



УДК 582.475:581.33:631.529(477.75)

## БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЫЛЬЦЕВЫХ ЗЕРЕН СЕВЕРОАМЕРИКАНСКИХ СОСЕН В УСЛОВИЯХ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА



Ю. В. Плугатарь, Т. М. Сахно

Плугатарь Юрий Владимирович, член-корреспондент РАН, доктор сельскохозяйственных наук, Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН, Ялта, Республика Крым, sahno\_tanya@mail.ru

Сахно Татьяна Михайловна, младший научный сотрудник лаборатории лесоведения, Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН, Ялта, Республика Крым, sahno\_tanya@mail.ru

Приведены результаты исследования биометрических характеристик и аэродинамических свойств пыльцы североамериканских видов: *Pinus radiata* D. Don, *Pinus sabiniana* Douglas, *Pinus coulteri* D. Don и автохтонного вида *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe, произрастающих на Южном берегу Крыма (ЮБК). Выявлены различия размеров пыльцевых зерен и их отдельных параметров. Пыльца интродуцированных видов характеризуется большими размерами по сравнению с аборигенным. Для метрических показателей изучаемых параметров характерна низкая амплитуда изменчивости, что свойственно мужской генеративной сфере. Отмечено увеличение количества пыльцевых зерен с преобладанием высоты тела над его длиной у видов, которые менее засухоустойчивы в регионе проведения наблюдений. Несмотря на существенные различия размеров пыльцевых зерен исследуемых видов, они имеют одинаковый коэффициент парусности, что обеспечивает идентичные аэродинамические свойства пыльцы.

**Ключевые слова:** пыльца, интродукция, североамериканские виды, *Pinus radiata* D. Don, *Pinus sabiniana* Douglas, *Pinus coulteri* D. Don, морфометрия, парусность, Южный берег Крыма.

DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2018-18-4-462-468>

Изменчивость размеров пыльцевых зерен и их жизнеспособность определяется видовой принадлежностью [1] и генотипом, однако в значительной степени зависит от экологических факторов [2–6]. В настоящее время морфологические характеристики пыльцы представителей рода *Pinus* L. относят к наиболее информативным признакам, маркирующим устойчивость и состояние деревьев, позволяющим провести раннюю диагностику состояния растений, особенно в регионах, где складываются экстремальные для видов условия произрастания [7].

Размеры пыльцевых зерен относятся к показателям, имеющим наименьшую амплитуду изменчивости. У всех видов хвойных деревьев ко-

эффициент вариации различных признаков имеет близкую величину, что связано с наследственно закрепленной динамикой фенотипических показателей растения. Степень этой изменчивости, по-видимому, определяется генетической спецификой признака, что и обуславливает амплитуду его варьирования. Для большинства одноименных признаков характерен одинаковый порядок варьирования независимо от видовой принадлежности растения [8].

Параметры, характеризующие мужскую генеративную сферу сосны, подвержены очень сильным колебаниям по годам и тесно связаны с погодно-климатическими условиями в период формирования пыльцы [9]. Количественные и качественные характеристики пыльцевых зерен определяют репродуктивные возможности вида и служат важнейшими диагностическими признаками в эколого-генетических, селекционных и фитомониторинговых исследованиях [10–12]. Показатели морфологических характеристик пыльцы используются для изучения возможностей растений адаптироваться к динамическим и стрессовым условиям обитания, а также для оценки экологической пластичности и толерантности репродуктивных механизмов растений [7, 13–17]. В свою очередь, метрические показатели отдельных параметров пыльцевого зерна, а также их соотношение служат важнейшими критериями для оценки аэродинамических свойств пыльцы и способности к анемофильному опылению [18].

Пыльца представителей рода *Pinus* L. изучалась достаточно подробно, однако данные об особенностях морфометрических характеристик мужских генеративных структур у разных видов при интродукции немногочисленны. В связи с этим возникла необходимость провести исследование биометрических параметров пыльцевых зерен некоторых интродуцированных сосен Северной Америки и для сравнительной характеристики вида, естественно произрастающего в условиях проведения исследований.

Цель настоящей работы провести оценку биометрических характеристик пыльцевых зерен трех североамериканских видов сосны:



*Pinus radiata* D. Don, *Pinus sabiniana* Douglas, *Pinus coulteri* D. Don, произрастающих на Южном берегу Крыма (ЮБК) и автохтонного вида – *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe. Определить коэффициенты формы пыльцевых зерен и их аэродинамические свойства.

### Материалы и методы

Модельные деревья изучаемых видов произрастают в нижнем поясе ЮБК на высоте до 300 м н.у.м. Большинство экземпляров сосредоточены в парках Никитского ботанического сада (Нижний, Верхний и Монтедор), а также парках Воронцовском, Приморском, Форосском и на территории МДЦ «Артек».

Объект исследования – свежесобранная пыльца североамериканских видов рода *Pinus* L.: *P. radiata*, *P. sabiniana*, *P. coulteri*, а также аборигенного вида *P. nigra* subsp. *pallasiana*.

По климатическим условиям район проведения исследований относится к сухим субтропикам. Жаркое сухое лето, относительно теплая зима [19]. Средняя годовая температура воздуха в нижнем поясе ЮБК убывает по мере продвижения на восток и колеблется от 13,5°C (Ай-Тодор) до 12,6°C (Алушта). Средняя температура зимнего периода +3,2°C, летнего +23,4°C. Абсолютный минимум, зафиксированный в феврале 1930 г., составил – 14,6°C, максимум в августе 1998 г. – +39°C. Среднегодовое количество осадков для данного района – 589 мм, большая их часть выпадает в осенне-зимний период [20].

Материал для изучения отбирали в период массового лета пыльцы с нижней трети кроны модельных деревьев в сухую, безветренную погоду. С использованием временных ацетокарминовых препаратов [21] изучали морфометрические параметры пыльцевых зерен по методике М. Х. Монозон-Смолиной [22]. Измеряли общую длину ( $L$ ), длину ( $A$ ) и высоту ( $B$ ) тела пыльцевого зерна, длину ( $C$ ) и высоту ( $D$ ) летательного мешка у 750 пыльцевых зерен каждого вида, а также рассчитывали коэффициенты формы как отношение  $A/B$ ,  $C/D$ ,  $A/L$ ,  $B/L$ . Парусность пыльцы определяли по формуле  $(C+D)/(A+B)$ . Для оценки степени варьирования признаков использовалась шкала С. А. Мамаева, где выделяются следующие уровни изменчивости: очень низкий ( $V < 7\%$ ), низкий ( $V = 8-12\%$ ), средний ( $V = 13-20\%$ ), повышенный ( $V = 21-30\%$ ), высокий ( $V = 31-40\%$ ), очень высокий ( $V > 40\%$ ) [23]. Исследование проводили с использованием микроскопа ЛОМО Микмед-5 и компьютерной программы MSview. Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с

помощью программы Excel по общепринятым методикам в биометрии [24]. Характеристика погодных условий проводилась по данным агрометеостанции «Никитский сад».

### Результаты и их обсуждение

Сроки полینации у исследуемых видов в погодных условиях 2017 г. существенно отличались. Наиболее ранний лет пыльцы, в начале второй декады апреля, отмечен у *P. radiata* при среднесуточной температуре воздуха +7,7°C и сумме положительных температур >5°C 455°C [25]. У аборигенного вида *P. nigra* subsp. *pallasiana* наступление фенофазы пыления проходило в начале первой декады мая при среднесуточной температуре +19,7°C и сумме положительных температур >5°C 683°C. У *P. sabiniana* лет пыльцы также проходил в начале первой декады мая при повышении среднесуточной температуры воздуха до +21,7°C и сумме положительных температур >5°C 703°C. Наиболее поздняя полінация, в конце второй декады мая, при сумме положительных температур >5°C 906°C и среднесуточной температуре воздуха +13,3°C наблюдалась у *P. coulteri*. В целом продолжительность рассеивания пыльцы исследуемых видов составляла 8–12 дней.

Изучение линейных параметров пыльцевых зерен позволило выявить существенные различия между их размерами у аборигенного вида и североамериканских (табл. 1).

Наибольшие размеры пыльцы были выявлены у *P. coulteri*. Среднее значение общей длины пыльцевого зерна с учетом воздушных мешков составляет  $117,4 \pm 0,2$  мкм, амплитуда изменчивости от 98,5 до 142,3 мкм, при вариации 5,5%. Длина тела пыльцевого зерна колеблется от 58,8 до 102,2 мкм, среднее значение  $77,9 \pm 0,2$  мкм ( $V = 8,7\%$ ). Высота тела пыльцевого зерна находится в пределах 47,8–86,2 мкм, среднее значение  $65,9 \pm 0,2$  мкм, варьирование показателя составило 9,3%. Характеристики летательных мешков имеют следующие значения: средняя длина  $56,0 \pm 0,2$  мкм, предел изменчивости от 37,6–71,9 мкм ( $V = 11,4\%$ ), средняя высота  $42,2 \pm 0,2$  мкм, изменяется данный показатель от 28,8 до 63,2 мкм при коэффициенте вариации 12,2%.

Немного меньшие, по сравнению с предыдущим видом, отмечены параметры пыльцы у *P. radiata*. Среднее значение общей длины пыльцевого зерна составило  $107,2 \pm 0,2$  мкм. Данный параметр изменяется от 90,7 до 125,9 мкм ( $V = 5,1\%$ ). Длина тела пыльцы достигает  $64,7 \pm 0,2$  мкм, при коэффициенте вариации 9,4%, высота тела –  $58,2 \pm 0,1$  мкм, изменчивость – 6,8%. Среднее значение длины и



Таблица 1

## Морфометрические параметры пыльцевых зерен

Вид		Параметры пыльцевых зерен, мкм				
		Общая длина пыльцевого зерна	Длина тела пыльцевого зерна	Высота тела пыльцевого зерна	Длина летательного мешка	Высота летательного мешка
<i>P. nigra</i> subsp. <i>pallasiana</i>	Lim	62,6–93,7	41,8–65,5	31,1–53,9	26,0–50,7	19,8–48,0
	$M \pm m$	80,7±0,2	52,7±0,1	43,7±0,1	39±0,2	29,1±0,1
	V, %	6,5	7,2	8,3	10,6	11,4
<i>P. radiata</i>	Lim	90,7–125,9	47,4–81,8	46,3–68,2	37,4–73,3	24,1–53,5
	$M \pm m$	107,2±0,2	64,7±0,2	58,2±0,1	55,2±0,2	36,5±0,2
	V, %	5,1	9,4	6,8	11,3	14,5
<i>P. sabiniana</i>	Lim	71,2–126,5	44,1–89,8	39,6–85,2	33,5–73,4	25,4–49,5
	$M \pm m$	104,6±0,3	68,0±0,2	61,5±0,3	56,5±0,2	38,0±0,2
	V, %	7,9	7,7	13,5	11,7	11,9
<i>P. coulteri</i>	Lim	98,5–142,3	58,8–102,2	47,8–86,2	37,6–71,9	28,8–63,2
	$M \pm m$	117,4±0,2	77,9±0,2	65,9±0,2	56,0±0,2	42,2±0,2
	V, %	5,5	8,7	9,3	11,4	12,2

Примечание. Lim – пределы изменчивости;  $M$  – среднее значение;  $m$  – стандартная ошибка среднего значения;  $V$  – коэффициент вариации. Различия средних величин по  $t$ -критерию Стьюдента достоверны на 1–2% уровне значимости.

высоты воздушных мешков  $55,2 \pm 0,2$  мкм ( $V = 11,7\%$ ) и  $38,0 \pm 0,2$  мкм ( $V = 11,9\%$ ) соответственно. В зарубежной литературе [26] приводятся минимальные показатели диаметра пыльцевых зерен для сосны лучистой в условиях Южной Африки, они находятся в пределах 34–59 мкм, среднее значение – 50 мкм. В наших условиях этот параметр характеризуется большими значениями и соответствует среднему показателю длины тела пыльцевого зерна 58,2 мкм, пределы изменчивости от 46,3–68,2 мкм.

Пыльца *P. sabiniana* характеризуется следующими параметрами: среднее значение длины пыльцевого зерна с учетом летательных мешков  $104,6 \pm 0,3$  мкм ( $V = 7,9\%$ ), длина тела пыльцевого зерна –  $68,0 \pm 0,2$  мкм ( $V = 7,7\%$ ), высота  $61,5 \pm 0,3$  мкм ( $V = 13,5\%$ ), длина воздушного мешка  $56,5 \pm 0,2$  мкм ( $V = 11,7\%$ ) и его высота  $38,0 \pm 0,2$  мкм ( $V = 11,9\%$ ).

В отличие от предыдущих североамериканских видов, пыльцевые зерна *P. nigra* subsp. *pallasiana* отличаются существенно меньшими размерами. Среднее значение показателя общей длины составило  $80,7 \pm 0,2$  мкм, изменчивость признака 6,5%, длина тела пыльцевого зерна имеет средние показатели  $52,7 \pm 0,1$  мкм

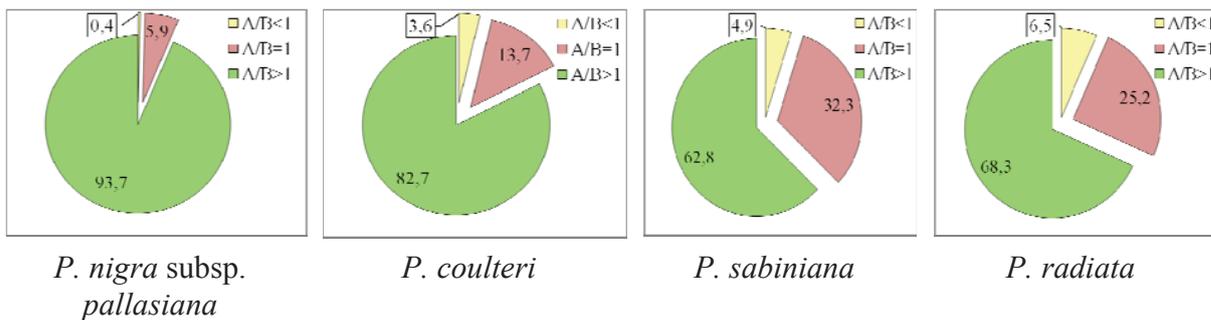
( $V = 7,2\%$ ), высота тела  $43,7 \pm 0,1$  ( $V = 8,3\%$ ). Среднее значение длины и высоты воздушных мешков  $39 \pm 0,2$  мкм ( $V = 10,6\%$ ) и  $29,1 \pm 0,1$  мкм ( $V = 11,4\%$ ) соответственно.

С использованием шкалы С. А. Мамаева установлено, что отдельные параметры пыльцевых зерен исследуемых видов имеют очень низкий и низкий уровень изменчивости. Средний уровень варьирования наблюдался для параметров высоты тела пыльцевого зерна у *P. sabiniana* и высоты летательных мешков у *P. radiata*.

Для более подробной характеристики пыльцы часто используют показатели коэффициентов формы отдельных параметров пыльцевого зерна, которые определяются как отношение  $A/B$ ,  $C/D$ ,  $A/L$ ,  $B/L$ .

Форма пыльцевого зерна (морфологический анализ) определялась по соотношению длины тела пыльцы ( $A$ ) к его высоте ( $B$ ). При этом было выделено 3 группы пыльцы по форме тела:  $A/B > 1$ ,  $A/B = 1$  и  $A/B < 1$ . Для исследуемых видов распределение формы тела пыльцевого зерна носит разный характер (рисунок).

И. Н. Третьякова (1990) описывает тенденцию увеличения высоты тела пыльцевого зерна для сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в экстре-



Распределение пыльцевых зерен по коэффициенту формы (A/B)

мальных условиях произрастания на северных и южных границах ее ареала [17]. Результаты наших исследований также показали заметное увеличение количества пыльцевых зерен с преобладанием высоты тела зерна у некоторых видов. Наименьшее количество морфологически измененных пыльцевых зерен наблюдалось у аборигенного вида *P. nigra subsp. pallasiana* – 0,4%, значительно большее было отмечено у интродуцентов: *P. coulteri* – 3,6, *P. sabiniana* – 4,9 и *P. radiata* – 6,5%. В регионе проведения наблюдений отмечена тенденция увеличения количества пыльцевых зерен с преобладанием высоты тела пыльцевого зерна у видов, которые менее засухоустойчивые.

Изучение корреляции выявило наличие некоторой зависимости отдельных параметров пыльцевых зерен. Для вида *P. sabiniana* положительная связь характерна для признаков  $L-B$  ( $r = 0,75$ ),  $L-D$  ( $r = 0,74$ ),  $B-D$  ( $r = 0,80$ ). Умеренная связь была отмечена у показателей  $L-A$  ( $r = 0,55$ ),  $L-C$  ( $r = 0,68$ ),  $B-C$  ( $r = 0,55$ ),  $C-D$  ( $r = 0,63$ ); у *P. coulteri* отмечена умеренная положительная связь между показателями  $B-D$  ( $r = 0,51$ ) и  $C-D$  ( $r = 0,56$ ); для аборигенного вида *P. nigra subsp. pallasiana* выявлена прямая умеренная связь между параметрами:  $L-C$  ( $r = 0,62$ ),  $L-D$  ( $r = 0,65$ ),  $B-D$  ( $r = 0,52$ ),  $C-D$  ( $r = 0,56$ ); у *P. radiata* умеренная положительная связь была отмечена только между параметрами длины и высоты воздушных мешков  $B-D$  ( $r = 0,66$ ).

В целом нами не выявлены определенные закономерности существования корреляции динамики отдельных параметров пыльцевых зерен у исследуемых видов, однако часто наблюдалась умеренная (и сильная у *P. sabiniana*) связь между значениями высоты тела пыльцевого зерна и высоты летательных мешков, а также длины и высоты воздушных мешков, за исключением последнего у *P. radiata*.

Соотношение высоты и длины тела пыльцевого зерна (A/B), как правило, наименее вариабельных признаков, характеризует не только

морфологические особенности тела пыльцевых зерен, но и парусность пыльцы (табл. 2). С приближением показателя к единице увеличивается летучесть пыльцевого зерна. Соотношение A/B имеет пониженное значение летательной способности у *P. nigra subsp. pallasiana* ( $V = 10,8\%$ ) и у североамериканского вида *P. coulteri* ( $V = 12,1\%$ ) при коэффициенте – 1,2. Для двух других видов *P. radiata* ( $V = 10,8\%$ ) и *P. sabiniana* ( $V = 11,7\%$ ) этот показатель составил 1,1.

Парусность воздушных мешков характеризует коэффициент формы C/D, чем он больше стремится к единице, тем более шаровидная форма летательных мешков и соответственно увеличивается летательная способность пыльцы.

У пыльцевых зерен изучаемых видов летательные мешки имеют вытянутую форму. Для *P. radiata* и *P. sabiniana* коэффициент равен 0,7 при коэффициенте вариации 10,8% и 11,7% соответственно. У *P. nigra subsp. pallasiana* и *P. coulteri* летательные мешки менее вытянутые, чем у предыдущих двух видов, соотношение C/D равно 0,8 ( $V = 10,5-11,6\%$ ).

Чем выше A/L, тем слабее летучесть пыльцы, так как зерно занимает большую часть ее длины. Соотношение длины тела пыльцевого зерна к общей длине зерна для *P. sabiniana*, *P. coulteri* и *P. nigra subsp. pallasiana* составило 0,7. Несколько большей летучестью по данному признаку обладает *P. radiata*, у которой соотношение A/L равно 0,6.

Пыльца *P. nigra subsp. pallasiana* и *P. radiata* характеризуется большей летучестью за счет пониженного коэффициента B/L (0,5) по сравнению с *P. coulteri* и *P. sabiniana*, у которых этот показатель равен 0,6.

Перечисленные коэффициенты не в полной мере дают представления об аэродинамических особенностях пыльцы. Наиболее объективным показателем является коэффициент парусности пыльцы, с увеличением которого повышается летательная способность пыльцевых зерен.



Таблица 2

## Коэффициенты формы и парусности пыльцевых зерен

Вид		Коэффициенты формы пыльцевых зерен				
		<i>A/B</i>	<i>C/D</i>	<i>A/L</i>	<i>B/L</i>	Парусность
<i>P. nigra</i> subsp. <i>pallasiana</i>	Lim, мкм	0,9–1,7	0,5–1,1	0,5–0,8	0,4–0,7	0,5–1,5
	$M \pm m$ , мкм	1,2±0,0	0,8±0,0	0,7±0,0	0,5±0,0	0,7±0,0
	<i>V</i> , %	10,8	10,5	7,8	8,4	9,2
<i>P. radiata</i>	Lim, мкм	0,8–1,5	0,4–1,0	0,4–0,8	0,4–0,6	0,5–1,0
	$M \pm m$ , мкм	1,1±0,0	0,7±0,0	0,6±0,0	0,5±0,0	0,7±0,0
	<i>V</i> , %	11,8	14,6	8,4	6,8	11,2
<i>P. sabiniana</i>	Lim, мкм	0,9–1,7	0,4–1,0	0,5–1,0	0,4–1,0	0,5–0,9
	$M \pm m$ , мкм	1,1±0,0	0,7±0,0	0,7±0,0	0,6±0,0	0,7±0,0
	<i>V</i> , %	12,9	10,6	7,8	9,5	7,4
<i>P. coulteri</i>	Lim, мкм	0,8–1,7	0,5–1,5	0,5–0,8	0,4–0,7	0,5–0,9
	$M \pm m$ , мкм	1,2±0,0	0,8±0,0	0,7±0,0	0,6±0,0	0,7±0,0
	<i>V</i> , %	12,1	11,6	8,2	9,4	10,6

Примечание. *A/B* – отношение длины тела пыльцевого зерна к его высоте; *C/D* – отношение длины летательного мешка к его высоте; *A/L* – отношение длины тела пыльцевого зерна к общей длине пыльцевого зерна; *B/L* – отношение высоты тела пыльцевого зерна к общей длине пыльцевого зерна; Lim – пределы изменчивости; *M* – среднее значение; *m* – стандартная ошибка среднего значения; *V* – коэффициент вариации.

Как показали результаты расчетов (см. табл. 2), у всех исследуемых видов, несмотря на существенные различия морфометрических характеристик пыльцевых зерен, а также их отдельных параметров, коэффициент парусности равен 0,7. Степень варьирования данного признака низкая, коэффициент вариации у *P. nigra* subsp. *pallasiana* 9,2, *P. coulteri* – 10,6, *P. sabiniana* – 7,4 и *P. radiata* – 11,2%.

### Заключение

1. Изучение морфометрических параметров пыльцевых зерен выявило существенные различия между их размерами у аборигенного вида и североамериканских. Наибольшие размеры пыльцы были у *P. coulteri*, среднее значение общей длины пыльцевого зерна с учетом воздушных мешков составляет  $117,4 \pm 0,2$  мкм. Этот показатель для *P. radiata* составил  $107,2 \pm 0,2$ , *P. sabiniana* –  $104,6 \pm 0,3$  и наи-

меньшие размеры были у *P. nigra* subsp. *pallasiana* –  $80,7 \pm 0,2$  мкм. Отдельные параметры пыльцевых зерен исследуемых видов характеризуются очень низким и низким уровнем изменчивости. Средний уровень варьирования наблюдался при оценке параметров высоты тела пыльцевого зерна у *P. sabiniana* и высоты летательных мешков у *P. radiata*.

2. При характеристике формы тела пыльцевого зерна в регионе проведения наблюдений, как соотношение *A/B*, отмечено увеличение количества пыльцевых зерен с преобладанием высоты тела пыльцевого зерна у видов, которые менее засухоустойчивые.

3. Аэродинамические свойства пыльцы исследуемых видов свидетельствуют об одинаковой дальности ее распространения, несмотря на различие ее размеров. Можно предположить, что размеры параметров пыльцевых зерен обусловлены генотипом, однако их варьирование в



пределах вида и в пределах конкретного пыльцевого зерна носит эволюционно приспособительный характер для обеспечения наивысшего показателя парусности.

### Список литературы

1. Skogsmyr I., Lankinen E. Selection on pollen competitive ability in relation to stochastic factors influencing pollen deposition // *Evolutionary Ecology Research*. 1999. Vol. 1 (8). P. 971–985.
2. Young H. J., Stanton M. L. Influence of environmental quality on pollen competitive ability in wild radish // *Science*. 1990. Vol. 248. P. 1631–1633.
3. Quesada M., Bollman K., Stephenson A.G. Leaf damage decreases pollen production and hinders pollen performance in *Cucurbita texana* // *Ecology*. 1995. Vol. 76. P. 437–443.
4. Delph L. F., Johannsson M. H., Stephenson A. G. How environmental factors affect pollen performance: ecological and evolutionary perspectives // *Ecology*. 1997. Vol. 78. P. 1632–1639.
5. Travers S. E. Pollen performance of plants in recently burned and unburned environments // *Ecology*. 1999. Vol. 80. P. 2427–2434.
6. Parantainen A., Pulkkinen P. Pollen viability of Scots pine (*Pinus sylvestris*) in different temperature conditions : high levels of variation among and within latitudes // *Forest Ecology and Management*. 2002. Vol. 167, №1–3. P. 149–160.
7. Тихонова И. В. Морфологические признаки пыльцы в связи с состоянием деревьев сосны в сухой степи // *Лесоведение*. 2005. № 1. С. 63–68.
8. Мамаев С. А. О закономерностях колебания амплитуды внутривидовой изменчивости количественных признаков в популяциях высших растений // *Журн. общ. биологии*. 1968. Т. 29, № 4. С. 413–426.
9. Третьякова И. Н., Носкова Н. Е. Пыльца сосны обыкновенной в условиях экологического стресса // *Экология*. 2004. №1. С. 1–8.
10. Некрасова Т. П. Пыльца и пыльцевой режим хвойных Сибири. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1983. 169 с.
11. Коба В. П. Динамика биометрических показателей пыльцы *Pinus pallasiana* D. Don в природных популяциях Горного Крыма // *Учен. зап. Тавр. нац. ун-та им. В. И. Вернадского. Сер. Биология, химия*. 2012. Т. 25 (64), № 2. С. 77–83.
12. Коба В. П., Крестьянишин И. А. Фенология пыления и качество пыльцы сосны обыкновенной в искусственных насаждениях Крымской яйлы // *Лесоведение*. 2017. № 6. С. 424–430.
13. Бондарь Л. М., Частоколенко Л. В. Микроспорогенез как один из возможных биоиндикаторов загрязняющего воздействия автотрассы // *Биологические науки*. 2002. № 5. С. 79–84.
14. Носкова Н. Е., Третьякова И. Н. Влияние стресса на репродуктивные способности сосны обыкновенной // *Хвойные бореальной зоны*. 2006. № 3. С. 54–63.
15. Коба В. П. Исследование некоторых особенностей морфогенеза и прорастания пыльцы *Pinus pallasiana* D. Don. // *Цитология и генетика*. 2004. № 3. С. 38–45.
16. Елькина Н. А., Карпова Е. Е. Применение палиноиндикационного метода для оценки адаптивного потенциала приморских растений западного побережья Белого моря // *Учен. зап. Петрозавод. гос. ун-та*. 2015. № 8 (153). С. 52–56.
17. Третьякова И. Н. Эмбриология хвойных. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1990. 157 с.
18. Ткаченко А. Н., Самошкин Е. Н. Изменчивость пыльцы сосны обыкновенной на лесосеменной плантации в Брянском округе зоны широколиственных лесов // *Лесн. журн*. 2001. № 4. С. 23–27.
19. Важов В. И. Агроклиматическое районирование Крыма // *Тр. Никит. бот. сада*. 1977. Т. 70. С. 92–120.
20. Плугатарь Ю. В., Корсакова С. П., Ильницкий О. А. Экологический мониторинг Южного берега Крыма. Симферополь : ИТ «Ариал», 2015. 164 с.
21. Паушева З. П. Практикум по цитологии растений. М. : Колос, 1980. 304 с.
22. Монозон-Смолина М. Х. К вопросу о морфологии пыльцы некоторых видов рода *Pinus* // *Бот. журн*. 1949. Т. 34, № 4. С. 352–380.
23. Мамаев С. А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений. М. : Наука, 1972. 284 с.
24. Лакин Г. Ф. Биометрия. М. : Высш. шк., 1990. 352 с.
25. Сахно Т. М. Морфология и особенности реализации жизненных функций пыльцы *Pinus radiata* D. Don в условиях интродукции на Южном берегу Крыма // *Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология*. 2017. № 4. С. 124–133.
26. Nell A., Staden J. Pollen morphological features and impact of temperature on pollen germination of various *Pinus* species // *South Afr. J. of Botany*. 2005. Vol. 71, № 1. P. 88–94.

### Biometric Characteristics and Aerodynamic Properties of Pollen Grains of North American Pines under Conditions of the Southern Coast of the Crimea

Yu. V. Plugatar, T. M. Sakhno

Yuri V. Plugatar, <https://orcid.org/0000-0001-5262-8957>, Labour Red Banner Order Nikitsky Botanical Gardens – National Scientific Center of the RAS, 52, Spusk Nikitsky, Yalta, Nikita, 298648, Republic of the Crimea, Russia, sahno\_tanya@mail.ru

Tat'yana M. Sakhno, <https://orcid.org/0000-0002-4850-342X>, Labour Red Banner Order Nikitsky Botanical Gardens – National Scientific Center of the RAS, 52, Spusk Nikitsky, Yalta, Nikita, 298648, Republic of the Crimea, Russia, sahno\_tanya@mail.ru



The results of the study of biometric characteristics and aerodynamic properties of pollen of North American species: *Pinus radiata* D. Don, *Pinus sabiniana* Douglas, *Pinus coulteri* D. Don and autochthonous *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe, grown on the Southern Coast of the Crimea (SCC) are presented. The differences in the size of the pollen grains and their individual parameters are revealed. The pollen of introduced species is characterized by large sizes in comparison with native species. The metric parameters of the studied parameters are characterized by low amplitude of variability, which is typical for the male generative

sphere. An increase of pollen grains with a predominance of body height greater than its length in species that are less drought-resistant was noted in the region of observation. Despite the significant differences in the size of pollen grains of the studied species, they have the same coefficient of sailing capacity, which provides identical aerodynamic properties of pollen.

**Key words:** pollen, introduction, North American species, *Pinus radiata* D. Don, *Pinus sabiniana* Douglas, *Pinus coulteri* D. Don, morphometry, sailing capacity, Southern Coast of the Crimea.

---

**Образец для цитирования:**

Плугатарь Ю. В., Сахно Т. М. Биометрические характеристики и аэродинамические свойства пыльцевых зерен североамериканских сосен в условиях Южного берега Крыма // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2018. Т. 18, вып. 4. С. 462–468. DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2018-18-4-462-468>

**Cite this article as:**

Plugatar Yu. V., Sakhno T. M. Biometric Characteristics and Aerodynamic Properties of Pollen Grains of North American Pines under Conditions of the Southern Coast of the Crimea. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2018, vol. 18, iss. 4, pp. 462–468 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2018-18-4-462-468>

---