

СООБЩЕНИЯ

БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЫЛЬЦЫ
ПРИРОДНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ *PINUS BRUTIA* VAR. *PITYUSA* (PINACEAE)
ГОРНОГО КРЫМА

© 2023 г. В. П. Коба^{1,*}, О. О. Коренькова^{1,**}, Н. А. Макаров¹

¹Никитский ботанический сад — Национальный научный центр РАН
ул. Никитский спуск, 52, Ялта, 298648, Россия

*e-mail: kobavp@mail.ru

**e-mail: o.o.korenkova@mail.ru

Поступила в редакцию 18.01.2023 г.

После доработки 02.10.2023 г.

Принята к публикации 10.10.2023 г.

Изучение биометрических характеристик пыльцы *Pinus brutia* var. *pityusa* проводили в природных популяциях Горного Крыма. Пыльцу собирали в период ее свободного вылета на пробных площадях по четырем гипсометрическим профилям. Результаты исследований показали, что средние размеры пыльцевого зерна *P. brutia* var. *pityusa* в природных популяциях Горного Крыма изменяются в пределах: общая длина пыльцы от 81.5 до 88.5 мкм, длина и высота тела пыльцевого зерна — 52.2–59.4 мкм и 47.8–53.4 мкм, длина и высота воздушного мешка 40.0–43.0 мкм и 25.5–30.4 мкм соответственно. Наиболее мелкая пыльца формируется в прибрежных древостоях. В насаждениях *P. brutia* var. *pityusa* западной части Горного Крыма отмечено уменьшение величины длины и высоты воздушных мешков. Выявлено, что индексы, характеризующие отношение отдельных структурных элементов пыльцевого зерна: γ — отношение длины тела к высоте воздушного мешка пыльцевого зерна, δ — отношение высоты тела к высоте воздушного мешка пыльцевого зерна и Θ — отношение длины тела к длине воздушного мешка пыльцевого зерна, позволяют анализировать аэродинамические свойства пыльцы *P. brutia* var. *pityusa*. Уменьшение индексов пыльцы γ , δ и Θ в насаждениях Аязьмы и Батилимана отражает снижение эффективности ее воздушного распространения, что оказывает негативное воздействие на уровень гетерогенности природных популяций на данных территориях.

Ключевые слова: *P. brutia* var. *pityusa*, природные популяции, пыльца, биометрия, гетерогенность

DOI: 10.31857/S0006813623100034, **EDN:** GKWAJW

В развитии процессов естественного воспроизводства природных популяций различных видов растений формирование пыльцы является важнейшим этапом репродуктивного цикла. Ее качественные и количественные характеристики определяют эффективность формирования семян, стабильность смены поколений и поддержание внутривидового разнообразия. Особое значение эти проблемы имеют для редких и исчезающих видов растений, к которым относится *Pinus brutia* var. *pityusa* (Steven) Silba. Произрастая в приморских зонах Черноморского побережья, данный вид, как в прошлом, так и в настоящее время в значительной степени подвержен негативному антропогенному воздействию. Физическое уничтожение и сокращение площади произрастания оказывают влияние на демографическую структуру и процессы репродукции природных популяций *P. brutia* var. *pityusa*. В настоящее время усиление деструктивных явлений в определенной

степени связано с глобальным изменением климата и техногенным загрязнением природной среды (Geodakyan, 1977; Vergotti et al., 2019; López-Orozco et al., 2021; Dias et al., 2022).

Биометрические характеристики пыльцевого зерна имеют важное значение как для систематики и филогении, так и для эколого-генетических и селекционных работ (Zemlyanoy, 1971; Nekrasova, 1983). Методы количественной морфогенетики позволяют выявить закономерности и механизмы преобразования конструкции организма, ее отдельных элементов, которые происходят в процессе индивидуального развития, смены поколений (Glotov, 1983; Magomedmirzaev, 1990). До настоящего времени проведено сравнительно небольшое количество исследований, связанных с изучением размера и формы пыльцевого зерна видов рода *Pinus* L. (Monsozon-Smolina, 1949; Podgorny, Ruguzov, 1979; Khlebova, Ereshchenko, 2013; Korshikov et al., 2014; Koba, Makarov, 2020;

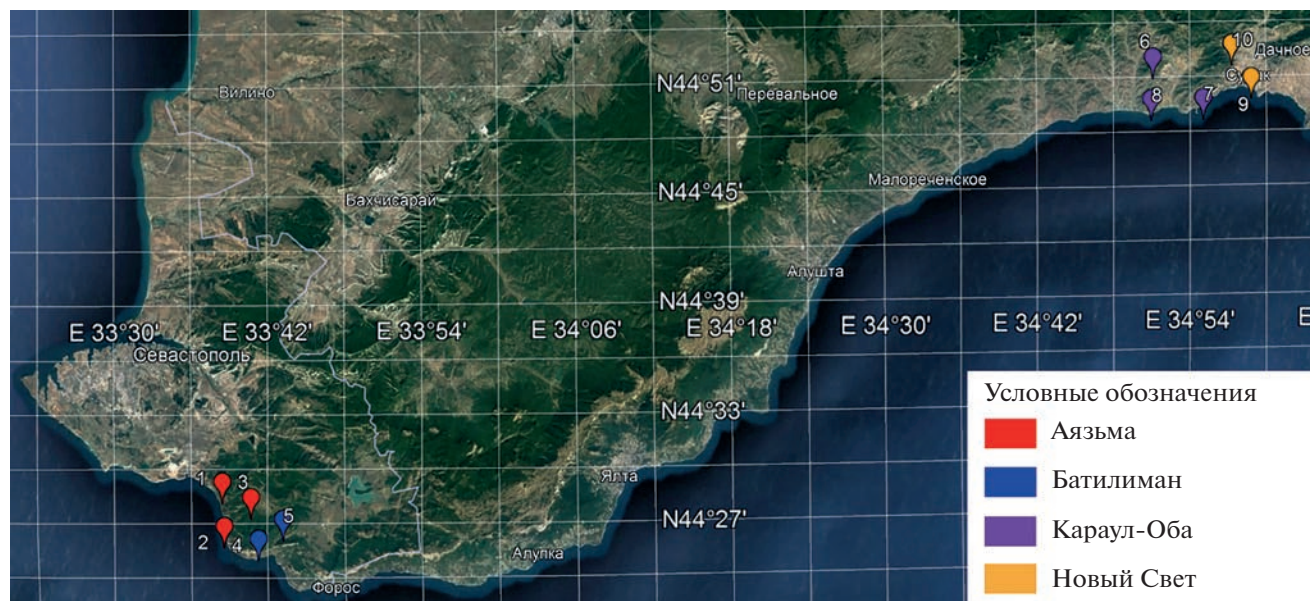


Рис. 1. Схема расположения пробных площадей в насаждениях *Pinus brutia* var. *pityusa* Горного Крыма (цветом обозначена локализация пробных площадей: красный — урочище Аязьма; синий — урочище Батилиман; фиолетовый — г. Караул-Оба; желтый — окрестности п.г.т. Новый Свет).

Fig. 1. Scheme of location of sample plots in the plantations of *Pinus brutia* var. *pityusa* in the Crimean Mountains (colors indicate the location of the trial plots: red — Ayazma tract; blue — Batiliman tract; purple — m. Karaul-Oba; yellow — environs of the urban settlement Novy Svet).

Makhneva, Menshchikov, 2021). Отсутствуют системные наблюдения в природных насаждениях, произрастающих в различных экотопах, что ограничивает возможности сравнительного анализа изменчивости морфометрических признаков пыльцы в связи с динамикой условий произрастания.

P. brutia var. *pityusa* в Горном Крыму приурочена к местам скалистых склонов, площадь ее произрастания невелика, что связано с активной заготовкой в прошлом древесины данной породы для хозяйственного использования. В западной части, на мысе Айя, где в 1973 г. был организован заказник “Мыс Айя”, еще сравнительно недавно *P. brutia* var. *pityusa* формировала единый однородный по составу лесной массив. В конце XIX в. насаждения *P. brutia* var. *pityusa* к востоку от Балаклавы, включая мыс Айя, были распространены на площади размером около 1.5 тыс. га (Kolesnikov, 1963). В XXI в. она уменьшилась до 460 га (Kashirina, Novikov, 2016). Столь резкое сокращение площади произрастания определило снижение генотипического разнообразия и, безусловно, оказало воздействие на процессы репродукции естественных насаждений *P. brutia* var. *pityusa* в данном районе. В других частях Горного Крыма *P. brutia* var. *pityusa* распространена на относительно небольших по площади участках, где структура и состав ее насаждений формировались

в условиях крайне жесткого антропогенного воздействия. В целом увеличение изреженности и ухудшение жизненного состояния насаждений *P. brutia* var. *pityusa*, что в наибольшей степени проявилось в последние десятилетия, негативно влияют на развитие мужской репродуктивной сферы, в частности, на количественные и качественные характеристики пыльцы (Velisevych, 2017; Mollaeva, Tembotova, 2020).

Одним из направлений оценки состояния развития мужской генеративной сферы является анализ биометрических характеристик пыльцевого зерна. Некоторые исследователи считают, что параметры, характеризующие пыльцу сосны, подвержены сильным колебаниям по годам и тесно связаны с погодно-климатическими условиями в период формирования пыльцы, поэтому сравнительная оценка динамики биометрических характеристик пыльцы сосны может быть использована при экологическом контроле окружающей среды (Tretyakova, Noskova, 2004). Анализ изменчивости биометрических показателей морфоструктур позволяет в той или иной степени характеризовать уровень взаимодействия организма с факторами внешней среды (рис. 1).

Целью исследований являлось изучение биометрических характеристик пыльцы *P. brutia* var. *pityusa*, выявление особенностей их динамики в природных популяциях Горного Крыма.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в природных популяциях *P. brutia* var. *pityusa* Горного Крыма. Для сбора образцов пыльцы и изучения ее биометрических характеристик с использованием методов лесной таксации (Anuchin, 1982) были заложены пробные площади по четырем гипсометрическим профилям в западной части южного макросклона Главной гряды Крымских гор на мысе Айя, в урочищах Аязьма и Батилиман, и восточной на г. Краул-Оба и урочище Новый Свет (рис. 1). В урочище Аязьма пробные площади расположены на высотах 50, 180, и 290 м над ур. м., в Батилимане на высотах 50 и 120 м над ур. м., на г. Караул-Оба на высотах 40, 70 и 120 м над ур. м., в Новом Свете на высотах 50 и 100 м над ур. м. Все пробные площади имели юго-восточную экспозицию с крутизной склонов 10–15°.

На пробных площадях было выбрано по 10 модельных деревьев. В конце апреля 2022 г. в период вылета пыльцы с модельных деревьев собирали пыльцу посредством встряхивания микростробилов в простерилизованные бюксы. В период проведения лабораторных исследований ее хранили в эксикаторе над хлористым кальцием при температуре +5°С (Kotelova, 1956).

Биометрический анализ пыльцевых зерен проводили на временных ацетокарминовых препаратах по методике М.Х. Монсозон-Смолиной (Monsozon-Smolina, 1949). У тридцати пыльцевых зерен с каждого модельного дерева с использованием цифрового микроскопа “Bresser LCD Micro 5mp” измеряли пять параметров — общую длину, длину и высоту тела пыльцевого зерна, длину и высоту воздушного мешка. Анализировали индексы, характеризующие отношение отдельных структурных элементов пыльцевого зерна: α — отношение общей длины к длине тела пыльцевого зерна, β — отношение длины к высоте тела пыльцевого зерна, γ — отношение длины тела к высоте воздушного мешка пыльцевого зерна, δ — отношение высоты тела к высоте воздушного мешка пыльцевого зерна и Θ — отношение длины тела к длине воздушного мешка пыльцевого зерна. Уровень изменчивости отдельных признаков анализировали, используя шкалу коэффициентов вариации С.А. Мамаева (Мамаев, 1973). Фенологические наблюдения процесса вылета пыльцы проводили в пределах всей территории распространения природных популяций *P. brutia* var. *pityusa* в Горном Крыму (Elagin, 1961; Sannikov et al., 2008). Цифровые результаты наблюдений обрабатывали, применяя методы вариационной статистики (Lakin, 1990).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение биометрических признаков пыльцы *P. brutia* var. *pityusa* показало, что средние размеры пыльцевого зерна по пробным площадям изменяются в пределах: общая длина пыльцы от 81.5 до 88.5 мкм, длина и высота тела пыльцевого зерна — 52.2–59.4 мкм и 47.8–53.4 мкм, длина и высота воздушного мешка 40.0–43.0 мкм и 25.5–30.4 мкм соответственно (табл. 1). По отдельным насаждениям в большинстве случаев наиболее мелкая пыльца отмечалась в нижнем поясе проведения наблюдений. На горе Караул-Оба на высоте 40 м над ур. м. средний показатель длины пыльцевого зерна составил 81.5 ± 0.5 мкм, величины длины и высоты тела пыльцевого зерна соответственно были 52.2 ± 0.5 мкм и 47.8 ± 0.4 мкм. Показатели длины и высоты воздушного мешка также имели невысокие значения. Снижение размеров пыльцы в прибрежной зоне, очевидно, связано с более интенсивным прохождением отдельных этапов ее формирования, что в свою очередь определяется инсоляционным и температурным режимом экотопов нижнего пояса, а также более низким уровнем влагообеспеченности (Plugatar et al., 2021).

Прибрежные участки в весенний период быстрее нагреваются, фенологическая фаза вылета пыльцы *P. brutia* var. *pityusa* здесь наблюдается несколько раньше по сравнению с насаждениями на участках, расположенных выше над уровнем моря. Так, например, весной 2022 г. наиболее ранние сроки растрескивания микростробилов и начала вылета пыльцы отмечались в урочище Батилиман. В древостоях нижней границы произрастания *P. brutia* var. *pityusa* на высоте 50 м над ур. м. это явление отмечалось 24 апреля. Пыление прошло в течение 4–5 дней. При этом наблюдалась достаточно высокая хронологическая синхронность данной фенофазы по отдельным деревьям. В верхней части основного массива насаждений на высоте 120 м над ур. м. вылет пыльцы начался на 4 дня позже и продолжался более длительное время. Наблюдалось увеличение индивидуальных различий по срокам начала и продолжительности фенофазы пыления. В урочище Аязьма вылет пыльцы проходил несколько позже. В прибрежной границе древостоев на высоте 50 м над ур. м. первые признаки растрескивания микростробилов и высыпания пыльцы у отдельных деревьев начали проявляться 26 апреля, в центре массива лесов на высоте 180 м над ур. м. данное явление наблюдалось 29 апреля и позже всего оно проходило в верхней части насаждений *P. brutia* var. *pityusa* на высоте 290 м над ур. м. — 1 мая. При этом с повышением высоты над уровнем моря также увеличивалась продолжительность фазы пыления и дифференциация деревьев по срокам начала и длительности пыления, что в определенной степени связано с более плавной амплитудой

Таблица 1. Биометрические характеристики пыльцы *P. brutia* var. *pityusa*, единицы измерения – мкм
Table 1. Biometric characteristics of *P. brutia* var. *pityusa* pollen, units of measurement, μm

Высота над ур. м. Height above sea level	Общая длина зерна/ Total grain length Σ		Длина тела/ Body length A		Высота тела/ Body height B		Длина воздушного мешка/ Length of the air bag C		Высота воздушного мешка/ Height of the air bag D	
	M ± m	V	M ± m	V	M ± m	V	M ± m	V	M ± m	V
Аязьма/Ayazma										
50 м/50 m	84.7 ± 0.5	6.4	53.8 ± 0.6	11.5	51.4 ± 0.4	8.0	40.0 ± 0.4	13.0	27.2 ± 0.5	16.5
180 м/180 m	85.0 ± 0.6	6.0	55.8 ± 0.6	10.8	53.4 ± 0.4	8.1	42.5 ± 0.6	14.1	25.6 ± 0.4	14.9
290 м/290 m	86.7 ± 0.5	6.3	56.0 ± 0.6	9.9	53.1 ± 0.5	10.0	42.3 ± 0.5	12.7	25.5 ± 0.5	18.1
Батилиман/Batiliman										
50 м/50 m	83.9 ± 0.7	8.0	55.5 ± 0.6	10.6	51.0 ± 0.4	7.9	41.2 ± 0.5	11.7	26.9 ± 0.5	18.7
120 м/120 m	86.7 ± 0.5	6.2	59.4 ± 0.6	10.1	51.3 ± 0.4	7.4	41.3 ± 0.6	13.2	29.3 ± 0.4	14.4
Караул-Оба/Karaul-Oba										
40 м/40 m	81.5 ± 0.5	6.4	52.2 ± 0.5	9.3	47.8 ± 0.4	9.0	40.0 ± 0.5	12.7	27.3 ± 0.4	14.0
70 м/70 m	88.6 ± 0.6	6.5	52.3 ± 0.6	10.5	49.8 ± 0.3	6.5	43.0 ± 0.5	12.3	29.4 ± 0.5	16.3
120 м/120 m	87.5 ± 0.6	7.0	54.2 ± 0.5	9.4	49.8 ± 0.4	7.0	42.9 ± 0.5	11.3	30.4 ± 0.4	12.8
Новый Свет/Novyy Svet										
50 м/50 m	88.5 ± 0.6	6.4	54.6 ± 0.6	10.2	51.8 ± 0.5	8.5	43.0 ± 0.6	13.0	30.0 ± 0.4	12.4
100 м/100 m	88.4 ± 0.7	8.3	54.0 ± 0.6	10.5	52.3 ± 0.6	10.7	42.0 ± 0.6	14.8	29.7 ± 0.4	14.0

Примечание: М – средний показатель; m – ошибка среднего показателя; V – коэффициент вариации, %.
Note: M – mean; m – error of the mean; V – coefficient of variation, %.

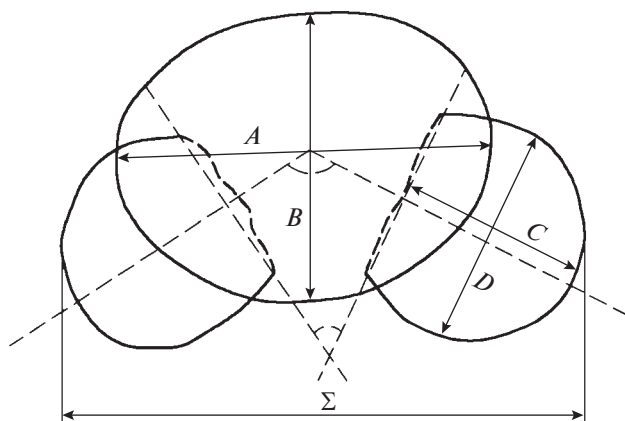


Рис. 2. Схематическое изображение пыльца *Pinus brutia* var. *pityusa*: Σ — общая длина зерна; A — длина тела; B — высота тела; C — длина воздушного мешка; D — его высота (по Монсозон-Смолиной, 1949).

Fig. 2. Schematic representation of *Pinus brutia* var. *pityusa* pollen: Σ — total grain length; A — body length; B — body height; C — length of the air bag; D — its height (according to Monsoson-Smolina, 1949).

изменения температурного режима на данных участках в весенний период (Antyufeyev, 2003). В восточной части Горного Крыма вылет пыльца *P. brutia* var. *pityusa* проходил с некоторым временным отставанием, при этом в высотном разрезе проявлялись те же фенологические особенности фазы пыления, которые наблюдались в западных территориях ее произрастания.

Наиболее крупная пыльца по величине длины формируется в насаждениях восточной части, на г. Караул-Оба на высоте 70 м над ур. м. средний показатель составил 88.6 ± 0.6 мкм, в урочище Новый Свет на высотах 50 и 110 м над ур. м. он был соответственно 88.5 ± 0.6 мкм и 88.4 ± 0.7 мкм. Однако размеры тела пыльцевого зерна (A и B) здесь несколько меньше в сравнении с пыльцой из насаждений Батилимана и Аязьмы. При этом в древостоях западных участков произрастания *P. brutia* var. *pityusa* в Горном Крыму наблюдается тенденция уменьшения величины длины и высоты воздушных мешков. Это может быть связано с популяционно-генетической дифференциацией насаждений, которые находятся на значительном удалении друг от друга (более 110 км), а также со спецификой условий произрастания. Более сухой и прохладный климат восточной части Горного Крыма (Gorbunov et al., 2020) в той или иной степени может оказывать влияние на морфогенез пыльцы *P. brutia* var. *pityusa*.

С использованием шкалы С.А. Мамаева (Мамаев, 1973), установлено, что уровень изменчивости длины пыльцы *P. brutia* var. *pityusa* и высоты ее воздушного мешка следует характеризовать как средний (коэффициент вариации изменяется в

пределах 12–19%), низкий и очень низкий для общей длины пыльцевого зерна, длины и высоты тела пыльцевого ($V = 6–12\%$). Отмечается тенденция повышения варьирования морфологических признаков пыльцевого зерна с увеличением высоты над уровнем моря местопроизрастания.

При изучении биоэкологической специфики формирования пыльцы важное значение имеет анализ индексов, определяющих соотношение биометрических показателей ее отдельных структур (Monsozon-Smolina, 1949). Индекс α , характеризующий отношение величины длины тела к общей длине пыльцевого зерна, позволяет оценить баланс биометрических показателей, определяющих аэродинамические свойства пыльцы (табл. 2). При увеличении данного индекса, снижается “линейная” доля воздушных мешков в общей морфометрической конструкции пыльцевого зерна. Рассматривая воздушные мешки как некоторое подобие крылатки, следует отметить, что изменение соотношения величины длины пыльцевого зерна и воздушных мешков оказывает влияние на эффективность распространения мужского гаметофита и, как следствие, возможности генетического обмена в природных популяциях. Увеличение индекса α пыльцы в урочищах Аязьма и Батилиман отражает снижение возможностей ее воздушного переноса, что может оказывать негативное влияние на уровень гетерогенности насаждений *P. brutia* var. *pityusa* на данных территориях.

Индекс β определяет отношение величины длины к высоте тела пыльцевого зерна. Данный показатель отражает специфику формы пыльцевого зерна, которая в некотором приближении изменяется от шаровидной до эллипсоидной. Величина индекса β в изучаемых насаждениях *P. brutia* var. *pityusa* достаточно стабильна, за исключением участков в средней части урочища Аязьма и Батилиман, где наблюдается его увеличение, что отражает возрастание эллипсоидности формы тела пыльцевого зерна. В насаждениях *P. brutia* var. *pityusa* западных территорий Горного Крыма отмечается также увеличение индексов γ , δ и Θ , это свидетельствует об относительном снижении размеров воздушных мешков к величине длины и высоты пыльцевого зерна. Данная ситуация в целом характеризует уменьшение возможностей эффективного воздушного переноса пыльцы в древостоях урочища Аязьма и Батилиман и, как это было отмечено, повышает вероятность снижения гетерогенности природных популяций *P. brutia* var. *pityusa* в западных территориях Горного Крыма.

Оценивая общее состояние насаждений *P. brutia* var. *pityusa* в Горном Крыму, следует отметить, что в западной части они в большей степени подвергались пирогенному воздействию. В урочище Батилиман это определило значительную изре-

Таблица 2. Индексы пыльцы *Pinus brutia* var. *pityusa*
Table 2. Indices of *Pinus brutia* var. *pityusa* pollen

Высота над ур. м., м Height above sea level, m	α		β		γ		δ		Θ	
	$M \pm m$	V	$M \pm m$	V	$M \pm m$	V	$M \pm m$	V	$M \pm m$	V
Аязьма/Ayazma										
50	0.63 ± 0.007	11.3	1.1 ± 0.02	14.1	2.1 ± 0.06	28.9	2.0 ± 0.05	24.4	1.4 ± 0.03	19.0
180	0.66 ± 0.006	9.3	1.4 ± 0.01	11.5	2.2 ± 0.05	20.1	2.1 ± 0.04	16.8	1.3 ± 0.02	18.2
290	0.64 ± 0.006	9.1	1.1 ± 0.01	11.6	2.3 ± 0.07	29.4	2.2 ± 0.06	28.3	1.3 ± 0.02	16.9
Батилиман/Batiliman										
50	0.66 ± 0.006	9.5	1.1 ± 0.01	12.5	2.1 ± 0.03	18.8	2.0 ± 0.04	21.5	1.4 ± 0.02	15.3
120	0.69 ± 0.007	10.3	1.2 ± 0.01	11.0	2.1 ± 0.04	18.8	1.8 ± 0.03	14.6	1.8 ± 0.03	18.0
Караул-Оба/Karaul-Oba										
40	0.64 ± 0.005	7.8	1.1 ± 0.01	13.0	2.0 ± 0.04	18.3	1.8 ± 0.03	12.7	1.3 ± 0.02	18.3
70	0.60 ± 0.006	9.9	1.1 ± 0.01	12.0	1.9 ± 0.04	23.5	1.7 ± 0.04	19.5	1.3 ± 0.02	19.5
120	0.62 ± 0.006	9.1	1.1 ± 0.01	12.2	1.8 ± 0.03	16.3	1.7 ± 0.02	12.4	1.3 ± 0.20	16.7
Новый Свет/Novyy Svet										
50	0.61 ± 0.006	9.0	1.1 ± 0.01	13.0	1.9 ± 0.03	17.4	1.8 ± 0.02	13.0	1.3 ± 0.02	19.3
100	0.61 ± 0.007	10.9	1.1 ± 0.01	12.6	1.9 ± 0.03	17.0	1.8 ± 0.02	12.5	1.3 ± 0.30	19.6

Примечание: α – A/Σ; β – A/B; γ – A/D; δ – B/D; Θ – A/C; M – средний показатель; m – ошибка среднего показателя; V – коэффициент вариации, %.

Note: α – A/Σ; β – A/B; γ – A/D; δ – B/D; Θ – A/C; M – mean; m – error of the mean; V – coefficient of variation, %.

женность древостоев, в урочище Аязьма – снижение разнообразия возрастного состава, где в центральной части массива насаждения представлены разновозрастными древостоями пирогенного происхождения. Это, безусловно, повлияло на снижение генетического разнообразия, что в той или иной степени проявляется в изменении относительных показателей структурных элементов пыльцевого зерна. Таким образом, рассмотренные выше индексы, позволяющие оценивать специфику аэродинамических свойств пыльцы, можно использовать как тест-признаки при анализе динамики гетерогенности природных популяций *P. brutia* var. *pityusa*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Средние размеры пыльцевого зерна *Pinus brutia* var. *pityusa* в природных популяциях Горного Крыма изменяются в пределах: общая длина пыльцы от 81.5 до 88.5 мкм, длина и высота тела пыльцевого зерна – 52.2–59.4 мкм и 47.8–53.4 мкм, длина и высота воздушного мешка – 40.0–43.0 мкм и 25.5–30.4 мкм соответственно. Наиболее мелкая пыльца формируется в прибрежных древостоях. В насаждениях *P. brutia* var.

pityusa западной части Горного Крыма наблюдается уменьшение величины длины и высоты воздушных мешков. Выявлено, что использование индексов, характеризующих отношение отдельных структурных элементов пыльцевого зерна, позволяет анализировать аэродинамические свойства пыльцы *P. brutia* var. *pityusa*, возможности ее эффективного распространения. Уменьшение индексов пыльцы в насаждениях Аязьмы и Батилимана снижает дальность ее воздушного переноса, что оказывает негативное воздействие на уровень гетерогенности природных популяций на данных территориях.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 22-24-20128 “Научные основы формирования системы охраны и мониторинга природных популяций *Pinus brutia* var. *pityusa* (Steven) Silba Горного Крыма”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[Antyufeev] Антифеев В.В. 2003. Микроклиматическая изменчивость термических ресурсов вегетацион-

- ного периода на Южном берегу Крыма. — Труды Никит. ботан. сада. 121: 137–145.
- [Anuchin] Анучин Н.П. 1982. Лесная таксация. М. 512 с.
- Dias M.C., Oliveira J.M.P.F., Marum L., Pereira V., Almeida T., Nunes S., Araújo M., Moutinho-Pereira J., Correia C.M., Santos C. 2022. *Pinus elliottii* and *P. elliottii* × *P. caribaea* hybrid differently cope with combined drought and heat episodes. — *Industrial Crops and Products*. 176: 114428. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114428>
- [Elagin] Елагин И.Н. 1961. Методика определения фенологических фаз у хвойных. — *Бот. журн.* 46 (7): 985–992.
- [Geodakyan] Геодакян В.А. 1977. Количество пыльцы как показатель эволюционной пластичности перекрестноопыляющихся растений. *Докл. АН СССР*. 234(6): 1460–1463.
- [Glotov] Глотов Н.В. 1983. Оценка генетической гетерогенности природных популяций: количественные признаки. — *Экология*. 1: 3–10.
- [Gorbunov et al.] Горбунов Р.В., Горбунова Т.Ю., Дрыгваль А.В., Табунщик В.А. 2020. Изменение температуры воздуха в Крыму. — *Социально-экологические технологии*. 10 (3): 370–383. <https://doi.org/10.31862/2500-2961-2020-10-3-370-383>
- Kashirina E.S., Novikov A.A. 2016. Using of GIS for estimation of the recreational loads on natural protected areas. — *Proceedings of the International conference “InterCarto/InterGIS”*. 22 (2): 174–181. <https://doi.org/10.24057/2414-9179-2016-2-22-174-181>
- [Khlebova, Ereshhenko] Хлебцова Л.П., Ерещенко О.В. 2013. Изменчивость признаков пыльцы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях Барнаула. — *Известия Алтайского гос. ун-та*. 3—1 (79): 103–107.
- [Koba, Makarov] Коба В.П., Макаров Н.А. 2020. Динамика роста и жизненного состояния *Pinus pityusa* Stev. в Горном Крыму. — В сб.: Современное лесное хозяйство — проблемы и перспективы: материалы Всероссийской науч.-практ. конф., посвященной 50-летию ВНИИЛГИСбиотех. ФГБУ “ВНИИЛГИСбиотех”. С. 164–168.
- [Kolesnikov] Колесников А.И. 1963. Сосна пицундская и близкие к ней виды. М. 174 с.
- [Korshikov et al.] Коршиков И.И., Лаптева Е.В., Литвиненко Ю.С. 2014. Морфологические изменения пыльцы сосны Крымской (*Pinus pallasiana* D. Don) в интродукционных насаждениях техногенно загрязненных территорий. — *Промышленная ботаника*. 14: 61–68.
- [Kotelova] Котелова Н.В. 1956. Проращивание пыльцы на искусственных средах и способы хранения пыльцы сосны обыкновенной. — *Научн. техн. информ. МЛТИ*. 23: 13–20.
- [Lakin] Лакин Г.Ф. 1990. Биометрия. М. 352 с.
- López-Orozco R., García-Mozo H., Oteros J., Galán C. 2021. Long-term trends in atmospheric *Quercus* pollen related to climate change in southern Spain: A 25-year perspective. — *Atmospheric Environment*. 262: 118637. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118637>
- [Magomedmirzaev] Магомедмирзаев М.М. 1990. Введение в количественную морфогенетику. М. 230 с.
- [Makhneva, Menshchikov] Махнева С.Г., Меншиков С.Л. 2021. Качество пыльцы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в зоне действия выбросов АО “Карабашмедь”. *Лесной вестник. — Forestry Bulletin*. 25 (1): 32–44.
- [Mamaev] Мамаев С.А. 1973. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений. М. 284 с.
- [Mollaeva, Tembotova] Моллаева М.З., Темботова Ф.А. 2020. Аномалии пыльцы *Pinus sylvestris* L. в условиях гор Центрального Кавказа. — В сб.: Современные подходы и методы в защите растений: Мат-лы II Междунар. науч.-практ. конф. Екатеринбург. С. 220–221.
- [Monsozon-Smolina] Монсозон-Смолина М.Х. 1949. К вопросу о морфологии пыльцы некоторых видов рода *Pinus* L. — *Бот. журн.* 34 (4): 352–380.
- [Nekrasova] Некрасова Т.П. 1983. Пыльца и пыльцевой режим хвойных Сибири. Новосибирск. 169 с.
- [Plugatar et al.] Плугатарь Ю.В., Коба В.П., Папельбу В.В., Новицкий М.Л. 2021. Флуктуация погодных явлений и динамика почвенных условий в Восточной части Горного Крыма. — В сб.: Лесные почвы и изменение климата: Мат-лы IX Всероссийской науч. конф. с междунар. участием. С. 160–162.
- [Podgorny, Ruguzov] Подгорный Ю.К., Ругузов И.А. 1979. Особенности микроспорогенеза и развития мужского гаметофита сосны крымской в связи с семеношением и жизнеспособностью популяций. — *Бюл. Никит. ботан. сада*. 38: 21–25.
- [Sannikov et al.] Санников С.Н., Шлапаков П.И., Санникова Н.С. 2008. Фенология пыления — “цветения”, генетическая дифференциация разновысотных популяций сосны крымской. — В сб.: Роль об’єктів ПЗФ у збереженні біорізноманіття: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. С. 44–151.
- [Tretyakova, Noskova] Третьякова И.Н., Носкова Н.Е. 2004. Пыльца сосны обыкновенной в условиях экологического стресса. — *Экология*. 1: 26–33.
- [Velisevich] Велисевич С.Н. 2017. Качество пыльцы высокогорных популяций *Pinus sibirica* Du Tour (Pinaceae) в аридных и гумидных районах Алтая. — *Журнал Сибирского федерального ун-та. Серия: Биология*. 10 (3): 301–311.
- Vergotti M.J., Fernández-Martínez M., Kefauver S.C., Janssens I.A., Penuelas J. 2019. Weather and trade-offs between growth and reproduction regulate fruit production in European forests. — *Agricultural and Forest Meteorology*. 279: 107711. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107711>
- [Zemlyanoy] Земляной А.И. 1971. Особенности микроспорогенеза у кедра сибирского на Алтае. — *Изв. СО АН СССР. Сер. биол. наук*. 3 (15): 51–54.

BIOMETRIC INDICES OF POLLEN FROM NATURAL POPULATIONS OF *PINUS BRUTIA* VAR. *PITYUSA* (PINACEAE) OF THE CRIMEAN MOUNTAINS

V. P. Koba^{a,*}, O. O. Korenkova^{a,**}, and N. A. Makarov^a

^aNikitsky Botanical Garden – National Scientific Center of RAS
Nikitsky Spusk Str., 52, Yalta, 298648, Russia

*e-mail: kobavp@mail.ru

**e-mail: o.o.korenkova@mail.ru

The study of biometric characteristics of *Pinus brutia* var. *pityusa* pollen was carried out in natural populations of *P. brutia* var. *pityusa* in the Crimean Mountains. The pollen was collected during the period of its free flight on sample plots along four hypsometric profiles. In the western part of the southern macroslope of the Main Ridge of the Crimean Mountains on Cape Aya in the Ayazma tract, 3 sample plots were laid at altitudes of 50–290 m above sea level, in Batiliman – 2 plots, at altitudes of 50 and 120 m above sea level; in the eastern part of the macroslope, 3 plots were laid on Karaul-Oba Mt. at altitudes of 40–120 m above sea level, and in the Novyy Svet tract – 2 plots at 50 and 100 m above sea level. Biometric analysis of pollen grains was carried out on temporary acetocarmine slides using generally accepted methods. The results of the study showed that an average size of the pollen grain of *P. brutia* var. *pityusa* in natural populations of the Crimean Mountains varies within the following ranges: total grain length from 81.5 to 88.5 μm , the length and height of the pollen grain body 52.2–59.4 μm and 47.8–53.4 μm , respectively, and the length and height of the air sac 40.0–43.0 μm and 25.5–30.4 μm , respectively. The smallest pollen is formed in coastal stands. In the plantations of *P. brutia* var. *pityusa* in the western part of the Crimean Mountains, a decrease in the length and height of the air sacs was noted. It was revealed that the indices characterizing the ratio of individual structural elements of the pollen grain, namely γ – the ratio of the body length to the height of the air sac of the pollen grain, δ – the ratio of the body height to the height of the air sac, and Θ – the ratio of the body length to the length of the air sac, allow to analyze aerodynamic properties of *P. brutia* var. *pityusa* pollen. The decrease in γ , δ , and Θ pollen indices in the plantations of Ayazma and Batiliman reflects a decrease in the efficiency of its aerial distribution, which has a negative effect on the level of heterogeneity of natural populations in these territories.

Keywords: *Pinus brutia* var. *pityusa*, natural populations, pollen, biometrics, heterogeneity

ACKNOWLEDGEMENTS

The work was financially supported by the Russian Science Foundation grant No. 22-24-20128 “Scientific foundations for the formation of a system for the protection and monitoring of the natural population of *Pinus brutia* var. *pityusa* (Steven) Silba of the Crimean Mountains.

REFERENCES

- Antyufeyev V.V. 2003. Mikroklimaticheskaya izmenchivost' termicheskikh resursov vegetatsionnogo perioda na Yuzhnom beregu Kryma [Microclimatic variability of thermal resources of the growing season on the southern coast of Crimea]. – Trudy Nikit. botan. sada. 121: 137–145 (In Russ.).
- Anuchin N.P. 1982. Lesnaya taksatsiya [Forest inventory]. Moscow. 512 p. (In Russ.).
- Dias M.C., Oliveira J.M.P.F., Marum L., Pereira V., Almeida T., Nunes S., Araújo M., Moutinho-Pereira J., Correia C.M., Santos C. 2022. *Pinus elliotii* and *P. elliotii* $\times$ *P. caribaea* hybrid differently cope with combined drought and heat episodes. – Industrial Crops and Products. 176: 114428. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114428>
- Elagin I.N. 1961. Method for determining phenological phases in conifers. – Bot. Zhurn. 46 (7): 985–992 (In Russ.).
- Geodakyan V.A. 1977. Kolichestvo pyl'cy kak pokazatel' evolyutsionnoy plastichnosti perekrestnoopylayushchikhsya rasteniy [The amount of pollen as an indicator of the evolutionary plasticity of cross-pollinated plants]. Dokl. AN SSSR. 234 (6): 1460–1463 (In Russ.).
- Glotov N.V. 1983. Otsenka geneticheskoy geterogennosti prirodnikh populyatsiy: kolichestvennye priznaki [Assessment of the genetic heterogeneity of natural populations: quantitative signs]. – Ekologiya. 1: 3–10 (In Russ.).
- Gorbunov R.V., Gorbunova T.Yu., Drygval' A.V., Tabunshchik V.A. 2020. Izmenenie temperatury vozdukhа v Krymu [Changes in air temperature in the Crimea]. – Sotsial'no-ekologicheskie tekhnologii. 10 (3): 370–383 (In Russ.). <https://doi.org/10.31862/2500-2961-2020-10-3-370-383>
- Hlebova L.P., Ereshhenko O.V. 2013. Izmenchivost' priznakov pyl'cy sosny obyknovennoy (*Pinus sylvestris* L.) v usloviyakh Barnaula [Variability of signs of Scotch pine pollen (*Pinus sylvestris* L.) in Barnaul]. – Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta. 3–1 (79): 103–107 (In Russ.).

- Kashirina E.S., Novikov A.A. 2016. Using of GIS for estimation of the recreational loads on natural protected areas. — Proceedings of the International conference “InterCarto/InterGIS”. 22 (2): 174–181. <https://doi.org/10.24057/2414-9179-2016-2-22-174-181>
- Koba V.P., Makarov N.A. 2020. Dinamika rosta i zhiznennogo sostoyaniya *Pinus pityusa* Stev. v Gornom Krymu [Dynamics of growth and vital status of *Pinus pityusa* Stev. in the Mountainous Crimea]. — In: Sovremennoe lesnoe khozyaystvo — problemy i perspektivy: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 50-letiyu “VNIILGISbiotech”. FGBU “VNIILGISbiotech”. P. 164–168 (In Russ.).
- Kolesnikov A.I. 1963. Sosna picundskaya i blizkie k ney vidy [Pitsunda pine and related species]. Moscow. 174 p. (In Russ.).
- Korshikov I.I., Lapteva E.V., Litvinenko Yu.S. 2014. Morfologicheskie izmeneniya pyl'cy sosny Krymskoy (*Pinus pallasiana* D. Don) v introduktsionnykh nasazhdeniyakh tehnogenno zagryaznennykh territoriy [Morphological changes in pollen of the Crimean pine (*Pinus pallasiana* D. Don) in introduced plantations of technogenically polluted territories]. — Promyshlennaya botanika. 14: 61–68 (In Russ.).
- Kotelova N.V. 1956. Prorashchivanie pyl'cy na iskusstvennykh sredakh i sposoby khraneniya pyl'cy sosny obyknovennoy [Pollen germination on artificial media and methods of storage of Scots pine pollen]. — Nauchn. tehn. inform. MLTI. 23: 13–20 (In Russ.).
- Lakin G.F. 1990. Biometriya [Biometrics]. Moscow. 352 p. (In Russ.).
- López-Orozco R., García-Mozo H., Oteros J., Galán C. 2021. Long-term trends in atmospheric *Quercus* pollen related to climate change in southern Spain: A 25-year perspective. — Atmospheric Environment. 262: 118637. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118637>
- Magomedmirzaev M.M. 1990. Vvedenie v kolichestvennuyu morfogenetiku [Introduction to quantitative morphogenetics]. Moscow. 230 p. (In Russ.).
- Makhneva S.G., Menshchikov S.L. 2021. Kachestvo pyl'cy sosny obyknovennoy (*Pinus sylvestris* L.) v zone deystviya vybrosov AO “Karabashmed” [Pollen quality of Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) in the emission zone of Karabashmed JSC]. — Forestry Bulletin. 25 (1): 32–44 (In Russ.).
- Mamaev S.A. 1973. Formy vnutrividovoy izmenchivosti drevesnykh rasteniy [Forms of intraspecific variability of woody plants]. Moscow. 284 p. (In Russ.).
- Mollaeva M.Z., Tembotova F.A. 2020. Anomalii pyl'cy *Pinus sylvestris* L. v usloviyakh gor Central'nogo Kavkaza [Pollen anomalies of *Pinus sylvestris* L. in the conditions of the mountains of the Central Caucasus]. — In: Sovremennyye podkhody i metody v zashchite rasteniy: Materialy II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Ekaterinburg. P. 220–221 (In Russ.).
- Monsozon-Smolina M.H. 1949. On the question of pollen morphology of some species of the genus *Pinus* L. — Bot. Zhurn. 34 (4): 352–380 (In Russ.).
- Nekrasova T.P. 1983. Pyl'tsa i pyl'tsevoy rezhim khvoynykh Sibiri [Pollen and pollen regime of Siberian conifers]. Novosibirsk. 169 p. (In Russ.).
- Plugat' Yu.V., Koba V.P., Papel'bu V.V., Novitskiy M.L. 2021. Fluktuatsiya pogodnykh yavleniy i dinamika pochvennykh usloviy v Vostochnoy chasti Gornogo Kryma [Fluctuation of weather phenomena and dynamics of soil conditions in the Eastern part of the Crimean Mountains]. — In: Lesnye pochvy i izmenenie klimata: Materialy IX Vserossiyskoy nauchnoy Konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. P. 160–162 (In Russ.).
- Podgorny Yu.K., Ruguzov I.A. 1979. Osobennosti mikrosporogeneza i razvitiya muzhskogo gametofita sosny krymskoy v svyazi s semenosheniem i zhiznesposobnost'yu populyatsiy [Features of microsporogenesis and development of the male gametophyte of the Crimean pine in connection with seed production and viability of populations]. — Byul. Nikit. botan. sada. 38: 21–25 (In Russ.).
- Sannikov S.N., Shlapakov P.I., Sannikova N.S. 2008. Fenologiya pyleniya — “tsveteniya”, geneticheskaya differentsiatsiya raznovysotnykh populyatsiy sosny krymskoy [Phenology of pollination — “flowering”, genetic differentiation of Crimean pine populations of different heights]. — In: Rol' ob'ektiv PZF u zberezhenni bioriznomanittja: Materiali Mizhnarodnoi naukovo-praktichnoi konferentsii. P. 44–151 (In Russ.).
- Tretyakova I.N., Noskova N.E. 2004. Pyl'tsa sosny obyknovennoy v usloviyakh ekologicheskogo stressa [Scotch pine pollen under environmental stress]. — Ekologiya. 1: 26–33 (In Russ.).
- Velisevich S.N. 2017. Kachestvo pyl'tsy vysokogornnykh populyatsiy *Pinus sibirica* Du Tour (Pinaceae) v aridnykh i gumidnykh rayonakh Altaya [Pollen quality of high-mountain populations of *Pinus sibirica* Du Tour (Pinaceae) in arid and humid regions of Altai]. — Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Biologiya. 10 (3): 301–311 (In Russ.).
- Vergotti M.J., Fernández-Martínez M., Kefauver S.C., Janssens I.A., Penuelas J. 2019. Weather and trade-offs between growth and reproduction regulate fruit production in European forests. — Agricultural and Forest Meteorology. 279: 107711. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107711>
- Zemlyanoy A.I. 1971. Osobennosti mikrosporogeneza u keda sibirskogo na Altae [Features of microsporogenesis in Siberian stone pine in Altai]. — Izv. SO AN SSSR. Ser. biol. nauk. 3 (15): 51–54 (In Russ.).