



ЭКОБИОТЕХ

ISSN 2618-964X

http://ecobiotech-journal.ru



УДК 581.33



ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ | REVIEW ARTICLE

КАЧЕСТВО ПЫЛЬЦЫ ЦВЕТКОВЫХ РАСТЕНИЙ. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ТЕРМИНОВ, МЕТОДОВ И РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Бухаров А.Ф.

Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал Федерального научного центра овощеводства, д. Веряя, Московская область, Россия

E-mail: afb56@mail.ru

POLLEN QUALITY IN FLOWERING PLANTS. INTERPRETATION OF THE TERMS, METHODS, AND RESEARCH RESULTS

Bukharov A.F.

All-Russian Scientific Research Institute of Vegetable Growing – branch of the Federal Scientific Center for Vegetable Growing, Vereya village, Moscow region, Russia

E-mail: afb56@mail.ru

Аннотация

Предметом настоящей работы является обобщение системы методов, взглядов, терминов, существующих в рамках понятия «качество пыльцы» как единого комплекса знаний, интерпретация и проецирование их на решение практических задач селекции, семеноводства и семеноведения. Представление о качестве пыльцы – комплексном показателе, который в значительной степени определяет репродуктивную способность, дает сочетание двух основополагающих свойств: оплодотворяющая способность и жизнеспособность. Критический анализ эффективности методов, определения качества пыльцы и интерпретации параметров, её характеризующих, является целью настоящей работы. Рассмотрены причины возникновения пониженной жизнеспособности и стерильности пыльцы, а также приемы преодоления этих негативных явлений в процессе интродукции, селекции и семеноводства. Описаны изменения, происходящие в пыльце под влиянием экстремальных внешних факторов и применения экспериментальных приемов селекции (цитоплазматическая мужская стерильность, межвидовая гибридизация, полиплоидия, мутагенез). Рассмотрены термины: аномалия, деформация, дегенерация, дефекты, тераты, патологии. Показаны основные принципы исследования качества пыльцы: изучение морфологических признаков, исследование физиологии проникновения красителей в цитоплазму пыльцевого зерна, определение способности пыльцы прорасти на искусственных питательных средах и на рыльце пестика, биохимические тесты, активность ферментов, люминесцентный анализ. Наибольший интерес представляют показатели, которые количественно характеризуют свойства пыльцы, в том числе проточная цитометрия, цифровая микроскопия. Подчеркивается, что следует максимально точно определять наблюдаемые при пыльцевом анализе явления и процессы. Интерпретации и обобщения данных о жизнеспособности, фертильности и оплодотворяющей способности пыльцы по косвенным показателям необходимо делать очень корректно, поскольку одни и те же показатели могут одновременно свидетельствовать о разных свойствах пыльцы.

Ключевые слова:

пыльца, оплодотворяющая способность, фертильность, жизнеспособность, морфофизиология, гистохимия, цитометрия

Поступила в редакцию: 15.04.2026

Принято в печать: 13.05.2026

Abstract

The subject of this work is the generalization of the system of methods, views, and terms that exist within the concept of pollen quality as a single complex of knowledge, as well as the interpretation and projection of these concepts into solving practical problems in breeding, seed production, and seed science. The concept of pollen quality, a complex indicator that significantly determines reproductive capacity, is based on the combination of two fundamental properties: fertilizing capacity and viability. This study aims to examine the effectiveness of pollen quality-determination methods and interpret its parameters. The article discusses the causes of reduced pollen viability and sterility, as well as methods for overcoming these negative phenomena in the process of introduction, breeding, and seed production processes. It also describes the changes that occur in pollen under the influence of extreme external factors and the use of experimental breeding techniques (CMC, interspecific hybridization, polyploidy, and mutagenesis). The following terms were considered: anomaly, deformation, degeneration, destruction, defects, terata, and pathologies. The main principles of pollen quality research are as follows: morphological features, studying the physiology of dye penetration into the cytoplasm of the pollen grain, determining the ability of pollen to germinate on artificial nutrient media and on the stigma of the pistil, biochemical tests, enzyme activity, and luminescent analysis. The most interesting indicators are those that quantitatively characterize the properties of pollen, including flow cytometry, digital microscopy, and holographic microscopy. An accurate description of the observed phenomena and processes during pollen analysis is required. Interpretations and generalizations about viability, fertility, and fertilization capacity based on indirect indicators should be carefully made. The same research methods and indicators can simultaneously provide evidence of different pollen properties.

Keywords:

pollen, fertilizing capacity, fertility, viability, morphophysiology, histochemistry, cytometry

Received: 15.04.2026

Accepted: 13.05.2026

Цитировать | Cite as

DOI: <http://doi.org/10.31163/2618-964X/2026-13> EDN: <https://www.elibrary.ru/ghofxn>

ВВЕДЕНИЕ

Пыльца, или пыльцевое зерно – это сильно редуцированный мужской гаметофит. Основное назначение пыльцы – оплодотворение яйцеклетки и центральной клетки зародышевого мешка с последующим формированием зародыша и эндосперма семени [Поддубная-Арнольди 1964; Банникова, Хведынич 1982]. Отсюда вытекает основное свойство, необходимое пыльце, – способность оплодотворять, или **оплодотворяющая способность**. Оплодотворению предшествует прорастание пыльцы на рыльце пестика, рост пыльцевой трубки в столбике и проникновение в семяпочку. В этом заключается второе важное свойство пыльцевых зерен – быть способными осуществлять ростовые процессы, то есть обладать **жизнеспособностью**. Сочетание этих двух основополагающих свойств дает представление о **качестве пыльцы** – комплексном показателе, который в значительной степени определяет репродуктивную способность.

В процессе формирования пыльцевые зерна испытывают негативное влияние внешней среды (экстремальные температуры, засухи, засоление, промышленные выбросы, химизация сельскохозяйственного производства, радиация, высокочастотные излучения), вызывающее снижение качества пыльцы [Тупицын и др. 2012; Василевская, Морозова 2016; Жуйкова и др. 2019; Цаценко, Керимов 2023]. Качество пыльцы – это яркий тест, характеризующий эффективность интродукции растений в новые условия [Лапшин, Кузнецова 2009; Василевская, Морозова 2016]. Резкое снижение качества пыльцы у растений, традиционных для региона (сосна, липа, береза), может свидетельствовать о негативной экологической ситуации, высокой антропогенной нагрузке или изменении климата [Лапшин, Кузнецова 2009; Мирненко 2020; Цаценко, Керимов 2023]. Использование мутагенеза, отдаленной гибридизации, полиплоидии, биотехнологических и других методов селекции также оказывают существенное влияние на качество пыльцы новых сортов [Цицин 1981; Еремин 1985; Курсаков 1986; Маракеева, Казыдуб 2016]. Частично повысить фертильность и плодовитость мутантных и полиплоидных форм, межвидовых гибридов можно с помощью физиологически активных веществ, о чем свидетельствуют многочисленные исследования [Курсаков 1986; Бухарова, Бухаров 2008; Маракеева, Казыдуб 2016]. Использование стимулирующих факторов целесообразно для повышения эффективности семеноводства, особенно в неблагоприятных условиях. Особенно важно повышение оплодотворяющей способности пыльцы при гетерозисной селекции и гибридном семеноводстве [Бухаров, Бухарова 2011].

Для оценки эффективности таких приемов применяются различные методы и параметры определения качества пыльцы [Орел 1972; Литвак 1978; Чувашина 1980; Цаценко, Димитренко 2026]. Цель данной работы – критический анализ эффективности методов определения качества пыльцы и интерпретации характеризующих её параметров.

ОБСУЖДЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Для того, чтобы охарактеризовать качество пыльцы, используют различные термины. Оплодотворяющую способность характеризуют показателем **фертильность**. Пыльцу, у которой **оплодотворяющая способность** отсутствует, называют стерильной [Рыбин 1962; Ригер, Михаэлис 1967; Дудка 1984]. Однако использование этих двух терминов имеет свою специфику. Гарантированно определить **оплодотворяющую способность** пыльцы можно только путем проведения искусственного опыления с предварительной кастрацией бутонов (удалением тычинок с нераскрывшимися пыльниками) и их изоляцией после нанесения пыльцы на рыльце. В то же время образование при этом плодов и семян еще не свидетельствует о фертильности пыльцы. Опыление стерильной, но жизнеспособной пыльцой может привести к стимулятивной партенокарпии и апомиксису. О степени проявления **оплодотворяющей способности пыльцы** следует судить только по завязываемости семян в процентах от числа семяпочек. Однако и отсутствие образования плодов и семян не всегда свидетельствует об отсутствии у пыльцы оплодотворяющей способности. В некоторых случаях нормально сформированная фертильная пыльца не способна оплодотворить яйцеклетку и даже прорасти на рыльце пестика вследствие несовместимости [Мюнтцинг 1967].

Термин **фертильный** происходит от латинского *fertilis* и означает плодородный, плодоносный, плодовитый, способный производить потомство или обладающий репродуктивной

способностью. Стерильность означает противоположное свойство – бесплодность, обеспложенность, лишенное способности к оплодотворению [Пчелкина 1987]. Р. Ригер и А. Михаэлис характеризуют стерильность особи как неспособность производить жизнеспособные и функционирующие гаметы, а стерильность пыльцы (мужскую стерильность) – как ее неспособность к нормальному функционированию [Ригер, Михаэлис 1967]. Соответственно, значение отечественного термина **фертильный** равноценно английскому слову *fertile* – способный производить жизнеспособное потомство [Гиляров 1989]. Аналогичную, но более краткую формулировку приводит А. Мюнтцинг. Фертильность – плодovitость, а стерильность – уменьшение или угнетение способности производить потомство половым путем [Мюнтцинг 1967]. Ш. Ауэрбах также определяет стерильность, как уменьшение или угнетение способности половым путем производить потомство [Ауэрбах 1968]. Следовательно, **фертильность** или **стерильность** пыльцы можно надежно определить только прямым методом по способности или неспособности оплодотворять яйцеклетку и давать потомство. Показатель оплодотворяющей способности, полученный путем прямой оценки, иногда интерпретируют как **истинную фертильность** [Рубанова 2021]. Другие методы, например, проращивание и окрашивание пыльцы, следует рассматривать как косвенные, дающие только дополнительные (частичные) знания о функционировании пыльцы, но не обеспечивающие полную и надежную информацию о репродуктивной способности к воспроизводству [Рыбин 1962; Круглова 2020; Цаценко, Димитренко 2026]. Следовательно, речь может идти о «**потенциальной**» репродуктивной способности пыльцы [Воронова, Гаврилова 2019]. Однако определение **оплодотворяющей способности пыльцы** путем искусственного скрещивания – процесс трудоемкий и длительный. Тем более, что фертильность пыльцы и определяют с целью ее последующего использования в гибридизации, а для этого необходимы экспресс-методы [Бунин 2003, 2004; Пухальский и др. 2007].

Одной из первых гипотез о возникновении бесплодия и стерильности у межвидовых гибридов было предположение о влиянии числа хромосом и нарушениях их расхождения в процессе мейоза [Синнот, Денн 1934]. В цитологических и эмбриологических исследованиях стерильность, как правило, связывают с нарушением деления ядра. В.А. Рыбин функциональное совершенство или несовершенство пыльцы связывает с течением мейоза, нарушение которого приводит к формированию неоднородных (по форме и размеру) пыльцевых зерен [Рыбин 1962]. В.П. Банникова и О.А. Хведынич, как и многие другие эмбриологи, считают, что в основе аномального мейоза лежит рассогласованность процесса развития, обусловленная генетическими причинами, в том числе при отдаленной гибридизации [Банникова, Хведынич 1982]. Общепринято, что повысить фертильность растений с пониженной плодovitостью можно создавая им благоприятные условия выращивания [Банникова, Хведынич 1982; Бухарова, Бухаров 2008; Бухаров, Бухарова 2011]. В.А. Поддубная-Арнольди подчеркивала, что стерильность и нарушения мейоза в ряде случаев могут быть не причиной, а следствием физиологических и биохимических процессов [Поддубная-Арнольди 1964].

Метод, называемый в широкой практике ацетокарминовым, по сути, является исследованием морфологии пыльцевых зерен или морфометрии, если сопровождается измерением [Абрамова, Карлинский 1968; Паушева 1980; Барыкина и др. 2004; Самигуллина, Кирина 2007]. Отчасти при этом мы наблюдаем и физиологический процесс, поскольку отмечаем степень проникновения красителя через оболочки, пыльцевых зерен. Поэтому целесообразно называть этот метод морфофизиологическим тестом. По морфологическим параметрам можно достаточно полно судить о фертильности и потенциальной оплодотворяющей способности пыльцы [Орел 1972; Паушева 1980; Пухальский и др. 2007; Самигуллина, Кирина 2007]. В световой микроскоп можно выделить **нормальные** (свойственные для большинства представителей данного вида или сорта) и **аномальные** (отличающиеся по размеру, форме, скульптуре, внутреннему строению, другим признакам) пыльцевые зерна. Отклонения **аномальных** пыльцевых зерен от нормального размера может быть следствием их полиплоидного или гаплоидного (крупные или мелкие, соответственно) состояния [Барыкина и др. 2004; Цаценко, Логвинов 2021]. Это может приводить к снижению их оплодотворяющей способности, но не означает их полной стерильности. Пыльцевые зерна, имеющие явные **дефекты** (деформированные, сморщенные, без цитоплазмы), как правило,

полностью стерильны. Дефектные пыльцевые зерна возникают, как правило, под влиянием воздействий, прежде всего, внешних экстремальных факторов, в том числе в процессе интродукции [Тупицын *и др.* 2012; Василевская, Морозова 2016]. **Дегенерация, деградация** подразумевает достаточно продолжительный процесс остановки развития пыльцевых зерен, а основными факторами являются преимущественно внутренние наследственные причины (цитоплазматическая мужская стерильность, межвидовая несовместимость, полиплоидия, мутагенез) [Рыбин 1962; Орел 1972; Чувашина 1980]. Решающим показателем стерильности пыльцы служит отсутствие (разрушение или деградация) ядер (вегетативного и генеративного). Поэтому, чтобы контрастно выявить дефектное строение пыльцевых зерен, часто применяют окрашивание цитоплазмы и ядерных структур [Юрцев, Пухальский 1968; Барыкина *и др.* 2004; Пухальский *и др.* 2007].

Термины, характеризующие **нормальность** и **аномальность** пыльцевых зерен со ссылками на многочисленные публикации, подробно разбирает в своей работе Н.Н. Круглова. Автором предложена классификация, в пределах которой выделяются: клеточные, ядерные, цитоплазматические и структурно-архитектонические аномалии. Подробно обсуждается употребление терминов **деформация, дегенерация, деструкция** для описания нарушений в морфологии пыльцевых зерен, приводящих к стерильности. Отдельно рассмотрено понятие **дефектности** и граница между нормальной и дефектной пыльцой [Круглова 2020].

Однако терминология, применяемая в палинологических исследованиях, гораздо шире. Понятия **типичные** и **атипичные** пыльцевые зерна, по-видимому, можно вполне соотнести с терминами нормальные и аномальные. Всё многообразие форм (изменчивость) пыльцевых зерен в пробе рассматривают как **полиморфизм** [Тупицын *и др.* 2012] или **гетерогенность** [Литвак 1978]. В экологических исследованиях морфологическую изменчивость пыльцы (как и других клеток, тканей, органов) до определенного предела (10-11%) рассматривают как норму (**естественный полиморфизм**) [Тупицын *и др.* 2012; Василевская, Морозова 2016]. Морфологические нарушения строения пыльцы под влиянием экстремальных условий окружающей среды часто рассматривают как **тераты, или уродства**, что очень близко к понятию **аномалия**. Выделяют от 7 до 14 типов тератоморф пыльцевых зерен, которые различаются по форме, скульптуре, количеству апертур и борозд, симметричности, цвету и другим особенностям [Дзюба 2007; Тупицын *и др.* 2012; Василевская, Морозова 2016]. Заслуживают внимания термины **абортивность** и **патология** пыльцевых зерен [Чигуряева 1970]. Если первый почти сопоставим с термином стерильность, то второй несет более широкую смысловую нагрузку. Ю.С. Ченцов рассматривает патологии клетки как структурно-функциональные изменения (поражения) внутренних структур. Они могут проявляться как временные (обратимые) или стойкие (необратимые, заканчивающиеся гибелью) нарушения жизненных процессов [Ченцов 1984]. Эту формулировку в полной мере можно отнести к пыльце. Действительно, гибель пыльцевых зерен, имеющих патологические изменения, исключает их из оплодотворения и является основой прогрессивного процесса, предотвращающего возникновение аномалии развития зародыша и взрослого организма.

Ацетокарминовый метод традиционно применяют для определения фертильности пыльцы [Латыпов, Тарануха 1969; Паушева 1980]. Термины стерильность, дефектность, аномальность очень тесно взаимосвязаны общими признаками, а для выявления отражаемых ими показателей эффективно применение окрашивания пыльцы, способствующее выявлению всех морфологических отклонений, что является причиной стерильности. Однако, З.В. Абрамова и О.А. Карлинский не без основания считают, что этим методом определяют жизнеспособность пыльцы, поскольку он базируется на способности кармина проникать в живую пыльцу и окрашивать цитоплазму [Абрамова, Карлинский 1968]. Этому же мнению придерживался В.И. Остапенко [Остапенко 1956, 1972]. О.Н. Воронова и В.А. Гаврилова отмечают, что методы окрашивания скорее позволяют говорить о жизнеспособности пыльцевых зерен и потенциальной возможности опыления ими [Воронова, Гаврилова 2019]. Именно поэтому ацетокарминовый метод зачастую рекомендуют для определения то фертильности, то жизнеспособности [Абрамова, Карлинский 1968; Барыкина *и др.* 2004]. Так, изучая прорастание пыльцы фасоли и земляники на искусственной питательной среде, авторы случайно или намеренно отождествляют термины фертильность и жизнеспособность [Батурин, Кузнецова 2011; Тимин *и др.* 2013]. В процессе селекционной работы с подсолнечником

отмечено, что при сравнении разных методов определения фертильности (проращивание и окрашивание) удобнее пользоваться ацетокарминовым методом [Воронова, Гаврилова 2019].

Казалось бы, меньше всего должен вызывать сомнение термин **жизнеспособность** пыльцы, а также способы выявления и измерения этого свойства. Общепризнано, что **жизнеспособность пыльцы** – это способность пыльцевых зёрен прорасти в пыльцевые трубки нормальной длины. Измеряется процентом проросших пыльцевых зёрен от общего их числа в пробе [Голубинский 1974; Паушева 1980; Барыкина *и др.* 2004; Пухальский *и др.* 2007]. Важным показателем является **продолжительность сохранения жизнеспособности** пыльцы. Этот очень лабильный показатель, который зависит как от наследственности (видовой принадлежности), так и влияния экстремальных факторов (в том числе во время хранения) очень важен для практической селекции [Устинова 1965; Лапшин, Кузнецова 2009; Зинатуллина 2016].

Широкое применение в выявлении жизнеспособных пыльцевых зёрен нашли многочисленные методы их проращивания на питательных средах [Голубинский 1974; Паушева 1980; Чувашина 1980; Самигуллина, Кирина 2007]. Менее известны методы изучения прорастания пыльцы на рыльце [Татаринцев 1939] и роста в столбике [Татаринцев 1948], в том числе с применением люминесцентной микроскопии [Литвак 1978; Чувашина 1980]. Жизнеспособными считают пыльцевые зерна, у которых длина пыльцевой трубки не меньше диаметра пыльцевых зёрен [Абрамова, Карлинский 1968; Латыпов, Тарануха 1969; Пухальский *и др.* 2007; Самигуллина, Кирина 2007]. Разработан оптимизированный метод оценки жизнеспособности пыльцы, который учитывает пыльцевые трубки длиной не короче расстояния от рыльца пестика до яйцеклетки, моделирующий природные условия опыления и оплодотворения и позволяющий корректировать показатель в сравнении с методом Д.А. Транковского [Зинатуллина 2016]. Не менее важным является изучение динамики прорастания пыльцы, что позволяет определить синхронность и дружность в дополнение к показателю жизнеспособности [Лапшин, Кузнецова 2009]. Однако для более точного определения жизнеспособности пыльцевых зёрен разных культур требуется подбор питательных сред, зачастую тщательная оптимизация их состава, а также условий и времени экспозиции [Impe *et al.* 2020; Freire *et al.* 2022].

Процесс оплодотворения начинается с прорастания пыльцы на рыльце и формирования пыльцевой трубки, которая, продвигаясь в столбике, проникает в зародышевый мешок. Пыльца, которая не может прорасти (нежизнеспособная), заведомо, не будет обладать и оплодотворяющей способностью. Как правило, эти два показателя жизнеспособность и оплодотворяющая способность не только корреляционно связаны, но и обусловлены общими причинами – нарушениями строения пыльцевых зёрен [Жуйкова *и др.* 2019; Мирненко 2020]. Поэтому целесообразно использовать комплексный (обобщенный) показатель **абсолютной жизнеспособности** пыльцы [Цаценко, Логвинов 2021].

Показатели, по которым отличают живое (жизнеспособное) от не живого, хорошо известны. Это обмен веществ, рост, размножение [Дудка 1984; Гиляров 1989]. Неотъемлемым свойством жизнеспособной особи является способность жить, давать потомство, передавать наследственную информацию [Ригер, Михаэлис 1967; Либберт 1982]. Поэтому термин жизнеспособность пыльцы все чаще используется в качестве обобщающего термина [Dafni, Firmage 2000].

Для предварительной оценки жизнеспособной пыльцы иногда целесообразно использовать метод её идентификации по морфологическим (наличие аномалий и отклонение в размерах) признакам. При отсутствии повреждений ядра речь может идти о снижении, а не о потере жизнеспособности. Отсутствие у пыльцы дефектов и аномалий не означает, что пыльца способна осуществлять жизненные функции – проявлять жизнеспособность. Пыльца может стать нежизнеспособной вследствие влияния неблагоприятных погодных и других внешних факторов, неправильного или несвоевременного сбора, длительного хранения, воздействия солнечных лучей, сухости воздуха, радиации и многих других факторов. Н.Н. Круглова сформулировала тезис о том, что понятие жизнеспособности пыльцевого зерна уже понятия его фертильности [Круглова 2020]. Однако в некоторых случаях пыльца, хорошо прорастающая на искусственной питательной среде, неспособна к оплодотворению. Так, пыльца, получившая высокую дозу рентгеновского облучения, теряет оплодотворяющую способность, но сохраняет способность прорасти, а использование ее

для опыления стимулирует развитие семязачки без оплодотворения и формирование апомиктических семян [Бухарова, Бухаров 2008; Бухаров, Бухарова 2011].

На избирательной способности многих красителей (кармин, орсеин, фуксин, эритрозин, метиленовый синий, малахитовый зеленый, лакмоид) проникать в цитоплазму живых и нежизнеспособных клеток пыльцы; основаны различные вариации этого метода [Юрцев, Пухальский 1968]. Эффективным методом выявления жизнеспособных и нежизнеспособных пыльцевых зерен является дифференциальная окраска с помощью комплекса красителей [Alexander 1969, 1987]

Для выявления живых пыльцевых зерен также активно применяются биохимические (гистохимические) методы окрашивания: раствор йода в йодистом калии – для выявления крахмала, наличие которого характерно для жизнеспособной пыльцы; гваякол или бензидин – для выявления пероксидазы; 2,3,5-трифенилтетразол хлорида – для выявления дегидрогеназы; изатин – для выявления пролина. Методы, основанные на выявлении в цитоплазме активно работающих ферментов, логично называть **биохимическими тестами** или давно устоявшимся термином **гистохимические исследования** [Руденко 1978; Банникова, Хведынич 1982; Барыкина и др. 2004; Пухальский и др. 2007; Самигуллина, Кирина 2007]. Значительным недостатком гистохимических тестов является то, что они позволяют давать только субъективную глазомерную оценку. Показатели качества пыльцы, полученные на основе гистохимических исследований, оказываются, как правило, завышенными, что является другим существенным их недостатком [Atlagić et al. 2012; Silva et al. 2018]. Так, использование биохимических тестов для оценки жизнеспособности недостаточно обосновано, поскольку после хранения и нежизнеспособная пыльца с неповрежденной цитоплазмой окрашивается и ошибочно оценивается как жизнеспособная [Marcellán, Camadro 1996; Burke et al. 2007; Heidmann et al. 2016]. Дифференциальное окрашивание становится эффективно, когда растения производят большое количество abortивной пыльцы [Alexander 1969, 1987; Atlagić et al. 2012]. Поэтому целесообразно в процессе исследования и при описании результатов наблюдений четко и детально различать признаки, характеризующие морфологию, прорастание, окрашивание пыльцевых зерен, а более широкие обобщения о жизнеспособности, фертильности и оплодотворяющей способности делать с осторожностью [Impe et al. 2020].

Несколько особняком стоит люминесцентный метод исследования пыльцы. Однако по сути – это модернизированный, но тот же гистохимический метод, основанный на связывании красителей (акридиновый оранжевый, титановый желтый, примулин и мн. др.) с различными химическими веществами в клетке, после чего они приобретают способность люминесцировать под действием УФ лучей. В практике пыльцевого анализа наиболее широко известен метод окрашивания пыльцевых зерен и пыльцевых трубок красителями хлопковый голубой или анилиновый синий [Литвак 1978]. Эти красители, связываясь с каллозой, обеспечивают яркое свечение стенок пыльцы и пыльцевых трубок под влиянием УФ света, в том числе на рыльце и в тканях столбика на давленных препаратах. Наличие значительного количества каллозы считается физиологическим признаком активной жизнедеятельности прорастающей пыльцы [Литвак 1978; Руденко 1978].

Детальный обзор традиционных и современных методик исследования фертильности пыльцевых зерен, систематизация использованных для этого новых подходов, а также сравнительный анализ применения их для селекционных целей представлен в работах [Althiab-Almasaud et al. 2024; Цаценко, Димитренко 2026]. Разработка метода проточной цитометрии позволила количественно и в автоматическом режиме оценивать размер пыльцевых зерен [Kelly et al. 2002; De Storme et al. 2013]. Измерить и оценить качество пыльцы (в том числе по плоидности) позволяет метод определения содержания ядерной ДНК в зрелых пыльцевых зернах по интенсивности окраски с помощью комбинации флуоресцеина (FDA) и йодида пропидия (PI) [Heidmann et al. 2016; Luria et al. 2019]. Метод проточной цитометрии с помощью окрашивания дихлордигидрофлуоресцеин диацетатом (H₂ DCFDA) обеспечивает дифференциацию пыльцевых зерен на популяции с низким и высоким уровнем активных форм кислорода (АФК). Пыльца с высоким уровнем АФК способна прорасти с частотой в десятки раз больше, чем пыльца с низким

уровнем АФК [Luria *et al.* 2019; Rutley, Miller 2020]. Импедансная цитометрия потока (IFC) выступает в качестве полезной альтернативы вышеупомянутым методам анализа, позволяя косвенно судить о размерах, форме, содержимом цитоплазмы пыльцы [Heidmann *et al.* 2016; Heidmann, Di Bernardino 2017; Ascari *et al.* 2020b; Canonge *et al.* 2020; Impe *et al.* 2020].

При всех плюсах существенным недостатком проточной цитометрии является то, что этот метод не обеспечивает визуализацию, поскольку используемые приборы не обеспечивают получение изображения клетки. Для количественного анализа качества пыльцы используют автоматизированные счетчики изображения пыльцевых зерен с использованием окрашивания по методу [Alexander 1969; Mudd, Arathi 2012; Tello *et al.* 2018; Ascari *et al.* 2020a]. Развитие цифровой микроскопии позволило сделать палинологические исследования менее трудоемкими и более надежными, исключив ручной подсчет пыльцевых зерен после процесса окрашивания, чтобы визуально отличить жизнеспособную пыльцу от нежизнеспособной [Mishra, Srivastava 2015]. Количественная оценка пыльцы с помощью цифровой голографической микроскопии (DHM) позволяет выявить в режиме яркого поля легко идентифицируемые пыльцевые зерна жизнеспособные (окрашенные в темный красный цвет) и нежизнеспособные (неокрашенные, морщинистые или деформированные, с низким содержанием хроматина) [Kumar *et al.* 2023].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, качество пыльцы характеризуют два основных её свойства. Для успешного осуществления процесса репродукции пыльца должна одновременно быть живой (жизнеспособной) и обладать оплодотворяющей способностью. Для этого пыльцевые зерна должны быть морфологически нормально развиты. Необходимо, чтобы в пыльцевых зернах и пыльцевых трубках активно осуществлялись биохимические и физиологические процессы. Динамика прорастания пыльцевых зерен и рост пыльцевых трубок должны происходить интенсивно и без существенных нарушений.

Для того, чтобы определить качество пыльцевых зерен, оценивают основные показатели (параметры) пыльцы, перечисленные выше. Для определения (измерения) параметров пыльцы существует большой арсенал методов, которые основываются на основных принципах: 1) изучение морфологических признаков; 2) исследование физиологии проникновения красителей в цитоплазму пыльцевых зерен; 3) определение способности пыльцы прорасти на искусственных питательных средах и на рыльце пестика; 4) биохимические тесты, активность ферментов, люминесцентный анализ. Наибольший интерес представляет использование показателей, которые не только качественно, но и количественно характеризуют эти свойства, в том числе выявленные с помощью различных вариантов метода проточной цитометрии, цифровой и голографической микроскопии.

Важно подчеркнуть, что следует точно называть наблюдаемые при пыльцевом анализе явления и процессы. Интерпретации и обобщения данных о жизнеспособности, фертильности и оплодотворяющей способности пыльцы, полученные по косвенным показателям необходимо делать очень корректно, с учетом возможных корреляционных связей между параметрами. При этом «ломать» устоявшуюся терминологию нет необходимости, но понимать ее несовершенство и делать каждый раз логичные пояснения к результатам пыльцевого анализа всегда полезно. Так, анализируя результаты определения жизнеспособности пыльцы (по методу Транковского), следует всегда подчеркивать, что это **тест на способность пыльцевых зерен к прорастанию** и росту пыльцевых трубок в искусственных условиях или на рыльце (в тканях) пестика. Следуя логике, именно так и должен называться этот показатель и метод анализа качества пыльцы. Кроме того, методы, основанные на определении активности ферментов и рекомендуемые для определения жизнеспособности, далеко не всегда эффективно и точно характеризуют это свойство пыльцы. Поэтому их целесообразно называть **биохимическими или гистохимическими тестами**, что точно отражает их предназначение. Окрашивание пыльцевых зерен и пыльцевых трубок следует рассматривать как физиологический процесс проникновения различных красителей через клеточные оболочки и их накопления в цитоплазме и органеллах.

Следует признать, что метод пыльцевого анализа, сочетающий исследование интенсивности окрашивания и морфологии пыльцы (ацетокарминовый, ацетоорсеиновый и др.), является наиболее информативным (хотя и косвенным), характеризующим и жизнеспособность, и оплодотворяющую способность пыльцевых зерен. Важно понимать, что одни и те же методы исследования и показатели могут одновременно свидетельствовать о разных свойствах (жизнеспособности и оплодотворяющей способности) пыльцы, что проявляется в существовании тесных и прямых корреляционных связей между ними. Однако понятия жизнеспособности и оплодотворяющей способности, проявляя сходство, далеко не тождественны и могут быть даже противоположны. Так, пыльца с высокой оплодотворяющей способностью может совершенно не прорасти на рыльце пестика вследствие самонесовместимости или межвидовой несовместимости, а пыльца, хорошо прорастающая в искусственной питательной среде и даже на рыльце, может не обладать оплодотворяющей способностью (после воздействия радиации или рентгеновского излучения), вызывая партенокарпию и апомиксис.

Конфликт интересов | Conflicts of Interest

Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи. The author declares no actual or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абрамова З.В., Карлинский О.А. (1968) Руководство к практическим занятиям по генетике. Колос. Ленинград: 192.
- Ауэрбах Ш. (1968) Генетика. Атомиздат. Москва: 280.
- Банникова В.П., Хведынич О.А. (1982) Основы эмбриологии растений. Наукова Думка. Киев: 164.
- Барыкина И.П., Веселова Т.Д., Девятков А.Г. (2004) Справочник по ботанической микротехнике. Основы и методы. Учебное пособие. Издательство МГУ: 312 EDN: [RBBHDP](#)
- Батурин С.О., Кузнецова Л.Л. (2011) Репродуктивные особенности и перспективы использования розовоцветкового декоративного гибрида *Fragaria* × *Potentilla* (сорт Frel) в селекции крупноплодной земляники. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. **15**(4): 800–807. EDN: [OOZBUZ](#)
- Бунин М.С. (ред.) (2003) Методы репродуктивной биологии в селекции овощных культур рода *Brassica* L. Министерство сельского хозяйства РФ. Москва: 53.
- Бунин М.С. (ред.) (2004) Методические рекомендации по определению жизнеспособности пыльцы рода *Capsicum annuum* L. Росинформагротех. Москва: 32. EDN: [OKOLAN](#)
- Бухаров А.Ф., Бухарова А.Р. (2011) Интрогрессия, гетерозис и адаптогенез в селекции перца. Российский государственный аграрный заочный университет. Москва: 292. EDN: [YUUOGV](#)
- Бухарова А.Р., Бухаров А.Ф. (2008) Отдаленная гибридизация овощных пасленовых культур. Мичуринский государственный аграрный университет. Мичуринск: 274. EDN: [VRKTDJ](#)
- Василевская Н.В., Морозова Д.А. (2016) Тератоморфизм пыльцы *Syringa josikaea* Jacq. при интродукции на урбанизированных территориях Российской Арктики. *Ученые записки Петрозаводского государственного университета*. (8 (161)): 7–13. EDN: [YWKIHH](#)
- Воронова О.Н., Гаврилова В.А. (2019) Количественный и качественный анализ пыльцы подсолнечника (*Helianthus* L.) и его использование в селекционной работе. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. **180**(1): 95–104. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-1-95-104> EDN: [LIUOSX](#)
- Гиляров М.С. (ред.) (1989) Биологический энциклопедический словарь (2 изд.). Советская энциклопедия. Москва: 863.
- Голубинский И.Н. (1974) Биология прорастания пыльцы. Наукова думка. Киев: 368.
- Дзюба О.Ф. (2007) Тератоморфные пыльцевые зерна в современных и палеопалинологических спектрах и некоторые проблемы палиностратиграфии. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*. **2**: 6. EDN: [IPKJED](#)
- Дудка И.А. (ред.) (1984) Словарь ботанических терминов. Наукова думка. Киев: 308.

- Еремин Г.В. (1985) Отдаленная гибридизация косточковых плодовых растений. Агропромиздат. Москва: 280. EDN: [DWJEDX](#)
- Жуйкова Т.В., Безель В.С., Бергман И.Е., Мелинг Э.В., Кривошеева А.В. (2019) Фертильность и жизнеспособность пыльцевых зерен *Taraxacum officinale* Wigg. sl (Asteraceae, Magnoliopsida) в градиенте антропогенно трансформированной среды. *Поволжский экологический журнал*. (3): 275–290. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2019-3-275-290> EDN: [PUKULX](#)
- Зинатуллина А.Е. (2016) Оптимизация способа оценки жизнеспособности пыльцы. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. (2–1): 130. EDN: [VLIQAR](#)
- Круглова Н.Н. (2020) Оценка качества пыльцевых зерен цветковых растений (обзор). *Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада*. (135): 50–56. <https://doi.org/10.36305/0513-1634-2020-135-50-56> EDN: [EKCCIC](#)
- Курсаков Г.А. (1986) Отдаленная гибридизация плодовых растений. Агропромиздат. Москва: 112
- Лапшин Д.А., Кузнецова Т.Н. (2009) Динамика прорастания пыльцы и роста пыльцевых трубок *in vitro* у гибридов облепихи крушиновидной разного эколого-географического происхождения. *Сельскохозяйственная биология*. 44(1): 54–59. EDN: [JZFOGD](#)
- Латыпов А.З., Тарануха Г.И. (1969) Основы цитологии и цитологические методы: пособие к лабораторно-практическим занятиям по цитологии. Белорусская сельскохозяйственная академия. Горки: 142.
- Либберт Э. (ред.) (1982) Основы общей биологии. Мир. Москва: 440.
- Литвак А.И. (1978) Люминесцентная макро- и микроскопия в исследованиях плодовых культур и винограда. Штиинца. Кишинев: 111.
- Маракаева Т.В., Казыдуб Н.Г. (2016) Определение жизнеспособности пыльцы фасоли обыкновенной (*Phaseolus vulgaris*) в разное время суток в условиях южной лесостепи Западной Сибири. *Успехи современного естествознания*. (6): 96–99. EDN: [WBCOCL](#)
- Мирненко Н.С. (2020) Фертильность и жизнеспособность пыльцы *Salix alba* L. в условиях г. Донецка. *Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона*. (1–2): 6–11. EDN: [MOCEOP](#)
- Мюнтцинг А. (1967) Генетика: общая и прикладная. Мир. Москва: 610.
- Орел Л.И. (1972) Цитология мужской цитоплазматической стерильности кукурузы и других культурных растений. Наука. Ленинград: 84.
- Остапенко В.И. (1956) К вопросу об оценке различных способов определения жизнеспособности пыльцы. В: *Бюллетень ЦГЛ им. И.В. Мичурина. Выпуск 2*. Центральная генетическая лаборатория им. И.В. Мичурина. Мичуринск: 38–41.
- Остапенко В.И. (1972) Определение жизнеспособности пыльцы отдаленных гибридов. В: *Программа и методика отдаленной гибридизации плодовых и ягодных культур*. Центральная генетическая лаборатория им. И.В. Мичурина. Мичуринск: 129–133.
- Паушева З.П. (1980) Практикум по цитологии растений. Колос. Москва: 304.
- Поддубная-Арнольди В.А. (1964) Общая эмбриология покрытосеменных растений. Наука. Москва: 482.
- Пухальский В.А., Соловьёв А.А., Бадаева Е.Д., Юрцев В.Н. (2007) Практикум по цитологии и цитогенетике растений. Колос.: 198. EDN: [YKYPBV](#)
- Пчелкина В.В. (ред.) (1987) Словарь иностранных слов (14 изд.). Русский язык. Москва: 608.
- Ригер Р., Михаэлис А. (1967) Генетический и цитогенетический словарь. Колос. Москва: 607.
- Рубанова О.А. (2021) Селекционно-генетическая характеристика репродуктивных признаков у гибридов и линий подсолнечника. Федеральный научный центр риса. Краснодар: 140. [Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук] EDN: [OKWDUV](#)
- Руденко И.С. (1978) Отдаленная гибридизация и полиплоидия у плодовых растений. Штиинца. Кишинев: 196.
- Рыбин В.А. (1962) Применение цитологического метода при селекционной работе с плодовыми. Штиинца. Кишинев: 167.
- Самигуллина Н.С., Кирина И.Б. (2007) Практикум по генетике: учебное пособие. МичГАУ. Мичуринск: 211.
- Синнот Э., Денн Л. (1934) Курс генетики: теория и задачи (3 изд.). Биомедгиз. Ленинград: 431.
- Татаринцев А.С. (1939) Прорастание пыльцы на рыльце при некоторых межродовых и внутривидовых опылениях. В: *Труды Плодоовощного института им. И.В. Мичурина. Том 2*. Плодоовощной институт им. ИВ Мичурина. Мичуринск: 16–46.

- Татаринцев А.С. (1948) Рост пыльцевых трубок в столбике при некоторых межродовых скрещиваниях. В: *Труды Плодоовощного института им. ИВ Мичурина. Том 5. Плодоовощной институт им. ИВ Мичурина.* Мичуринск: 27–35.
- Тимин Н.И., Пышная О.Н., Агафонов А.Ф., Мамедов М.И., Титова И.В., Кан Л.Ю., Логунова В.В., Романов В.С., Шмыкова Н.А., Тимина Л.Т., и др. (2013) Межвидовая гибридизация овощных растений (*Allium* L. – лук, *Daucus* L. – морковь, *Capsicum* L. – перец). ВНИИССОК. Москва: 188. EDN: [VROHYT](#)
- Тупицын С.С., Рябогина Н.Е., Тупицына Л.С. (2012) Уровень тератогенеза как показатель состояния биообъекта в разных экологических условиях. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук.* **14**(1(3)): 822–828. EDN: [OLIQOT](#)
- Устинова Е.И. (1965) Эмбриология покрытосемянных растений с основами цитологии. Издательство МГУ. Москва: 192.
- Цаценко Л.В., Димитренко О.В. (2026) Оценка жизнеспособности пыльцы: методологический обзор и селекционные перспективы. *Научный журнал КубГАУ.* (216): 391–413. EDN: [JJOLYM](#)
- Цаценко Л.В., Керимов Р.В. (2023) Пыльца растений и ее характеристики в условиях меняющегося климата. *Научный журнал КубГАУ.* (186): 226–241. EDN: [HYRYFP](#)
- Цаценко Л.В., Логвинов А.В. (2021) Пыльцевой анализ растений в селекционной практике. Просвещение-юг. Краснодар: 101. EDN: [FEVZVC](#)
- Цицин Н.В. (1981) Теория и практика отдаленной гибридизации. Наука. Москва: 160.
- Ченцов Ю.С. (1984) Общая цитология (2 изд.). Издательство МГУ. Москва: 352.
- Чигуряева А.А. (1970) Палинология и апомиксис. В: *Хохлов С.С. (ред.) Апомиксис и селекция.* Наука. Москва: 80–86.
- Чувашина Н.П. (1980) Цитогенетика и селекция отдаленных гибридов и полиплоидов смородины. Наука. Ленинград: 120.
- Юрцев В.Н., Пухальский В.А. (1968) Методическое руководство к лабораторно-практическим занятиям по цитологической и эмбриологической микротехнике. Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева. Москва: 113.
- Alexander M.P. (1969) Differential staining of aborted and nonaborted pollen. *Stain Technology.* **44**(3): 117–122. <https://doi.org/10.3109/10520296909063335>
- Alexander M.P. (1987) A method for staining pollen tubes in pistil. *Stain Technology.* **62**(2): 107–112. <https://doi.org/10.3109/10520298709107976>
- Althiab-Almasaud R., Teyssier E., Chervin C., Johnson M.A., Mollet J.-C. (2024) Pollen viability, longevity, and function in angiosperms: key drivers and prospects for improvement. *Plant Reproduction.* **37**(3): 273–293. <https://doi.org/10.1007/s00497-023-00484-5> EDN: [VWUWYA](#)
- Ascarì L., Cristofori V., Macrì F., Botta R., Silvestri C., De Gregorio T., Huerta E.S., Di Berardino M., Kaufmann S., Siniscalco C. (2020a) Hazelnut pollen phenotyping using label-free impedance flow cytometry. *Frontiers in Plant Science.* **11** <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.615922> EDN: [YGNRMG](#)
- Ascarì L., Novara C., Dusio V., Oddi L., Siniscalco C. (2020b) Quantitative methods in microscopy to assess pollen viability in different plant taxa. *Plant Reproduction.* **33**(3–4): 205–219. <https://doi.org/10.1007/s00497-020-00398-6> EDN: [MIMELA](#)
- Atlagić J., Terzić S., Marjanović-Jeromela A. (2012) Staining and fluorescent microscopy methods for pollen viability determination in sunflower and other plant species. *Industrial Crops and Products.* **35**(1): 88–91. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.06.012>
- Burke I.C., Wilcut J.W., Allen N.S. (2007) Viability and *in vitro* germination of Johnsongrass (*Sorghum halepense*) pollen. *Weed Technology.* **21**(1): 23–29. <https://doi.org/10.1614/WT-05-171.1>
- Canonge J., Philippot M., Leblanc C., Potin P., Bodin M. (2020) Impedance flow cytometry allows the early prediction of embryo yields in wheat (*Triticum aestivum* L.) microspore cultures. *Plant Science.* **300**: 110586. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2020.110586> EDN: [SBTOMU](#)
- Dafni A., Firmage D. (2000) Pollen viability and longevity: Practical, ecological and evolutionary implications. *Plant Systematics and Evolution.* **222**(1–4): 113–132. <https://doi.org/10.1007/BF00984098> EDN: [LBDNDJ](#)
- De Storme N., Zamariola L., Mau M., Sharbel T.F., Geelen D. (2013) Volume-based pollen size analysis: an advanced method to assess somatic and gametophytic ploidy in flowering plants. *Plant Reproduction.* **26**(2): 65–81. <https://doi.org/10.1007/s00497-012-0209-0> EDN: [ETPCR X](#)

- Freire G. da S., Rocha L.B. da, Machado C. de A., Silva A.V.C. da, Ledo A. da S. (2022) *In vitro* viability of genipap pollen grains in different culture media. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. **57** <https://doi.org/10.1590/s1678-3921.pab2022.v57.03020>
- Heidmann I., Di Berardino M. (2017) Impedance flow cytometry as a tool to analyze microspore and pollen quality. In: Schmidt A. (ed.) *Plant Germline Development: Methods and Protocols*. Springer New York. New York, NY: 339–354. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7286-9_25
- Heidmann I., Schade-Kampmann G., Lambalk J., Ottiger M., Di Berardino M. (2016) Impedance flow cytometry: a novel technique in pollen analysis. *PLoS One*. **11**(11): e0165531. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165531>
- Impe D., Reitz J., Köpnick C., Rolletschek H., Börner A., Senula A., Nagel M. (2020) Assessment of pollen viability for wheat. *Frontiers in Plant Science*. **10** <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01588> EDN: RIOFZG
- Kelly J.K., Rasch A., Kalisz S. (2002) A method to estimate pollen viability from pollen size variation. *American Journal of Botany*. **89**(6): 1021–1023. <https://doi.org/10.3732/ajb.89.6.1021>
- Kumar V., Goyal N., Prasad A., Babu S., Khare K., Yadav G. (2023) Quantification of pollen viability in *Lantana camara* by digital holographic microscopy. *Quantitative Plant Biology*. **4**: e7. <https://doi.org/10.1017/qpb.2023.5> EDN: ORMOXY
- Luria G., Rutley N., Lazar I., Harper J.F., Miller G. (2019) Direct analysis of pollen fitness by flow cytometry: implications for pollen response to stress. *The Plant Journal*. **98**(5): 942–952. <https://doi.org/10.1111/tpj.14286>
- Marcellán O.N., Camadro E.L. (1996) The viability of asparagus pollen after storage at low temperatures. *Scientia Horticulturae*. **67**(1): 101–104. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(96\)00949-1](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(96)00949-1) EDN: ANLPGJ
- Mishra S.K., Srivastava G.K. (2015) Palynological studies of some Indian Cassiinae (Caesalpiniaceae). *Phytomorphology*. **65**(1/2): 19–29.
- Mudd S.J., Arathi H.S. (2012) Image analysis protocol for detecting and counting viable and inviable pollen grains. *Journal of Plant Studies*. **1**(2) <https://doi.org/10.5539/jps.v1n2p158>
- Rutley N., Miller G. (2020) Large-scale analysis of pollen viability and oxidative level using H₂DCFDA-staining coupled with flow cytometry. In: Geitmann A. (ed.) *Pollen and Pollen Tube Biology: Methods and Protocols*. Springer US. New York, NY: 167–179. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-0672-8_11
- Silva D.M., Santos Y.D., Benites F.R.G., Techio V.H. (2018) Microsporogenesis, viability and morphology of pollen grain in accessions of *Cynodon L. C. Rich.* (Poaceae). *South African Journal of Botany*. **118**: 260–267. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.07.026>
- Tello J., Montemayor M.I., Forneck A., Ibáñez J. (2018) A new image-based tool for the high throughput phenotyping of pollen viability: evaluation of inter- and intra-cultivar diversity in grapevine. *Plant Methods*. **14**(1): 3. <https://doi.org/10.1186/s13007-017-0267-2> EDN: VECBFG

REFERENCES

- Abramova Z.V., Karlinskiy O.A. (1968) Guide to practical classes in genetics [Rukovodstvo k prakticheskim zanyatiyam po genetike]. Kolos Publishing. Leningrad: 192. (in Russian)
- Auerbakh Sh. (1968) Genetics [Genetika]. Atomizdat Publishing. Moscow: 280. (in Russian)
- Bannikova V.P., Khvedynich O.A. (1982) Fundamentals of plant embryology [Osnovy embriologii rasteniy]. Naukova Dumka Publishing. Kiev: 164. (in Russian)
- Barykina I.P., Veselova T.D., Devyatov A.G. (2004) Handbook of botanical microtechniques. Basics and methods. Textbook [Spravochnik po botanicheskoy mikro-tekhnikе. Osnovy i metody. Uchebnoe posobie]. Moscow State University Publishing. Moscow: 312. EDN: RBBHDP (in Russian)
- Baturin S.O., Kuznetsova L.L. (2011) Reproduction features of the pink-flowering ornamental *Fragaria x Potentilla* (cv. Frel) hybrid and prospects of its use in garden strawberry breeding. *Vavilov journal of genetics and breeding*. **15**(4): 800–807. EDN: OOOZBUZ (in Russian)
- Bunin M.S. (ed.) (2003) Methods of reproductive biology in breeding of vegetable crops of the genus *Brassica L.* [Metody reproduktivnoy biologii v selektsii ovoshchnykh kultur roda *Brassica L.*]. Ministry of Agriculture of the Russian Federation Publishing. Moscow: 53. (in Russian)
- Bunin M.S. (eds.) (2004) Methodological recommendations for determining pollen viability of the genus *Capsicum annum L.* [Metodicheskie rekomendatsii po opredeleniyu zhiznesposobnosti pyltsy

- roda *Capsicum annuum* L.]. Rosinformagrotekh Publishing. Moscow: 32. EDN: [OKOLAN](#) (in Russian)
- Bukharov A.F., Bukharova A.R. (2011) Introgression, and heterosis in pepper breeding adaptogenesis. Russian State Agrarian Correspondence University Publishing. Москва: 292. EDN: [VUUQGV](#) (in Russian)
- Bukharova A.R., Bukharov A.F. (2008) Hybridization vegetable solanaceae crops. Michurinsk State Agrarian University Publishing. Michurinsk: 274. EDN: [VRKTDJ](#) (in Russian)
- Vasilevskaya N.V., Morozova D.A. (2016) Pollen teratomorphism of *Syringa josikaea* Jacq. in urban areas of the Russian Arctic. *Proceedings of Petrozavodsk State University*. (8 (161)): 7–13. EDN: [VWKIHH](#) (in Russian)
- Voronova O.N., Gavrilova V.A. (2019) Quantitative and qualitative analysis of sunflower pollen (*Helianthus* L.) and it's use in breeding work. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. **180**(1): 95–104. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-1-95-104> EDN: [LIUOSX](#) (in Russian)
- Gilyarov M.S. (ed.) (1989) Biological encyclopedic dictionary [Biologicheskii entsiklopedicheskiy slovar]. 2nd ed. Soviet Encyclopedia Publishing. Moscow: 863. (in Russian)
- Golubinskiy I.N. (1974) Biology of pollen germination [Biologiya prorastaniya pyltsey]. Naukova Dumka Publishing. Kiev: 368. (in Russian)
- Dzyuba O.F. (2007) Teratomorphic pollen grains in modern and paleopalynological spectra and some problems of palynostratigraphy [Teratomorfnye pyltsevye zerna v sovremennykh i paleopalynologicheskikh spektrakh i nekotorye problemy palinostratigrafii]. *Petroleum neology-teoretical and applied studies*. **2**: 6. EDN: [IPKJED](#) (in Russian)
- Dudka I.A. (ed.) (1984) Dictionary of botanical terms [Slovar botanicheskikh terminov]. Naukova Dumka Publishing. Kiev: 308. (in Russian)
- Eremin G.V. (1985) Distant hybridization of stone fruit plants [Otdalennaya gibridizatsiya kostochkovykh plodovykh rasteniy]. Agropromizdat Publishing. Moscow: 280. EDN: [DWJEDX](#) (in Russian)
- Zhuikova T.V., Bezel' V.S., Bergman I.E., Meling E.V., Krivosheeva A.V. (2019) Fertility and viability of pollen grains of *Taraxacum officinale* Wigg. s.l. (asteraceae, magnoliopsida) in the gradient of an anthropogenically transformed environment. *Povolzhskiy Journal of Ecology*. (3): 275–290. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2019-3-275-290> EDN: [PUKULX](#) (in Russian)
- Zinatullina A.E. (2016) Optimization of the method for assessing pollen viability [Optimizatsiya sposoba otsenki zhiznesposobnosti pyltsey]. *International journal of applied and fundamental research*. (2–1): 130. EDN: [VLJOAR](#) (in Russian)
- Kruglova N.N. (2020) Assessment of the pollen grains quality in flowering plants (overview). *Bulletin of the State Nikitsky Botanical Gardens*. (135): 50–56. <https://doi.org/10.36305/0513-1634-2020-135-50-56> EDN: [EKCCIC](#) (in Russian)
- Kursakov G.A. (1986) Distant hybridization of fruit plants [Otdalennaya gibridizatsiya plodovykh rasteniy]. Agropromizdat Publishing. Moscow: 112 (in Russian)
- Lapshin D.A., Kuznetsova T.N. (2009) Dynamics of pollen germination and growth of pollen tubes *in vitro* in *Hippophae rhamnoides* L. hybrids of different ecologo-geographic origin. *Agricultural biology*. **44**(1): 54–59. (in Russian)
- Latypov A.Z., Taranukho G.I. (1969) Fundamentals of cytology and cytological methods: a guide for laboratory practical classes in cytology [Osnovy tsitologii i tsitologicheskie metody: posobie k laboratorno-prakticheskim zanyatiyam po tsitologii]. Belarusian Agricultural Academy Publishing. Gorki: 142. (in Russian)
- Libbert E. (ed.) (1982) Fundamentals of general biology [Osnovy obshchey biologii]. Mir Publishing. Moscow: 440. (in Russian)
- Litvak A.I. (1978) Fluorescence macro- and microscopy in studies of fruit crops and grapes [Lyuminestsentnaya makro- i mikroskopiya v issledovaniyakh plodovykh kultur i vinograda]. Shtiintsa Publishing. Kishinev: 111. (in Russian)
- Marakaeva T.V., Kazydub N.G. (2016) Determination of viability of pollen of haricot of ordinary (*Phaseolus vulgaris*) at different times days in the southern forest-steppe of Western Siberia. *Advances in current natural sciences*. (6): 96–99. EDN: [WBCOCL](#) (in Russian)
- Mirnenko N.S. (2020) Pollen fertility and viability of *Salix alba* L. in Donetsk. *Problems of ecology and nature protection of technogen region*. (1–2): 6–11. EDN: [MOCEOP](#) (in Russian)
- Myuntzing A. (1967) Genetics: general and applied [Genetika: obshchaya i prikladnaya]. Mir Publishing. Moscow: 610. (in Russian)

- Orel L.I. (1972) Cytology of male cytoplasmic sterility of maize and other cultivated plants [Tsitologiya muzhskoy tsitoplazmaticheskoy sterilnosti kukuruzy i drugikh kulturnykh rasteniy]. Nauka Publishing. Leningrad: 84. (in Russian)
- Ostapenko V.I. (1956) On the issue of evaluating various methods for determining pollen viability [K voprosu ob otsenke razlichnykh sposobov opredeleniya zhiznesposobnosti pyltsy]. In: *Bulletin of the Central Genetics Laboratory named after I.V. Michurin. Issue 2 [Byulleten TsGL im. I.V. Michurina. Vypusk 2]*. Central Genetics Laboratory named after I.V. Michurin Publishing. Michurinsk: 38–41. (in Russian)
- Ostapenko V.I. (1972) Determination of pollen viability of distant hybrids [Opredelenie zhiznesposobnosti pyltsy otdalennykh gibridov]. In: *Program and methodology of distant hybridization of fruit and berry crops [Programma i metodika otdalennoy gibridizatsii plodovykh i yagodnykh kultur]*. Central Genetics Laboratory named after I.V. Michurin Publishing. Michurinsk: 129–133. (in Russian)
- Pausheva Z.P. (1980) Practical course in plant cytology [Praktikum po tsitologii rasteniy]. Kolos Publishing. Moscow: 304. (in Russian)
- Poddubnaya-Arnoldi V.A. (1964) General embryology of angiosperms [Obshchaya embriologiya pokrytosemennykh rasteniy]. Nauka Publishing. Moscow: 482. (in Russian)
- Pukhalskiy V.A., Solovyev A.A., Badayeva E.D., Yurtsev V.N. (2007) Practical course in plant cytology and cytogenetics [Praktikum po tsitologii i tsitogenetike rasteniy]. KolosS Publishing. Moscow: 198. EDN: [YKYPPB](#) (in Russian)
- Pchelkina V.V. (ed.) (1987) Dictionary of foreign words [Slovar inostrannykh slov]. 14th ed. Russkiy Yazyk Publishing. Moscow: 608. (in Russian)
- Riger R., Mikhaelis A. (1967) Genetic and cytogenetic dictionary [Geneticheskiy i tsitogeneticheskiy slovar]. Kolos Publishing. Moscow: 607. (in Russian)
- Rubanova O.A. (2021) Breeding and genetic characteristics of reproductive traits in sunflower hybrids and lines [Selektsionno-geneticheskaya kharakteristika reproduktivnykh priznakov u gibridov i liniy podsolnechnika]. Federal Scientific Center for Rice. Krasnodar: 140. [Dissertation for the Degree of Candidate of Biological Sciences] EDN: [OKWDUV](#) (in Russian)
- Rudenko I.S. (1978) Distant hybridization and polyploidy in fruit plants [Otdalennaya gibridizatsiya i poliploidiya u plodovykh rasteniy]. Shtiintsa Publishing. Kishinev: 196. (in Russian)
- Rybin V.A. (1962) Application of the cytological method in breeding work with fruit plants [Primenenie tsitologicheskogo metoda pri selektsionnoy rabote s plodovymi]. Shtiintsa Publishing. Kishinev: 167. (in Russian)
- Samigullina N.S., Kirina I.B. (2007) Practical course in genetics: textbook [Praktikum po genetike: uchebnoe posobie]. MichGAU Publishing. Michurinsk: 211. (in Russian)
- Sinnott E., Denn L. (1934) Course in genetics: theory and problems [Kurs genetiki: teoriya i zadachi]. 3rd ed. Biomedgiz Publishing. Leningrad: 431. (in Russian)
- Tatarintsev A.S. (1939) Pollen germination on the stigma during some intergeneric and intraspecific pollinations [Prorastanie pyltsy na ryltse pri nekotorykh mezhrodovykh i vnutrividovykh opyleniyakh]. In: *Proceedings of the Fruit and Vegetable Institute named after I.V. Michurin. Vol. 2 [Trudy Plodoovoshchnogo instituta im. I.V. Michurina. Tom 2]*. Fruit and Vegetable Institute named after I.V. Michurin Publishing. Michurinsk: 16–46. (in Russian)
- Tatarintsev A.S. (1948) Pollen tube growth in the style during some intergeneric crosses [Rost pyltsevykh trubok v stolbике pri nekotorykh mezhrodovykh skreshchivaniyakh]. In: *Proceedings of the Fruit and Vegetable Institute named after I.V. Michurin. Vol. 5 [Trudy Plodoovoshchnogo instituta im. I.V. Michurina. Tom 5]*. Fruit and Vegetable Institute named after I.V. Michurin Publishing. Michurinsk: 27–35. (in Russian)
- Timin N.I., Pishnaya O.N., Agafonov A.F., Mamedov M.I., Titova I.V., Kan L.Y., Logunova V.V., Romanov V.S., Shmykova N.A., Timina L.T., et al. (2013) Interspecific hybridization of vegetable crops (onion – *Allium* L., carrot – *Daucus* L., pepper – *Capsicum* L.). VNISSOK Publishing. Moscow: 188. EDN: [VROHYT](#) (in Russian)
- Tupitsin S., Ryabogina N., Tupitsina L. (2012) Level of teratogenesis as index of the state of bioobject is in different ecological terms. *Izvestiya of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. **14**(1(3)): 822–828. EDN: [OLIOOT](#) (in Russian)

- Ustinova E.I. (1965) Embryology of angiosperms with fundamentals of cytology [Embriologiya pokrytosemyannykh rasteniy s osnovami tsitologii]. Moscow State University Publishing. Moscow: 192. (in Russian)
- Tsatsenko L.V., Dimitrienko O.V. (2026) Assessment of pollen viability: methodological review and breeding prospects. *Scientific journal of KubSAU*. (216): 391–413. EDN: JJOLYM (in Russian)
- Tsatsenko L.V., Kerimov R.V. (2023) Plant pollen and its characteristics in the changing climate conditions. *Scientific journal of KubSAU*. (186): 226–241. EDN: HYRYFP (in Russian)
- Tsatsenko L.V., Logvinov A.V. (2021) Plant pollen analysis in breeding practice [Pyltsevoy analiz rasteniy v selektsionnoy praktike]. Prosveshchenie-Yug Publishing. Krasnodar: 101. EDN: FEVZVC (in Russian)
- Tsitsin N.V. (1981) Theory and practice of distant hybridization [Teoriya i praktika otdalenoj gibridizatsii]. Nauka Publishing. Moscow: 160. (in Russian)
- Chentsov Yu.S. (1984) General cytology [Obshchaya tsitologiya]. 2nd ed. Moscow State University Publishing. Moscow: 352. (in Russian)
- Chiguryaeva A.A. (1970) Palynology and apomixis [Palinologiya i apomiksis]. In: Khokhlov S.S. (ed.) *Apomixis and breeding [Apomiksis i selektsiya]*. Nauka Publishing. Moscow: 80–86. (in Russian)
- Chuvashina N.P. (1980) Cytogenetics and breeding of distant hybrids and polyploids of currant [Tsitogenetika i selektsiya otdalennykh gibridov i poliploidov smorodiny]. Nauka Publishing. Leningrad: 120. (in Russian)
- Yurtsev V.N., Pukhalskiy V.A. (1968) Methodological guide to laboratory practical classes in cytological and embryological microtechniques [Metodicheskoe rukovodstvo k laboratorno-prakticheskim zanyatiyam po tsitologicheskoy i embriologicheskoy mikro-tekhnikе]. Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev Publishing. Moscow: 113. (in Russian)
- Alexander M.P. (1969) Differential staining of aborted and nonaborted pollen. *Stain Technology*. **44**(3): 117–122. <https://doi.org/10.3109/10520296909063335>
- Alexander M.P. (1987) A method for staining pollen tubes in pistil. *Stain Technology*. **62**(2): 107–112. <https://doi.org/10.3109/10520298709107976>
- Althiab-Almasaud R., Teyssier E., Chervin C., Johnson M.A., Mollet J.-C. (2024) Pollen viability, longevity, and function in angiosperms: key drivers and prospects for improvement. *Plant Reproduction*. **37**(3): 273–293. <https://doi.org/10.1007/s00497-023-00484-5> EDN: VVUWYA
- Ascari L., Cristofori V., Macrì F., Botta R., Silvestri C., De Gregorio T., Huerta E.S., Di Berardino M., Kaufmann S., Siniscalco C. (2020a) Hazelnut pollen phenotyping using label-free impedance flow cytometry. *Frontiers in Plant Science*. **11** <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.615922> EDN: YGNRMG
- Ascari L., Novara C., Dusio V., Oddi L., Siniscalco C. (2020b) Quantitative methods in microscopy to assess pollen viability in different plant taxa. *Plant Reproduction*. **33**(3–4): 205–219. <https://doi.org/10.1007/s00497-020-00398-6> EDN: MIMELA
- Atlagić J., Terzić S., Marjanović-Jeromela A. (2012) Staining and fluorescent microscopy methods for pollen viability determination in sunflower and other plant species. *Industrial Crops and Products*. **35**(1): 88–91. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.06.012>
- Burke I.C., Wilcut J.W., Allen N.S. (2007) Viability and *in vitro* germination of Johnsongrass (*Sorghum halepense*) pollen. *Weed Technology*. **21**(1): 23–29. <https://doi.org/10.1614/WT-05-171.1>
- Canonge J., Philippot M., Leblanc C., Potin P., Bodin M. (2020) Impedance flow cytometry allows the early prediction of embryo yields in wheat (*Triticum aestivum* L.) microspore cultures. *Plant Science*. **300**: 110586. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2020.110586> EDN: SBTOMU
- Dafni A., Firmage D. (2000) Pollen viability and longevity: Practical, ecological and evolutionary implications. *Plant Systematics and Evolution*. **222**(1–4): 113–132. <https://doi.org/10.1007/BF00984098> EDN: LBDNDJ
- De Storme N., Zamariola L., Mau M., Sharbel T.F., Geelen D. (2013) Volume-based pollen size analysis: an advanced method to assess somatic and gametophytic ploidy in flowering plants. *Plant Reproduction*. **26**(2): 65–81. <https://doi.org/10.1007/s00497-012-0209-0> EDN: ETPCRX
- Freire G. da S., Rocha L.B. da, Machado C. de A., Silva A.V.C. da, Ledo A. da S. (2022) *In vitro* viability of genipap pollen grains in different culture media. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. **57** <https://doi.org/10.1590/s1678-3921.pab2022.v57.03020>

- Heidmann I., Di Berardino M. (2017) Impedance flow cytometry as a tool to analyze microspore and pollen quality. In: Schmidt A. (ed.) *Plant Germline Development: Methods and Protocols*. Springer New York. New York, NY: 339–354. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7286-9_25
- Heidmann I., Schade-Kampmann G., Lambalk J., Ottiger M., Di Berardino M. (2016) Impedance flow cytometry: a novel technique in pollen analysis. *PLoS One*. **11**(11): e0165531. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165531>
- Impe D., Reitz J., Köpnick C., Rolletschek H., Börner A., Senula A., Nagel M. (2020) Assessment of pollen viability for wheat. *Frontiers in Plant Science*. **10** <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01588> EDN: RIOFZG
- Kelly J.K., Rasch A., Kalisz S. (2002) A method to estimate pollen viability from pollen size variation. *American Journal of Botany*. **89**(6): 1021–1023. <https://doi.org/10.3732/ajb.89.6.1021>
- Kumar V., Goyal N., Prasad A., Babu S., Khare K., Yadav G. (2023) Quantification of pollen viability in *Lantana camara* by digital holographic microscopy. *Quantitative Plant Biology*. **4**: e7. <https://doi.org/10.1017/qpb.2023.5> EDN: ORMOXV
- Luria G., Rutley N., Lazar I., Harper J.F., Miller G. (2019) Direct analysis of pollen fitness by flow cytometry: implications for pollen response to stress. *The Plant Journal*. **98**(5): 942–952. <https://doi.org/10.1111/tpj.14286>
- Marcellán O.N., Camadro E.L. (1996) The viability of asparagus pollen after storage at low temperatures. *Scientia Horticulturae*. **67**(1): 101–104. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(96\)00949-1](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(96)00949-1) EDN: ANLPGJ
- Mishra S.K., Srivastava G.K. (2015) Palynological studies of some Indian Cassiinae (Caesalpiniaceae). *Phytomorphology*. **65**(1/2): 19–29.
- Mudd S.J., Arathi H.S. (2012) Image analysis protocol for detecting and counting viable and inviable pollen grains. *Journal of Plant Studies*. **1**(2) <https://doi.org/10.5539/jps.v1n2p158>
- Rutley N., Miller G. (2020) Large-scale analysis of pollen viability and oxidative level using H₂DCFDA-staining coupled with flow cytometry. In: Geitmann A. (ed.) *Pollen and Pollen Tube Biology: Methods and Protocols*. Springer US. New York, NY: 167–179. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-0672-8_11
- Silva D.M., Santos Y.D., Benites F.R.G., Techio V.H. (2018) Microsporogenesis, viability and morphology of pollen grain in accessions of *Cynodon* L. C. Rich. (Poaceae). *South African Journal of Botany*. **118**: 260–267. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.07.026>
- Tello J., Montemayor M.I., Forneck A., Ibáñez J. (2018) A new image-based tool for the high throughput phenotyping of pollen viability: evaluation of inter- and intra-cultivar diversity in grapevine. *Plant Methods*. **14**(1): 3. <https://doi.org/10.1186/s13007-017-0267-2> EDN: VECBFG

Цитировать как

Бухаров А.Ф. (2026) Качество пыльцы цветковых растений. Интерпретация терминов, методов и результатов исследований. *Экобиотех*. **9**(2): 159-173. DOI: <http://doi.org/10.31163/2618-964X/2026-13> EDN: <https://www.elibrary.ru/ghofxn>

Сведения об авторах

Александр Федорович Бухаров, доктор с.-х. наук, г.н.с., Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр овощеводства» (ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО), Московская область, д. Верея, Россия. E mail: afb56@mail.ru, SPIN-код: 2527-3447, ORCID: 0000-0003-1910-5390, Scopus ID: 57193127775, WoS Researcher ID J-6605-2018.

Cited as

Bukharov A.F. (2026) Quality of pollen from flower plants. Interpretation of terms, methods, and research results. *Ecobiotech*. **9**(2): 159-173. DOI: <http://doi.org/10.31163/2618-964X/2026-13> EDN: <https://www.elibrary.ru/ghofxn>

Information About the Authors

Alexander F. Bukharov, Doc. Sci. (Agriculture), All-Russian Scientific Research Institute of Vegetable Growing – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Vegetable Growing" (VNIIO – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution FNTSO), Vereya village, Moscow region, Russia. E mail: afb56@mail.ru, SPIN-code: 2527-3447, ORCID: 0000-0003-1910-5390, Scopus ID: 57193127775, WoS Researcher ID J-6605-2018.