

УДК 581.4+581.524.2(477.75)

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ *BERBERIS AQUIFOLIUM* PURSH НА ЮЖНОМ БЕРЕГУ КРЫМА

Юрий Владимирович Плугатарь, Зоя Дмитриевна Бондаренко,
Наталья Александровна Багрикова

Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН,
298648, Республика Крым, м.о. город-курорт Ялта,
тер. Никитский ботанический сад, здание 1, строение 1
E-mail: dreada2803@mail.ru

В статье рассмотрены морфометрические особенности *Berberis aquifolium* в естественных фитоценозах на Южном берегу Крыма. Вид относится к вечнозелёным кустарникам североамериканского происхождения, интродуцирован в Европе в XIX веке. В Крыму культивируется с XX века, имеет второй инвазионный статус. Исследования проведены в семи локалитетах на трех особо охраняемых природных территориях («Никитский ботанический сад», Государственные природные заповедники «Ялтинский горно-лесной» и «Мыс Мартыан»). Проанализированы восемь морфометрических параметров (высота куста, количество листьев, длина и ширина листа, длина черешка, количество листочков в листе, длина и ширина листочка). Для оценки внутривидовой изменчивости и дифференциации ценопопуляций применен многомерный анализ (кластерный, дискриминантный, корреляционный, метод главных компонент). Установлено, что ценопопуляции существенно различаются по ряду показателей. Выделены группы сходных и наиболее контрастных по морфологическим характеристикам ценопопуляций. Наиболее высокие значения морфометрических параметров отмечены в ценопопуляциях с более благоприятными условиями произрастания в тальвегах и на склонах балок, тогда как минимальные показатели характерны для ценопопуляций, описанных на южных склонах на высоте более 400 м н.у.м. Основным лимитирующим фактором является режим увлажнения почвы. Корреляционный анализ выявил тесные положительные связи между большинством признаков, отражающие их согласованное развитие. Результаты анализов подтвердили морфоструктурную неоднородность ценопопуляций и позволили определить наиболее информативные признаки, обуславливающие их дифференциацию. Установлено, что ведущую роль в дифференциации ценопопуляций играет высота куста, существенный вклад также вносят ширина листа, длина черешка и количество листьев, отражающие особенности габитуса и строения листового аппарата. Наименьшую дискриминирующую способность показали количество листочков в листе и ширина листочка, что позволяет рассматривать их как относительно стабильные признаки вида.

Ключевые слова: многомерный анализ, магония падуболистная, особо охраняемая природная территория, Крымский полуостров.

Введение

Чужеродные виды растений широко распространены по всему миру, а их инвазия остаётся одной из самых значимых экологических проблем современности. Такие виды способны не только приживаться вне своего природного ареала, но и активно расселяться, вытесняя местные виды, нарушая структуру и функции экосистем. Их распространение связано с деятельностью человека, транспортом, международной торговлей и изменением климата, что облегчает проникновение и закрепление чужеродных растений в новых условиях, включая природные сообщества (Seebens et al., 2021).

Особое внимание исследователей уделяют видам, которые обладают высокой адаптивностью, устойчивы к различным стрессовым факторам и способны образовывать устойчивые популяции в природных и нарушенных биотопах. Одним из таких видов является *Berberis aquifolium* Pursh (син. *Mahonia aquifolium* (Pursh) Nutt.) – вечнозелёный кустарник семейства Berberidaceae, родом из западной части Северной Америки (от Британской Колумбии до Калифорнии и далее на восток до Монтаны и Айдахо), где произрастает в подлеске открытых и смешанных лесов, на склонах и в

зарослях, демонстрируя толерантность к тени и засухе (Ross et al., 2009; Ross, 2009). Вид интродуцирован в XIX веке, натурализовавшиеся растения встречаются во многих регионах Европы, Азии и Океании, в том числе на территории Российской Федерации (Hulme, 2007; Ross et al., 2009; Hosking et al., 2011; Сорокопудов и др., 2013; Randall, 2017).

В Крыму магония была введена в культуру в конце XX века, в настоящее время отмечено ее активное распространение в различных природных и антропогенно трансформированных местообитаниях Южного берега полуострова, включая особо охраняемые природные территории (ООПТ). Для территории Крыма для вида определен 2-ой инвазионный статус (Кожевникова, Рубцов, 1971; Плугатарь и др., 2015; Багрикова, Бондаренко, 2021; Багрикова и др., 2021 б).

Изучение внутривидовой морфологической изменчивости растений имеет важное значение для понимания механизмов адаптации видов к различным экологическим условиям. Морфометрические признаки отражают реакцию растений на факторы среды и могут служить индикаторами жизнеспособности и устойчивости ценопопуляций.

Цель исследования – выявление морфометрических особенностей растений *Berberis aquifolium* в разных ценопопуляциях Горного Крыма с применением методов многомерного анализа.

Материалы и методы исследований

Изучение восьми морфометрических параметров *Berberis aquifolium* проводилось на особо охраняемых природных территориях Южного берега Крыма: «Никитский ботанический сад» и государственные природные заповедники «Ялтинский горно-лесной» и «Мыс Мартыан» в 2019–2024 годы в разных эколого-ценотических условиях, в которых выделено и описано семь ценопопуляций (ЦП) (Бондаренко, 2021; Бондаренко, Багрикова, 2024).

Никитский ботанический сад (НБС) расположен в нижнем приморском поясе на высотах 0–240 м н.у.м. Исследования проводились в Арборетуме, где представлено значительное разнообразие древесных и кустарниковых растений, в том числе интродуцированных видов. Кроме того, сохранились участки с естественной растительностью (Плугатарь и др., 2015, 2018 б).

ГПЗ «Ялтинский горно-лесной» (ГПЗ ЯГЛ) расположен на южном макросклоне Главной гряды Крымских гор в основном в пределах высот 380–1200 м н.у.м. и характеризуется хорошо сохранившейся естественной растительностью, где преобладают хвойные и широколиственные леса (Бондаренко, 2023).

ГПЗ «Мыс Мартыан» (ГПЗ ММ) занимает территорию в нижнем высотном лесном поясе в диапазоне высот от 0 до 240 м н.у.м. При значительном разнообразии растительности преобладают пушистодубовые и можжевельниковые сообщества с участием земляничника мелкоплодного (*Arbutus andrachne* L.) и фисташки туполистной (*Pistacia atlantica* Desf.) (Плугатарь и др., 2018).

Изучение морфометрических параметров растений (высота куста, количество листьев на побеге, длина и ширина сложного листа, длина черешка, количество листочков в листе, а также длина и ширина листочков (листовой пластины) выполнено в соответствии с методикой В.Н. Голубева (1962), по которой в каждой ценопопуляции измерения проводились на 25 экземплярах средневозрастных растений (Жидких, Мартынова, 2011). Для всех параметров определяли среднее значение (М) и стандартную ошибку (m) по методике Г.Н. Зайцева (1990). Для анализа взаимосвязей между морфометрическими признаками рассчитывали коэффициенты корреляции Пирсона. В зависимости от величины коэффициента выделяли следующие степени

тесноты связи: очень сильная ($r > 0,8$), сильная ($r = 0,71-0,8$), умеренная ($r = 0,61-0,7$) и слабая ($r = 0,5-0,6$) (Пархоменко, Кашин, 2011).

Для выявления особенностей морфологических признаков использовали методы многомерного статистического анализа. Кластерный анализ проводили с применением иерархической классификации методом Варда и кластеризации методом k-средних с использованием Евклидова расстояния. С целью выявления фенотипического сходства и различий растений в разных ценопопуляциях применяли дискриминантный анализ (DA) (Тюрин, Щеглов, 2015) с использованием расстояния Махаланобиса, позволяющего учитывать дисперсию и корреляцию анализируемых признаков, а также анализ главных компонент (PCA) (Песенко, 1982). При этом статистическая значимость оценивалась при уровне $p < 0,05$.

Статистическая обработка выполнялась с использованием программных пакетов Microsoft Excel 2010, STATISTICA 10, PAST 3.26 (Hammer et al., 2001). Названия растений приведены по базе данных Plant of the World On-line (POWO, 2026).

Результаты и обсуждение

В ходе исследований выделено семь ценопопуляций *Berberis aquifolium*: пять на территории ГПЗ ЯГЛ (ЦП 1–5) и по одной в НБС (ЦП 6) и ГПЗ ММ (ЦП 7). Все ЦП приурочены к лесным сообществам различной сомкнутости, на склонах разной экспозиции в диапазоне высот 120–535 м н.у.м., преимущественно в дубово-грабинниковых и сосново-широколиственных фитоценозах (Бондаренко, 2021; Бондаренко, Багрикова, 2024).

ЦП 1 Лесхоз (Лес) – расположена на юго-западных крутых до 45 град. склонах (360–380 м н.у.м.) в сомкнутых сосново-грабово-кленово-кизиловых лесах с хорошо развитым подлеском и богатым травяно-кустарничковым покровом.

ЦП 2 Долоссы 1 (Дол 1) – приурочена к сосново-дубово-грабинниково-кизиловым сообществам на склонах южной и юго-западной экспозиции (345–535 м н.у.м.), крутизной 5–35 град. выше глубокой балки, отличается относительно высокой сомкнутостью древостоя, при общем проективном покрытии 40–60%.

ЦП 3 Долоссы 2 (Дол 2) – расположена ниже глубокой балки на склонах западной и северо-западной экспозиции (325–500 м н.у.м.), крутизной 5–30 град. в сосново-дубово-грабинниковых сообществах с участием можжевельника дельтовидного (*Juniperus deltoides* R.P.Adams).

ЦП 4 Шайтан-Мердвень (ШМ) – описана в дубово-грабинниковых сомкнутых сообществах на склонах юго-восточной экспозиции (420–460 м н.у.м.), с крутизной 20–25 град. с выраженным участием кустарников и теневыносливых видов с общим проективным покрытием от 25 до 60 %.

ЦП 5 Ай-Никола – Солнечная тропа (АС) – описана в дубово-сосново-грабинниковых и дубово-грабинниково-кизиловых лесах различной сомкнутости, в системе склонов и балок северной и северо-восточной экспозиции (160–330 м н.у.м.) крутизной от 5 до 35 град.

ЦП 6 НБС «Чертова балка» (ЧБ) – описана на крутых (30–35 град.) склонах балки на территории Арборетума НБС (120–130 м н.у.м.), в пушистодубово-грабинниково-кленовых сообществах со значительным участием интродуцентов (*Laurus nobilis* L., *Quercus ilex* L., *Laburnum anagyroides* и др.), отличается высокой сомкнутостью древостоя.

ЦП 7 Мыс Мартьян (ММ) – расположена на южных и юго-восточных склонах крутизной 10–20 град. (140–160 м н.у.м.), в пушистодубово-грабинниковых сообществах с участием можжевельников (*Juniperus excelsa* M.Bieb., *J. deltoides*).

Анализ морфометрических показателей *Berberis aquifolium* выявил значительный разброс значений нескольких параметров между ценопопуляциями (табл. 1). Средняя высота кустов варьирует от 32,5 см (Дол 1) до 79,9 см (ЧБ), количество листьев – от 6 (ШМ) до 11 шт. (Лес), длина черешка – от 2,8 (ШМ) до 6,3 см (АС) и количество листочков в листе – от 6,1 (ШМ, Дол 1) до 7,2 шт. (АС).

Таблица 1

Средние значения морфометрических показателей в изученных ценопопуляциях
Berberis aquifolium Pursh в Горном Крыму

Table 1

Average values of morphometric parameters in the studied
Berberis aquifolium Pursh cenopopulations in the Crimean Mountains

	ШМ ShM	АС AS	Дол1 Dol1	Дол2 Dol2	Лес Les	ЧБ ChB	ММ MM
Н	36,7±2,8	69,2±5,8	32,5±2,5	57,2±13,9	49,5±4,7	79,9±10,7	61,5±6,5
Nfol	5,6±0,4	9,4±0,7	9,5±2,9	10,2±1,6	11,0±1,5	9,9±0,5	8,7±1,1
Лл	13,4±5,2	21,5±6,4	16,1±8,7	17,8±9,8	24,1±4,8	21,6±0,7	18,4±1,4
Whл	9,3±2,1	11,2±3,4	8,8±5,2	9,3±6,2	11,6±3,6	12,5±0,6	9,2±0,4
Лч	2,8±1,8	6,3±1,2	3,6±3,5	4,2±4,2	5,1±2,7	4,8±0,6	4,2±0,7
Nfol/л	6,1±0,2	7,2±0,2	6,1±0,3	6,8±0,2	7,0±0,2	6,9±0,3	6,6±0,2
Lfol	48,1±0,5	60,9±0,8	53,5±1,4	51,5±0,8	67,4±0,8	65,0±1,2	52,6±0,8
Whfol	21,9±0,2	29,5±0,3	24,5±0,7	26,8±0,3	31,8±0,4	30,8±0,7	24,4±0,8

Примечание. Н – высота куста, см; Nfol – количество листьев, шт; Лл – длина листа, см; Whл – ширина листа, см; Лч – длина черешка, см; Nfol/л – количество листочков в листе, шт; Lfol – длина листочка, мм; Whfol – ширина листочка, мм.
Note. Н – bush height, cm; Nfol – number of leaves, pcs; Лл – leaf length, cm; Whл – leaf width, cm; Лч – petiole length, cm; Nfol/л – number of leaflets in a leaf, pcs; Lfol – leaflet length, mm; Whfol – leaflet width, mm.

Установлено, что наибольшие средние значения не менее чем трёх морфометрических признаков (высота куста, размеры листьев и листочков, длина черешка) характерны для ценопопуляций в заповеднике «Ялтинский горно-лесной» (Лес и АС) и в «Никитском ботаническом саду» (ЧБ), которые расположены на склонах и тальвегах балок, что свидетельствует о более благоприятных условиях произрастания и высокой жизнеспособности растений в этих местообитаниях. Тогда как минимальные значения большинства показателей отмечены в ценопопуляциях ШМ и Дол1, которые описаны в заповеднике «Ялтинский горно-лесной» выше 400 м н.у.м., на склонах южной и юго-западной экспозиции, где одним из лимитирующих факторов является недостаточное увлажнение. Это подтверждают данные, полученные при изучении параметров фундаментальной экологической ниши вида и реализованных ниш сообществ, отражающих высокую степень адаптации *Berberis aquifolium* к условиям вторичного ареала на ЮБК (Бондаренко, 2021; Багрикова, Бондаренко, 2024; Бондаренко, Багрикова, 2024).

Корреляционный анализ показал наличие преимущественно положительных связей различной силы между морфометрическими признаками (табл. 2), что свидетельствует об их согласованном развитии (при $p \leq 0,05$). Очень высокая ($r > 0,8$) и высокая ($r = 0,71-0,8$) степень корреляции установлена между значениями длины листа с шириной листа, длиной черешка и количеством листочков в листе, длиной и шириной листочков. Кроме того, сильная положительная связь отмечена между количеством листьев: длиной листа и шириной листочка, а также между высотой куста и количеством листочков в сложном листе.

Таблица 2

Корреляционные связи морфометрических параметров ценопопуляций
Berberis aquifolium Pursh

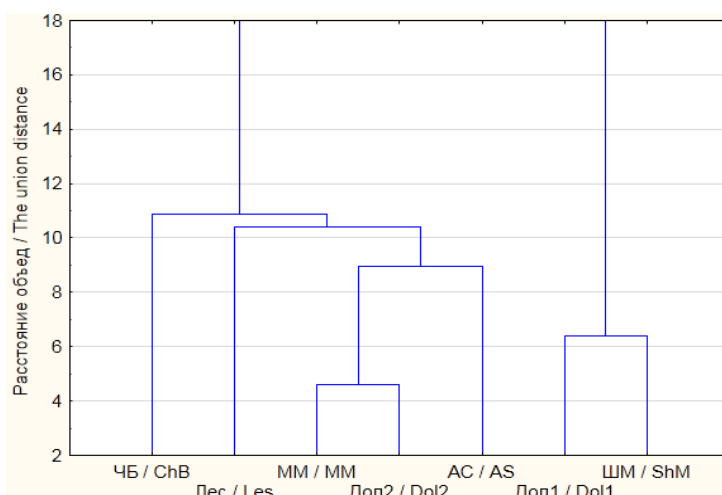
Table 2

Correlations of morphometric parameters of cenopopulations *Berberis aquifolium* Pursh

	H	Nfol	Lл	Whл	Lч	Nfol/л	Lfol	Whfol
H	–							
Nfol	0.37	–						
Lл	0.63	0.77	–					
Whл	0.70	0.42	0.82	–				
Lч	0.69	0.59	0.85	0.69	–			
Nfol/л	0.78	0.62	0.88	0.74	0.93	–		
Lfol	0.53	0.67	0.94	0.91	0.74	0.73	–	
Whfol	0.62	0.77	0.96	0.88	0.82	0.86	0.95	–

Обозначения такие же, как в табл. 1.

Для комплексной оценки изменчивости морфометрических параметров на следующем этапе исследования был применён кластерный анализ. На построенной дендрограмме (рис. 1) наглядно отражена степень их сходства и различий в разных ценопопуляциях по совокупности анализируемых признаков.



По оси абсцисс – ценопопуляции, по оси ординат – Евклидово расстояние

The abscissa axis represents cenopopulations, and the ordinate axis represents the Euclidean distance.

Рис. 1 Дендрограмма дифференциации ценопопуляций *Berberis aquifolium* Pursh

Fig. 1 Dendrogram of cenopopulation differentiation of *Berberis aquifolium* Pursh

Кластеризация методом k -средних позволила разделить все ценопопуляции на четыре группы, центры которых равномерно удалены друг от друга от 0,77 до 1,81 ус.ед. (табл. 3). Три кластера включают пары близких ценопопуляций: MM и Дол2 (2 кластер), ШМ и Дол1 (3 кластер), AC и ЧБ (4 кластер). Ценопопуляция Лесхоз выделена в отдельный кластер, так как отличается по большинству показателей от остальных. Наиболее близкими являются 1 и 2 кластеры (4,00 ус.ед.), тогда как наибольшее различие наблюдается между 3 и 4 кластерами (13,60 ус.ед.). Незначительны расстояния между 1 кластером и 3, 4, а также 2 кластером и 3, 4 (5,32–

8,42 ус.ед.). Это свидетельствует о существенных различиях между группами объектов, объединёнными в эти кластеры.

Таблица 3

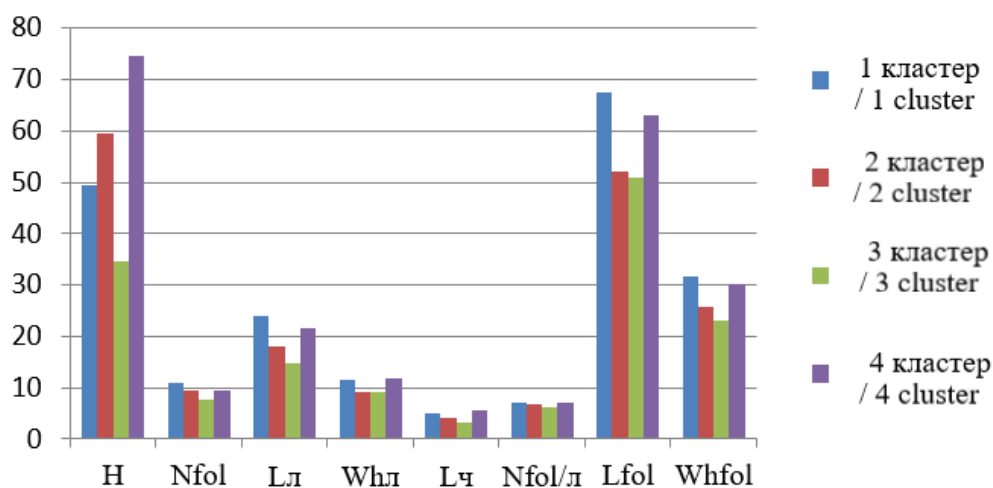
Элементы кластеров согласно кластеризации методом k-средних
(Евклидово расстояние между кластерами под диагональю)

Table 3

Cluster elements according to k-means clustering
(Euclidean distance between clusters under the diagonal)

	1 кластер / 1 cluster	Расстояние до центра 1 кластера / Distance to the center of cluster 1	2 кластер / 2 cluster	Расстояние до центра 2 кластера / Distance to the center of cluster 2	3 кластер / 3 cluster	Расстояние до центра 3 кластера / Distance to the center of cluster 3	4 кластер / 4th cluster	Расстояние до центра 4 кластера / Distance to the center of cluster 4
	Лес	00,00	Дол 2	0,77	ШМ	1,07	АС	1,81
			ММ	0,77	Дол1	1,07	ЧБ	1,81
1 кластер / 1 cluster	0							
2 кластер / 2 cluster	4,00		0					
3 кластер / 3 cluster	6,11		8,37		0			
4 кластер / 4th cluster	8,42		5,32			13,60	0	

Наиболее высокие показатели морфометрических признаков отмечены в кластере 4 – растения достигают максимальной высоты (74,6 см) и формируют крупные листья с длинными черешками и большим количеством листочков, что обусловлено благоприятными условиями произрастания (балка) (рис. 2). Растения кластера 1 формируют наиболее крупные листовые пластины (длина листа 24,1 см, длина листочка 67,4 мм) при средней высоте куста.



Обозначения такие же, как в табл. 1.

Рис. 2 Средние значения морфометрических показателей ценопопуляций *Berberis aquifolium* Pursh по кластерам

Fig. 2 Average values of morphometric parameters of cenopopulations of *Berberis aquifolium* Pursh by cluster

Учитывая высокую сомкнутость древостоя (0,8), данная морфологическая особенность, вероятно, является адаптацией к условиям затенения. Растения кластера 2 характеризуются умеренными значениями морфометрических признаков, занимая промежуточное положение между кластерами-лидерами и аутсайдерами. Кластер 3 объединяет наименее развитые растения с минимальными значениями всех изученных параметров, что указывает на произрастание в сложных экологических условиях, характерных для склонов.

Анализ Евклидовых расстояний (табл. 4) подтвердил близость указанных пар ценопопуляций по морфологическим характеристикам: Дол 2 и ММ (5,3), ШМ и Дол 1 (8,8), а также АС и ЧБ (12,1). В то же время выявил максимальные различия между ценопопуляциями ЧБ и Дол 1 (49,8), ЧБ и ШМ (48,1), а также между АС и ШМ (37,1).

Таблица 4

Евклидово расстояние (нижняя часть) и квадраты расстояний Махаланобиса (верхняя часть) между ценопопуляциями *Berberis aquifolium* Pursh

Table 4

Euclidean distance (bottom) and squared Mahalanobis distances (top) between *Berberis aquifolium* Pursh cenopopulations

№ ЦП № CP	ШМ ShM	АС AS	Дол 1 Dol1	Дол 2 Dol2	Лес Les	ЧБ ChB	ММ MM
ШМ / ShM	0,00	119,7	140,0	482,7	72,9	90,0	134,0
АС / AS	37,1	0,00	9,2	157,3	67,0	161,9	31,7
Дол 1 / Dol1	8,8	38,4	0,00	117,2	48,0	146,5	16,9
Дол 2 / Dol2	22,4	16,3	25,0	0,00	235,1	358,4	124,5
Лес / Les	28,1	21,2	24,8	19,6	0,00	55,6	28,9
ЧБ / ChB	48,1	12,1	49,8	27,5	31,1	0,00	98,9
ММ / MM	26,1	13,2	29,1	5,3	21,5	23,7	0,00

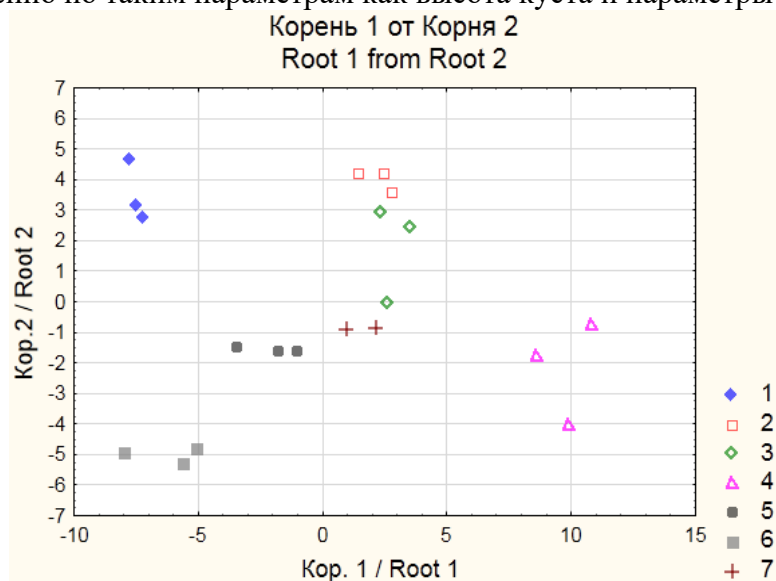
Квадраты расстояний Махаланобиса, представленные в таблице 4 (верхняя часть матрицы), отражают степень различий между ценопопуляциями *Berberis aquifolium* с учётом взаимосвязи и изменчивости изученных параметров. Их анализ подтверждает полученные ранее результаты и позволяет выявить наиболее контрастные пары ценопопуляций. Максимальные различия отмечены между ценопопуляциями Дол 2, с ШМ (482,7), ЧБ (358,4) и Лес (235,1). Полученные значения свидетельствуют о значительном морфоструктурном разнообразии указанных ценопопуляций и выраженной дифференциации растений, связанной с различиями условий произрастания. ЦП ШМ находится в дубово-грабниковых сообществах на высоте 420–455 м н. у. м. и в ней отмечены минимальные значения большинства морфометрических показателей. ЦП ЧБ описана на крутых склонах балки (120–130 м н.у.м.) в пушистодубово-грабниково-кленовом сообществе, а ЦП Лес на крутых (до 45 град.) юго-западных склонах балки (360–380 м н.у.м.) в сосново-грабово-кленово-кизильных лесах. В этих ценопопуляциях отмечены максимальные средние значения по не менее, чем трём морфометрическим признакам. Указанные ценопопуляции являются наиболее фенотипически различными, как относительно друг друга, так и остальными ценопопуляциями.

Небольшие расстояния между ЦП Дол 1 и двумя ЦП: АС (9,2) и ММ (16,9) могут указывать на сходство экологических условий их местообитаний, которые обуславливают незначительные различия значений по большинству морфометрических параметров. Ценопопуляция Лес занимает промежуточное положение, демонстрируя

умеренные значения расстояний Махаланобиса с большинством других ценопопуляций (от 48,0 до 72,9).

Таким образом, анализ расстояний Махаланобиса позволил более детально оценить неоднородность ценопопуляций *Berberis aquifolium* и выделить группы наиболее сходных и наиболее контрастных по морфометрическим характеристикам ценопопуляций.

Дискриминантный анализ ценопопуляций *Berberis aquifolium* показал, что первая дискриминантная функция объясняет 72,1% общей изменчивости, в то время как вклад второй функции составляет 27,9%. Результаты канонического анализа подтверждают морфоструктурную неоднородность особей *B. aquifolium* в пределах изученных ценопопуляций (рис. 3). При этом ценопопуляции Лесхоз (ЦП 1), Шайтан Мердвен (ЦП 4) и Чертова балка (ЦП 6) обособлены, располагаются в отдельных секторах в пространстве дискриминантных функций и не перекрываются с основным массивом ценопопуляций, что указывает на их выраженные морфологические различия, особенно по таким параметрам как высота куста и параметры листочка.



Ценопопуляции: 1 – Лес; 2 – Дол 1; 3 – Дол 2; 4 – ШМ; 5 – АС; 6 – ЧБ; 7 – ММ
Cenopopulations: 1 – Les; 2 – Dol 1; 3 – Dol 2; 4 – ShM; 5 – AS; 6 – ChB; 7 – MM

Рис. 3 Результаты дискриминантного анализа ценопопуляций *Berberis aquifolium* Pursh по совокупности морфометрических признаков

Fig. 3 Results of discriminant analysis of *Berberis aquifolium* Pursh cenopopulations based on a set of morphometric characteristics

В таблице 5 представлены результаты пошагового дискриминантного анализа (Forward stepwise), позволившего выявить наиболее информативные морфометрические признаки, определяющие различия между ценопопуляциями *Berberis aquifolium*. Оценка вклада признаков проводилась по значениям лямбды Уилкса и критерия Фишера.

Установлено, что ведущую роль в дифференциации ценопопуляций играет высота куста ($\lambda = 0,00080$; $F = 6,35$). Существенный вклад также вносят ширина листа, длина черешка и количество листьев, отражающие особенности габитуса растения и строения листового аппарата. Длина листа и длина листочка оказывают заметное, но менее выраженное влияние. Наименьшую дискриминирующую способность показали количество листочков в листе и ширина листочка, что позволяет рассматривать их как относительно стабильные признаки вида. В целом анализ подтвердил, что основные внутривидовые различия *B. aquifolium* в условиях Горного Крыма обусловлены

прежде всего параметрами общего габитуса растений и размерами листьев. Наши данные дополняют результаты исследований, полученные другими авторами по изучению морфологических признаков листа магонии (Жидких, Мартынова, 2009).

Таблица 5

Результаты пошагового дискриминантного анализа методом последовательного пополнения в ценопопуляциях *Berberis aquifolium* Pursh

Table 5

Results of stepwise discriminant analysis using the sequential recruitment method in cenopopulations of *Berberis aquifolium* Pursh

Признак Sign	λ -Уилкса Wilkes's λ	Критерий Фишера Fisher's criterion
Высота куста / Bush height	0,00080	6,3487
Количество листьев / Number of leaves	0,00062	4,6119
Длина листа / Leaf length	0,00054	3,7949
Ширина листа / Leaf width	0,00066	4,9507
Длина черешка / Petiole length	0,00063	4,6508
Количество листочков / Number of leaflets	0,00008	0,7663
Длина листочка / Leaflet length	0,00049	3,3917
Ширина листочка / Leaflet width	0,00009	0,7174

В таблице 6 приведены значения структурных и стандартизированных коэффициентов канонической дискриминантной функции, которые отражают вклад отдельных морфометрических признаков в формирование межгрупповых различий ценопопуляций *Berberis aquifolium*. Структурные коэффициенты характеризуют степень корреляции каждого признака с канонической дискриминантной функцией, тогда как стандартизированные коэффициенты позволяют оценить относительный вклад признаков в дискриминацию групп с учётом их совместного влияния.

Таблица 6

Значения структурных и стандартизированных коэффициентов канонической дискриминантной функции

Table 6

Values of structural and standardized coefficients of the canonical discriminant function

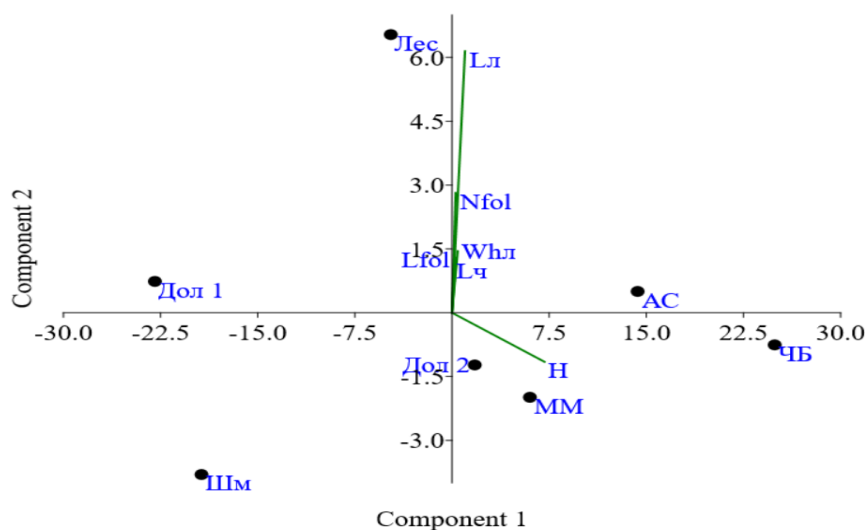
Параметры Parameters	Структурный коэффициент Structural coefficient	Стандартизированный коэффициент канонической дискриминантной функции Standardized coefficient of the canonical discriminant function
Длина листочка / Leaflet length	4,653	-1,559
Ширина листа / Leaf width	1,236	1,053
Длина черешка / Petiole length	1,232	1,009
Длина листа / Leaf length	-1,116	-1,864
Количество листьев / Number of leaves	-0,230	-0,715
Высота куста / Bush height	-0,093	-1,298
Количество листочков / Number of leaflets	-	-
Ширина листочка / Leaflet width	-	-

Наибольшее значение структурного коэффициента отмечено для длины листочка (4,653), что указывает на ведущую роль данного признака в дифференциации ценопопуляций. Высокий по модулю стандартизированный коэффициент (-1,559) подтверждает значимость длины листочка как одного из ключевых параметров,

определяющих положение объектов в дискриминантном пространстве. Значительный вклад в формирование дискриминантной функции также вносят ширина листа и длина черешка, для которых отмечены положительные значения как структурных (1,236 и 1,232 соответственно), так и стандартизированных коэффициентов (1,053 и 1,009). Это свидетельствует о том, что увеличение данных параметров способствует усилению различий между ценопопуляциями и смещению их в одном направлении дискриминантной оси.

Длина листа характеризуется отрицательными значениями структурного (–116) и стандартизированного коэффициентов (–1,864), что указывает на противоположное направление влияния данного признака по отношению к ширине листа и длине черешка. Существенный по модулю стандартизированный коэффициент свидетельствует о значимой роли длины листа в разделении групп. Количество листьев и высота куста (Н) имеют сравнительно меньшие значения структурных коэффициентов (–0,230 и –0,093 соответственно), однако их стандартизированные коэффициенты (–0,715 и –1,298) показывают, что данные признаки также вносят вклад в дискриминацию ценопопуляций, преимущественно в отрицательном направлении канонической функции.

Параметры количество листочков в листе и ширина листочка не были включены в каноническую дискриминантную функцию, что свидетельствует об их низкой информативности для различения исследуемых ценопопуляций *Berberis aquifolium*.



Примечание: Н – высота куста, см; Nfol – количество листьев, шт; Лл – длина листа, см; Whл – ширина листа, см; Lч – длина черешка, см; Lfol – длина листочка, мм.

Note: Н – bush height, cm; Nfol – number of leaves, pcs; Лл – leaf length, cm; Whл – leaf width, cm; Lч – petiole length, cm; Lfol – leaflet length, mm.

Ценопопуляции / Cenopopulations: Лес / Les (Лесхоз); Дол 1 / Dol 1 (Долоссы 1); Дол 2 / Dol 2 (Долоссы 2); ШМ / ShM (Шайтан-Мердвень); АС / AS (Ай-Никола-Солнечная тропа); ЧБ / ChB – Чертова балка; ММ / MM (Мыс Мартыян)/

Рис. 4 Дифференциация ценопопуляций *Berberis aquifolium* Pursh на ординационной матрице (Past 3,26)

Fig. 4 Differentiation of *Berberis aquifolium* Pursh coenopopulations on the ordination matrix (Past 3.26)

Таким образом, анализ коэффициентов канонической дискриминантной функции показал, что ведущую роль в межгрупповой дифференциации ценопопуляций *Berberis aquifolium* играют параметры листового аппарата, прежде всего длина

листочка, длина и ширина листа, а также длина черешка, тогда как такие признаки, как количество листочков в листе и ширина листочка, являются менее значимыми для дискриминации.

Сопоставив полученные данные переменных, включённых в модель и имеющих наибольшее значение в межгрупповых различиях, которые были получены в результате сравнительного анализа стандартизованных коэффициентов и пошаговым дискриминантным анализом с включением, можно выявить, что в качестве информативных были включены шесть одинаковых признаков: параметры листового аппарата (длина и ширина листа, длина черешка и листочка), количество листьев и высота куста. Также вклад каждого признака и распределение ЦП на кластеры подтверждают данные, полученные с помощью метода главных компонент (РСА) (рис. 4). Векторы признаков исходят из начала координат и отражают направление увеличения соответствующих характеристик. Большинство признаков ориентированы в сторону положительных значений первой компоненты, что указывает на их вклад в формирование правой части ординационного пространства. Где для ЦП Лес ключевыми являются все параметры листового аппарата, а для ЦП АС, ЧБ, Дол 2 и ММ высота куста. На противоположной стороне ординационной матрицы находятся ЦП Дол 1 и ШМ, характеризующиеся отрицательными значениями Component 1 и минимальными средними значениями морфометрических признаков.

Заключение

Ценопопуляции *Berberis aquifolium* существенно различаются по морфометрическим показателям, что свидетельствует о высокой фенотипической пластичности вида и его способности адаптироваться к различным экологическим условиям. Наиболее благоприятные условия для развития растений на ЮБК отмечены в ценопопуляциях на территории заповедника «Ялтинский горно-лесной» (Лесхоз, Фй-Никола–Солнечная тропа) и «Никитского ботанического сада» (Чертова балка), приуроченных к тальвегам и склонам балок, тогда как ценопопуляции Шайтан-Мердвень и Долоссы 1, описанные также в «Ялтинском-горно-лесном» заповеднике на южных склонах выше 400 м н.у.м., характеризуются минимальными значениями большинства признаков, что подчёркивает определяющую роль режима увлажнения и экспозиции склонов как лимитирующих факторов.

Корреляционный анализ выявил тесную взаимосвязь морфометрических признаков, прежде всего параметров листового аппарата, формирующих единый морфологический комплекс и отражающих согласованное развитие вегетативных органов. Применение многомерных статистических методов при изучении изменчивости внутри вида подтвердило выраженную структурную неоднородность изученных ценопопуляций, позволило выделить как группы морфологически сходных, так и резко отличающихся ценопопуляций, обусловленных различиями экологических условий среды и локальными особенностями местообитаний. Основной вклад в межгрупповую дифференциацию вносят параметры габитуса и листового аппарата (высота куста, ширина листа, длина черешка), тогда как отдельные признаки листочков являются более стабильными, что позволяет рассматривать их как фоновые характеристики вида.

Благодарности

Работа выполнена в рамках темы Госзадания ФГБУН «НБС-ННЦ» № FNNS-2025-0006.

Acknowledgements

The study was carried out within the framework of the State Task № FNNS-2025-0006 of FSFIS “NBG-NSC”.

Литература / References

Багрикова Н.А., Бондаренко З.Д. Инвазионные виды растений на территории государственного природного заповедника «Ялтинский горно-лесной» // Горные экосистемы и их компоненты: материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Нальчик, 20–25 сентября 2021 г.). Нальчик: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт экологии горных территорий им. А.К. Темботова РАН, 2021. С. 131–132.

[Bagrikova N.A., Bondarenko Z.D. Invasive plant species on the territory of the Yalta Mountain-Forest State Nature Reserve. Mountain ecosystems and their components: Proc. of the All-Russian scientific and practical conf. with international participation (Nalchik, September 20–25, 2021). Nalchik: Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Ecology of Mountain Territories A.K. Tembotov RAS, 2021: 131–132.]

Багрикова Н.А., Бондаренко З.Д. Особенности адаптации инвазионных видов *Berberis aquifolium* L. и *Daphne laureola* L. в лесных сообществах Южного берега Крыма // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2024. Т. 185, № 2. С. 157–166. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-157-166

[Bagrikova N.A., Bondarenko Z.D. Features of adaptation of invasive species *Berberis aquifolium* L. and *Daphne laureola* L. in forest communities of the Southern coast of the Crimea. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2024. 185 (2): 157–166. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-157-166]

Багрикова Н.А., Бондаренко З.Д., Резников О.Н. О натурализации *Berberis aquifolium* на территории заповедников Южного берега Крыма // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2021 а. Вып. 139. С. 17–28. DOI: 10.36305/0513-1634-2021-139-17-28

[Bagrikova N.A., Bondarenko Z.D., Reznikov O.N. About naturalization of *Berberis aquifolium* in the territory of Nature Reserves of the Southern Coast of the Crimea. Bulletin of the State Nikita Botanical Gardens. 2021 а. 139: 17–28. DOI: 10.36305/0513-1634-2021-139-17-28]

Багрикова Н.А., Плугатарь Ю.В., Бондаренко З.Д., Резников О.Н. Наиболее опасные инвазионные виды растений на особо охраняемых природных территориях Горного Крыма. Научные записки природного заповедника «Мыс Мартыан». 2021 б. Вып. 12. С. 114–148. DOI: 10.36305/2413-3019-2021-12-114-148

[Bagrikova N.A., Plugatar Yu.V., Bondarenko Z.D., Reznikov O.N. The most dangerous invasive plant in Protected Areas of the Mountain Crimea. Scientific Notes of the “Cape Martyan” Nature Reserve. 2021 б. 12: 114–148. DOI: 10.36305/2413-3019-2021-12-114-148]

Бондаренко З.Д. Возрастная структура ценопопуляций *Berberis aquifolium* на особо охраняемых природных территориях Южного берега Крыма // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2021. Вып. 141. С. 24–35. DOI: 10.36305/0513-1634-2021-141-24-35

[Bondarenko Z.D. Age structure of *Berberis aquifolium* cenopopulations in specially protected natural areas of the Southern Coast of Crimea. Bulletin of the State Nikita Botanical Garden. 2021. 141: 24–35. DOI: 10.36305/0513-1634-2021-141-24-35]

Бондаренко З.Д., Багрикова Н.А. Об адаптации *Berberis aquifolium* в лесных сообществах Южного берега Крыма // Экосистемы. 2024. № 37. С. 130–137. DOI: 10.29039/2413-1733-2024-37-130-137

[Bondarenko Z.D., Bagrikova N.A. On the adaptation of *Berberis aquifolium* in forest communities of the Southern Coast of Crimea. *Ecosystems*. 2024. 37: 130–137. DOI: 10.29039/2413-1733-2024-37-130-137]

Голубев В.Н. Основы биоморфологии травянистых растений центральной лесостепи // Труды Центрально-черноземного государственного заповедника им. В.В. Алехина., 1962. Вып. 7. С. 318–359.

[Golubev V.N. Fundamentals of Biomorphology of Herbaceous Plants of the Central Forest-Steppe. *Proceedings of the V.V. Alekhine Central Chernozem State Nature Reserve*. 1962. 7: 318–359.]

Жидких О.Ю., Мартынова Н.А. Изменчивость морфологических признаков листа в роде Магония // Актуальные и новые направления сельскохозяйственной науки. Матер. V межд. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов. Владикавказ: Горский госагроуниверситет, 2009. С. 186–188.

[Zhidkikh O.Yu., Martynova N.A. Variability of morphological traits of leaves in the genus *Mahonia*. *Current and new directions in agricultural science. Proc. V int. conf. of young scientists, postgraduates and students*. Vladikavkaz: "Gorsky State Agrarian University", 2009: 186–188.]

Зайцев Г.Н. Математика в экспериментальной биологии. М.: Наука, 1990. 296 с.
[Zaitsev G. N. *Mathematics in Experimental Biology*. Moscow: Nauka, 1990. 296 p.]

Кожевникова С. К., Рубцов Н.И. Опыт биоэкологического и географического анализа адвентивной флоры Крыма // Труды Государственного Никитского ботанического сада. 1971. Т. 54. С. 5–93.

[Kozhevnikova S.K., Rubtsov N.I. Experience of bioecological and geographical analysis of adventive flora of Crimea. *Proceedings of the State Nikita Botanical Gardens*. 1971. 54: 5–93.]

Песенко Ю.А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. Москва: Наука, 1982. 287 с.

[Pesenko Yu.A. *Principles and Methods of Quantitative Analysis in Faunal Studies*. Moscow: Nauka, 1982. 287 p.]

Плугатарь Ю.В., Коба В.П., Клименко З.К. и др. Интродукция и селекция декоративных растений в Никитском ботаническом саду (современное состояние, перспективы развития и применение в ландшафтной архитектуре). Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2015. 432 с.

[Plugatar Yu. V., Koba V. P., Klimenko Z. K. et al. Introduction and selection of ornamental plants in the Nikita Botanical Garden (current status, development prospects and application in landscape architecture). Simferopol: IT "ARIAL", 2015. 432 p.]

Плугатарь Ю.В., Багрикова Н.А., Костин С.Ю. и др. Обитатели Южного берега Крыма. К 45-летию природного заповедника «Мыс Мартыан» // Природа. 2018. № 8(1236). С. 70–81. DOI 10.31857/S0032874X0000491-9.

[Plugatar Yu.V., Bagrikova N.A., Kostin S.Yu. et al. Inhabitants of the Southern Coast of Crimea. On the 45th Anniversary of the “Cape Martyan” Nature Reserve. *Priroda*. 2018. No. 8(1236): 70–81. DOI 10.31857/S0032874X0000491-9]

Сорокопудов В.Н., Жидких О.Ю., Сорокопудова О.А., Мячикова Н.И., Бриндза Я. Оценка успешности интродукции магонии падуболистной для озеленения в Европе // Современные проблемы науки и образования [Электронный ресурс]. 2013. № 3. С. 1–6. URL: www.science-education.ru/109-9424.

[Sorokopudov V.N., Zhidkikh O.Yu., Sorokopudova O.A., Myachikova N.I., Brindza Ya. Evaluation of the success of the introduction of *Mahonia aquifolium* for landscaping in Europe. *Modern problems of science and education* [Electronic resource]. 2013. 3: 1–6. Available at: www.science-education.ru/109-9424.]

Тюрин В.В., Щеглов С.Н. Дискриминантный анализ в биологии: монография. Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2015. 126 с.

[Tyurin V.V., Shcheglov S.N. Discriminant Analysis in Biology: Monograph. Krasnodar: Kuban State University, 2015. 126 p.]

Hammer Ø, Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*. 2001. N 4(1). 9 p.

Hosking J.R., Conn B.J., Lepshi B.J., Barker C.H. Plant species first recognised as naturalised or naturalising for New South Wales in 2004 and 2005 // *Cunninghamia*. 2011. Vol. 12 (1). P. 85–114. Available at: www.rbgsyd.nsw.gov.au/getmedia/63a94586-bded-4a24-a113-f28f2d447976/cun121hos085.pdf.aspx

Hulme P.E. Biological invasions in Europe: drivers, pressures, states, impacts and responses // *Biodiversity under threat*. 2007. Vol. 25. P. 56–80.

POWO, 2026 Plant of the World On-line. Available at: <http://www.plantsoftheworldonline.org/> (accessed January 22, 2026).

Randall R.P. A Global Compendium of Weeds. Perth, Western Australia. 2017. 3654 p.

Ross C. Invasion success by plant breeding. Evolutionary changes as a critical factor for the invasion of the ornamental plant *Mahonia aquifolium*. Germany: Vieweg and Teubner, 2009. 103 p.

Ross C.A., Faust D., Auge H. Mahonia invasions in different habitats: local adaptation or general-purpose genotypes? // *Biological Invasions*. 2009. Vol. 11 (2). P. 441–452. DOI: 10.1007/s10530-008-9261-y.

Seebens H., Bacher S., Blackburn T.M. et al. Projecting the continental accumulation of alien species through to 2050 // *Global Change Biology*. 2021. Vol. 27. P. 970–982. DOI: 10.1111/gcb.15333.

Статья поступила в редакцию: 22.01.2026

Plugatar Yu.V., Bondarenko Z.D., Bagrikova N.A. Morphometric characteristics of *Berberis aquifolium* Pursh on the southern coast of Crimea // *Plant Biology and Horticulture: theory, innovation*. 2026. № 1 (178). P. 22-35

The article examines the morphometric characteristics of *Berberis aquifolium* in natural phytocenoses on the southern coast of Crimea. The species is an evergreen shrub of North American origin, introduced to Europe in the 19th century. It has been cultivated in Crimea since the 20th century and has the second invasive status. The studies were conducted in seven localities in three Protected Areas (Nikitsky Botanical Garden, Yalta Mountain-Forest and Mys Martyan State Nature Reserves). Eight morphometric parameters were analyzed (bush height, number of leaves, leaf length and width, petiole length, number of leaflets per leaf, leaflet length and width). Multivariate analysis (cluster, discriminant, correlation, and principal component analysis) was used to assess intraspecific variability and differentiate cenopopulations. It was found that cenopopulations differ significantly in a number of parameters. Groups of cenopopulations with similar and most contrasting morphological characteristics were identified. The highest values of morphometric parameters were observed in cenopopulations with more favorable growing conditions in thalwegs and on ravine slopes, while the lowest values were characteristic of cenopopulations described on southern slopes at an altitude of over 400 m above sea level. The main limiting factor is the soil moisture regime. Correlation analysis revealed close positive relationships between most traits, reflecting their coordinated development. The results of the analyses confirmed the morphostructural heterogeneity of the cenopopulations and made it possible to identify the most informative traits determining their differentiation. Bush height was found to play a leading role in cenopopulation differentiation. Leaf width, petiole length, and leaf number, reflecting the characteristics of habit and foliar structure, also make significant contributions. The number of leaflets in a leaf and the width of the leaflet showed the lowest discriminatory ability, which allows us to consider them as relatively stable characteristics of the species.

Keywords: *multivariate analysis, Mahonia aquifolium, specially protected natural area, Crimean Peninsula.*