

БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЫЛЬЦЫ И ОСОБЕННОСТИ РОСТА ПЫЛЬЦЕВЫХ ТРУБОК *JUNIPERUS DELTOIDES* R. P. ADAMS В ГОРНОМ КРЫМУ

Y.V. Plugatar, O.O. Korenkova

BIOMETRIC INDICATORS OF POLLEN AND GROWTH CHARACTERISTICS OF POLLEN TUBES OF *JUNIPERUS DELTOIDES* R. P. ADAMS IN MOUNTAIN CRIMEA

Аннотация. В процессе индивидуального развития организма происходит его адаптация, закономерности и принципы которой, в том числе, отражаются в реализации мужского гаметофита. Естественное возобновление древостоя, прежде всего, зависит от показателей успешности формирования семян, которые, помимо прочего, определяются характеристиками пыльцы. Для видов, находящихся под угрозой исчезновения, особенно остро стоит проблема стабильности возобновления. Цель исследования – определить биометрические особенности и уровень жизнеспособности пыльцевых зёрен *J. deltoides* в Горном Крыму. Исходя из цели работы, были поставлены следующие задачи: определить морфометрические параметры пыльцевых зёрен *J. deltoides*, оценить потенциальную и реальную их жизнеспособность, а также выявить степень влияния факторов окружающей среды на развитие мужской репродуктивной сферы *J. deltoides* в Горном Крыму. В пределах каждой пробной площади определяли по 10 модельных деревьев, с которых собирали пыльцевые зерна в период их вылета. На временных ацетокарминовых препаратах измеряли диаметр пыльцевых зёрен в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Проращивание пыльцы осуществляли по методу висячей капли. Для определения интегральной оценки качества пыльцы была разработана собственная методика, включающая комплексный анализ её гистохимических и морфологических признаков, характеризующих жизнеспособность. Размеры пыльцевых зёрен *J. deltoides* в Горном Крыму отличаются в пределах ошибки. Средний диаметр фертильной пыльцы для вида, в условиях полуострова, составляет $27,08 \pm 0,49$ мкм. Средний процент фертильной (окрашенной) пыльцы составляет $55,19 \pm 3,84\%$. В 2002 г. этот показатель находился в диапазоне от 87,1% до 98,2%. Можно предположить, что за последние два десятилетия доля фертильной пыльцы снизилось в 1,7 раза. Наибольшее влияние на фертильность пыльцы *J. deltoides*, практически в равной степени, оказывают

Abstract. The process the organism individual development implies its adaptation, the patterns and principles of which, among other things, are reflected in the implementation of the male gametophyte. The forest stand natural renewal primarily depends on the indicators of the seed formation success, determined among other things by the pollen characteristics. For species threatened with extinction the problem of renewal stability is especially acute. The paper is aimed to determine the biometric characteristics and the viability level of *J. deltoides*'s pollen grains in the Mountainous Crimea. In that regard, the following tasks were set: to determine the morphometric parameters of *J. deltoides* pollen grains, to assess their potential and real viability, and to identify the degree of environmental factors influence on the development of the male reproductive system of *J. deltoides* in the Mountainous Crimea. Within each trial area, 10 model trees were identified to collect their pollen grains during the flight period. The diameter of pollen grains in two mutually perpendicular planes was measured on temporary acetocarmine preparations. Pollen germination was carried out using the hanging drop method. A new methodology was developed to determine the integral assessment of pollen quality, including a comprehensive analysis of its histochemical and morphological features characterizing viability. The sizes of *J. deltoides* pollen grains in Mountainous Crimea differ within the error limits. The average diameter of fertile pollen for the species, under the conditions of the peninsula, is 27.08 ± 0.49 μm . The average percentage of fertile (colored) pollen is $55.19 \pm 3.84\%$. At the beginning of the 21st century, this figure ranged from 87.1% to 98.2%. It can be assumed that within the past two decades, the amount of fertile pollen has decreased by 1.7 times. The greatest influence on the fertility of *J. deltoides* pollen is almost equally exerted by

высота над уровнем моря и эдафические условия мест произрастания особей (6,38% и 6,50% соответственно). При проведении интегральной оценки качества пыльцы крымской популяции *J. deltooides* установлено, что подавляющее большинство особей (64,71%) характеризуется хорошим качеством пыльцевых зёрен. Доля проросшей пыльцы *J. deltooides* в Горном Крыму низкая и составляет $20,16 \pm 1,12\%$. Основным фактором, оказывающим воздействие на жизнеспособность пыльцевых зёрен, выступает антропогенная нагрузка территории (сила влияния – 51,63%). Средняя доля проросшей пыльцы на значительно антропогенно нарушенных участках составляет $12,0 \pm 1,26\%$, что в 2,3 раза ниже, чем у особей, произрастающих на не нарушенных территориях.

Ключевые слова: пыльца; *J. deltooides*; фертильность; жизнеспособность; качество пыльцы; факторы окружающей среды; Горный Крым.

Сведения об авторах: Пругатарь Юрий Владимирович, ORCID: 0000-0001-5262-8957, член корреспондент РАН, д-р с.-х. наук, «Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», Республика Крым, г. Ялта, Россия, plugatar.y@mail.ru; Коренькова Олеся Олеговна, ORCID: 0000-0001-6482-7312, канд. биол. наук, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия, o.o.korenkova@mail.ru.

the altitude above sea level and the edaphic conditions of the places of growth of individuals (6.38% and 6.50%, respectively). During the integral assessment of the pollen quality of the Crimean population of *J. deltooides*, it was found that the overwhelming majority of individuals (64.71%) are characterized by good quality pollen grains. The proportion of germinated pollen of *J. deltooides* in Mountainous Crimea is low and amounts to $20.16 \pm 1.12\%$. The main factor influencing the viability of pollen grains is the anthropogenic load of the territory (the strength of influence is 51.63%). The average proportion of germinated pollen in significantly anthropogenically disturbed areas is $12.0 \pm 1.26\%$, which is 2.3 times lower than that of individuals growing in undisturbed areas.

Keywords: pollen; *J. deltooides*; fertility; viability; pollen quality; environmental factors; Mountain Crimea.

About the authors: Yurii V. Plugatar, ORCID: 0000-0001-5262-8957, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, The Nikitsky Botanical Gardens - National Scientific Center of the RAS, Yalta, Russia, plugatar.y@mail.ru; Olesya O. Korenkova, ORCID: 0000-0001-6482-7312, Candidate of Biological Sciences, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia, o.o.korenkova@mail.ru.

Пругатарь Ю.В., Коренькова О.О. Биометрические показатели пыльцы и особенности роста пыльцевых трубок *Juniperus deltooides* R. P. Adams в Горном Крыму // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2025. № 1(69). С. 15-28. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/25-1/02>

Plugatar, Y.V., & Korenkova, O.O. (2025). Biometric Indicators of Pollen and Growth Characteristics of Pollen Tubes of *Juniperus deltooides* R. P. Adams in Mountain Crimea. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, 1(69), 15-28. (in Russ.). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/25-1/02>

Введение. Одним из важных этапов репродуктивного цикла голосеменных является развитие мужской генеративной сферы. Процесс естественного возобновления древостоя, прежде всего, зависит от показателей успешности формирования семян, которые, помимо прочего, определяются характеристиками пыльцы (как количественными, так и качественными). Проблема стабильности возобновления особо остро стоит для видов, находящихся под угрозой исчезновения. К числу таких видов относятся все представители рода *Juniperus* естественно произрастающие на Крымском полуострове. В Красных книгах Республики Крым и города Севастополя *Juniperus deltooides* R. P. Adams (*Cupressus* L.) имеет статус – вид, сокращающийся в численности [1; 5; 8; 9; 23; 27; 30].

Биометрические характеристики пыльцы играют важную роль в систематике и филогении. Морфогенез мужского гаметофита позволяет выявить закономерности и механизмы адаптации организма, происходящие в процессе его индивидуального развития [2; 5; 11].

Одним из способов определения реальной жизнеспособности пыльцы является её проращивание. Именно жизнеспособность пыльцы и энергия её роста являются основными характеристиками оценки результативности развития мужских репродуктивных структур. Жизнеспособность пыльцевых зёрен отражается в их способности прорасти в пыльцевые трубки, а длина пыльцевых трубок, в свою очередь, позволяет оценивать энергию роста пыльцы. Снижение качества пыльцевых зёрен и тератология пыльцевых трубок могут отражать нарушение в мейозе микроспороцитов и, как следствие, приводить к пустосемянности или образованию дегенеративных зародышей [17-19; 22; 26].

Цель исследования – определить биометрические особенности и уровень жизнеспособности пыльцевых зёрен *J. deltoides* в Горном Крыму. Исходя из цели работы, были поставлены следующие задачи: определить морфометрические параметры пыльцевых зёрен *J. deltoides*, оценить потенциальную и реальную их жизнеспособность, а также выявить степень влияния факторов окружающей среды на развитие мужской репродуктивной сферы *J. deltoides* в Горном Крыму.

Материалы и методы исследования. В ходе изучения процессов развития мужской репродуктивной сферы *J. deltoides* было заложено 17 пробных площадей (ПП) по 0,2 га (рис. 1). Закладывали пробные площади в природных популяциях на высоте от 40 до 620 м н.у.м., в различных эдафо-орографических условиях.

В пределах каждой пробной площади определяли по 10 модельных деревьев, с которых, в 2022 году в период вылета пыльцы, собирали пыльцевые зерна посредством стряхивания микростробиллов в простерилизованные бьюксы. В период проведения лабораторных исследований их хранили в эксикаторе над хлористым кальцием при температуре плюс 5°C [7].

С использованием цифрового микроскопа Bresser LCD Micro 5mp на временных ацетокарминовых препаратах измеряли диаметр пыльцевых зёрен в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Кроме того, проводили их окраску ацетокармином по методике З.П. Паушевой [13], с целью выявления их потенциальной фертильности. На проращивание пыльцу ставили через 1–2 дня после сбора в висячей капле питательной среды – 1% раствор сахарозы при температуре 22°C [13]. Для каждого образца на 7-й и на 14-й день проращивания определяли качество пыльцы. Для анализа изменчивости признаков использовали шкалу коэффициентов вариации С.А. Мамаева [12]. Полученные данные обрабатывали методами математической статистики [10].



Рис. 1. Схема расположения пробных площадей в популяциях *J. deltooides* в Горном Крыму
 (1–2 – окрестности г. Инкерман; 3 – г. Чирка-Каясы; 4 – г. Самналых; 5 – г. Толака-Баир;
 6–8 – г. Кара-Даг; 9 – г. Дракон; 10 – м. Мартьян; 11 – г. Папая-Кая; 12–13 – г. Коба-Кая;
 14 – г. Сокол; 15 – г. Кариштерс; 16 – ск. Куллю-Кая; 17 – окрестности с. Кудрино)

Для определения интегральной оценки качества пыльцы была разработана собственная методика, включающая комплексный анализ её гистохимических и морфологических признаков, характеризующих жизнеспособность. На первом этапе проводили окрашивание пыльцы ацетокармином, а на втором осуществляли оценку окрашенной пыльцы по двум группам признаков: первая – доля окрашенных пыльцевых зёрен (0–5 баллов) и интенсивность окраски содержимого пыльцевого зерна (0–2 балла); вторая – размер пыльцевых зёрен (1–2 балла), их форма (1–4 балла) и аномалии развития (0–1 балл). Каждый признак оценивался в баллах. Максимальная оценка, которую мог получить образец пыльцы, составляла 14 баллов. Итоговая оценка качества пыльцы определялась посредством суммирования баллов гистохимических и морфологических характеристик её состояния. Образцы по уровню качества в зависимости от количества набранных баллов подразделяли следующим образом: крайне низкое качество пыльцы – 0–2 балла; низкое качество пыльцы – 3–5 баллов; удовлетворительное качество пыльцы – 6–8 баллов; хорошее качество пыльцы – 9–11 баллов; высокое качество пыльцы – 12–14 баллов [5].

В силу значительной неоднородности почвенно-климатических условий Горного Крыма (табл. 1) все пробные площади были разделены на четыре группы: в западную группу вошли пробные площади № 1–8; в югобережную – № 9–10; в восточную – № 11–15; в северную – № 16–17. Для западной группы использовали данные осадков метеорологической станции № 33991 (г. Севастополь); для восточной и югобережных групп – № 33976 (г. Феодосия) и № 33990 (г. Ялта) соответственно; для северной групп –

№ 339555и (г. Симферополь). Для выделенных групп подсчитывались средние температуры и количество осадков в зимне-весенний период до начала вылета пыльцы. Согласно данным С.П. Корсаковой и соавторов [6], именно эти климатические показатели являются определяющими в процессах опыления.

Таблица 1

Характеристика групп пробных площадей

Группа	Н, м	t, °C	Среднегодовое количество осадков, мм	Тип почв
Западная	1094	13,7	349	бурые горно-лесные
Южнобережная	415	14,3	736	коричневые
Восточная	100	13,4	500	коричневые
Северная	240	11,3	457	бурые горные остепненные

Примечание: Н – максимальная высота над. ур. м.; t – среднегодовая температура. Степень антропогенной нагрузки определялась по 3-бальной шкале путем оценки рекреационной дигрессии. Первая стадия рекреационной дигрессии (I) – вытаптывание поверхности почвы до 25%; вторая (II) – до 50%; третья (III) – свыше 50% [4]. Эдафический фактор оценивался по уровню плодородия почвы и её увлажненности [4].

Результаты и обсуждение. В ходе проведенных исследований установлено, что изменчивость размеров пыльцевых зёрен *J. deltoides* в Горном Крыму не превышают основную ошибку среднего значения (табл. 1). Средний размер фертильной пыльцы для вида, в условиях полуострова, составляет $27,08 \pm 0,49$ мкм, что полностью соответствует последним данным 2002 года, приведённым в работах А.И. Ругузовой [15] для *J. oxycedrus*. При этом, диаметр стерильной пыльцы, как правило, на 5–10% ниже. Подобная закономерность свойственна всем крымским можжевельникам. Дегенеративных или поврежденных пыльцевых зёрен обнаружено не было.

Согласно классификации С.А. Мамаева [12], изменчивость размеров пыльцевых зёрен крымской популяции *J. deltoides* можно характеризовать как низкую и очень низкую, коэффициент вариации не превышает 12%. Подобное явление было так же отмечено самим С.А. Мамаевым для представителей семейства *Pinaceae* Lindl. [12].

При проведении однофакторного дифференциального анализа не установлено достоверного влияния ни абиотических, ни антропогенных факторов на размеры пыльцевых зёрен исследуемого вида. Можно заключить, что данный показатель является генетически закрепленным для *J. deltoides*.

В результате оценки потенциальной фертильности пыльцы, установлено, что средний процент окрашенной пыльцы составляет $55,19 \pm 3,84\%$. По данным А.И. Ругузовой [15], в 2002 году этот показатель находился в диапазоне от 87,1% до 98,2%. В результате чего, можно предположить, что за последние два десятилетия число потенциально фертильной пыльцы снизилось в 1,7 раза. Такие изменения являются весьма существенными и свидетельствуют о необходимости выявления факторов, приведших к этому. При этом доля

окрашенной (потенциально фертильной пыльцы) в пределах популяции широко варьирует от $43,26 \pm 3,13\%$ (г. Папая-Кая) до $70,10 \pm 2,47\%$ (г. Чирка-Каясы) (табл. 2).

Таблица 2

Морфометрические и качественные показатели пыльцы *J. deltoides*

№ П/П	Диаметр пыльцы, мкм		Окрашенные пыльцевые зерна, %		Проросшие пыльцевые зерна, %		Качество пыльцы, баллы	
	$X \pm m_x$	CV, %	$X \pm m_x$	CV, %	$X \pm m_x$	CV, %	$X \pm m_x$	CV, %
1	$26,13 \pm 0,46$	11,8	$48,92 \pm 3,13$	17,8	$3,43 \pm 0,28$	18,0	$8,00 \pm 0,38$	12,5
2	$26,28 \pm 0,44$	10,3	$47,18 \pm 4,26$	17,0	$6,67 \pm 0,54$	18,4	$8,44 \pm 0,47$	18,6
3	$26,90 \pm 0,71$	11,9	$65,10 \pm 2,47$	14,9	$23,46 \pm 1,13$	19,2	$12,18 \pm 0,41$	16,8
4	$27,11 \pm 0,60$	9,7	$57,89 \pm 3,28$	20,1	$26,86 \pm 1,72$	17,3	$9,88 \pm 0,54$	18,3
5	$27,33 \pm 0,48$	11,3	$62,70 \pm 4,21$	18,9	$31,80 \pm 3,03$	19,5	$10,25 \pm 0,53$	14,5
6	$27,41 \pm 0,75$	10,8	$52,21 \pm 4,63$	21,9	$29,82 \pm 1,50$	18,6	$10,33 \pm 1,2$	20,2
7	$26,50 \pm 0,56$	8,3	$54,76 \pm 4,18$	19,4	$24,85 \pm 1,62$	20,1	$10,56 \pm 0,93$	20,5
8	$27,20 \pm 0,43$	9,4	$56,43 \pm 4,78$	16,0	$27,07 \pm 1,94$	19,9	$9,92 \pm 1,15$	17,5
9	$27,15 \pm 0,28$	8,3	$55,84 \pm 3,96$	18,2	$29,14 \pm 1,29$	18,3	$10,97 \pm 0,95$	14,3
10	$26,84 \pm 0,21$	6,8	$54,75 \pm 4,14$	20,0	$26,95 \pm 2,16$	18,7	$10,43 \pm 0,43$	10,9
11	$27,44 \pm 0,30$	7,3	$43,26 \pm 3,13$	16,8	$5,81 \pm 0,44$	17,4	$7,33 \pm 0,56$	11,4
12	$26,56 \pm 0,51$	10,6	$48,77 \pm 4,14$	19,5	$2,60 \pm 0,19$	18,2	$8,55 \pm 0,42$	14,7
13	$27,07 \pm 0,46$	7,7	$46,16 \pm 3,93$	20,8	$6,76 \pm 0,37$	19,0	$8,19 \pm 0,55$	16,2
14	$27,08 \pm 0,62$	12,0	$58,73 \pm 4,79$	16,6	$25,91 \pm 1,56$	16,2	$10,01 \pm 0,63$	12,2
15	$27,51 \pm 0,86$	11,4	$61,09 \pm 4,23$	20,5	$29,76 \pm 1,52$	20,2	$10,14 \pm 0,72$	18,6
16	$27,44 \pm 0,53$	9,9	$57,70 \pm 4,66$	15,2	$27,49 \pm 2,10$	17,0	$9,21 \pm 0,44$	12,8
17	$27,82 \pm 0,59$	10,6	$61,73 \pm 4,24$	21,5	$31,41 \pm 2,83$	17,3	$9,00 \pm 0,73$	13,0

В результате однофакторного дисперсионного анализа установлено, что наибольшее влияние на потенциальную фертильность пыльцы *J. deltoides*, практически в равной степени, оказывают высота над уровнем моря и эдафические условия мест произрастания особей (6,38% и 6,50% соответственно). Наименьшее число потенциально фертильной пыльцы – 47,2%, выявлено в нижнем высотном поясе (до 100 м н.у.м.). С увеличением высоты над уровнем моря возрастает и доля прокрашенной пыльцы. В высотном диапазоне от 500 до 700 м н.у.м. этот показатель достигает почти 63%. Подобное явление можно объяснить, в первую очередь, температурным режимом, который оказывает основное воздействие на развитие пыльцевых зёрен можжевельников [6].

Среди эдафических условий мест произрастания, наиболее благоприятным для развития пыльцевых зёрен *J. deltoides* является сухой можжевельниковый сугрудок (C₁). Число потенциально фертильной пыльцы в данных условиях составляет 62,7%. В сложных почвенных условиях сухого можжевельникового бора этот показатель снижается и составляет 52,2%. Подобная закономерность объясняется практически полным отсутствием плодородного слоя и низкой увлажненностью почвы, приводящим к снижению функционирования мужских генеративных структур.

Вторым, по величине воздействия (сила влияния – 3,12%) на развитие пыльцевых зёрен *J. deltoides* в горах Крыма выступает антропогенный фактор. Установлено, что с увеличением антропогенного прессинга на можжевельниковые древостои снижается доля

потенциально фертильной пыльцы. На пробных площадях, характеризующимися значительной антропогенной нарушенностью, доля потенциально фертильной пыльцы колеблется в диапазоне 43–48%. В древостоях, произрастающих на заповедных территориях, или просто не подверженных активной рекреационной нагрузке, изученный показатель, в среднем – 60,6% [3; 16]. Подобное явление можно объяснить общим снижением жизненного состояния растений на антропогенно нарушенных территориях.

Крайне незначительное воздействие на потенциальную фертильность пыльцевых зёрен *J. deltoides* оказывают локализация мест произрастания и экспозиция склона. Сила влияния факторов составляет 1,53% и 1,01% соответственно. Локальный фактор проявляет закономерности подобные, отмеченным ранее, для воздействия высоты мест произрастания особей над уровнем моря. Так, в древостоях северной группы, доля потенциально фертильной пыльцы – 60,0%. Среди основных климатических факторов, влияющих на развитие мужской репродуктивной сферы *J. deltoides*, исследователи выделяют влажность воздуха, которая в условиях северной границы крымской популяции вида выше. Экспозиционный фактор подтверждает эту закономерность. В древостоях, произрастающих на участках с западной экспозицией, доля потенциально фертильной пыльцы максимальная и составляет 57,7%.

При проведении интегральной оценки качества пыльцы крымской популяции *J. deltoides* установлено, что подавляющее большинство особей (64,71%) характеризуется хорошим качеством пыльцевых зёрен. Особей с низким качеством пыльцы, в пределах популяции, не было обнаружено вовсе. Что позволяет судить, о высокой потенциальной оплодотворяющей способности пыльцы, которая, в свою очередь, влияет на полнозернистость семян и, как следствие, интенсивность естественного возобновления древостоев *J. deltoides* в Горном Крыму.

Среди ведущих факторов, оказывающих влияние на качество пыльцы *J. deltoides*, можно выделить эдафические условия и высоту над уровнем моря мест произрастания древостоев, а также антропогенное воздействие. Необходимо отметить, что сила влияния последнего фактора проявлена значительно сильнее, нежели в определении потенциальной фертильности пыльцевых зёрен и составляет 13,22%. В условиях низкой рекреационной нагрузке качество пыльцы, в среднем, оценивается на 15% выше, чем на участках с высокой степенью антропогенной нагрузки. На пробной площади № 11 (г. Папая-Кая) отмечается удовлетворительное качество пыльцы, что, в свою очередь, приводит к низкому качеству семян особей, произрастающих на данной территории. Необходимо отметить, что г. Папая-Кая является заповедной территорией, а именно Государственным природным заказником регионального значения Республики Крым «Папая-Кая». Однако, подобный охранный статус территории не препятствует противозаконной колоссальной туристической деятельности в реликтовых можжевеловых древостоях. В результате чего, требуется ужесточение охранных мероприятий на данной территории.

Влияние эдафических и высотных факторов на качество пыльцы проявляет схожую зависимость с воздействием на фертильность пыльцевых зёрен. Так, древостои, произрастающие в нижнем высотном поясе, характеризуются удовлетворительным качеством пыльцы. При увеличении высоты над уровнем моря качество пыльцы возрастает. С улучшением эдафических условий так же прослеживается динамика на увеличение качества пыльцевых зёрен, при этом, во всех почвенных условиях среднее качество пыльцы – хорошее.

В меньшей степени проявляется влияние локального и экспозиционного факторов на интегральный показатель качества пыльцы. Древостои всех региональных групп и экспозиций склона, в целом, характеризуются хорошим качеством пыльцы.

В ходе проведения корреляционного анализа, установлена прямая связь качества пыльцы с размером пыльцевых зёрен. Коэффициент корреляции фертильности пыльцы от её размеров составляет 0,43. То есть при увеличении размеров пыльцы увеличивается и доля фертильных пыльцевых зёрен. Ранее было отмечено, что стерильные пыльцевые зерна, в среднем на 5–10% меньше, чем фертильные. При этом качество пыльцы в меньшей степени зависит её размеров ($r = 0,16–0,23$). Максимальная корреляция прослеживается между фертильностью пыльцы и её качеством ($r = 0,73$).

Таким образом, проведённые исследования, позволяют судить о высокой потенциальной оплодотворяющей способности пыльцевых зёрен *J. deltoides* в Горном Крыму. Однако, низкий уровень полнозернистости семян определяет необходимость определения не только оплодотворяющей способности пыльцы, а и её жизнеспособности путем проращивания на искусственной среде.

В ходе проведенных исследований установлено, что, в среднем, доля проросшей пыльцы *J. deltoides* в Горном Крыму низкая и составляет $20,16 \pm 1,12\%$. Показатель прорастания пыльцы имеет средний уровень изменчивости признака. Практически полным отсутствием проросшей пыльцы характеризуются особи, произрастающие на пробной площади № 12 (г. Коба-Кая) и № 1 (окрестности пгт. Инкерман). На долю жизнеспособных пыльцевых зёрен в данных древостоях приходится всего 2,60% и 3,43% соответственно (табл. 2). Эти территории находятся в различных частях Крымского полуострова, однако обе подвергаются значительному антропогенному прессингу. Максимальное количество жизнеспособной пыльцы отмечено на пробной площади № 5 (г. Толака-Баир) – $31,80 \pm 3,03\%$. В силу своей значительной удалённости от селитебной зоны данная территория в наименьшей степени испытывает на себе последствия деятельности человека. Согласно данным А.И. Ругузовой [15], в 2006 году максимальная доля проросшей пыльцы составляла 78,4%, что почти в 2,5 раза больше, что, в свою очередь, свидетельствует о погодичной динамике качества пыльцы исследуемого вида. При этом, в отличие от пыльцы *J. excelsa* [14] тератологии пыльцевых зёрен и трубок отмечено не было (рис. 2).

Однофакторный дисперсионный анализ показал, что основным фактором, оказывающим воздействие на жизнеспособность пыльцевых зёрен, выступает

антропогенная нагрузка территории (сила влияния – 51,63%). Средняя доля проросшей пыльцы на значительно антропогенно нарушенных участках составляет $12,0 \pm 1,26\%$, что в 2,3 раза ниже, чем у особей, произрастающих на не нарушенных территориях. Из литературных источников известно, что на формирование пыльцы оказывает воздействие загрязнение окружающей среды, возникающее в результате хозяйственной или рекреационной деятельности человека [21; 25; 29].

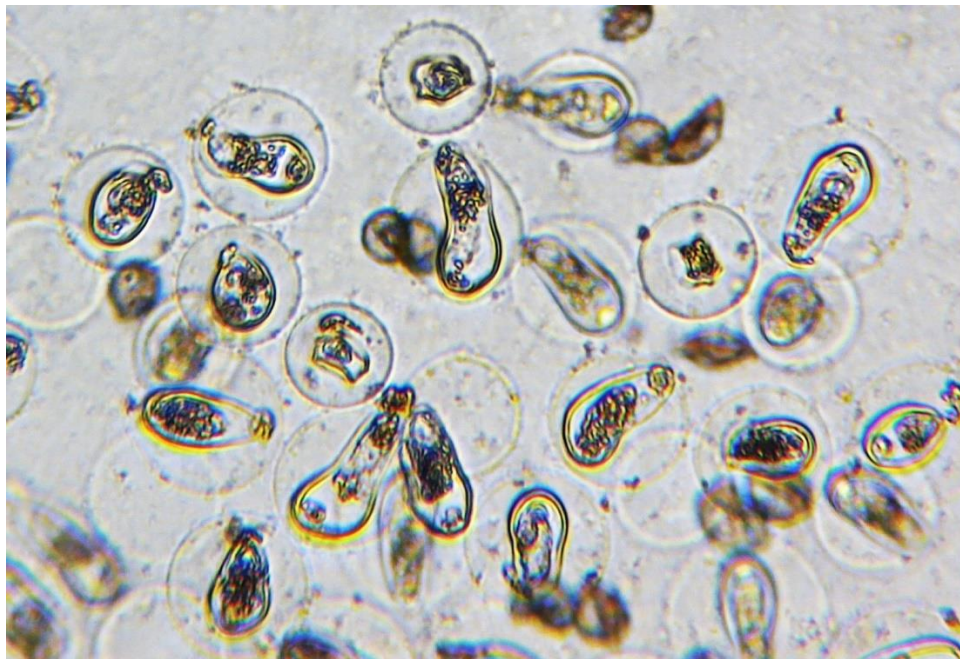


Рис. 2. Проросшие пыльцевые зерна *J. deltoides* в Горном Крыму

Кроме того, к ведущим факторам, влияющим на качество пыльцы, относятся локализация и высота мест произрастания над уровнем моря. Сила их воздействия составляет 24,90% и 40,64% соответственно. Установлено, что наименьшая доля жизнеспособной пыльцы (12,90%) формируется у особей, произрастающих в нижнем высотном поясе (до 100 м н.у.м). С увеличением высоты над уровнем моря возрастает и доля проросших пыльцевых зёрен. Так, на высоте более 600 м н.у.м. данный показатель почти в 2,5 раза выше и составляет 31,80%. Подобное явление можно объяснить различием во влажностном режиме. Из литературных данных известно, что на качество пыльцы оказывает влияние количество осадков и температура воздуха в период вылета пыльцы [20; 24; 28].

Выявлено, что в восточной части крымской популяции *J. deltoides* качество пыльцевых зёрен ниже, чем в других регионах. Доля проросшей пыльцы составляет 14,20%. Древостои *J. deltoides* в восточном Крыму находятся в пределах зон неорганизованного отдыха туристов, в результате чего сильнее подвергаются негативному воздействию со стороны человека. Северные части популяции подвергаются физическому уничтожению, однако данные территории имеют значительно меньшую плотность населения и низкий

уровень туристической нагрузки на регион. В результате чего доля жизнеспособной пыльцы составляет 29,50%, что в 2 раза выше, чем на востоке полуострова. Кроме того, данные территории разнятся по сумме годовых осадков.

В меньшей степени (4,41%) проявляется влияние экспозиционного фактора. Выявлено, что немного меньше жизнеспособных пыльцевых зёрен (их доля составляет 17,82%) у особей, произрастающих на слабо прогреваемых участках с северо-восточной и западной экспозициями. Достоверного влияния эдафических условий мест произрастания древостоев на качество их пыльцы установлено не было.

Таким образом, полученные результаты позволяют говорить о низком качестве мужского гаметофита и, как следствие, сложности при прорастании. На основании чего возникает необходимость в определении причин, приведших к низкой жизнеспособности пыльцевых зёрен.

Заключение. В ходе проведенных исследований установлено, что средний диаметр фертильных пыльцевых зёрен *J. deltoides* является генетически закрепленным признаком и составляет $27,08 \pm 0,49$ мкм ($CV \leq 12\%$). Среди ведущих факторов, оказывающих влияние на размеры пыльцевых зёрен, можно выделить высоту над уровнем моря (6,38%) и эдафические условия (6,50%) мест произрастания древостоев.

Установлено, что на долю потенциально жизнеспособной пыльцы *J. deltoides* приходится $55,19 \pm 3,84\%$ от общего количества пыльцевых зёрен. Интегральная оценка качества пыльцевых зёрен свидетельствует о том, что 64,71% особей характеризуются хорошим качеством пыльцы.

При оценке жизнеспособности пыльцы *J. deltoides* установлено, доля проросшей пыльцы *J. deltoides* в Горном Крыму низкая и составляет $20,16 \pm 1,12\%$ ($CV \leq 20\%$). В пределах большинства пробных площадей отношение проросшей пыльцы к прокрашенной составляет 1:2 – 1:3. Однако отмечены древостои, где данный показатель составляет 1:16 – 1:24. Такие пробные площади подвергаются активному антропогенному прессингу, сила влияния фактора – 51,63%. Кроме того, к ведущим факторам, влияющим на качество пыльцы, относятся регион и высота мест произрастания над уровнем моря. Сила их воздействия составляет 24,90% и 40,64% соответственно.

Литература

1. Геодакян В.А. Количество пыльцы как показатель эволюционной пластичности перекрестноопыляющихся растений // Доклады Академии наук СССР. 1977. Т. 234 (6). С. 1460–1463.
2. Глотов Н.В. Оценка генетической гетерогенности природных популяций: количественные признаки // Экология. 1983. № 1. С. 3–10.
3. Дзюба О.Ф., Кочубей О.В. Качество пыльцы растений как индикатор интенсивности воздействия нефтегазового комплекса на природную среду охраняемых территорий России // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2014. Т. 9. № 4. С. 1–24.

4. Исигов В.П., Плугатарь Ю.В., Коба В.П. Методы исследований лесных экосистем Крыма. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2014. 252 с.
5. Коренькова О.О. Биометрические показатели, доброкачественность и жизнеспособность пыльцы можжевельника высокого (*Juniperus excelsa* М. Вieb.) в условиях Горного Крыма // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. Электронный научный журнал. 2024. № 1(49). С. 32–45. <https://doi.org/10.32516/2303-9922.2024.49.3>.
6. Корсакова С.П., Саркина И.С., Багрикова Н.А. Биология опыления *Juniperus excelsa* и *J. deltoides* (Cupressaceae) на Южном берегу Крыма // Ботанический журнал. 2019. Т. 104. № 10. С. 1574–1587. <https://doi.org/10.1134/S0006813619100077>.
7. Котелова Н.В. Проращивание пыльцы на искусственных средах и способы хранения пыльцы сосны обыкновенной // Научно-техническая информация МЛТИ. 1956. № 23. С. 13–20.
8. Красная книга города Севастополя. Калининград; Севастополь: ИД «РОСТ-ДООАФК», 2018. 432 с.
9. Красная книга Республики Крым. Растения, водоросли и грибы / отв. ред. д.б.н., проф. А.В. Ена и к.б.н. А.В. Фатерыга. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2015. 480 с.
10. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1990. 350 с.
11. Магомедмирзаев М.М. Введение в количественную морфогенетику. М.: Наука, 1990. 230 с.
12. Мамаев С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений. М.: Наука, 1973. 284 с.
13. Паушева З.П. Практикум по цитологии растений. М.: Агропромиздат, 1988. 271 с.
14. Плугатарь Ю.В., Коренькова О.О. Особенности возрастной структуры можжевельников древостоев (*Juniperus deltoides* R. P. Adams, *Juniperus excelsa* М.-Вieb.) Крыма // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. Электронный научный журнал. 2024. № 4(52). С. 26–37. <https://doi.org/10.32516/2303-9922.2024.52.2>.
15. Ругузова А.И. Биологические особенности можжевельника красного (*Juniper oxycedrus* L.) в Крыму в связи с его охраной: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ялта, 2006. 18 с.
16. Сероглазова Н.Г., Бакташева Н.М. Индикация чистоты окружающей среды по состоянию пыльцы растений, произрастающих в дельте р. Волги // Вестн. МГОУ. Сер. Естественные науки. 2012. № 1. С. 65–68.
17. Сурсо М.В. Адаптация мужской репродуктивной сферы можжевельника обыкновенного к климату // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2018. № 6 (366). С. 57–69. <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2018.6.57>.
18. Сурсо М.В., Селиванова Н.В. Опыление у можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.): механизм вовлечения пыльцы и влияние мужского гаметофита на развитие семязачатков и «шишкоягод» // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2016. № 4 (352). С. 40–53. <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2016.4.40>.
19. Сурсо М.В., Чухчин Д.Г., Хвиюзов С.С., Покрышкин С.А. Механизм прорастания пыльцы и рост пыльцевых трубок у можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.) in vitro // Онтогенез. 2020. Т. 51. № 5. С. 351–362. <https://doi.org/10.31857/S0475145020050079>.

20. Barnes C.S., Dhar M., Portnoy J.M. Impact Of Temperature And Rainfall On Airborne Juniper Pollen // *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 2011. Vol. 127. Iss. 2. P. AB95. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2010.12.384>.
21. Carmona-Velasco J., García-Cervigón A.I., Casimiro-Soriguer R. Population and reproductive structure of an endangered juniper from coastal pine forests // *Journal for Nature Conservation*. 2022. Vol. 67. P.126178. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2022.126178>.
22. Christopoulou A., Sazeides C.I., Fyllas N.M. Size-mediated effects of climate on tree growth and mortality in Mediterranean Brutia pine forests // *Science of The Total Environment*. 2022. Vol. 812. Art. 151463. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151463>.
23. 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. *Pinus elliottii* and *P. elliottii* × *P. caribaea* hybrid differently cope with combined drought and heat episodes // *Industrial Crops and Products*. 2022. Vol. 176. Art. 114428. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114428>.
24. Gross L., Weber R., Wolf M., Crooks J. L. The impact of weather and climate on pollen concentrations in Denver, Colorado, 2010-2018 // *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*. 2019. Vol. 123. Iss. 5, P. 494–502.e4. <https://doi.org/10.1016/j.anai.2019.08.002>.
25. Jiménez-Moreno G., Anderson R.S., Markgraf V., Staley S.E., Fawcett P.J. Environmental and climate evolution in the Southwest USA since the last interglacial deduced from the pollen record from Stoneman lake, Arizona // *Quaternary Science Reviews*. 2023. Vol. 300. P. 107883. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2022.107883>.
26. Krichevsky A., Kozlovsky S.V., Tian G.-W., Chen M.-H., Zaltsman A., Citovsky V. How Pollen Tubes Grow (Review) // *Developmental Biology*. 2007. Vol. 303. P. 405–420. <https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2006.12.003>.
27. López-Orozco R., García-Mozo H., Oteros J., Galán C. Long-term trends in atmospheric *Quercus* pollen related to climate change in southern Spain: A 25-year perspective // *Atmospheric Environment*. 2021. Vol. 262. Art. 118637. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118637>.
28. Manangan A., Brown C., Saha Sh., Bell J., Hess J., Uejio Ch., Fineman S., Schramm P. Long-term pollen trends and associations between pollen phenology and seasonal climate in Atlanta, Georgia (1992-2018) // *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*. 2021. Vol. 127. Iss. 4. P. 471–480.e4. <https://doi.org/10.1016/j.anai.2021.07.012>.
29. Muldavin E., Triepke F.J. North American Pinyon – Juniper Woodlands: Ecological Composition, Dynamics, and Future Trends // *Encyclopedia of the World's Biomes*. 2020. P. 516–531. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.12113-X>.
30. Vergotti M.J., Fernández-Martínez M., Kefauver S.C., Janssens I.A., Penuelas J. Weather and trade-offs between growth and reproduction regulate fruit production in European forests // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2019. Vol. 279. Art. 107711. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107711>.

References

1. Geodakyan, V.A. (1977) Kolichestvo py`l'cy kak pokazatel` e`volyucionnoj plastichnosti perekrestnoopy`lyayushhixsya rastenij. *Doklady` Akademii nauk SSSR*, 234(6), 1460–1463. (in Russ.).
2. Glotov, N.V. (1983) Ocenka geneticheskoy geterogenosti prirodny`x populacij: kolichestvenny`e priznaki. *E`kologiya*, (1), 3–10. (in Russ.).

3. Dzyuba, O.F., & Kochubej, O.V. (2014) Kachestvo py`l'cy rastenij kak indikator intensivnosti vozdejstviya neftegazovogo kompleksa na prirodnyuyu sredu ohranyaemy`x territorij Rossii. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*, 9 (4), 1–24. (in Russ.).
4. Isikov, V.P., Plugatar`, Yu.V., & Koba, V.P. (2014). Metody` issledovaniy lesny`x e`kosistem Kry`ma. Simferopol`: IT «ARIAL». 252. (in Russ.).
5. Koren`kova, O.O. (2024) Biometricheskie pokazateli, dobrokachestvennost` i zhiznesposobnost` py`l'cy mozhzhevel`nika vy`sokogo (*Juniperus excelsa* M. Bieb.) v usloviyax Gornogo Kry`ma. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. E`lektronny`j nauchny`j zhurnal*, 1(49), 32–45. (in Russ.). <https://doi.org/10.32516/2303-9922.2024.49.3>.
6. Korsakova, S.P., Sarkina, I.S., & Bagrikova, N.A. (2019) Biologiya opy`leniya *Juniperus excelsa* i *J. deltoides* (Cupressaceae) na Yuzhnom beregu Kry`ma. *Botanicheskij zhurnal*, 104 (10), 1574–1587. (in Russ.). <https://doi.org/10.1134/S0006813619100077>.
7. Kotelova, N.V. (1956) Prorashhivanie py`l'cy na iskusstvenny`x sredax i sposoby` xraneniya py`l'cy sosny` oby`knovennoj. *Nauchno-texnicheskaya informaciya MLTI*, (23), 13–20. (in Russ.).
8. Krasnaya kniga goroda Sevastopolya. (2018) Kaliningrad; Sevastopol`: ID «ROST-DOAFK», 432. (in Russ.).
9. Krasnaya kniga Respubliki Kry`m. Rasteniya, vodorosli i griby`. (2015) Simferopol`: IT «ARIAL», 480. (in Russ.).
10. Lakin, G.F. (1990). Biometriya. M.: Vy`sshaya shkola, 350. (in Russ.).
11. Magomedmirzaev, M.M. (1990) Vvedenie v kolichestvennyuyu morfogenetiku. M.: Nauka, 230. (in Russ.).
12. Mamaev, S.A. (1973) Formy` vnutrividovoj izmenchivosti drevesny`x rastenij. M.: Nauka, 284. (in Russ.).
13. Pausheva, Z.P. (1988) Praktikum po citologii rastenij. M.: Agropromizdat, 271. (in Russ.).
14. Plugatar', Ju.V., & Koren'kova, O.O. (2024) Osobennosti vozrastnoj struktury mozhzhevelovyh drevostoev (*Juniperus deltoides* R. P. Adams, *Juniperus excelsa* M.-Bieb.) Kryma. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Jelektronnyj nauchnyj zhurnal*. 4(52), 26–37. (in Russ.). <https://doi.org/10.32516/2303-9922.2024.52.2>.
15. Ruguzova, A.I. (2006) Biologicheskie osobennosti mozhzhevel`nika krasnogo (*Juniper oxycedrus* L.) v Kry`mu v svyazi s ego ohranoj: dis. ... kand. biol. nauk. Yalta, 163. (in Russ.).
16. Seroglazova, N.G., & Baktasheva, N.M. (2012) Indikaciya chistoty` okruzhayushhej sredy` po sostoyaniyu py`l'cy rastenij, proizrastayushhix v del`te r. Volgi. *Vestn. MGOU. Ser. Estestvenny`e nauki*, (1), 65–68. (in Russ.).
17. Surso, M.V. (2018) Adaptaciya muzhskoj reproduktivnoj sfery` mozhzhevel`nika oby`knovenno k klimatu. *Izvestiya vy`sshix uchebny`x zavedenij. Lesnoj zhurnal*, 6 (366), 57–69. (in Russ.). <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2018.6.57>.
18. Surso, M.V., & Selivanova, N.V. (2016) Opy`lenie u mozhzhevel`nika oby`knovenno (*Juniperus communis* L.): mexanizm vovlecheniya py`l'cy i vliyanie muzhskogo gametofita na razvitie semyazchatkov i «shishkoyagod». *Izvestiya vy`sshix uchebny`x zavedenij. Lesnoj zhurnal*, 4(352), 40–53. (in Russ.). <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2016.4.40>.

19. Surso, M.V., Chuxchin, D.G., Xviyuzov, S.S., & Pokry`shkin, S.A. (2020) Mexanizm prorastaniya py`l'cy i rost py`l'cevy`x trubok u mozhzhevel`nika oby`knoennogo (*Juniperus communis* L.) in vitro. *Ontogenez*, 51(5), 351–362. (in Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0475145020050079>.
20. Barnes, C.S., Dhar, M., Portnoy, J.M. (2011) Impact Of Temperature And Rainfall On Airborne Juniper Pollen. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 127(2), AB95. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2010.12.384>.
21. Carmona-Velasco, J., García-Cervigón, A.I., & Casimiro-Soriguer, R. (2022) Population and reproductive structure of an endangered juniper from coastal pine forests. *Journal for Nature Conservation*, 67, 126178. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2022.126178>.
22. Christopoulou, A., Sazeides, C.I., & Fyllas, N.M. (2022) Size-mediated effects of climate on tree growth and mortality in Mediterranean Brutia pine forests. *Science of The Total Environment*, 812, 151463. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151463>.
23. 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>.
24. Gross, L., Weber, R., Wolf, M., & Crooks, J. L. (2019) The impact of weather and climate on pollen concentrations in Denver, Colorado, 2010–2018. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, 123 (5), 494–502.e4. <https://doi.org/10.1016/j.anai.2019.08.002>.
25. Jiménez-Moreno, G., Anderson, R.S., Markgraf, V., Staley, S.E., & Fawcett, P.J. (2023) Environmental and climate evolution in the Southwest USA since the last interglacial deduced from the pollen record from Stoneman lake, Arizona. *Quaternary Science Reviews*, 300, 107883. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2022.107883>.
26. Krichevsky, A., Kozlovsky, S.V., Tian, G.-W., Chen, M.-H., Zaltsman, A., & Citovsky, V. (2007) How Pollen Tubes Grow (Review). *Developmental Biology*, 303, 405–420. <https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2006.12.003>.
27. 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>.
28. Manangan, A., Brown, C., Saha, Sh., Bell, J., Hess, J., Uejio, Ch., Fineman, S., & Schramm, P. (2021) Long-term pollen trends and associations between pollen phenology and seasonal climate in Atlanta, Georgia (1992–2018). *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, 127(4), 471–480.e4. <https://doi.org/10.1016/j.anai.2021.07.012>.
29. Muldavin, E., & Triepke, F.J. (2020) North American Pinyon – Juniper Woodlands: Ecological Composition, Dynamics, and Future Trends. *Encyclopedia of the World's Biomes*, 516–531. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.12113-X>.
30. 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>.

дата поступления: 22.11.2024

дата принятия: 11.02.2025

© Плугатарь Ю.В., Коренькова О.О., 2025