics of morphometric parameters of *Colchicum laetum* plants

ID	Год/ Year	Высота растения, см / Plant height, cm	Число листьев, шт. / Number of leaves, pcs	Длина листа, см / Leaf length, cm	Ширина листа, мм / Leaf width, cm	Длина коробочки, мм / Boll length, cm	Кол-во коробочек, шт. / Number of bolls, pcs
Klb	2021	9,00-(12,22-13,78)-17,50	4,00-(4,87-5,33)-6,00	8,50-(10,94-12,03)-14,00	8,48-(10,68-12,18)-15,31	6,61-(13,09-16,61)-25,96	0,00-(0,88-1,39)-3,00
Wld	2021	8,00-(8,99-10,74)-12,00	4,00-(4,49-6,42)-8,00	7,50-(8,04-9,78)-11,00	8,51-(11,27-14,57)-16,79	7,95-(13,99-30,22)-28,73	0,00-(0,40-2,51)-4,00
Bel	2021	3,50-(8,10-10,80)-17,00	4,00-(5,31-6,22)-10,00	3,50-(7,71-10,56)-17,00	7,64-(14,05-17,30)-25,27	9,93-(23,19-29,67)-53,96	0,00-(2,21-3,05)-5,00
Vhi	2021	10,00-(12,89-14,68)-20,00	4,00-(4,43-5,10)-8,00	7,50-(11,32-13,05)-18,50	5,06-(8,85-11,10)-16,30	9,78-(23,73-29,04)-38,83	0,00-(1,07-1,60)-3,00
Wod	2021	10,50-(12,70-13,90)-16,00	3,00-(4,82-5,58)-8,00	9,50-(12,52-13,71)-16,00	7,89-(11,09-12,81)-16,96	20,66-(28,81-33,85)-41,46	0,00-(1,74-2,39)-4,00
Aks	2021	10,50-(12,79-13,91)-15,50	3,00-(4,46-5,01)-6,00	9,50-(11,62-12,88)-15,50	5,64-(10,66-13,39)-22,03	6,78-(22,36-29,35)-52,45	0,00-(0,98-1,69)-5,00
	2022	11,20-(14,77-16,49)-21,60	4,00-(4,40-4,93)-6,00	9,60-(13,27-14,72)-19,00	5,69-(11,32-13,94)-20,40	21,01-(28,97-33,27)-47,50	1,00-(1,67-2,33)-4,00
Abg	2021	4,00-(9,04-10,69)-13,50	4,00-(4,26-4,74)-6,00	4,00-(8,97-10,57)-13,00	5,85-(8,51-10,25)-13,96	14,90-(20,33-23,66)-36,23	1,00-(1,38-1,75)-2,00
Erg	2022	10,50-(16,33-18,13)-21,40	4,00-(4,77-5,50)-7,00	10,00-(14,50-15,92)-18,10	7,20-(10,57-12,81)-18,98	10,30-(24,72-31,03)-46,01	0,00-(1,40-2,20)-4,00
Ket	2022	9,00-(11,80-13,27)-16,60	4,00-(4,50-5,10)-7,00	8,20-(10,60-11,77)-15,20	6,26-(8,32-9,96)-16,11	11,44-(24,40-27,84)-32,37	1,00-(1,18-1,55)-2,00
Ash	2022	7,00-(7,67-10,45)-13,00	4,00-(4,00-5,11)-6,00	5,00-(6,07-7,88)-8,30	4,82-(5,56-8,70)-9,84	18,27-(23,27-30,93)-33,34	Всегда 1
Tro	2022	8,50-(13,57-16,12)-25,40	4,00-(4,74-5,52)-8,00	7,90-(11,60-13,79)-19,10	5,50-(9,63-12,18)-20,75	17,19-(24,89-29,31)-38,87	0,00-(0,94-1,59)-4,00
Nad	2022	12,40-(18,20-20,36)-26,20	3,00-(3,89-4,45)-6,00	7,50-(13,02-14,75)-18,20	6,70-(10,37-12,79)-20,16	9,36-(21,88-26,64)-35,03	0,00-(0,77-1,30)-2,00
Sve	2022	9,50-(12,68-14,84)-20,10	4,00-(4,23-4,77)-6,00	9,00-(10,92-12,56)-17,00	5,45-(9,24-11,40)-17,32	15,13-(23,12-26,43)-31,66	1,00-(1,46-2,01)-4,00



Среднее арифметическое \pm ошибка среднего /
Mean \pm mean error



Стандартное отклонение /
Standart deviation

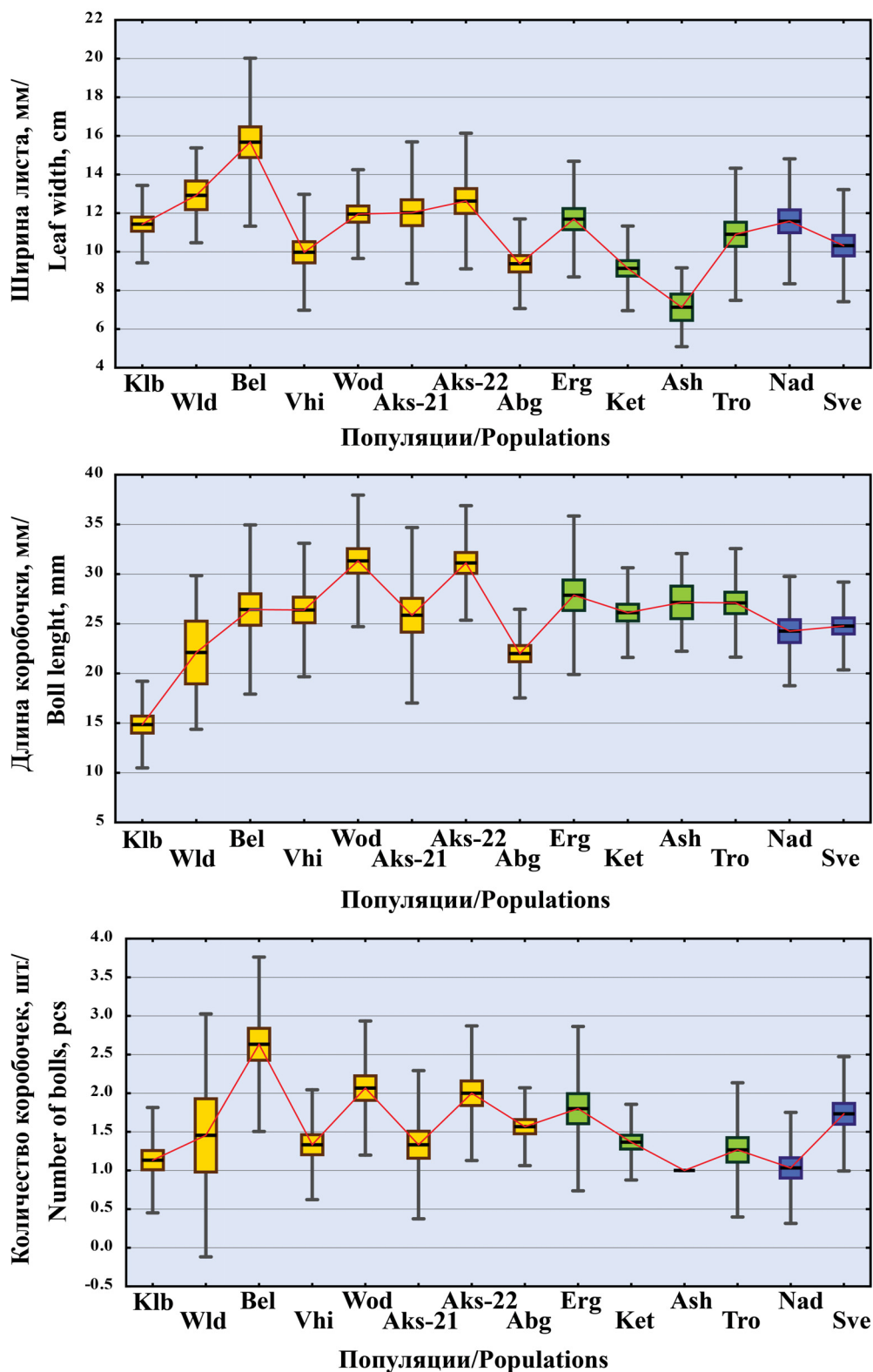


Рис. 4. Диаграммы размаха количественных признаков *Colchicum laetum*. По оси ординат – морфометрические признаки, по оси абсцисс – популяции. Жёлтым цветом показаны популяции из Волгоградской обл., зелёным – Республики Калмыкии, синим – из Ставропольского края (цвет онлайн)
 Fig. 4. Diagrams of the range of quantitative characteristics of *Colchicum laetum*. The ordinate axis shows morphometric characteristics, the abscissa axis shows populations. Populations from the Volgograd region are shown in yellow, the Republic of Kalmykia in green, and the Stavropol region in blue (color online)



Доверительные интервалы ширины листовой пластинки между популяциями также в той или иной степени перекрываются. При этом максимальные по ширине листья характерны для популяции из Волгоградской обл. Bel, а минимальные – для популяции из Республики Калмыкии Ash. В то же время для указанных популяций отмечались одни из самых коротких листьев среди всех популяций. Наибольшая дисперсия по этому параметру, так же как и в случае длины листовой пластинки, отмечена в популяции Bel, наименьшая – в популяции Ash (см. табл. 3, рис. 4).

По длине коробочки большинство представленных популяций более или менее близки между собой. Минимальным значением по этому параметру отличалась наиболее северная популяция из Волгоградской обл. – Klб.

Количество коробочек в исследованных популяциях варьировало в диапазоне от 0 до 5. В большинстве случаев на одно растение приходилось 1–2 коробочки. В популяции из Республики Калмыкии Ash число коробочек у всех измеренных растений равнялось одному. Дисперсии остальных популяций по этому признаку заметно различаются.

Для большинства признаков, согласно коэффициенту корреляции Спирмена и шкале Чеддока, свойственны слабые и умеренные связи

(рис. 5). При этом параметры высоты растения и количества коробочек, а также высоты растения и числа листьев оказались практически не связаны между собой ($r_s < 0,1$). Для двух признаков, – высоты растения и длины листа, отмечена сильная связь ($r_s = 0,89$). Однако последнее числовое значение не превышает 0,90, что указывает на то, что все представленные морфометрические параметры можно использовать для анализа главных компонент.

Ординация методом главных компонент (рис. 6, а) демонстрирует довольно слабое разделение имеющихся точек, отвечающих образцам тех или иных популяций. При этом разброс точек значителен как вдоль первой, так и вдоль второй главной компоненты. Максимальный разброс характерен для точек популяций из Республики Калмыкии. Преимущественно к нижней части области ординации приурочено большинство точек популяций из Ставропольского края; преимущественно к верхней части области ординации – большинство точек, отвечающих особям популяций из Республики Калмыкии. Срединное положение, между облаками рассеяния популяций из Республики Калмыкии и Ставропольского края, занимает облако рассеяния, образованное точками-образцами популяций из Волгоградской области.

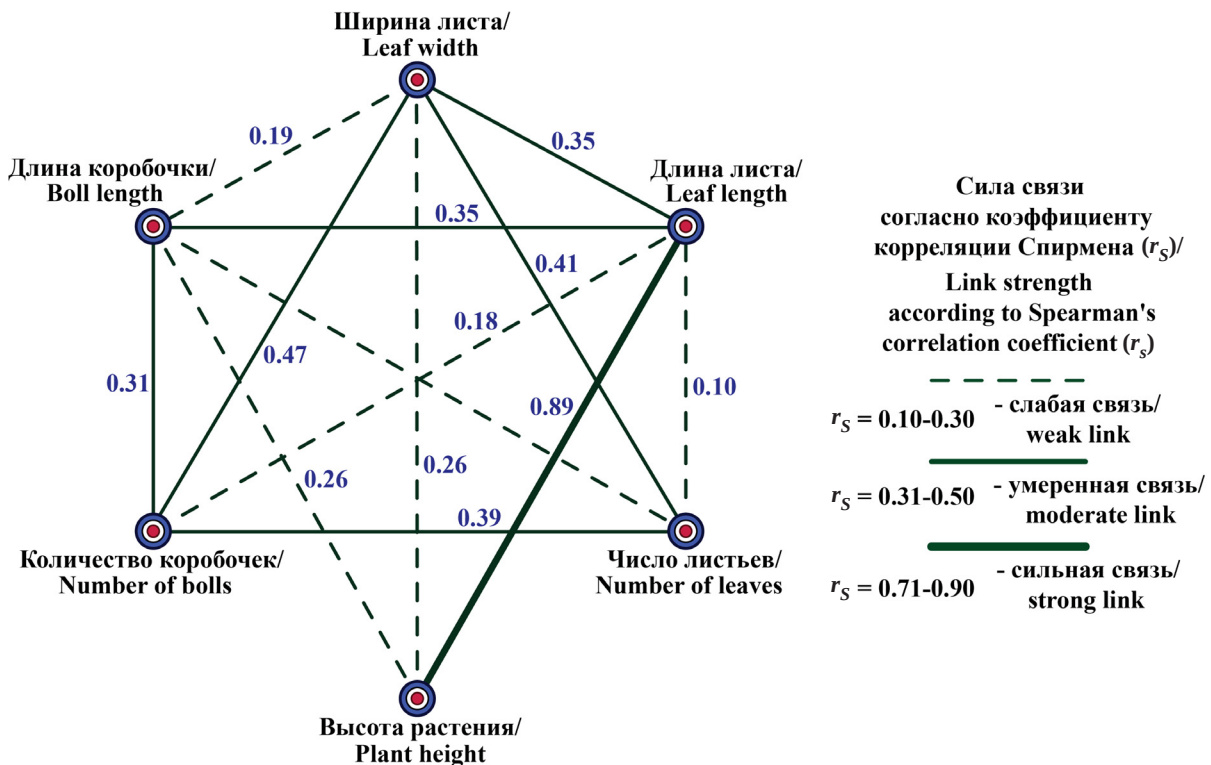


Рис. 5. Корреляции измеренных количественных признаков *Colchicum laetum*
Fig. 5. Correlations of measured quantitative characteristics of *Colchicum laetum*

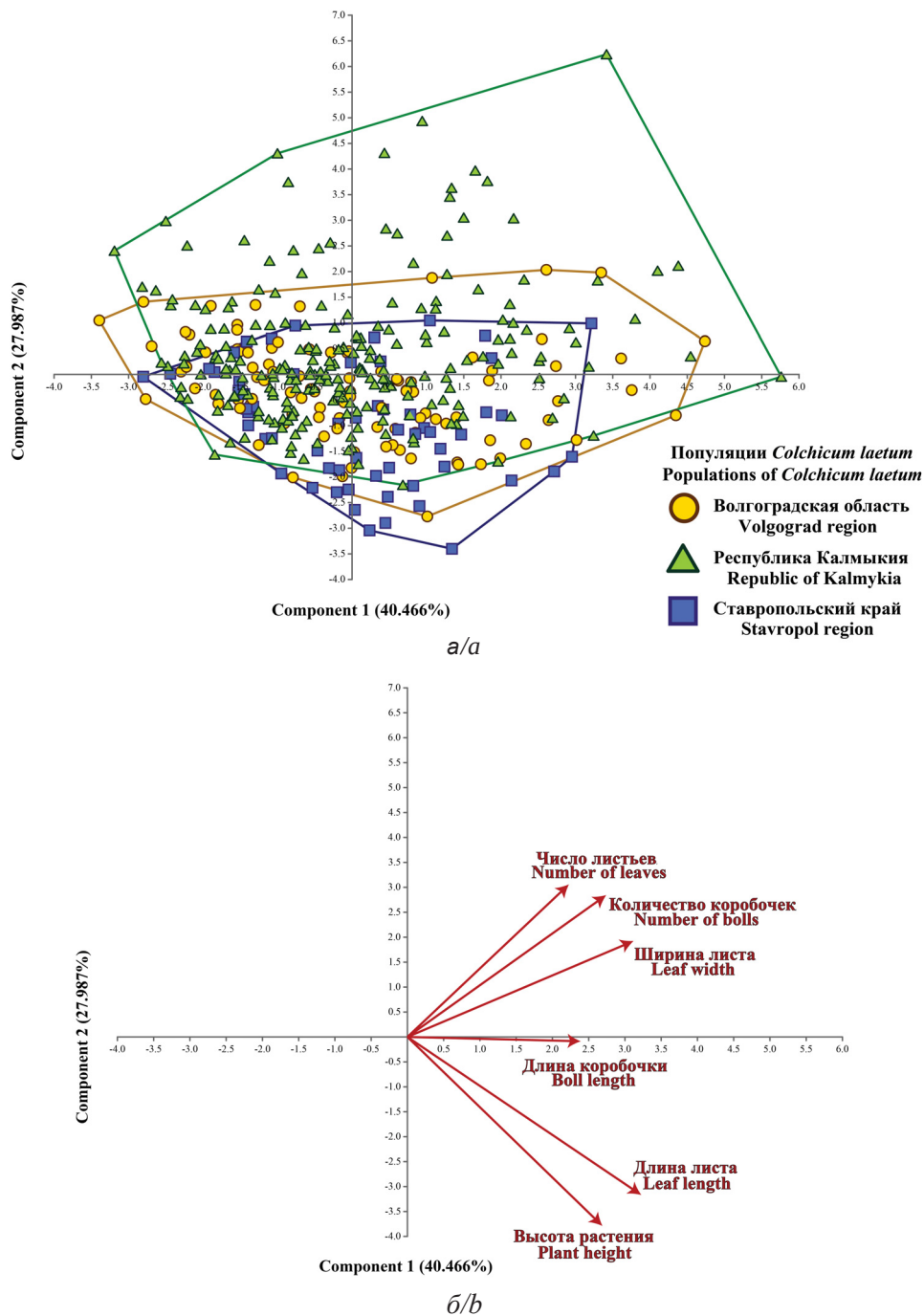


Рис. 6. Ординация методом главных компонент: распределение точек, отвечающих образцам популяций *Colchicum laetum* в пространстве главных компонент (а); корреляции между морфометрическими параметрами и главными компонентами (б)

Fig. 6. Ordination by principal component method: distribution of points corresponding to samples of *Colchicum laetum* populations in the space of principal components (a); correlations between morphometric parameters and principal components (b)

Максимальная по модулю корреляция ($\geq 0,70$) с первой компонентной (PC1) отмечена для двух признаков – длины и ширины листа. Максимальная корреляция ($\geq 0,70$) со второй компонентной (PC2) отмечена для высоты растения (см. рис. 6, б, табл. 4). Разброс точек

вдоль горизонтали, – первой компоненты, – в большей мере сопряжен с изменением размерных показателей листа, а разброс вдоль вертикали, – второй компоненты, – в большей мере объясняется изменением параметра высоты растений.



Таблица 4 / Table 4

Результаты анализа главных компонент для морфометрических параметров популяций *Colchicum laetum*
Results of principal component analysis for morphometric parameters of *Colchicum laetum* populations

№	Параметр / Parameter	PC 1	PC 2
1	Высота растения, см / Plant height, cm	0,62	-0,73
2	Число листьев, шт. / Number of leaves, pcs	0,51	0,59
3	Длина листа, см / Leaf length	0,74	-0,61
4	Ширина листа, мм / Leaf width, mm	0,72	0,37
5	Длина коробочки, мм / Boll length	0,55	-0,02
6	Кол-во коробочек, шт. / Number of bolls, pcs	0,63	0,55
Статистика главных компонент / Principal Component Statistics			
Собственное число / Eigenvalue		2,43	1,68
Дисперсия, % / Variance, %		40,47	27,99

Примечание. Полужирным выделены значения $\geq 0,70$. PC1 и PC2 – первая и вторая главные компоненты.
 Note. Values $\geq 0,70$ are in bold. PC1 and PC2 are the first and second principal components.

Ординация методом неметрического многомерного шкалирования с наложением векторов географических координат также демонстрирует сильный разброс точек, характеризующих совокупность средних значений измеренных параметров в той или иной популяции (рис. 7).

Тем не менее, распределение средних значений групповых выборок в основном соответствует распределению их в пространстве главных компонент. В частности, большинство точек, отвечающих популяциям из Республики Калмыкии, приурочено в верхней части области ординации,

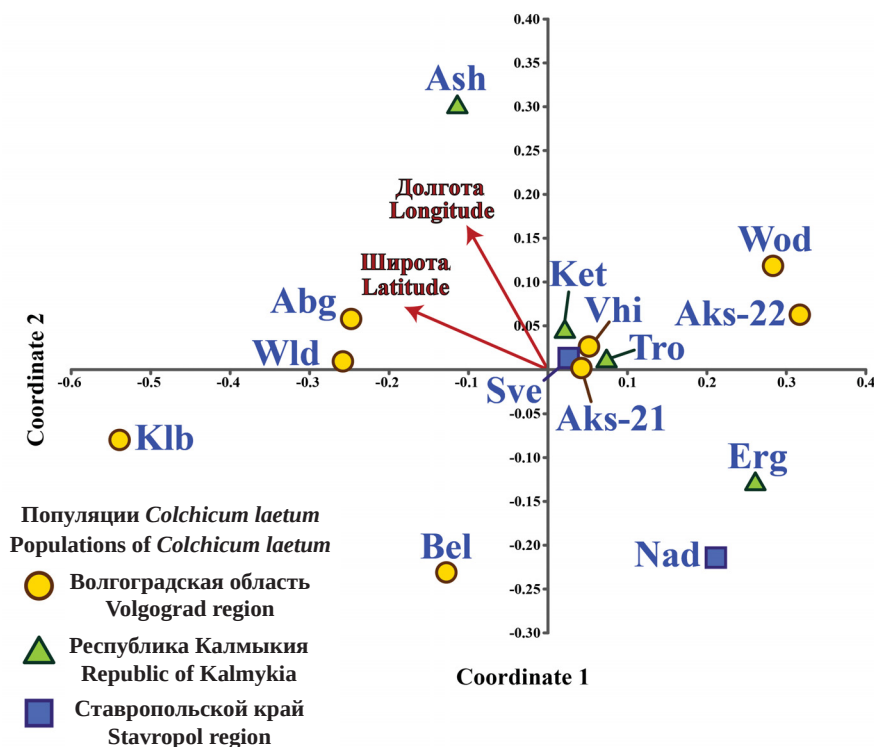


Рис. 7. Ординация популяций *Colchicum laetum* методом неметрического многомерного шкалирования по средним значениям морфометрических параметров
 Fig. 7. Ordination of populations of *Colchicum laetum* by the method of non-metric multidimensional scaling according to the average values of morphometric parameters



в то время как точки популяций Ставропольского края тяготеют к середине области ординации и её нижней части, а большинство точек популяций Волгоградской обл. более или менее равномерно распределены в середине области ординации вдоль первой оси неметрического многомерного шкалирования.

Отмечены положительные корреляции первой оси неметрического шкалирования с направлением «север–юг», т.е. с долготой, и второй оси – с направлением «запад–восток», т.е. с широтой. Следовательно, имеет место изменение морфологических параметров *C. laetum* вдоль градиента географических координат.

Заключение

Таким образом, установлена высокая степень внутри- и межпопуляционной изменчивости растений популяций *C. laetum* на территории Волгоградской области, Республики Калмыкии и Ставропольского края. Даже в тех случаях, когда популяции расположены на территории одного региона или пространственно близко относительно друг друга, их размерное морфологическое состояние, точнее различие в нём, хорошо заметно. Судя по всему, гетерогенность окружающей среды в пространстве, как значительном, так и локальном, хорошо ощущается растениями популяций, которые по-разному приспособляются к этой неоднородности. Однако выявленное изменение морфологических параметров *C. laetum* вдоль градиента географических координат указывает на то, что прежде всего погодно-климатические факторы определяют у данного вида изменчивость морфологических параметров.

Список литературы

1. Богослов А. В., Кашин А. С., Шилова И. В., Пархоменко А. С., Гребенюк Л. В. Морфологическая изменчивость и состояние популяций *Delphinium pubiflorum* (Ranunculaceae) на территории Саратовской области // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21, вып. 3. С. 328–334. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-3-328-334>
2. Крюкова А. В., Абрамова Л. М. Влияние экологических факторов на изменчивость морфометрических параметров редкого вида *Iris pumila* L. // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 18, вып. 2. С. 232–236. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2018-18-2-232-236>
3. Крюкова А. В., Абрамова Л. М., Мустафина А. Н. К биологии и экологии редких видов ирисов в степях Южного Урала // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2018. Т. 27, № 4, ч. 1. С. 271–275. <https://doi.org/10.24411/2073-1035-2018-10126>
4. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М. : Т-во науч. изд. КМК, 2008. 855 с.
5. Красная книга Волгоградской области: в 2 т. 2-е изд., перераб. и доп. Т. 2. Растения и другие организмы. Воронеж : ООО «Издат-Принт», 2017. 268 с.
6. Буянкин В. И., Никольская О. А. Реликт южных степей России // Научно-агрономический журнал. 2019. № 3(106). С. 44–45. <https://doi.org/10.34736/FNC.2019.106.3.014>
7. Sharma S. K., Pandit M. K. A morphometric analysis and taxonomic study of *Panax bipinnatifidus* Seem. (Araliaceae) species complex from Sikkim Himalaya, India // Plant Syst. Evol. 2011. Vol. 297. P. 87–98. <https://doi.org/10.1007/s00606-011-0501-8>
8. Богослов А. В., Кашин А. С., Пархоменко А. С., Куликова Л. В., Шилова И. В., Князева А. К. Виталитетная структура популяций *Colchicum bulbocodium* subsp. *versicolor* (Colchicaceae, Liliopsida) в условиях Нижнего Поволжья // Поволжский экологический журнал. 2021. № 2. С. 127–145. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-2-127-145>
9. Мамаев С. А., Чуйко Н. М. Индивидуальная изменчивость признаков листьев у дикорастущих видов костяники // Индивидуальная эколого-географическая изменчивость растений. Свердловск : УрНЦ АН СССР, 1975. С. 114–118.
10. Jolliffe I. T. Principal Component Analysis. New York : Springer, 2002. 487 p.
11. Zuur A. F., Ieno E. N., Elphick C. S. A protocol for data exploration to avoid common statistical problems // Methods Ecol. Evol. 2009. Vol. 1. P. 3–14. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210x.2009.00001.x>
12. Шитиков В. К., Зинченко Т. Д. Многомерный статистический анализ экологических сообществ (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 1. С. 5–11. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2019-1-005-011>
13. Кашин А. С., Пархоменко А. С., Абрамова Л. М., Кондратьева А. О., Богослов А. В., Шилова И. В., Крюкова А. В. Морфологическая изменчивость *Iris pumila* (Iridaceae) // Ботанический журнал. 2022. Т. 107, № 2. С. 180–197. <https://doi.org/10.31857/S0006813622020065>
14. Zar J. H. Biostatistical analysis. New Jersey : Prentice Hall, 2010. 944 p.
15. Maia F. R., Goldenberg R. Morphometric analysis and the distinction between *Tibouchina hatschbachii* and *T. marumbiensis*: Morphological differentiation driven from the past // Plant Syst. Evol. 2019. Vol. 305. P. 169–180. <https://doi.org/10.1007/s00606-018-1560-x>
16. Nobis M., Klichowska E., Nowak A., Gudkova P. D., Rola K. Multivariate morphometric analysis of the *Stipa turkestanica* group (Poaceae: Stipa sect. Stipa) // Plant. Syst. Evol. 2016. Vol. 302. P. 137–153. <https://doi.org/10.1007/s00606-015-1243-9>



17. Ocampo Pérez J., Coppens d'Eeckenbrugge G. Morphological characterization in the genus *Passiflora* L.: An approach to understanding its complex variability // *Plant Syst. Evol.* 2017. Vol. 303. P. 531–558. <https://doi.org/10.1007/s00606-017-1390-2>
18. Španiel S., Zozomová-Lihová J., Marhold K. Revised taxonomic treatment of the *Alyssum montanum*-*A. repens* complex in the Balkans: A multivariate morphometric analysis // *Plant Syst. Evol.* 2017. Vol. 303. P. 1413–1442. <https://doi.org/10.1007/s00606-017-1468-x>
19. Новаковский А. Б. Обзор современных программных средств, используемых для анализа геоботанических данных // *Растительность России*. 2006. № 9. С. 86–95.
20. Щербань С. А., Мельник А. В. Размерно-весовые и биохимические характеристики соматического роста молоди черноморских видов двустворчатых моллюсков *Anadara kagoshimensis* и *Flexorecten glaber ponticus* // *Экосистемы*. 2020. № 22. С. 97–104.
21. Biye E. H., Cron G. V., Balkwill K. Morphometric delimitation of *Gnetum* species in Africa // *Plant Syst. Evol.* 2016. Vol. 302. P. 1067–1082. <https://doi.org/10.1007/s00606-016-1317-3>
22. Cruz-Lustre G., Batista J. A. N., Radins J. A., Gonzalez A., Borba E. L. Morphometric analysis of the *Habenaria parviflora* complex (Orchidaceae) // *Plant Syst. Evol.* 2020. Vol. 306. URL: <https://doi.org/10.1007/s00606-020-01634-2> (дата обращения: 15.03.2022).
23. Finot V. L., Soreng R. J., Giussani L. M., Munoz R. G. A multivariate morphometric delimitation of species boundaries in the South American genus *Nicoraepoa* (Poaceae: Pooideae: Poaeae) // *Plant Syst. Evol.* 2018. Vol. 304. P. 679–697. <https://doi.org/10.1007/s00606-018-1499-y>
24. Torrecilla P., Acedo C., Marques I., Díaz-Pérez A. J., López-Rodríguez J. Á., Mirones V., Sus A., Llamas F., Alonso A., Pérez-Collazos E., Viruel J., Sahuquillo Sancho M. D., Komac B., Manso J. A., Segarra-Moraques J. G., Draper D., Villar L., Catalán P. Morphometric and molecular variation in concert: Taxonomy and genetics of the reticulate Pyrenean and Iberian alpine spiny fescues (*Festuca eskia* complex Poaceae) // *Bot. J. Linn. Soc.* 2013. Vol. 173. P. 676–706. <https://doi.org/10.1111/boj.12103>
25. STATISTICA (data analysis software system). URL: <http://www.statsoft.com> (дата обращения: 15.03.2022).
26. Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis // *Palaeontol. Electron.* Vol. 4, № 1. P. 1–9.
2. Kryukova A. V., Abramova L. M. The Influence of ecological factors on variability of morphometric parameters of rare species *Iris pumila* L. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2018, vol. 18, iss. 2, pp. 232–236 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2018-18-2-232-236>
3. Kryukova A. V., Abramova L. M., Mustafina A. N. To the biology and ecology of rare species of *Iris* genus in the steppe of South Urals. *Samarskaya Luka: Problems of Regional and Global Ecology*, 2018, vol. 27, no. 4, pt. 1, pp. 271–275 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/2073-1035-2018-10126>
4. *Krasnaya kniga Rossiyskoy Federatsii (rasteniya i griby)* [Red Book of the Russian Federation (plants and mushrooms)]. Moscow, KMK Scientific Press Ltd., 2008. 855 p. (in Russian).
5. *Krasnaya kniga Volgogradskoy oblasti: v 2 t. 2-ye izd., pererab. i dop. T. 2. Rasteniya i drugiyе organizmy.* [Red Book of the Volgograd region: in 2 vols., 2nd ed., revised. and additional. Vol. 2. Plants and Other Organisms]. Voronezh, Izdat-Print Publ., 2017. 268 p. (in Russian).
6. Buyankin V. I., Nikolskaya O.A. Relict plants of the southern steppes of Russia. *Scientific Agronomy Journal*, 2019, no. 3(106), pp. 44–45 (in Russian). <https://doi.org/10.34736/FNC.2019.106.3.014>
7. Sharma S. K., Pandit M. K. A morphometric analysis and taxonomic study of *Panax bipinnatifidus* Seem. (Araliaceae) species complex from Sikkim Himalaya, India. *Plant Syst. Evol.*, 2011, vol. 297, pp. 87–98. <https://doi.org/10.1007/s00606-011-0501-8>
8. Bogoslov A. V., Kashin A. S., Parkhomenko A. S., Kulikova L. V., Shilova I. V., Knjazeva A. K. Vitality structure of *Colchicum bulbocodium* subsp. *versicolor* (Colchicaceae, Liliopsida) populations in the Lower Volga region. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2021, no. 2, pp. 127–145 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-2-127-145>
9. Mamaev S. A., Chuiko N. M. Individual variability of leaf traits in wild-growing species of stone bramble. In: *Individual'naya ekologo-geograficheskaya izmenchivost' rasteniy* [Individual Ecological and Geographical Variability of Plants]. Sverdlovsk, UrNTs AN SSSR Publ., 1975, pp. 114–118 (in Russian).
10. Jolliffe I. T. *Principal Component Analysis*. New York, Springer, 2002. 487 p.
11. Zuur A. F., Ieno E. N., Elphick C. S. A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods Ecol. Evol.*, 2009, vol. 1, pp. 3–14. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210x.2009.00001.x>
12. Shitikov V. K., Zinchenko T. D. Multivariate statistical analysis of ecological communities (review). *Theoretical and Applied Ecology*, 2019, no. 1, pp. 5–11 (in Russian). <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2019-1-005-011>
13. Kashin A. S., Parkhomenko A. S., Abramova L. M., Kondratyeva A. O., Bogoslov A. V., Shilova I. V., Kryukova A. V. Morphological variability of *Iris pumila* (Iridaceae) in the Lower Volga region and the

Reference

1. Bogoslov A. V., Kashin A. S., Shilova I. V., Parkhomenko A. S., Grebenyuk L. V. Morphological variability and state of *Delphinium pubiflorum* (Ranunculaceae) populations in the Saratov region. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2021, vol. 21, iss. 3, pp. 328–334 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-3-328-334>



- South Urals. *Botanicheskii Zhurnal*, 2022, vol. 107, no. 1, pp. 180–197 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0006813622020065>
14. Zar J. H. *Biostatistical analysis*. New Jersey, Prentice Hall, 2010. 944 p.
 15. Maia F. R., Goldenberg R. Morphometric analysis and the distinction between *Tibouchina hatschbachii* and *T. marumbiensis*: Morphological differentiation driven from the past. *Plant Syst. Evol.*, 2019, vol. 305, pp. 169–180. <https://doi.org/10.1007/s00606-018-1560-x>
 16. Nobis M., Klichowska E., Nowak A., Gudkova P. D., Rola K. Multivariate morphometric analysis of the *Stipa turkestanica* group (Poaceae: Stipa sect. Stipa). *Plant Syst. Evol.*, 2016, vol. 302, pp. 137–153. <https://doi.org/10.1007/s00606-015-1243-9>
 17. Ocampo Pérez J., Coppens d'Eeckenbrugge G. Morphological characterization in the genus *Passiflora* L.: An approach to understanding its complex variability. *Plant Syst. Evol.*, 2017, vol. 303, pp. 531–558. <https://doi.org/10.1007/s00606-017-1390-2>
 18. Španiel S., Zozomová-Lihová J., Marhold K. Revised taxonomic treatment of the *Alyssum montanum*-*A. repens* complex in the Balkans: a multivariate morphometric analysis. *Plant Syst. Evol.*, 2017, vol. 303, pp. 1413–1442. <https://doi.org/10.1007/s00606-017-1468-x>
 19. Novakovskiy A. B. A review of the modern programs for the geobotanical analysis. *Vegetation of Russia*, 2006, no. 9, pp. 86–95 (in Russian). <https://doi.org/10.31111/vegus/2006.09.86>
 20. Shcherban S. A., Melnic A. V. Size-weight and biochemical characteristics of somatic growth of young Black Sea bivalvia mollusks *Anadara kagoshimensis* and *Flexopecten glaber ponticus*. *Ekosistemy*, 2020, no. 22, pp. 97–104 (in Russian).
 21. Biye E. H., Cron G. V., Balkwill K. Morphometric delimitation of *Gnetum* species in Africa. *Plant Syst. Evol.*, 2016, vol. 302, pp. 1067–1082. <https://doi.org/10.1007/s00606-016-1317-3>
 22. Cruz-Lustre G., Batista J. A. N., Radins J. A., Gonzalez A., Borba E. L. Morphometric analysis of the *Habenaria parviflora* complex (Orchidaceae). *Plant Syst. Evol.*, 2020, vol. 306. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00606-020-01634-2> (accessed 15 March 2022).
 23. Finot V. L., Soreng R. J., Giussani L. M., Munoz R. G. A multivariate morphometric delimitation of species boundaries in the South American genus *Nicoraepoa* (Poaceae: Pooideae: Poeae). *Plant Syst. Evol.*, 2018, vol. 304, pp. 679–697. <https://doi.org/10.1007/s00606-018-1499-y>
 24. Torrecilla P., Acedo C., Marques I., Díaz-Pérez A. J., López-Rodríguez J. Á., Mirones V., Sus A., Llamas F., Alonso A., Pérez-Collazos E., Viruel J., Sahuquillo Sancho M. D., Komac B., Manso J. A., Segarra-Moragues J. G., Draper D., Villar L., Catalán P. Morphometric and molecular variation in concert: Taxonomy and genetics of the reticulate Pyrenean and Iberian alpine spiny fescues (*Festuca eskia* complex Poaceae). *Bot. J. Linn. Soc.*, 2013, vol. 173, pp. 676–706. <https://doi.org/10.1111/boj.12103>
 25. *STATISTICA (data analysis software system)*. Available at: <http://www.statsoft.com> (accessed 15 March 2022).
 26. Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol. Electron.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–9.

Поступила в редакцию 17.06.22; одобрена после рецензирования 25.06.22; принята к публикации 30.06.22
 The article was submitted 17.06.22; approved after reviewing 25.06.22; accepted for publication 30.06.22