

УДК 638.178.2:504.064.36:574.21

РЕАЛИЗАЦИЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПЫЛЬЦЫ РАСТЕНИЙ И ПЫЛЬЦЕВОЙ ОБНОЖКИ В МОНИТОРИНГЕ ГАМЕТОПАТОГЕННЫХ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Л.А. Осинцева, доктор биологических наук, профессор

Новосибирский государственный аграрный университет

E-mail: lao08@mail.ru

Ключевые слова: палинология, мелиссопалинология, медоносные растения, пыльцевая обножка, тератоморфная пыльца, гамеtopатогенные факторы.

Реферат. Изучена возможность реализации биоресурсного потенциала пыльцевой обножки в контроле гамеtopатогенных факторов урбанизированных территорий. Определен уровень изменчивости морфологии пыльцевых зёрен энтомофильных видов растений: иван-чая (кипрея узколистного) (*Chamerion angustifolium* (L.) Holub 1972), лабазника обыкновенного (таволги) (*Filipendula vulgaris* Moench 1794), льнянки обыкновенной (*Linaria vulgaris* Mill. 1768). Дана оценка влияния условий произрастания в г. Новосибирске на морфологию пыльцевых зёрен древесных (липа, *Tilia* sp.) и травянистых (*Linaria vulgaris*) энтомофильных растений. Не обнаружено различий по уровню тератоморфности пыльцевых зёрен пчелиной обножки и пыльников донника лекарственного (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.). Последнее доказывает возможность использования мелиссопалинологического анализа пыльцевой обножки для мониторинга гамеtopатогенных факторов окружающей природной среды.

THE REALIZATION OF BIOLOGICAL POTENTIAL OF PLANT POLLEN AND POLLEN LOAD FOR MONITORING ENVIRONMENTAL PATHOGENIC FACTORS FOR GAMETES

L.A. Osintseva, doctor of biological sciences, professor

Novosibirsk state agrarian university

Key words: palynology, melissopalynology, honey plants, pollen load, abnormal (teratomorphology) pollen grains, environmental pathogenic factors for gametes.

Abstract. Studied the possibility of realize the bio-resource potential of the bee pollen load in the control hametesp pathology factors of urban area. Determined the level of variability of the morphology of pollen grains of entomophilous plant species: *Chamerion angustifolium* (L.) Holub 1972, *Filipendula vulgaris* Moench 1794, *Linaria vulgaris* Mill. 1768. The effect of growing conditions in the city of Novosibirsk on the morphology of pollen grains of entomophilous wood (*Tilia* sp.) and grassy (*Linaria vulgaris*) plants was estimated. Found no differences in the level of abnormal pollen grains between bee pollen load and anthers yellow sweet clover, *Melilotus officinalis* (L.) Pall. The latter proves the possibility of using melissopalynology analysis of bee pollen load in order to monitoring of environmental pathogenic factors for gametes.

В настоящее время особое значение приобретают исследования, связанные с оценкой состояния урбанизированной среды, насыщенной разнообразными источниками загрязнения. Данные биомониторинга являются дополнением к объективной информации химического и физико-химического контроля и обеспечивают приближение к адекватной оценке экологической ситуации в современном городе. Оценка опасности для населения загрязнения атмосферы городов осуществляется как прямыми исследованиями состояния здоровья людей, так и путём биотестирования и биоиндикации. Одним из популярных биоиндикаторов является пыльца растений.

Известно, что изменения характеристик морфологических особенностей пыльцевых зёрен растений позволяют оценить состояние и выявить уровень загрязнённости окружающей сре-

ды, не прибегая к применению труднодоступного оборудования или к традиционной методике прямого учёта мутаций при оценке тератогенности контаминантов [1].

Изучению влияния неблагоприятных факторов окружающей среды на морфологические характеристики пыльцы растений исследователи уделяют постоянное внимание, указывая на роль экологически значимых антропогенных и природных изменений в появлении тератоморфных (уродливых) пыльцевых зёрен [2]. Для выявления гамеопатогенных факторов на урбанизированных территориях авторы использовали как энтомофильные виды растений: одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale* L.), рябину обыкновенную (*Sorbus aucuparia* L.), виды лип (*Tilia cordata* Mill. и *T. platyphyllos* Scop.), иван-чай (*Chamaenerium angustifolium* L.), шиповник морщинистостолитный (*Rosa rugosa* Thunb.), так и ветроопыляемые: сосна (*Pinus sylvestris* L.), береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.), подорожник большой (*Plantago major* L.), крапива двудомная (*Urtica dioica* L.) и получали информативные результаты мониторинга при ручном сборе пыльцы из пыльников растений или при использовании аэроловушек [3–8].

Изучению морфологических характеристик пыльцевых зёрен в качестве индикаторов состояния окружающей среды стали уделять пристальное внимание относительно недавно. С точки зрения биологической целесообразности, пыльца как носитель генетической информации должна обладать устойчивыми видовыми признаками, но экспериментальные данные свидетельствуют о том, что в условиях экологического неблагополучия меняются многие характеристики растений, в частности обмен веществ, что негативно сказывается на процессах микроспоро- и гаметогенеза, и растения продуцируют большое количество аномальных (тератоморфных, уродливых) пыльцевых зёрен. Показано, чем хуже экологическая обстановка, тем выше процент патологически развитых пыльцевых зёрен и наоборот [9]. Отмечено, что количество тератоморфных пыльцевых зёрен значительно увеличивается вблизи крупных промышленных центров [10].

Показатели аномальности пыльцевых зёрен используют также для оценки экологической пластичности и толерантности репродуктивных механизмов растений [5, 11, 12]. Адаптивные изменения морфологических и анатомических признаков побегов и листьев различных видов растений в загрязнённых условиях среды могут иметь разную направленность и позволяют оценить их приспособленность к условиям обитания, в том числе выявить реакции растений на промышленные загрязнители и тем самым использовать их в качестве тест-объектов экологического благополучия.

Например, изучение состояния мужского гаметофита двух морфологических форм *Taraxacum officinale* s.l., произрастающих в условиях химического загрязнения среды, показало, что оплодотворяющая способность (фертильность) пыльцы *T. officinale* f. *dahlstedtii* и *T. officinale* f. *pectinatiforme* снижается по мере роста токсической нагрузки. Влияние химического загрязнения проявляется в элиминации особей обеих форм с крупными пыльцевыми зёрнами [11].

Морфологическая изменчивость пыльцевых зёрен зависит от многих факторов, включая загрязнение окружающей среды. Отмечено, что количество изменённых пыльцевых зёрен значительно увеличивается вблизи и на территории крупных промышленных центров. Это продемонстрировано для шиповника морщинистостолитного (*Rosa rugosa* Thunb.), пыльца которого имеет чётко выраженную количественную и качественную реакцию на отклонение свойств среды обитания в г. Петрозаводске от экологической нормы. Авторы наблюдали реакцию пыльцы в виде увеличения стерильных зёрен на повышенные содержания Co, Cu, W, V как естественного, так и техногенного происхождения, но более выраженный отклик на изменение параметров среды был отмечен в виде тератоморфности пыльцы шиповника. Наиболее активно пыльца реагирует на высокие содержания в почвах свинца, который в значительной мере отражает загрязнение от автотранспорта [6].

Показано, что хорошим палиноиндикатором является пастушья сумка (*Capsela bursa-pastoris* (L.) Medik.), у этого вида при воздействии промышленных загрязнений возрастает количество стерильной пыльцы [13].

Исследователи указывают на высокую отрицательную корреляцию между количеством фертильных пыльцевых зёрен яблони ягодной (*Malus baccata* Bork) и уровнем автомобильного загрязнения различных районов г. Красноярска, однако считают, что данный показатель не может использоваться при биоиндикации [14].

В целом палиноиндикация качества окружающей среды рассматривается как адекватный подход в обнаружении и определении экологически значимых антропогенных и природных изменений. Исследование морфо-физиологических особенностей растительных организмов, определяющих адаптации к условиям обитания, позволяет выявить последствия загрязнений для биоты и рассматривать растения в качестве тест-объектов, а изучение уровня тератоморфности пыльцевых зёрен растений обеспечивает прогнозирование результата, к которому приводит контаминация атмосферы. Последнее помогает оценивать экологическую значимость антропогенной нагрузки для живых объектов непосредственно в среде их обитания.

По мнению исследователей, практически все параметры внешней среды могут оказывать воздействие на мужскую генеративную сферу растений, которое проявляется в виде аномалий морфологии пыльцевых зёрен. Многие из этих факторов можно учесть и отделить аномалии пыльцы, вызванные внешними причинами, от генетически обусловленных для конкретного вида растения. Одни и те же воздействия внешней среды у разных видов приводят к различным результатам. В реакциях пыльцевых зёрен на воздействия внешней среды проявляются биологические свойства вида, в том числе особенности его репродуктивной системы. Поэтому важным является выявление видов растений, обеспечивающих адекватную индикацию экологической ситуации в отношении биоты и человека.

Ранее было показано, что растения с апомиксисом, с мужской цитоплазматической стерильностью, полиплоидные или гибридные в силу разнокачественности их пыльцы не могут адекватно отражать уровень антропогенного загрязнения при использовании их в качестве палиноиндикаторов, а пыльца представителей рода *Tilia* является хорошим индикатором состояния окружающей среды [4].

Привлекательным методом биоиндикации, с точки зрения скорости и адекватности получаемой информации, следует признать мелиссопалинологический анализ [15]. Использование с этой целью пыльцевой обножки медоносных пчёл показало свою эффективность [16].

Идея сочетания палиноморфологического контроля с апимониторингом окружающей среды была впервые изложена сотрудниками Ижевского государственного технического университета им. М. Т. Калашникова. Выявив в образцах пыльцы энтомофильных растений тератоморфные формы, наличие которых было сопряжено с близостью промышленных объектов и автомобильных дорог, исследователи пришли к заключению, что использование медоносных пчёл для сбора образцов является более рациональным, тем более что технологии получения монофлорной пчелиной обножки и компьютерного пыльцевого анализа пчелопродуктов ими разработаны [17, 18].

Выявление видов растений, обеспечивающих возможность корректной палиноиндикации гамеопатогенных факторов окружающей среды с использованием пчелиной пыльцевой обножки, требует изучения уровня изменчивости морфологии пыльцевых зёрен именно энтомофильных видов – нектаро- и пыльценосов.

Необходимость проведения мелиссопалинологического анализа при использовании пыльцевой обножки медоносных пчёл в апимониторинге экологических условий окружающей природной среды была обоснована ранее, и, наряду с прочим, обсуждалась проблема выбора вида пыльценоса, характеризующегося как высокой привлекательностью для пчёл, так и отвечаю-

щего требованиям, предъявляемым к растению-палиноиндикатору [15]. К таким требованиям следует относить низкую вариабельность морфологических характеристик пыльцевых зёрен растений, обеспечивающих насекомых пыльцой, и произрастание пыльценоса в пределах естественного ареала.

Мелиссопалинология – раздел палинологии, посвящённый изучению пыльцы, извлечённой из продуктов пчеловодства. Мелиссопалинологический анализ направлен на выявление качественного и количественного состава пыльцы в продуктах пчеловодства (мёде, обножке, перге и др.), изучение медоносно-пыльценосной базы региона, установление ботанического и географического происхождения продуктов пчеловодства и на выявление случаев их фальсификации. Наша работа направлена на выявление возможностей использования мелиссопалинологического анализа в апимониторинге окружающей среды с использованием пыльцевой обножки медоносных пчёл для контроля гаметопатогенных факторов.

Пчелиная обножка является наиболее адекватным образцом для использования в целях апимониторинга экосистем. Пчелы формируют обножку из пыльцевых зёрен, которые могут быть контаминированы как с поверхности (механические загрязнение), так и в растительных тканях (биохимические загрязнение), и то и другое не подвергается каким-либо воздействиям при формировании обножки путем склеивания пыльцы нектаром и секретом слюнных желез пчёл. Отбор пчелиной обножки производится, как правило, до заноса ее в гнездо пчелиной семьи, и поэтому она не подвергается воздействию специфических факторов микроклимата гнезда [19].

Для оценки возможностей мелиссопалинологического контроля в ходе апимониторинга биоценозов необходимо изучение корреляции между уровнем морфологических изменений пыльцевых зёрен из пыльников растений и в составе пчелиной обножки, собранной с них.

По данным исследований Росгидромета, г. Новосибирск расположен в зоне неблагоприятных для рассеивания примесей метеорологических условий, вследствие чего в отдельные периоды происходит интенсивное накопление вредных веществ в атмосфере и формирование высокого уровня загрязнения. Западно-Сибирским ЦМС на 10 постах во всех административных районах г. Новосибирска ежедневно, кроме воскресенья, проводится контроль за содержанием в атмосфере пыли, диоксида серы, оксида углерода, диоксида азота, оксида азота, бенз (а) пирена, сероводорода, фенола, сажи, фторида водорода, аммиака, формальдегида и металлов. Уровень загрязнения г. Новосибирска характеризуется как повышенный, но вместе с тем он с 1996 г. не входит в приоритетный список городов России с наибольшим уровнем загрязнения воздуха. Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха в Новосибирской области являются: автомобильный транспорт (59,8% валового выброса по области), предприятия теплоэнергетики и отопительные котельные ЖКХ (29%), промышленные предприятия (11,2%). Например, в 2015 г. выбросы от автотранспорта составили 275,2 тыс. т, в том числе сажа – 0,5, диоксид серы – 1,5, диоксид углерода – 212,1, окислы азота – 30,6, летучие органические соединения – 28,5, метан – 1,1, аммиак – 0,8 тыс. т. За период 2005–2015 гг. отмечается тенденция к повышению уровня загрязнения атмосферы города фенолом и формальдегидом [20].

Целью наших исследований являлось изучение возможностей реализации биоресурсного потенциала пыльцевой обножки в контроле гаметопатогенных факторов урбанизированных территорий. Для решения этой задачи определяли уровень изменчивости морфологии пыльцевых зёрен энтомофильных видов растений и влияние на этот показатель условий произрастания, а также степень и характер влияния урбанизированных территорий (г. Новосибирск) на морфологию пыльцевых зёрен древесных и травянистых медоносных растений и оценивали уровень тератоморфности пыльцевых зёрен пчелиной обножки и пыльников донника лекарственного (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.).

Для выявления влияния условий произрастания на морфологические характеристики пыльцы льнянки обыкновенной, или львиного зева (*Linaria vulgaris* Mill. 1768, сем. Scrophulariaceae)

проводили отбор цветущих растений из фитоценозов урбанизированной территории около автомобильной магистрали в Октябрьском районе г. Новосибирска в районе пересечения ул. Никитина и ул. Кошурникова и из естественного фитоценоза на территории д. Калаганово Тогучинского района Новосибирской области, удалённой от областного центра на 90 км. Сбор проводили в августе 2015 г. Проводили также отбор в естественных фитоценозах цветков иван-чая (кипрея узколистного) (*Chamerion angustifolium* (L.) Holub 1972 [= *Epilobium angustifolium* L. = *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.]) – медоносного и лабазника (таволга) обыкновенного (*Filipendula vulgaris* Moench 1794 [*F. hexapetala* Gilib.]) – пыльценосного растений.

Материал для исследования влияния атмосферного загрязнения урбанизированных территорий на уровень тератоморфности пыльцы липы (*Tilia* sp.) получен при сборе цветков растений, произрастающих в Ленинском и Октябрьском районах г. Новосибирска. Материал собран в период массового цветения липы с 10 по 20 июля 2016 г. Сбор проводился с юго-восточной стороны кроны, с ветвей одного порядка по 10–50 цветков.

Участки сбора цветков липы располагались в парке Ленинского района «Мемориал Славы» на расстоянии 90 (участок № 1), 500 (участок № 2), 800 (участок № 3) и 920 м (участок № 4) от проезжей части ул. Станиславского. Участок № 5 располагался в сквере Новосибирского ГАУ на расстоянии 30 м от автомобильной дороги по ул. Добролюбова и 500 м от автомобильной дороги по ул. Никитина.

Отбор цветков донника лекарственного (*Melilotus officinalis* (L.) Pall) проводили в июле 2016 г. с посевов около учебной пасеки НГАУ, расположенной в Коченёвском районе Новосибирской области в 100 км от г. Новосибирска. Там же отлавливали пчёл с обножкой на прилётной доске улья в период медосбора с донника.

Готовили нативные препараты пыльцы из свежесобранных и гербарных образцов изучаемых растений. Материал для микроскопического исследования пыльцевой обножки готовили размачивая снятую из корзинок пчёл обножку в воде на предметном стекле. Пыльцу из пыльников донника стряхивали в каплю воды на предметном стекле. Для изучения морфологических особенностей пыльцу обрабатывали щелочным методом [21].

Препараты изучали с помощью светового микроскопа при $\times 400$ и $\times 1000$. В каждом образце (препарате) просматривали не менее 50 полей зрения и определяли количество нормально развитых, карликовых, гигантских и уродливых (тератоморфных) пыльцевых зёрен. Повторность трёхкратная.

Анализ состояния окружающей среды проводили по данным результатов экологического мониторинга г. Новосибирска, который осуществляется на постоянной основе ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС». В соответствии с требованиями руководящего документа (Росгидромет РД 52.04.667–2005) уровень загрязнения атмосферы дифференцирован по следующим градациям: I – низкий; II – повышенный; III – высокий; IV – очень высокий.

Обработка первичных данных проводилась с привлечением методов вариационной статистики. Для сравнения средних использовали критерий Стьюдента.

Из трёх изученных видов, произрастающих в ненарушенных фитоценозах, наибольшая вариация доли пыльцевых зёрен с ненарушенной морфологией установлена для лабазника ($C_v = 18,7\%$) и для льнянки ($C_v = 18,8\%$), собранной с урбанизированной территории (табл. 1). Доля тератоморфной, гигантской и карликовой пыльцы у лабазника из ненарушенных фитоценозов достоверно превышала эти показатели у других изученных видов, что не позволяет рассматривать данный пыльценоз в качестве перспективного в мониторинге гамеопатогенных факторов окружающей среды. Количество (92,43%) и уровень вариабельности (14,6%) морфологически не нарушенной пыльцы иван-чая из нативных ценозов позволяет считать этот вид перспективным биоиндикатором.

В августе 2015 г. в период отбора растений на территории г. Новосибирска уровень загрязнения атмосферы города был оценён как высокий и прогнозировалось его неблагоприят-

ное влияние на здоровье населения. Сравнительная оценка уровня тератоморфности пыльцы льнянки обыкновенной, полученной из пыльников растений, собранных на территории города и из естественных фитоценозов, показала отсутствие существенных различий между образцами по этому показателю (табл. 1). Образцы, собранные на урбанизированных участках, характеризовались средним количеством тератоморфных и карликовых пыльцевых зёрен на уровне 3,61 и 8,82% соответственно и отличались тем, что в них не обнаруживались гигантские (превышающие средний размер зёрен в 2–3 раза) пыльцевые зёрна.

Достоверных различий между пыльцой, отобранной из пыльников льнянки, произрастающей в различных экологических условиях, по количеству тератоморфных и карликовых зёрен не выявлено.

Таблица 1

Уровень тератоморфности пыльцевых зёрен энтомофильных растений ($\bar{x} \pm S_x$)

Вид растения	Нормальных пыльцевых зёрен, %	Cv, %	t-критерий ($t_{\text{ст}}=2,0$ p=0,05)	Доля пыльцевых зёрен, %		
				терато-морфных	карликовых	гигантских
Льнянка (город)	87,56 ± 2,60	18,8	0,53	3,61±1,53	8,82 ± 2,29***	0
Льнянка	87,92 ± 1,89	16,7		3,58±1,09	8,24 ± 1,68***	0,17 ± 0,09
Иван-чай	92,43 ± 2,87	14,6	2,09	3,38±1,59	2,08 ± 1,14	2,08 ± 1,14
Лабазник	78,57 ± 3,29	18,7		6,38±1,74	12,84 ± 3,19**	2,14 ± 1,02

Ранее было показано, что морфометрические показатели льнянки обыкновенной, собранной в условиях непосредственного воздействия выбросов Оренбургского газоперерабатывающего завода, демонстрируют снижение площади листовой пластинки, увеличение толщины листа, повышение числа цветков и семян, последнее авторы склонны рассматривать как проявление адаптации в техногенной зоне, способствующее выживанию растений в неблагоприятной среде обитания [22]. Вероятно, как показали результаты наших исследований, физиолого-морфологические адаптации льнянки обыкновенной к урбанизированным районам произрастания обеспечивают эффективный механизм защиты и репродуктивной сферы этого вида. Поэтому использование льнянки обыкновенной в целях палиноиндикации экологического благополучия городской среды нецелесообразно.

Городской воздух в июне 2016 г. был загрязнен в основном формальдегидом, диоксидом азота и пылью. Уровень загрязнения в Ленинском районе г. Новосибирска, где проводился палинологический мониторинг, оценивался как повышенный за счёт концентрации оксида углерода и пыли [23]. Повышение концентрации этих веществ в основном происходит в летние месяцы, что связано с увеличением концентрации выхлопных газов автотранспорта и слабыми ветрами, особенно в центральной части города.

Таблица 2

Уровень тератоморфности пыльцевых зёрен липы (*Tilia* sp.), г. Новосибирск, 2016 г. ($\bar{x} \pm S_x$)

Номер участка отбора проб	Нормальных пыльцевых зёрен, %	Cv, %	t-критерий ($t_{\text{ст}}=2,0$, p=0,05)	Доля пыльцевых зёрен, %	
				тератоморфных	карликовых
1	91,62±2,28с	19,3		5,47 ± 1,47	2,90 ± 1,13
2	97,29±0,87в	6,9	2,32	1,87 ± 0,76	0,84 ± 0,49
3	94,19±1,60а	13,1	1,20	3,50 ± 1,21	2,54 ± 1,08
4	94,28±1,20а	9,7	1,03	3,92 ± 1,09	1,78 ± 0,71
5	88,77±2,20с	19,0		8,14 ± 1,81	3,74 ± 1,14

Наибольшая доля тератоморфной (8,14 ± 1,81%) и карликовой (3,74 ± 1,14%) пыльцы обнаружилась у деревьев, произрастающих в сквере Новосибирского ГАУ (участок № 5) Октябрьского района (табл. 2).

Повышенный уровень загрязнения оксидом углерода и пылью в июле 2016 г. не оказывал существенного влияния на репродуктивные структуры растений в центре парковых зон Ленинского района. Достоверное снижение количества морфологически нормально развитых пыльцевых зёрен обнаружено в образцах, отобранных с участка № 1 (см. табл. 2). Средний уровень тератоморфной пыльцы, а также количество карликовых пыльцевых зёрен в этом образце составляло 5,47 и 2,90% соответственно. По сравнению с результатами, полученными другими авторами, это достаточно оптимистичные данные. Например, в черте г. Астрахани среди пыльцевых зёрен липы сердцевидной (*Tilia cordata* Mill.) наблюдали много асимметричной, а в некоторых районах до 70–90% тератоморфной пыльцы. Тератоморфизм проявлялся в изменчивости количества апертур и появлении диссимметрии, наблюдались двух-, четырех-, пятиапертурные, реже шести- и безапертурные пыльцевые зерна [13, 24, 25].

Менее всего негативных изменений пыльцы изученных растений отмечено на участке № 2, равноудалённом от транспортных магистралей и расположенном в центре парковой зоны. Это может свидетельствовать о существенной роли парковых насаждений в обеспечении экологического благополучия урбанизированных территорий.

Наибольшая доля тератоморфной ($8,14 \pm 1,81\%$) и карликовой пыльцы ($3,74 \pm 1,14\%$) обнаружилась у деревьев, произрастающих в сквере НГАУ Октябрьского района г. Новосибирска. Причём, как и на наиболее неблагоприятном участке в парке Ленинского района, коэффициент вариации изучаемого показателя был высоким ($C_v = 19,0\%$) по сравнению с вариацией в образцах, отобранных с других участков (от 6,9 до 13,1%). Вероятно, высокую изменчивость морфологических характеристик пыльцы можно использовать как свидетельство ухудшения состояния растений.

Известно, что атипичная пыльца встречается в условиях как экологического благополучия, так и неблагоприятия, но в первом случае частота естественных тератоморфных пыльцевых зёрен не превышает 3–7% от общего числа зёрен [7]. Следовательно, несмотря на повышенный уровень загрязнения атмосферного воздуха в районах палиноиндикации, экологическую ситуацию в центре парковых зон Ленинского района г. Новосибирска следует оценивать как благополучную для биоты. Поскольку наиболее существенные негативные изменения морфологии пыльцевых зёрен отмечены у липы (*Tilia* sp.), произрастающей в сквере НГАУ Октябрьского района г. Новосибирска, следует усилить контроль за состоянием атмосферных загрязнений и направить усилия на выявление гаметопатогенных факторов в этом районе.

Причины появления тератоморфных пыльцевых зёрен могут быть связаны как с антропогенной деятельностью, так и с воздействием природных факторов (экстремальные значения температуры, влажности, особенности почвенного плодородия и проч.). В связи с этим необходимо продолжить изучение влияния условий городской среды на морфологические характеристики как генеративных структур древесных растений, так и пыльцевых зёрен в составе пчелиной обножки, что позволит значительно повысить репрезентативность анализируемого материала.

Для оценки возможности замены палинологического анализа на мелиссопалинологический в мониторинговых исследованиях изучались особенности морфологии пыльцевых зёрен донника, полученных из пыльников растений и пыльцевой обножки.

Сравнительная оценка уровня тератоморфности пыльцы донника, полученной из пыльников растений и пчелиной обножки, собранных на территории пасеки, не показала наличия достоверных различий между образцами (табл. 3). Гигантских пыльцевых зёрен в образцах не наблюдалось, карликовые зёрна встречались как в обножке, так и в пыльниках. Средний показатель нормально развитых пыльцевых зёрен донника в пыльниках и в пыльцевой обножке составил $96,04 \pm 1,01$ и $97,09 \pm 0,75\%$ соответственно. Следовательно, палинологический анализ обножки адекватно отражает уровень тератоморфности пыльцевых зёрен пыльценоса, с которого она была собрана.

Известно, что пыльцевые зёрна при сборе и формировании пчёлами обножки подвергаются механическим воздействиям ротового аппарата и биохимическим воздействиям биологически активных веществ, входящих в состав меда и секретов, продуцируемых пчелой при питании. Изучение степени разрушения пыльцы в продуктах пчеловодства сотрудниками НИИ пчеловодства показывает, что механические повреждения приводят к растрескиванию на неправильной формы куски, а их количество определяется морфологической спецификой пыльцевого зерна, что приводит к возрастанию повреждённых зёрен с 1–2 до 14–22% [26].

Таблица 3

Уровень тератоморфности пыльцы донника (*Melilotus officinalis* L.) в пчелиной обножке и пыльниках растений ($\bar{x} \pm S_x$)

Вариант	Количество образцов, шт.	Нормальных пыльцевых зёрен, %	$C_v, \%$	t-критерий ($t_{st}=2,0$ $p=0,05$)	Доля пыльцевых зёрен ($\min - \max$), %	
					терато-морфных	карликовых
Пыльца донника	60	$96,04 \pm 1,01$	8,1	0,83	2,26–4,12	0,27–1,25
Обножка с донника	60	$97,09 \pm 0,75$	5,9		1,11–1,19	1,06–2,44

Полученные нами результаты показывают, что в свежесобранной обножке отсутствуют механически повреждённые зёрна, а количество морфологически типичных зёрен сопоставимо с их количеством в пыльниках растений, с которых была собрана обножка.

Ранее было показано, что уровень нарушения морфологических характеристик пыльцы является критерием оценки экологического состояния районов произрастания вида [27]. Поэтому можно утверждать, что в районе расположения учебной пасеки отсутствуют гамеопатогенные факторы.

В заключение следует подчеркнуть, что из всех изученных энтомофильных видов растений наиболее информативными в целях палиноиндикации экологического состояния городской среды являются древесные, в частности пыльцевые зёрна липы (*Tilia* sp.). Липа характеризуется высоким нектароносным потенциалом, поэтому интенсивно посещается пчелиными в период цветения. Для разработки мелиссопалинологического анализа в целях мониторинга гамеопатогенных факторов урбанизированных территорий дальнейшие исследования следует направить на сравнительный анализ уровня тератоморфности пыльцы липы из пыльников растения и пчелиных обножек.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дзюба О. Ф. Палиноиндикация состояния окружающей среды и индикация глобальных экологических процессов в историческом прошлом земли // Палинология в России. – М., 1995. – С. 104–112.
2. Дзюба О. Ф., Кочубей О. В. Качество пыльцы растений как индикатор интенсивности воздействия нефтегазового комплекса на природную среду охраняемых территорий России [Электрон. ресурс] // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2014. – Т. 9. – № 4. – Режим доступа: http://www.ngtp.ru/rub/7/48_2014.pdf.
3. Генеративная сфера высших растений – надёжный элемент биоиндикации состояния окружающей среды/Г.В. Кириллова, Н.В. Симоненко, Н.В. Стародубцева, Т.Ф. Трегуб//Палинология: теория и практика: материалы XI Всерос. палинолог. конф. 27сент.–1 окт. 2005 г. – М., 2005. – С.110–111.
4. Дзюба О. Ф., Тарасевич В. Ф. Морфологические особенности пыльцевых зёрен *Tilia cordata* Mill. в условиях современного мегаполиса//Пыльца как индикатор состояния окружающей среды и палео- экологические реконструкции: материалы I Междунар. семинара. – СПб.: ВНИГРИ, 2001. – С. 79–90.
5. Реакция мужского гаметофита *Taraxacum officinale* s.l. на химическое загрязнение среды/Т. В. Жуйкова, О.А. Северюхина, В.С. Безель, Н.М. Прушинская// Сиб. экол. журн. – 2007. – № 3. – С. 511–516.

6. Крутских Н. В., Лазарева О. В. Оценка состояния пыльцы шиповника морщинистолистного как элемент эколого-геологических исследований города Петрозаводска // Геология и полезные ископаемые Карелии / отв. ред.: А. И. Голубев, В. В. Щипцов. – Петрозаводск, 2011. – Вып. 14. – С. 203–206.
7. Тутицын С. С. Мужская генеративная сфера сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в разных экологических условиях (обзор) [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо. – 2015. – № 6. – Режим доступа: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2015/6/st_30.doc. – (Дата обращения: 05.12.2017).
8. Ерохина И. С., Елькина Н. А., Марковская Е. Ф. Палиноиндикация природной среды г. Костомукши // Уч. зап. Петрозавод. гос. ун-та. – 2011. – № 6 (119). – С. 20–23.
9. Глазунова К. П. Пыльца как индикатор негативных факторов окружающей среды: эмбриологический аспект // Пыльца как индикатор состояния окружающей среды и палеоэкологические реконструкции: материалы I Междунар. семинара. – СПб.: ВНИГРИ, 2001. – С. 61–64.
10. Бессонова В. Н. Состояние пыльцы как показатель загрязнения среды тяжелыми металлами // Экология. – Екатеринбург, 1993. – № 3. – С. 45–50.
11. Жуйкова Т. В., Позолотина В. Н., Безель В. С. Разные стратегии адаптации растений к токсическому загрязнению среды тяжелыми металлами (на примере *Taraxacum officinale* s.l.) // Экология. – 1999. – № 3. – С. 189–196.
12. Третьякова И. Н., Носкова Н. Е. Пыльца сосны обыкновенной в условиях экологического стресса // Экология. – 2004. – № 1. – С. 26–33.
13. Сероглазова Н. Г. Палиноиндикационная оценка состояния окружающей среды дельты Волги: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Астрахань, 2012. – 16 с.
14. Романова О. В. Особенности формирования генеративного аппарата яблони ягодной в условиях антропогенной нагрузки [Электрон. ресурс] // Экология, окружающая среда и здоровье человека: XXI век: материалы междунар. (заоч.) науч.-практ. конф. Красноярск, 24–27 мая 2014 г. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/download/13901193.pdf>. – (Дата обращения: 05.12.2017).
15. Роль мелиссопалинологического анализа в апимониторинге окружающей среды с использованием пчелиной обножки / Л. А. Осинцева, А. Г. Незавитин, И. В. Морузи [и др.] // Вестн. НГАУ. – 2015. – № 4 (37). – С. 58–68.
16. Осинцева Л. А., Коркина В. И. Адекватность накопления токсикантов в пыльцевой обножке медоносных пчёл уровню загрязняющих выбросов в Новосибирской области // Аграрная наука – сельскохозяйственному производству Казахстана, Сибири и Монголии: тр. XII Междунар. науч.-практ. конф. Шымкент, 16–17 апр. 2009 г. – Алматы, 2009. – С. 319–321.
17. Ломаев Г. В., Петышин А. В. Морфологические отклонения пыльцевых зёрен растений в промышленной зоне // Пчеловодство. – 2015. – № 5. – С. 12–14.
18. Ломаев Г. В., Петышин А. В. Технология получения монофлорной пыльцы-обножки // Пчеловодство. – 2014. – № 3. – С. 12–14.
19. Осинцева Л. А. Пчелиная обножка – индикатор состояния окружающей среды // Пчеловодство. – 2004. – № 3. – С. 10–11.
20. О состоянии и об охране окружающей среды Новосибирской области в 2015 году: Гос. докл. / Департамент природ. ресурсов и охраны окруж. среды Новосиб. обл. – Новосибирск, 2016. – 243 с.
21. Паушева З. П. Практикум по цитологии растений – 4-е изд. – М.: Агропромиздат, 1988. – 271 с.
22. Немерешина О. Н., Гусев Н. Ф., Петрова Г. В. Анатомо-морфологические параметры льянки обыкновенной техногенной зоны // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 9. – С. 52–55.
23. О состоянии и об охране окружающей среды Новосибирской области в 2016 году: Гос. докл. / Департамент природ. ресурсов и охраны окруж. среды Новосиб. обл. – Новосибирск, 2017.
24. 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.
25. Бакташева Н. М., Сероглазова Н. Г. Палиноиндикационные исследования в дельте Волги с использованием пыльцы *Tilia cordata* Mili. // Проблемы сохранения и рационального использования биоразнообразия Прикаспия и сопредельных регионов: материалы VIII Междунар. заоч. науч. конф. – Элиста, 2012. – С. 35–39.

26. Полевова С.В., Билаш Н.М. Степень разрушения пыльцы в продуктах пчеловодства// Палинология: теория и практика: материалы XI Всерос. палинолог. конф. 27 сент. –1 окт., 2005 г. М., 2005. – С. 206–207.

27. Дзюба О. Ф. Палиноиндикация качества окружающей среды. – СПб.: Недра, 2006. – 197с.

REFERENCES

1. Dzjuba O. F. Palinoindikacija sostojanija okružhajushhej sredy i indikacija global'nyh jekologicheskikh processov v istoricheskom prošlom zemli // *Palinologija v Rossii*. – M., 1995. – S. 104–112.
2. Dzjuba O. F. Kachestvo pyl'cy rastenij kak indikator intensivnosti vozdejstvija neftegazovogo kompleksa na prirodnuju sredu ohranjaemyh territorij Rossii/ O. F. Dzjuba, O. V. Kochubej // *Neftegazovaja geologija. Teorija i praktika*. – 2014. – T.9. – № 4. – http://www.ngtp.ru/rub/7/48_2014.pdf
3. Kirillova G. V. Generativnaja sfera vysshih rastenij – nadjozhnyj jelement bioindikacii sostojanija okružhajushhej sredy/ G. V. Kirillova, N. V. Simonenko, N. V. Starodubceva, T. F. Tregub// *Palinologija: teorija i praktika. Materialy HI Vseros. palinologicheskoy konferencii*. 27sents. –1 okt., 2005g. Moskva, 2005. – S.110–111.
4. Dzjuba O. F. Morfologicheskie osobennosti pyl'cevyh zeren *Tilia sordata* Mill. v uslovijah sovremennogo megapolisa/ O. F. Dzjuba, V. F. Tarasevich // *Pyl'ca kak indikator sostojanija okružhajushhej sredy i paleo– jekologicheskie rekonstrukcii. Materialy I Mezhdunar. seminar. SPb.: VNIGRI*, 2001. – S. 79–90.
5. Zhujkova T. V. Reakcija mužhskogo gametofita *Taraxacum officinale* s.l. na himicheskoe zagrjaznenie sredy/ T. V. Zhujkova, O. A. Severjuhina, V. S. Bezel», N. M. Prushinskaja// *Sib. jekologicheskij zhurnal*. – 2007. – № 3. – S. 511–516.
6. Krutskih N. V. Ocenka sostojanija pyl'cy shipovnika morshhinolistnogo kak jelement jekologo-geologicheskikh issledovanij goroda Petrozavodsk/ N. V. Krutskih, O. V. Lazareva// *Geologija i poleznye iskopaemye Karelii / otv. red.: A. I. Golubev, V. V. Shhipcov*. – Petrozavodsk, 2011. – Vyp. 14. – S. 203–206.
7. Tupicyn S. S. Mužhskaja generativnaja sfera sosny obyknovennoj (*Pinus sylvestris* L.) v raznyh jekologicheskikh uslovijah (obzor) // *AgroJekoInfo*. – 2015, № 6. http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2015/6/st_30.doc.
8. Erohina I. S. Palinoindikacija prirodnoj sredy g. Kostomukshi/ I. S. Erohina, N. A. El'kina, E. F. Markovskaja// *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Izd-vo: Petrozavodskij gosudarstvennyj universitet*. – 2011. – № 6 (119). – S. 20–23.
9. Glazunova K. P. Pyl'ca kak indikator negativnyh faktorov okružhajushhej sredy: jembriologicheskij aspekt // *Pyl'ca kak indikator sostojanija okružhajushhej sredy i paleojekologicheskie rekonstrukcii: materialy I Mezhdunar. seminar. SPb.: VNIGRI*, 2001. – S. 61–64.
10. Bessonova V. N. Sostojanie pyl'cy kak pokazatel' zagrjaznenija sredy tjazhelymi metallami // *Jekologija*. – Ekaterinburg, 1993. – № 3. – S. 45–50.
11. Zhujkova T. V. Raznye strategii adaptacii rastenij k toksicheskomu zagrjazneniju sredy tjazhelymi metallami (na primere *Taraxacum officinale* s.l.) / T. V. Zhujkova, V. N. Pozolotina, V. S. Bezel» // *Jekologija*. – 1999. – № 3. – S. 189–196.
12. Tret'jakova I. N. Pyl'ca sosny obyknovennoj v uslovijah jekologicheskogo stressa/ I. N. Tret'jakova, N. E. Noskova// *Jekologija*. – 2004. – № 1. – S. 26–33.
13. Seroglazova N. G. Palinoindikacionnaja ocenka sostojanija okružhajushhej sredy del'ty Volgi. – avtoref. diss. ... kand. biol. nauk. – Astrahan», 2012. – 16s.
14. Romanova O. V. Osobennosti formirovanija generativnogo apparata jabloni jagodnoj v uslovijah antropogennoj nagruzki/Mezhdunarodnaja (zaochnaja) nauchno-prakticheskaja konferencija «Jekologija, okružhajushhaja sreda i zdorov'e cheloveka: HHI vek» Krasnojarsk, 24–27 maja 2014 g. <http://elibrary.ru/download/13901193.pdf>. Data obrashhenija 22.11.2017.
15. Osinceva L. A. Rol' melissopalinologicheskogo analiza v apimonitoringe okružhajushhej sredy s ispol'zovaniem pchelinoj obnozhki / L. A. Osinceva, A. G. Nezavitin, I. V. Moruzi, E. V. Pishhenko, T. I. Bokova, M. S. Cheremis// *Vestnik NGAU*. – 2015. – № 4 (37). – S. 58–68.
16. Osinceva L. A. Adekvatnost' nakoplenija toksikantov v pyl'cevoj obnozhke medonosnyh pchjol urovnju zagrjaznjajushhih vybrosov v Novosibirskoj oblasti/ L. A. Osinceva, V. I. Korkina// *Agrarnaja nauka –*

sel'skoho zjajstvennomu proizvodstvu Kazahstana, Sibiri i Mongolii: trudy III-j Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii – Shymkent, 16–17 apr. 2009. – Almaty, 2009. S. – 319–321.

17. Lomaev G.V. Morfologicheskie otklonenija pyl'cevyh zjoren rastenij v promyshlennoj zone/ G.V. Lomaev, A.V. Petyshin// Pchelovodstvo. – 2015. № 5. – S. 12–14.

18. Lomaev G.V. Tehnologija poluchenija monoflornoj pyl'cy-obnozhki/ G.V. Lomaev, A.V. Petyshin// Pchelovodstvo. – 2014. № 3. – S. 12–14.

19. Osinceva L.A. Rol» melissopalnologicheskogo analiza v apimonitoringe okruzhajushhej sredy s ispol'zovaniem pchelinoj obnozhki/ L.A. Osinceva, I.V. Moruzi, A.G. Nezavitin, E.V. Pishhenko, T.I. Bokova, M.S. Chemeris// Vestnik NGAU. – 2015. – № 4. – S. 58–68.

20. Osinceva L.A. Pchelinaja obnozhka indikator sostojanija okruzhajushhej sredy. – Pchelovodstvo. – 2004. – № 3. – S. 10–11.

21. O sostojanii i ob ohrane okruzhajushhej sredy Novosibirskoj oblasti v 2015 godu/ Gos. doklad // Departament prirodnyh resursov i ohrany okruzhajushhej sredy Novosibirskoj oblasti. – Novosibirsk, 2016. – 243 s.

22. Pausheva Z.P. Praktikum po citologii rastenij/ 4-e izd. – M.: Agropromizdat, 1988. – 271 s.

23. Nemereshina O.N. Anatomo-morfologicheskie parametry l'njanki obyknovЕННОj tehnogennoj zony/ O.N. Nemereshina, N.F. Gusev, G.V. Petrova // Uspehi sovremennogo estestvoznanija – 2014. – № 9. – S. 52–55.

24. O sostojanii i ob ohrane okruzhajushhej sredy Novosibirskoj oblasti v 2016 godu/ Gos. doklad // Departament prirodnyh resursov i ohrany okruzhajushhej sredy Novosibirskoj oblasti. – Novosibirsk, 2017.

25. Seroglazova N.G. Indikacija chistoty okruzhajushhej sredy po sostojaniju pyl'cy rastenij, proizrastajushhih v del'te r. Volgi/ N.G. Seroglazova, N.M. Baktasheva// Vestnik MGOU. Serija Estestvennye nauki. – 2012. – № 1. – S. 65–68.

26. Baktasheva N.M. Palinoindikacionnye issledovanija v del'te Volgi s ispol'zovaniem pyl'cy Tilia cordata Mili./ N.M. Baktasheva, N.G. Seroglazova// Problemy sohraneniya i racional'nogo ispol'zovaniya bioraznoobrazija Prikaspija i sopredel'nyh regionov: materialy VIII mezhdunar. zaochnoj nauch. konf. – Jelista, 2012. – S. 35–39.

27. Polevova S.V. Stepen» razrusheniya pyl'cy v produktah pchelovodstva/ S.V. Polevova, N.M. Bilash// Palinologija: teorija i praktika. Materialy HI Vseros. palinologicheskoi konferencii. 27sent. –1 okt., 2005g. Moskva, 2005. – S. 206–207.

28. Džjuba O.F. Palinoindikacija kachestva okruzhajushhej sredy. SPb.: Nedra, 2006. – 197s.