

УДК 634.21 575.21:581.47 (470.67)  
DOI: 10.33580/24092444\_2024\_2\_15

## Изменчивость морфологических признаков плода природных ценопопуляций *Prunus armeniaca* вдоль высотного градиента (Дагестан)

Д. М. Анатов

Горный ботанический сад – ОП ДФИЦ РАН, Махачкала, Россия

✉ [djalal@list.ru](mailto:djalal@list.ru)

Поступила в редакцию / Received: 15.10.2024

После рецензирования / Revised: 06.11.2024

Принята к публикации / Accepted: 26.11.2024

**Резюме:** В статье представлены результаты исследования изменчивости морфологических признаков плода и косточки природных ценопопуляций абрикоса обыкновенного (*Prunus armeniaca* L.) вдоль высотного градиента. В качестве реперных точек были выбраны три модельные ценопопуляции Внутригорного Дагестана по бассейну реки Аварское Койсу наиболее сильно различающиеся вдоль высотного градиента (600–1420 м над ур. моря). Сравнительный анализ ценопопуляций *P. armeniaca* в условиях Дагестана показал, что дикорастущий абрикос в целом характеризуется мелкими размерами плода и косточки, средний геометрический диаметр плодов и косточек составили 25,4 мм и 14,0 мм соответственно, а масса составляет в среднем 10,6 г и 1,3 г., при этом наибольшие значения по большинству признаков отмечены на высоте 1050 м, наименьшие – 1420 м. Анализ изменчивости (CV, %) количественных признаков показал, что вариабельность признаков уменьшается вдоль высотного градиента, что может свидетельствовать о формировании адаптивной формы и размеров плода и косточки с ростом высоты над уровнем моря. Результаты исследования подтверждены итогами однофакторного дисперсионного, регрессионного и дискриминантного анализов. Установлена наибольшая зависимость от высотного фактора по компонентам дисперсии для признаков: ширина косточки ( $\eta^2 = 32,5\%$ ), доля семени в плоде (31,7%) и средний диаметр косточки (30,4%). По итогам регрессионного анализа выявлено, что высотный уровень оказывает слабый отрицательный эффект на размеры плодов природных ценопопуляций *P. armeniaca*, приводя к постепенному уменьшению ширины и толщины плода, что в конечном итоге приводит к формированию овальных плодов. Коэффициенты корреляции показали заметную достоверную отрицательную связь среднего диаметра плода ( $r_{xy} = -0,36$ ) и массы плода ( $r_{xy} = -0,34$ ) с высотой над уровнем моря. При этом размеры косточки и семени, связанные с толщиной, наоборот увеличиваются с высотой над уровнем моря, что в конечном итоге приводит к увеличению репродуктивного усилия плода ( $r_{xy} = 0,55$ ). Итоги дискриминантного анализа наглядно показали, что вдоль первой оси отражены различия между ЦП по размерам плода вдоль высотного уровня, а вдоль второй оси отражено изменение оптимума абрикоса, что согласуется с оценкой виталитета ценопопуляций. Индекс виталитета ценопопуляций (IVC) показал, что максимум продуктивности ценопопуляций приходится на высоты 800–1200 м, при этом низкое значение размерной пластичности (ISP=1,12) указывает на относительную стабильность размеров плода, косточки и семени вдоль высотного градиента.

**Ключевые слова:** абрикос, ценопопуляции, изменчивость, индекс виталитета ценопопуляций, высотный градиент, морфологические признаки, плод, эндокарпий, семя, Дагестан.

**Для цитирования:** Анатов Д. М. Изменчивость морфологических признаков плода природных ценопопуляций *Prunus armeniaca* вдоль высотного градиента (Дагестан). *Ботанический вестник Северного Кавказа*, 2024, 2: 15–24.

## Variability of fruit morphological traits of natural *Prunus armeniaca* cenopopulations along an altitudinal gradient (Dagestan)

D. M. Anatov

Mountain Botanical Garden of the DFRC RAS, Makhachkala, Russia

✉ [djalal@list.ru](mailto:djalal@list.ru)

**Abstract:** The paper presents the results of the study of variability of fruit and stone morphological traits of natural apricot (*Prunus armeniaca* L.) populations along the altitudinal gradient. Three model cenopopulations of Inner-mountain Dagestan along the Avarskoe Koysu river basin, which differ most strongly along the altitudinal gradient (600–1420 m a.s.l.), were chosen as reference points. Comparative analysis of *P. armeniaca* cenopopulations in Dagestan conditions showed that wild apricot in general is characterised by small fruit and stone sizes, the average geometric diameter of fruit and stone was 25.4 mm and 14.0 mm, respectively, and the weight averaged 10.6 g and 1.3 g, with the highest values for most traits at 1050 m altitude and the lowest at 1420 m altitude. Analysis of variability (CV, %) of quantitative traits showed that variability of traits decreases along the altitudinal gradient, which may indicate the formation of adaptive shape and size of fruit and stone with increasing altitude. The results of the study were confirmed by the results of one-factor variance, regression and discriminant analyses. The highest dependence on the altitude factor in terms of variance components was found for the following traits: stone width ( $\eta^2 = 32,5\%$ ), fruit reproductive effort (31,7%) and average stone diameter (30,4%). Regression analysis revealed that the altitude level negatively affects the fruit size of natural *P. armeniaca* cenopopulations, leading to a gradual decrease in fruit width and thickness, which eventually leads to the formation of oval fruits. Correlation coefficients showed a noticeable significant negative relationship of mean fruit diameter ( $r_{xy} = -0,36$ ) and fruit weight ( $r_{xy} = -0,34$ ) with altitude. Meanwhile, stone and seed thickness related dimensions conversely increased with altitude, ultimately leading to an increase in fruit reproductive effort ( $r_{xy} = 0,55$ ). The results of the discriminant analysis clearly showed that along the first axis, differences between CPs in fruit size along the altitudinal gradient were reflected, and along the second axis, the change in apricot optimum to the peripheries was reflected, which is consistent with the assessment of the vitality of the cenopopulations. The index of vitality of cenopopulations (IVC) showed that the maximum productivity of cenopopulations occurs at altitudes of 800–1200 m, with a low value of dimensional plasticity (ISP=1,12) indicating relative stability of fruit, stone and seed sizes along the altitudinal gradient.

**Keywords:** apricot, cenopopulations, variability, index of vitality of cenopopulations, altitudinal gradient, morphological characters, fruit, endocarp, seed, Dagestan.

**For citation:** Anatov D. M. Variability of fruit morphological traits of natural *Prunus armeniaca* cenopopulations along an altitudinal gradient (Dagestan). *Botanical Journal of the North Caucasus*, 2024, 2: 15–24.

### Введение

Начальным этапом изучения биологического разнообразия является оценка структуры изменчивости природных популяций (Magomedmirzaev, 1978; Solbring, Solbring, 1982). Экологические условия играют важную роль в выявлении пластичности видов, их приспособленности к колебаниям условий внешней среды, благодаря высокой внутривидовой изменчивости (Williams, 1986; Anatov, 2012). Широкая амплитуда условий произрастания подразумевает и бо-

лее широкую полиморфность и изменчивость видов (Musaev et al., 2023). Наибольшую ценность при изучении внутривидовой изменчивости растений представляет анализ количественных морфологических признаков, так как именно они часто связаны с адаптивными свойствами организма. Исследование фенотипического разнообразия популяций позволяет установить закономерности внутривидовой изменчивости и описать популяционную структуру вида (Abakarova et al., 2008).

Изучение механизмов экологической пластичности природных и сортовых популяций растений представляет собой одну из важнейших задач генетики и экологии. Влияние высотного градиента усиливает адаптивную изменчивость растений и успешное произрастание в широком диапазоне факторов среды (Anatov, 2011). Оценки степени устойчивости морфологических признаков вдоль экологических градиентов зарекомендовали себя как достаточно информативные (Ishbirdin, Ishmuratova, 2004a; Kulagin et al., 2020). При этом градиентный анализ является одним из важнейших методов оценки эколого-ценотических воздействий на особи растений и их популяции (Zlobin et al., 1996).

Среди диких сородичей плодовых культур в Дагестане особое положение занимает абрикос обыкновенный (*Prunus armeniaca* L.) который является типичным представителем аридных и субаридных территорий горных систем Центральной Азии, Северо-Восточного Китая и Кавказа (Zhukovsky, 1964). Наибольшее распространение природные популяции *P. armeniaca* на Кавказе получили на территории Горного Дагестана, где они распространены в бассейнах рек Аварское Койсу, Андийское Койсу, Казикумухское Койсу и Кара-Койсу на высотах 600–1500 м н.у.м., иногда по южным склонам – до 1900 м (Asadulaev, Anatov, 2019).

Изучение изменчивости обычно начинают с морфологических признаков, которые наглядно отражают адаптивные изменения любого вида в естественных условиях. Особое внимание при этом уделяют вариабельности признаков плода и семян как наиболее генетически детерминированным. Выявление генетически неоднородных растений в пределах популяций по хозяйственно-ценным признакам и оценка их нормы реакции имеет важное практическое значение для селекции.

В наших предыдущих исследованиях отмечалось заметное фенотипическое разнообразие по качественным признакам плода и косточек, разнообразие которых снижается в зависимости от удаленности от садов и с высотой над уровнем моря. Однако изменчивости количественных признаков вдоль высотного градиента не уделялось внимания.

В этой связи оценка изменчивости морфологических признаков плода и косточки *P. armeniaca* вдоль высотного градиента позволит выделить основные механизмы морфологических преобразований вида.

Цель работы – оценка изменчивости природных популяций *Prunus armeniaca* L. по количественным признакам плода и косточки вдоль высотного градиента в условиях Внутригорного Дагестана.

### Материал и методика

Для выявления основных трендов в изменчивости морфологических признаков плода выбраны три модельные ценопопуляции (ЦП) Внутригорного Дагестана по бассейну реки Аварское Койсу контрастно различающихся вдоль высотного градиента на северных экспозициях склонов (Унцукульский район, с. Майданское с усредненной высотой над уровнем моря – 600 м; Хунзахский район, с. Хариколо – 1050 м; Шамильский район, с. Ратлуб – 1420 м). Анализ фенотипической изменчивости природных популяций проводились по медианным значениям для каждого дерева.

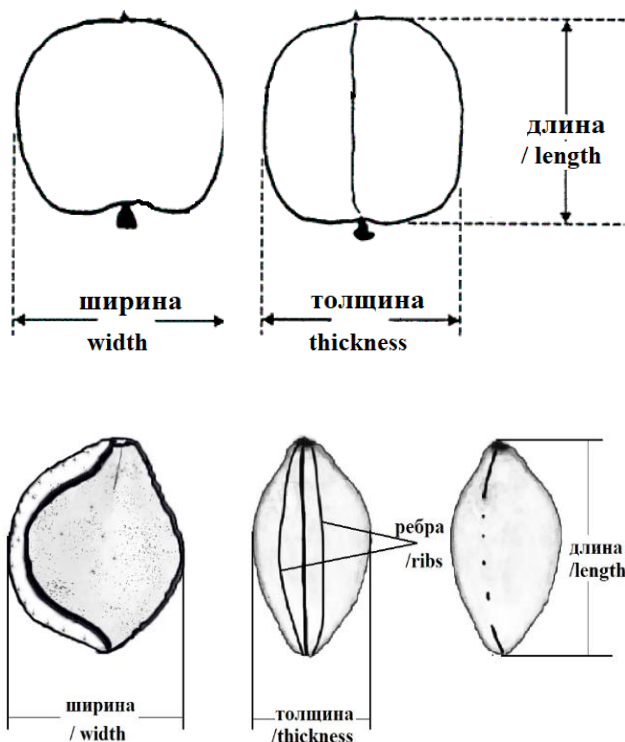
Измерения линейных признаков проведены штангенциркулем с точностью до 0,01 мм, вес – электронными весами с точностью до 1 мг.

У плода измеряли следующие размерные признаки (рис. 1): длина (Lf), ширина (Wf), толщина (Tf), масса (Mf); – косточки: длина (Lh), ширина (Wh), толщина (Tk), масса (Mk); – семени: длина (Ls), ширина (Ws), толщина (Ts), масса (Ms).

У частей плода дополнительно определяли индексные показатели: средний геометрический диаметр плода, косточки и семени ( $D_{gf}$ ,  $D_{gc}$ ,  $D_{gs}$ ), долю семени в плоде или выход семени ( $P_s$ ), индекс сферичности плода, косточки и семени ( $\Phi_f$ ,  $\Phi_c$ ,  $\Phi_s$ ), индекс округлости плода и косточки ( $R_f$ ,  $R_k$ ) и объем плода, косточки и семени ( $V_f$ ,  $V_k$ ,  $V_s$ ). Для получения этих расчетных параметров были использованы уравнения, представленные в таблице 1 (Hassan-Beygi et al., 2009; Milosevic et al., 2014).

Оценку адаптивности ценопопуляций вдоль высотного градиента рассчитывалась по индексу виталитета ценопопуляций (IVC), а также по размерной пластичности

вида (ISP) – отношение максимального значения индекса ( $IVC_{max}$ ) к минимальному ( $IVC_{min}$ ) его значению.



**Рис. 1.** Схема обозначения основных признаков плода (сверху) и косточки (снизу) *P. armeniaca* L.  
**Fig. 1.** Schematic diagram of the main features of the fruit (upper) and stone (lower) *P. armeniaca* L.

Индекс виталитета ценопопуляций (IVC) рассчитывался по формуле:

$$IVC = (\sum Xi / X_{cp}) / N,$$

где  $X_i$  – среднее значение  $i$  признака в ценопопуляции,  $X_{cp}$  – среднее значение  $i$  признака для всех ценопопуляций (при мониторинге одной ценопопуляции – среднее значение для всех лет наблюдений),  $N$  – число признаков (Ishbirdin, Ishmuratova, 2004б; Ishmuratova et al., 2020).

Индекс (IVC) вычисляется для каждой ценопопуляции, а в случае мониторинга одной популяции – для каждого года наблюдения. Градиент ухудшения условий роста (или усиления стресса) выстраивается как ряд ценопопуляций (при мониторинге – ряда лет) по убыванию значения индексов виталитета. Наибольшее значение индекса соответствует наилучшим условиям реализации ростовых потенциалов, а наименьшее – худшим условиям. Предложенный метод позволяет высчитывать жизнённость как ценопопуляций, так и отдельных особей (Ishmuratova et al., 2020)

Статистический анализ межпопуляционной и внутривидовой изменчивости морфологических признаков плода выполнен методами описательной статистики, дисперсионного, регрессионного и дискриминантного анализов, с применением системы обработки данных STATISTICA v.13.3.

**Таблица 1 / Table 1**

Наименования индексов и формулы их получения  
Names of indices and formulas for obtaining them

Усл. обоз. Symbols	Название индекса Index name	Формула расчета Calculation formula
$Dg$	Геометрический средний диаметр, мм / Geometric mean diameter, mm	$Dg = \sqrt[3]{LWT}$
$Ps$	Доля семени в плоде, % / Percent kernel, %	$Ps = 100 * Ms / Mf$
$\Phi$	Индекс сферичности, % / Sphericity, %	$\varphi = Dg / L$
$R$	Индекс округлости, % / Aspect ratio, %	$R = 100 * W / L$
$V$	Объем, мм <sup>3</sup> / Volume, mm <sup>3</sup>	$V = (LWT\pi) / 6$

### Результаты и их обсуждение

При сравнении ЦП по признакам плода наибольшие значения по большинству признаков отмечены на высоте 1050 м, наименьшие – 1420 м (таблица 2). В целом дикорастущий абрикос характеризуется мелкими размерами плода и косточки, сред-

ний геометрический диаметр плодов и косточек ( $Dgf$  и  $Dgk$ ) составили 25,4 мм и 14,0 мм соответственно, а масса ( $Mf$  и  $Mk$ ) составляет в среднем 10,6 г и 1,3 г. Более разнообразное влияние оказывают на индексные показатели. Выход семени и косточки увеличиваются с высотой над уровнем моря.

Сферичность и округлость плода и косточки, постепенно снижаются. Индекс виталитета ценопопуляций плода показывает, что оптимум приходится на среднегорную зону и ухудшение условий обитания к нижнему и верхнему высотным уровням. Значение размерной пластичности ( $ISP=1,12$ ) также низкое, что указывает на относительную стабильность признаков плода. Изменчивость

количественных признаков плода и косточки вдоль высотного градиента, по коэффициенту вариации ( $CV, \%$ ) показала, что изменчивость признаков уменьшается с высотой над уровнем моря. Характер варьирования морфологических признаков подчиняется известным закономерностям и увеличивается от линейных признаков к весовым и объемным (Мамаев, 1973).

Таблица 2 / Table 2

Сравнительная характеристика природных популяций по количественным признакам плода вдоль высотного градиента  
Comparative characterisation of natural populations for quantitative fruit traits along an altitudinal gradient

Признаки / Signs	600 м/м (n=18)		1050 м/м (n=30)		1420 м/м (n=23)		$\Sigma$ (n=71)	
	X±Sx	CV,%	X±Sx	CV,%	X±Sx	CV,%	X±Sx	CV,%
Lf	26,7±0,88	14,0	27,8±0,50	9,8	24,5±0,57	11,1	26,5±0,39	12,4
Wf	27,0±0,88	13,8	27,3±0,51	10,2	23,7±0,52	10,5	26,0±0,40	12,9
Tf	25,1±0,77	13,1	25,1±0,48	10,5	21,7±0,46	10,1	24,0±0,37	12,9
Lk	17,6±0,58	13,9	20,2±0,44	11,9	17,5±0,32	8,7	18,6±0,30	13,5
Wk	14,1±0,41	12,3	15,9±0,30	10,3	13,7±0,23	8,0	14,7±0,22	12,3
Tk	9,3±0,20	9,0	10,5±0,16	8,2	10,2±0,20	9,4	10,1±0,12	9,9
Ls	12,8±0,42	14,0	13,7±0,28	11,1	12,1±0,20	7,9	13,0±0,19	12,3
Ws	9,3±0,23	10,4	10,1±0,16	8,7	8,8±0,15	8,2	9,5±0,12	10,7
Ts	6,6±0,16	10,2	6,8±0,11	8,9	7,3±0,16	10,7	6,9±0,09	10,4
Mf	11,4±1,11	41,1	12,0±0,60	27,5	8,1±0,47	28,1	10,6±0,45	36,1
Mk	1,1±0,09	36,2	1,5±0,07	25,5	1,2±0,05	20,5	1,3±0,05	30,3
Ms	0,4±0,03	37,3	0,5±0,02	21,8	0,4±0,02	21,6	0,4±0,01	27,7
Dgf	26,2±0,84	13,6	26,7±0,47	9,6	23,3±0,48	10,0	25,4±0,37	12,3
Dgk	13,2±0,34	11,0	15,0±0,24	8,9	13,4±0,21	7,4	14,0±0,18	10,7
Dgs	9,2±0,22	10,2	9,8±0,14	7,7	9,2±0,14	7,4	9,5±0,10	8,8
Ps	3,6±0,17	20,6	4,2±0,14	18,2	5,1±0,24	22,5	4,3±0,13	24,8
Фf	98,0±0,56	2,4	96,0±0,79	4,5	94,9±0,90	4,5	96,1±0,48	4,2
Фс	75,7±1,04	5,8	74,6±0,70	5,2	77,0±0,76	4,7	75,7±0,48	5,3
Фs	72,5±1,01	5,9	71,7±0,77	5,9	75,9±0,86	5,5	73,2±0,54	6,2
Rf	100,7±0,93	3,9	98,4±1,16	6,5	96,8±1,33	6,6	98,5±0,71	6,1
Rk	81,1±1,28	6,7	79,2±0,99	6,8	78,1±1,06	6,5	79,3±0,64	6,8
Vf	9918±1068	45,7	10187±520	28,0	6777±432	30,6	9014±414	38,6
Vk	1240±116	39,6	1796±95	29,0	1292±60	22,2	1492±61	34,6
Vs	426,2±35	34,6	502±21	22,9	411±20	22,9	454±15	27,3
IVC	0,97		1,06		0,94			
ISP			1,12					

Анализ изменчивости изучаемых параметров проводился с применением двух моделей дисперсионного анализа – однофакторной модели и модели с учетом линейной регрессии по степени влияния высотного градиента:  $\eta^2$  – для однофакторной модели и  $r^2$  – для модели с учетом линейной регрессии (Anatov et al., 2015). Результаты однофакторного дисперсионного анализа показали достоверные различия почти по всем учтенным признакам между ЦП за исключением

сферичности косточки, округлости плода и косточки (таблица 3). Наибольшее влияние условий произрастания оказывали на следующие признаки: ширина косточки ( $\eta^2 = 32,5\%$ ), выход семени (31,7%) и средний диаметр косточки (30,4%).

В целом различия между ценопопуляциями по морфологическим признакам плода, косточки и семени, в разрезе высотного фактора, относительно минимальные, что возможно связано с высокой внутривидовой

онной гетерогенностью как возможного результата процессов одичания в местах соприкосновения природных популяций и культурных посадок.

Проведенный однофакторный регрессионный анализ по фактору высота над уровнем моря показал линейную связь между вариабельностью признаков плода и косточки и высотным градиентом. Наибольшее линейное влияние высотного градиента отмечено для признаков: репродуктивное усилие

плода ( $r^2 = 30,5\%$ ), толщина (18,2%) и ширина плода (14,1%). Данные однофакторного регрессионного анализа показали, что большая разница между  $h^2$  и  $r^2$  по большинству признаков плода говорит о заметных отклонениях от линии регрессии. Высокая согласованная изменчивость по  $\Delta r$  между компонентами  $\eta^2$  и  $r^2$  отмечена для сферичности плода и составила 97,9%, репродуктивного усилия плода – 96,1% и 92,1% для толщины семени.

Таблица 3 / Table 3

Результаты однофакторного дисперсионного и регрессионного анализов по показателям плода абрикоса в зависимости от высотного градиента  
Results of ANOVA and regression analyses on apricot fruit indices parameters as a function of altitudinal gradient

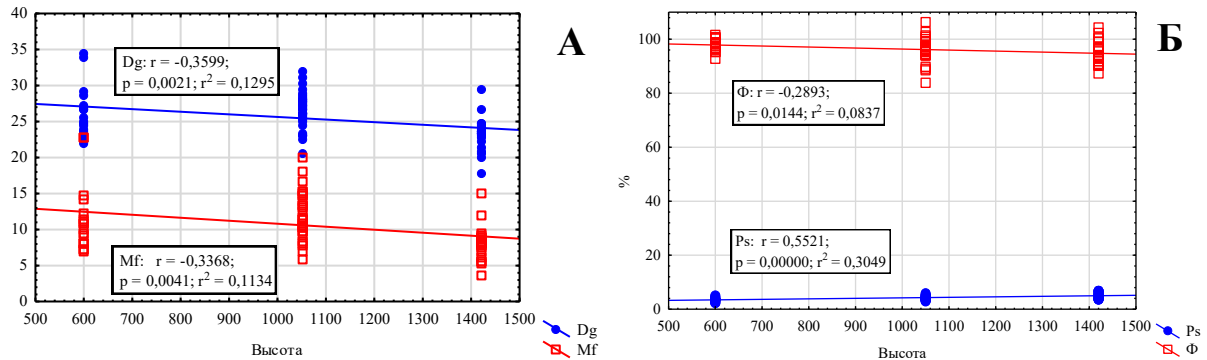
Признаки / Signs	$\eta^2, \%$	$r^2, \%$	$\Delta r, \%$	$r_{xy}$
Lf	18,4**	6,3*	34,4	-0,25*
Wf	24,3***	14,1**	58,3	-0,38**
Tf	26,9***	18,2***	67,5	-0,43***
Lk	27,9***	–	–	–
Wk	32,5***	–	–	–
Tk	23,6***	11,3**	48,1	0,34**
Ls	20,1***	–	–	–
Ws	30,0***	–	–	–
Ts	11,1*	10,2**	92,1	0,32**
Mf	21,5***	11,3**	52,9	-0,34**
Mk	24,1***	–	–	–
Ms	16,0**	–	–	–
Dgf	23,9***	13,0**	54,2	-0,36**
Dgk	30,4***	–	–	–
Dgs	13,2**	–	–	–
Ps	31,7***	30,5***	96,1	0,55***
Фf	8,5*	8,4*	97,9	-0,29*
Фс	–	–	–	–
Фs	16,9**	8,2*	48,2	0,29*
Rf	–	–	–	–
Rk	–	–	–	–
Vf	20,1***	12,0**	59,8	-0,35**
Vk	26,0***	–	–	–
Vs	11,7*	–	–	–

Примечание:  $\eta^2$  – компоненты дисперсии;  $r^2$  – коэффициент детерминации;  $\Delta r, \%$  – доля линейного фактора в общей изменчивости;  $r_{xy}$  – коэффициент корреляции между высотным уровнем и изучаемым признаком; звездочками выделены уровни значимости \* –  $P < 0,05$ ; \*\* –  $P < 0,01$ ; \*\*\* –  $P < 0,001$ ; прочерк – отсутствие достоверных различий.

Note:  $\eta^2$  – components of variance;  $r^2$  – coefficient of determination;  $\Delta r, \%$  – share of linear factor in total variability;  $r_{xy}$  – correlation coefficient between altitude level and the studied trait; asterisks indicate significance levels \* –  $P < 0,05$ ; \*\* –  $P < 0,01$ ; \*\*\* –  $P < 0,001$ ; dash – no significant differences.

Для морфологических признаков плода обнаружена отрицательная связь с высотным градиентом. Так, средние размерные и весовые признаки плода, включая средний диаметр плода и масса плода уменьшаются с высотой над уровнем моря, корреляцию с высотным фактором составило  $r_{xy} = -0,36$  и  $r_{xy} = -0,34$  соответственно (таблица 3, рис.

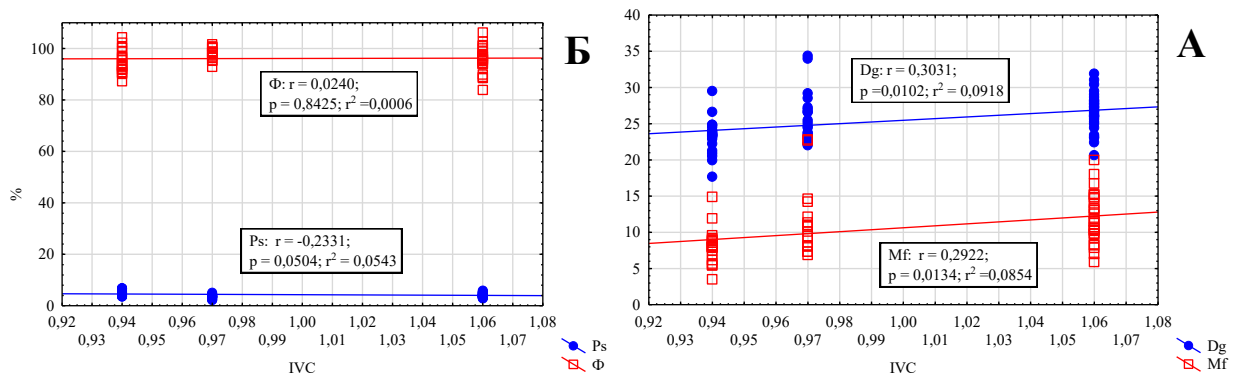
2А). Среди индексных показателей достоверно реагируют на изменение условий произрастания вдоль высотного градиента – индекс сферичности ( $r_{xy} = -0,29$ ). При этом некоторые признаки косточки, семени связанные с толщиной, а также репродуктивное усилие плода ( $r_{xy} = 0,55$ ) положительно коррелирует с высотным градиентом (рис. 2Б).



**Рис. 2.** Зависимость некоторых морфологических признаков (А) и индексов (Б) плода от высотного уровня.  
**Fig. 2.** Dependence of some morphological features (A) and indices (B) of the fruit on the altitude level.

Иную картину дают взаимосвязи между морфологическими признаками и виталитетом ценопопуляций. В противоположность действию высоты произрастания ценопопуляций сопряженность признаков с IVC нейтральная или слабая положительная за исключением индекса сферичности семени и косточки. В качестве иллюстраций приведены некоторые результаты корреляции между

IVC и морфологическими признаками (рис. 3). Оптимум для формирования крупных округлых плодов находится в среднегорной части (рис. 3А). Отмечен слабый тренд по индексу выхода семени (доля семени в плоде), как показатель, отражающий ухудшение условий произрастания, реагирует обратно пропорционально изменению оптимума, т.е. отрицательно.



**Рис. 3.** Зависимость виталитета ценопопуляций (IVC) от некоторых морфологических признаков (А) и индексов (Б) плода.

**Fig. 3.** Dependence of cenopopulation vitality (IVC) on some morphological traits (A) and indices (B) of the fruit.

Проведенный дискриминантный анализ с пошаговым включением показал, что наибольшую дискриминацию между ЦП определяют следующие признаки: ширина, толщина и масса косточки, толщина и масса плода, длина, ширина и масса семени, ин-

декс округлости косточки. Остальные признаки оказались малоинформативными.

Квадраты расстояний Махаланобиса по итогам дискриминантного анализа показали высокую самоидентификацию ЦП (в среднем 94%), и заметную отдаленность их друг от друга. Наглядно, это представлено на ри-

сунке 4, где показано расположение объектов в пространстве двух канонических корней.

Конфигурация расположения объектов позволяет предположить, что вдоль первой оси X отражены различия между ЦП по изменению размеров плода вдоль высотного градиента. Разброс показателей и расположение выборок вдоль второй оси Y отразили изменение размеров косточки и семян.

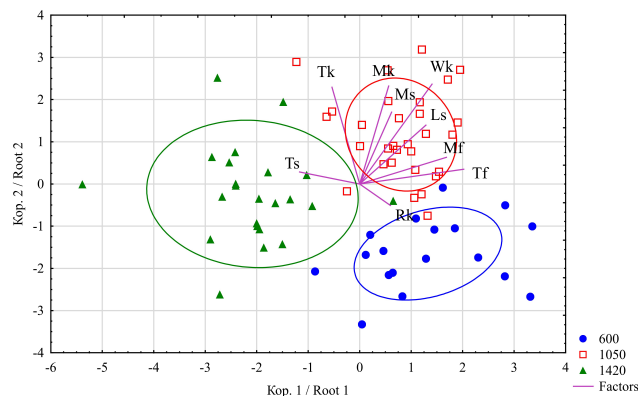


Рис. 4. График рассеивания объектов в пространстве двух канонических корней.

Fig. 4. Scatter plot of objects in the space of two canonical roots.

### Выводы

Результаты сравнительного анализа ценопопуляций абрикоса по количественным признакам плода показали, что наибольшие значения по большинству признаков отмечены на высоте 1050 м, наименьшие – 1420 м. Изменчивость количественных признаков

плода и косточки вдоль высотного градиента, по коэффициенту вариации (CV, %) уменьшается с высотой над уровнем моря. Наибольшую дифференцирующую роль в межпопуляционной изменчивости признаков на высотном градиенте определяют признаки: репродуктивное усилие плода, толщина и ширина плода.

С возрастанием высоты над уровнем моря размеры плода уменьшаются по толщине и ширине, что приводит к постепенному обмельчанию и преобладанию овальных форм. При этом признаки косточки, семени связанные с толщиной увеличиваются в высотном направлении, что в конечном итоге приводит к увеличению выхода семени ( $r_{xy}=0,55$ ).

Индекс виталитета ценопопуляций (IVC) показал, что оптимум формирования крупноплодных форм ценопопуляций приходится на высоты 800–1200 м, при этом низкое значение размерной пластичности (ISP=1,12) указывает на относительную стабильность размеров плода, косточки и семени вдоль высотного градиента.

Таким образом, проведенное исследование показало, что с высотой над уровнем моря плоды постепенно мельчают в ценопопуляциях *Prunus armeniaca* L. в основном за счет уменьшения ширины и толщины мякоти, при относительно высокой детерминации размеров косточки и семени.

### Литература

- [Абакарова, Асадулаев] Абакарова Б. А., Асадулаев З. М. 2008. Внутрипопуляционная изменчивость признаков *Rosa oxyodon* Voiss. на Гунибском плато. *Юг России: экология, развитие* 3(4): 42–46.
- [Anatov et al.] Анатов Д. М., Амирова Л. А., Раджабов Г. К. 2015. Внутривидовая изменчивость природных популяций *Delphinium crispulum* Rupr. по морфологическим признакам и суммарному содержанию флавоноидов и антоцианов в условиях Дагестана. *Ботанический вестник Северного Кавказа* 1: 8–17.
- [Anatov] Анатов Д. М. 2011. *Изменчивость морфологических признаков продуктивности зерновых злаков вдоль высотного градиента*. Дис. ... канд. биол. наук. Астрахань: 139.
- [Anatov] Анатов Д. М. 2012. Изменчивость морфологических признаков генеративного побега природных популяций *Psathyrostachis daghestanica* (Alexeenko) Nevski. *Материалы XIV Международной конференции «Биологическое разнообразие Кавказа и Юга России»*, Махачкала: 284–285.
- [Asadulaev, Anatov] Asadulaev Z. M., Anatov D. M. 2019. Spatial structure of *Prunus armeniaca* L. populations in the arid woodlands of Mountainous Dagestan. *Arid Ecosystems* 9(2): 104–110. <https://doi.org/10.1134/S2079096119020021>



- [Hassan-Beygi et al.] Hassan-Beygi, S. R., Ghaebi S. M., Arabhosseini A. 2009. Some physico-mechanical properties of apricot fruit, pit and kernel of Ordubad variety. *Agricultural Engineering International: the CIGRE journal. Manuscript* 1459(11): 1-16.
- [Ishbirdin, Ishmuratova] Ишбирдин А. Р., Ишмуратова М. М. 2004а. К оценке виталитета ценнопопуляций *Rhodiola iremelica* Boriss. по размерному спектру. *Ученые записки НТГСПА*: 80–85.
- [Ishbirdin, Ishmuratova] Ишбирдин А. Р., Ишмуратова М. М. 2004б. Адаптивный морфогенез и эколого-ценотические стратегии выживания травянистых растений. *Методы популяционной биологии. Сборник материалов VII Всероссийского популяционного семинара*. Сыктывкар: 113–120.
- [Ishmuratova et al.] Ишмуратова М. М., Барлыбаева М. Ш., Ишбирдин А. Р., Суюндуков И. В. и др. 2020. *Методика изучения популяций редких и ресурсных видов растений на охраняемых природных территориях Республики Башкортостан*. Уфа: 276 с.
- [Kulagin et al.] Кулагин А. Ю., Ишбирдин А. Р., Тагирова О. В. 2020. Адаптационная изменчивость ивы белой (*Salix alba* L.) в условиях техногенного загрязнения окружающей среды (регион Южного Урала). *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология* 20(1): 90–101. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-1-90-101>
- [Magomedmirzayev] Магомедмирзаев М. М. 1978. Пути выявления и использования генетических ресурсов высших растений. *Журнал общей генетики* 3: 130–168.
- [Мамаев] Мамаев С. А. 1973. *Формы внутривидовой изменчивости древесных растений*. Москва: 284.
- [Milošević et al.] Milošević T., Milošević N., Glišić I., Glišić I. S. 2014. Determination of size and shape properties of apricots using multivariate analysis. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus* 13(5): 77-90.
- [Musaev et al.] Мусаев А. М., Раджабов Г. К., Алиев А. М., Исламова Ф. И. 2023. Экспериментальное изучение структуры изменчивости природных популяций *Origanum vulgare* L. из Горного Дагестана. *Юг России: экология, развитие* 18(3): 81–94. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-3-81-94>
- [Solbring, Solbring] Солбринг О., Солбринг Д. 1982. *Популяционная биология и эволюция*. Москва: 488.
- [Williams] Williams G. C. 1986. Retrospect on modular organism. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 313(1159): 245–250.
- [Zhukovsky] Жуковский П. М. 1964. *Культурные растения и их сородичи*. Ленинград: 791.
- [Zlobin] Злобин Ю. А., Скляр В. Г., Мельник Т. И. 1996. Концепция континуума и градиентный анализ на уровне особей и популяций растений. *Журнал общей биологии* 57(6): 684–695.

## References

- Abakarova B. A., Asadulaev Z. M. 2008. Intrapopulation variability of *Rosa oxyodon* Boiss. indications on Gunib Plateau. *South of Russia: ecology, development* 3(4): 42–46. (In Russ.).
- Anatov D. M. 2011. *Variability of morphological traits of grain cereal productivity along an altitudinal gradient*. Diss. Cand. of Biological Sciences. Astrakhan: 139 p. (In Russ.).
- Anatov D. M. 2012. Variability of morphological traits of generative shoot of natural populations of *Psathyrostachis daghestanica* (Alexeenko) Nevski. *Proceedings of the XIV International Conference "Biological Diversity of the Caucasus and South of Russia"*. Makhachkala: 284–285. (In Russ.).
- Anatov D. M., Amirova L. A., Radzhabov G. K. 2015. Intraspecific variability of natural populations of *Delphinium crispulum* Rupr. on morphological characters and total flavonoid and anthocyanin content in Dagestan conditions. *Botanical Bulletin of the North Caucasus* 1: 8–17. (In Russ.).

- Asadulaev Z. M., Anatov D. M. 2019. Spatial structure of *Prunus armeniaca* L. populations in the arid woodlands of Mountainous Dagestan. *Arid Ecosystems* 9(2): 104–110. <https://doi.org/10.1134/S2079096119020021>
- Hassan-Beygi, S. R., Ghaebi S. M., Arabhosseini A. 2009. Some physico-mechanical properties of apricot fruit, pit and kernel of Ordubad variety. *Agricultural Engineering International: the CIGRE journal. Manuscript* 1459(11): 1–16.
- Ishbirdin A. R., Ishmuratova M. M. 2004a. To estimation of vitality of *Rhodiola iremelica* Boriss. cenopopulations by size spectrum. *Scientific Notes of NTGSPA*: 80–85. (In Russ.).
- Ishbirdin A. R., Ishmuratova M. M. 2004b. Adaptive morphogenesis and ecological and cenotic survival strategies of herbaceous plants. *Methods of population biology. Proceedings of the VII All-Russian Population Seminar*. Syktyvkar: 113–120. (In Russ.).
- Ishmuratova M. M., Barlybaeva M. S., Ishbirdin A. R., Suyundukov I. V. et al. 2020. Metodika izucheniya populyaciy redkikh i resursnykh vidov rasteniy na ohranyaemykh prirodnykh territoriyakh Respubliki Bashkortostan. [Methodology for studying populations of rare and resource plant species in protected natural areas of the Republic of Bashkortostan]. Ufa: 276 p. (In Russ.).
- Kulagin A. Y., Ishbirdin A. R., Tagirova O. B. 2020. Adaptive variability of willow white (*Salix alba* L.) in the conditions of technogenic pollution of the environment (South Ural Region). *Izvestiya of Saratov University. New series. Series: Chemistry, Biology, Ecology* 20(1): 90–101. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-1-90-101>(In Russ.).
- Magomedmirzaev M. M. 1978. Ways of identification and utilisation of genetic resources of higher plants. *Journal of general genetics* 3:130–168. (In Russ.).
- Mamaev S. A. 1973. Formy vnutrividovoy izmenchivosti drevesnykh rasteniy. [Forms of intraspecific variability of woody plants]. Moscow: 284. (In Russ.).
- Milošević T., Milošević N., Glišić I., Glišić I. S. 2014. Determination of size and shape properties of apricots using multivariate analysis. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus* 13(5): 77–90.
- Musaev A. M., Rajabov G. K., Aliev A. M., Islamova F. I. 2023. Experimental study of the structure of variability of natural populations of *Origanum vulgare* L. from mountainous Dagestan. *South of Russia: ecology, development* 18(3): 81–94. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-3-81-94> (In Russ.).
- Solbring O., Solbring D. 1982. Populyatsionnaya biologiya i evolyutsiya. [Population biology and evolution]. Moscow: 488. (In Russ.).
- Williams G. C. 1986. Retrospect on modular organism. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 313(1159): 245–250.
- Zhukovsky P. M. 1964. Kul'turnye rasteniya i ikh sorodichi. [Cultural plants and their congeners]. Leningrad: 791. (In Russ.).
- Zlobin Y. A., Sklyar V. G., Melnik T. I. 1996. Continuum concept and gradient analysis at the level of individuals and plant populations. *Zhurnal obshhey biologii* 57(6): 684–695. (In Russ.).

### Информация об авторах

**Анатов Джалалудин Магомедович**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Лаборатории интродукции и генетических ресурсов древесных растений Горного ботанического сада ДФИЦ РАН; Россия, 367000, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, 45; ✉ [djalal@list.ru](mailto:djalal@list.ru)

### Information about the authors

**Anatov Dzhalaludin Magomedovich**, Candidate of Biology, senior researcher of the Laboratory of introduction and genetic resources of woody plants of the Mountain Botanical Garden of Dagestan Federal Research centre, Russian academy of sciences; Russia, 367000, Makhachkala, M. Gadzhieva st., 45; ✉ [djalal@list.ru](mailto:djalal@list.ru)