

УДК 575.224 504.53.054
AGRIS F40

https://doi.org/10.33619/2414-2948/105/11

ЭНТОМОФИЛЬНАЯ ПЫЛЬЦА И ПЧЕЛЫ КАК БИОМОНИТОРЫ И БИОИНДИКАТОРЫ АНТРОПОГЕННОЙ ТРИАДЫ

©Кобзарь В. Н., ORCID: 0000-0001-9910-0148, SPIN-код: 4669-6355, д-р биол. наук,
Киргизско-Российский славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан, kobzarvn@yandex.ru
©Пересадин Н. А., ORCID: 0009-0001-4261-7434, д-р мед. наук, Университетская больница
им. Страдины, г. Рига, Латвия, peresadin.nikolai@yandex.ru

ENTOMOPHILOUS POLLEN AND BEES AS BIOMONITORS AND BIOINDICATORS OF THE ANTHROPOGENIC TRIAD

©Kobzar V., ORCID:0000-0001-9910-0148, SPIN-code: 4669-6355, Dr. habil.,
Kyrgyz-Russian Slavic University, Bishkek, Kyrgyzstan, kobzarvn@yandex.ru
©Peresadin N., ORCID: 0009-0001-4261-7434, Dr. habil., Stradins University Hospital,
Riga, Latvia, peresadin.nikolai@yandex.ru

Аннотация. Прогрессивное увеличение концентрации вредных загрязняющих веществ в окружающей среде угрожает здоровью человека. Для их регистрации исследователи используют биомониторы, в этом качестве хорошо себя зарекомендовали пыльца растений и медоносные пчелы (*Apis mellifera*). Особенность пчел состоит в том, что в поисках ищи они собирают загрязняющие вещества из окружающей среды: воздуха, почвы и воды в радиусе не превышаемом 3 км. Не только пыльца растений, но и медоносные пчелы могут выступать как биоиндикаторы антропогенной триады: изменения климата и традиционной системы землепользования и загрязнения окружающей среды. В разных поисковых системах интернет-пользователи интересуются этими вопросами, потому что точкой их преломления являются продукты пчеловодства, включая мед. В него попадает практически весь спектр аллергенной пыльцы. Проблема аллергии на декоративные растения до сих пор мало изучена. Сообщения о профессиональной аллергии на цветы немногочисленны и обычно касаются садоводов, рабочих теплиц, ландшафтных дизайнеров и флористов. Обращение с цветами, их запах и уход за ними могут вызывать риноконъюнктивит, пыльцевую астму, крапивницу, а также контактный дерматит. При изучении пыльцевого спектра в воздухе городов были выявлены энтомофильные пыльцевые зерна семейств мальвовые, бобовые, астровые, розоцветные. В современном мире приобрела популярность концепция «Единого здоровья», которая признает взаимосвязь здоровья людей, животных и экосистем, поэтому она принята как на национальном, так и на глобальном уровнях. В ее рамках мы формируем новую концепцию: «Энтомофильная пыльца и пчелы как биомониторы и биоиндикаторы антропогенной триады: изменения климата и системы землепользования; загрязнения окружающей среды». Цель представленной статьи заключается в систематизации полученных результатов и источников литературы в рамках формулируемой концепции.

Abstract. The progressive increase in the concentration of harmful pollutants in the environment threatens human health. To record them, researchers use biomonitors; plant pollen and honeybees (*Apis mellifera*) have proven themselves well in this capacity. The peculiarity of bees is that while searching for food, they collect pollutants from the environment: air, soil and water within a radius of no more than 3 km. Not only plant pollen, but also honeybees can act as

bioindicators of the anthropogenic triad: climate change and traditional land use systems and environmental pollution. In various search engines, Internet users are interested in these issues, because their point of refraction is beekeeping products, including honey. It includes almost the entire spectrum of allergenic pollen, starting from wormwood pollen — the regional allergen of the republic and ending with pollen of trees and shrubs. The problem of allergies to ornamental plants is still poorly understood. Reports of occupational flower allergies are few and usually involve gardeners, greenhouse workers, landscapers, and florists. Handling, smelling and caring for flowers can cause rhino conjunctivitis, asthma, urticaria, and contact dermatitis. When studying the pollen spectrum in the air of cities, entomophilous pollen grains of the families Malvaceae, Fabaceae, Asteraceae, and Rosaceae were identified. In the modern world, the concept of “One Health” has gained popularity, which recognizes the interconnectedness of the health of people, animals and ecosystems, therefore it is accepted both at the national and global levels. Within its framework, we are forming a new concept: “Entomophilous pollen and bees as biomonitors and bioindicators of the anthropogenic triad: climate change and land use systems; environmental pollution”. The purpose of the presented article is to systematize the results obtained and literature sources within the framework of the formulated concept.

Ключевые слова: пыльца энтомофильных растений, споры грибов, мед, медоносные пчелы, твердые частицы, биомониторинг, изменение климата, изменение системы землепользования, загрязнения окружающей среды, микропластик.

Keywords: entomophilous plant pollen, fungal spores, honey, honeybees, particulate matter, biomonitoring, climate change, land use change, environmental pollution, microplastics.

Прогрессивное увеличение концентрации вредных загрязняющих веществ в окружающей среде угрожает здоровью человека. Для мониторинга загрязнителей окружающей среды, потенциально опасных для здоровья человека, исследователи часто используют пыльцу растений и медоносных пчёл, называемых биоиндикаторами (биомониторами). Особенность пчел состоит в том, что в поисках пищи они собирают загрязняющие вещества из окружающей среды: воздуха, почвы и воды в радиусе не превышаемом 3 км. Не только пыльца растений, но и медоносные пчелы могут выступать как биоиндикаторы антропогенной триады: изменения климата и традиционной системы землепользования и загрязнения окружающей среды. В разных поисковых системах интернет пользователи интересуются этими вопросами, потому что точкой их преломления являются продукты пчеловодства, включая мёд. В него попадает практически весь спектр аллергенной пыльцы, начиная от пыльцы полыни — краевого аллергена республики и заканчивая пыльцой древесно-кустарниковых растений. Медоносные пчелы, в частности, оказываются исключительно ценными биомониторами из-за их способности накапливать загрязняющие вещества из воздуха, почвы и воды в определенном радиусе во время своих полетов за кормом. Проблема аллергии на пыльцу декоративных растений до сих пор мало изучена. Сообщения о профессиональной аллергии на пыльцу цветов немногочисленны и обычно касаются садоводов, рабочих теплиц, ландшафтных дизайнеров и флористов. Обращение с цветами, их запах и уход за ними могут вызывать риноконъюнктивит, астму, крапивницу, а также контактный дерматит [1-3].

В современном мире приобрела популярность концепция «Единого здоровья», которая признает взаимосвязь здоровья людей, животных и экосистем, поэтому она принята как на

национальном, так и на глобальном уровнях. В её рамках мы формулируем новую концепцию: «Энтомофильная пыльца и пчёлы как биомониторы и биоиндикаторы антропогенной триады: изменения климата и системы землепользования; загрязнения окружающей среды» (Рисунок 1). Цель представленной статьи заключается в систематизации полученных результатов исследования и источников литературы в рамках выдвинутой концепции.

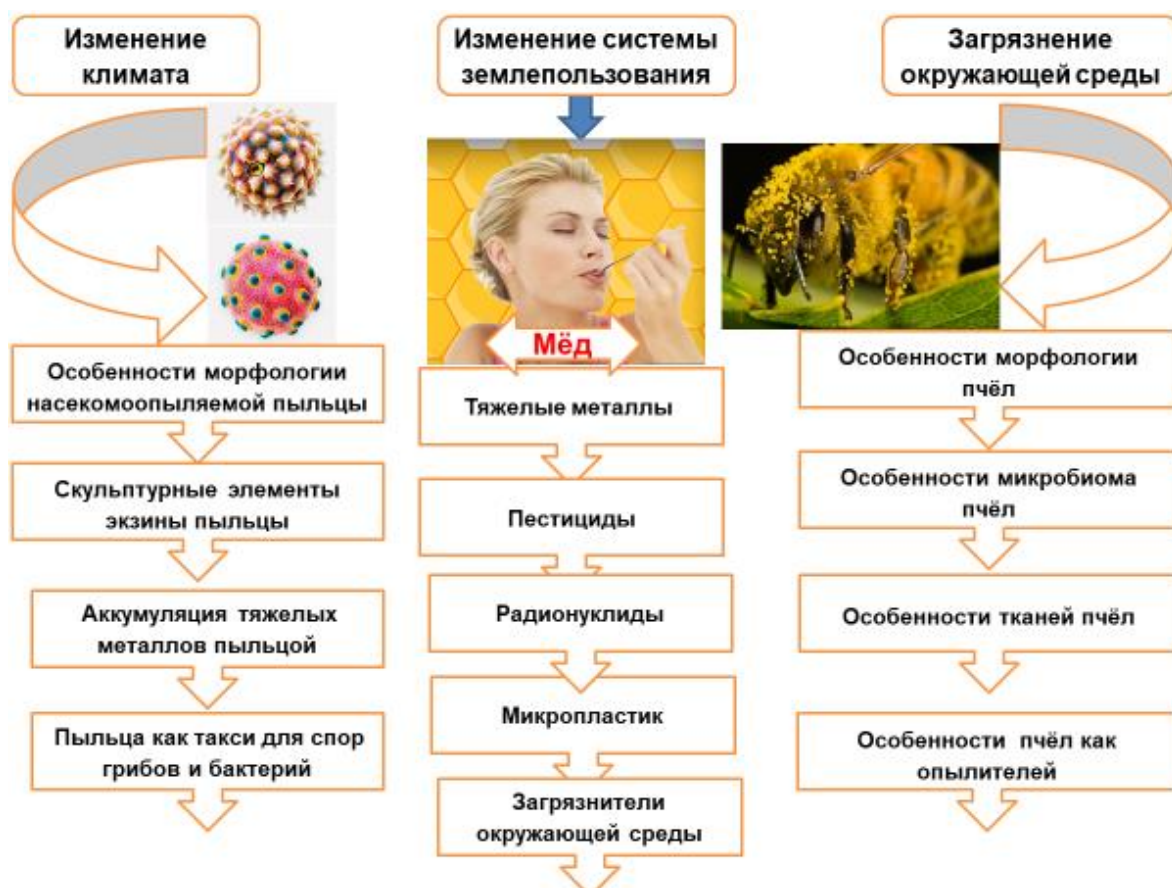


Рисунок 1. Энтомофильная пыльца и пчёлы как биомониторы и биоиндикаторы антропогенной триады: изменения климата и системы землепользования; загрязнения окружающей среды

Материалы и методы

Материал: нормально развитая и пыльца 5 видов древесно-кустарниковых и травянистых растений разных семейств собрана в период полного цветения: конского каштана, гледичии трехколючковой, боярышника обыкновенного, гибиска сирийского, мальвы пренебреженной.

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ): метод визуализации с высокой степенью, который использует лучи электронов для создания деталей изображений поверхностной структуры пыльцевых зерен.

Высохшие на воздухе пыльцевые зерна напыляют золотом и помещают под сканирующий электронный микроскоп для изучения тонких особенностей поверхности (ультраструктуры).

Результаты и их обсуждение

Характеристики адекватного биоиндикатора: 1. Обилие, широкое распространение. 2. Простая процедура идентификации и отбора образцов. 3. Высокая толерантность к

анализируемым загрязнителям. 4. Быстрая реакция на изменения в среде обитания. 5. Систематически хорошо документированы и стабильны. 6. Легкие и дешевые для исследования. Ключевые критерии для определения полезного биоиндикатора [4]:

1. Индикатор полезен, объективен, надежен и воспроизводим.
2. Базовые данные характеризуются надежными методологиями сбора, системами управления данными и процедурами обеспечения качества.
3. Полученные данные можно использовать для выявления изменений или тенденций, которые взаимосвязаны во времени и пространстве и являются репрезентативными.

Блок 1. Пыльца энтомофильных (насекомоопыляемых) растений.

«Есть ли более совершенный символ продолжения жизни, чем пыльца?» – писал французский писатель Жорж Борнес. Благодаря специфической орнаментации экзины пыльцы и ее липофильности пыльца является очень хорошим аккумулятором всех типов загрязняющих веществ: газообразных и взвешенных частиц, а также различных органических и неорганических соединений [5].

Само накопление зависит от физических и химических процессов, происходящих на поверхности экзины пыльцевого зерна. Негативным воздействием загрязнения воздуха является усиление окислительного стресса, который активирует систему антиоксидантного ответа растений. Пыльцевое зерно имеет сложную архитектуру, в которой аллергенные белки пыльцы встроены в гетерогенную матрицу многих биоактивных молекул, доставляя их одновременно во время аллергической сенсибилизации. В пыльцевом зерне выделяют: внутреннюю оболочку (интину), которая представлена белками, метаболитами, липидами, аденозином, флавоноидами и наружную скульптурированную (экзину), включающую вирусы, бактерии, споры грибов и частицы загрязнителей воздуха [6].

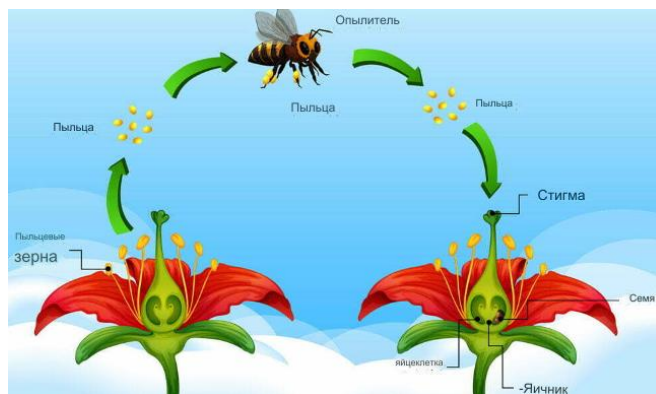


Рисунок 2. Особенности опыления у анемофильного и энтомофильного растения

Трифина — слой, не содержащий спорополленина, ламеллярного, зернистого или гомогенного строения. У энтомофильных растений она клейкая, маслянистая, пигментированная, защищает от повреждения и влаги, ароматом и цветом привлекает насекомых, помогает ей приклеиваться к телам насекомых и переноситься между цветками для опыления. У ветроопыляемых растений трифина сухая. Пыльца насекомоопыляемых растений обычно тяжелее, ярче (палитра цвета разнообразная) и крупнее, чем пыльца ветроопыляемых растений. В то время как пыльца ветроопыляемых растений легче и мельче, поскольку распространяется с помощью ветра на большие расстояния для опыления.

Известно, что около 80–90% всех видов растений используют насекомых для переноса пыльцы, причем медоносные пчелы её преимущественные переносчики. Аллергия на

энтомофильную пыльцу менее распространенное явление, чем на анемофильную, но может наблюдаться у профессиональных садоводов, работников теплиц, ландшафтных дизайнеров и флористов [1–3]. Изучена пыльца некоторых энтомофильных растений, наблюдаемых в аэриобиологических слайдах, под СЭМ.

Семейство Конскокаштановые. Пыльцевые зерна конского каштана продолговатые, 3-бороздно-поровые, в очертании с полюса почти треугольные, с экватора широкоэллиптические. Полярная ось (ПО) 22,2–24,0 мкм, Экваториальный диаметр (ЭД) 19,0–22,0 мкм. Апокольпум 3,4–4,0 мкм. Борозды широкие, 6,0–7,0 мкм длинной, заостренные со струйчатой скульптурой межбороздной поверхности. Мембраны пор, так же как и дно борозды, неравномерно покрыты шипиками, 2,0 мкм длиной и 1,0–1,5 мкм шириной, сильно выпячивающиеся за общие контуры пыльцевого зерна. Экзина более 1,0 мкм. Поверхность экзины своеобразная, струйчато-ямчатая, диаметр струек 0,3 мкм, между ними расположены ямки. Дно борозды имеет шиповатую поверхность (Рисунок 3).

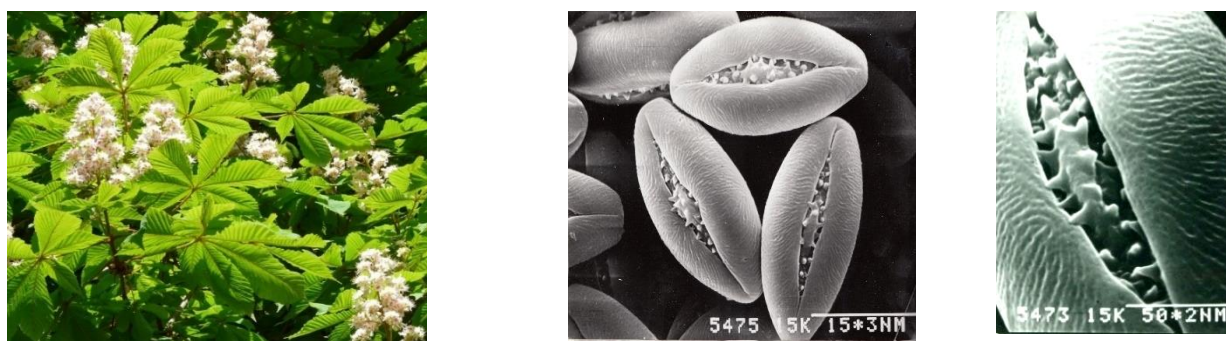


Рисунок 3. Конский каштан: пыльцевые зёрна (СЭМ: увеличение $\times 2000$ –5000)

Семейство бобовые. Пыльцевые зерна гледичии трехлопчатой 3-бороздно-поровые, эллипсоидальные, в очертании с полюса трехлопастные, с экватора эллиптические. ПО 40,0–45,0 мкм, ЭД 30,0–35,0 мкм. Борозды широкие, 16,0–17,0 мкм длинной. Поры округлые, 10,0 мкм. Экзина 1,0–1,5 мкм толщиной Поверхность экзины сетчатая, такая же, что и в области апертур. Ячеи различаются по размерам и конфигурации: от многоугольно-округлых до вытянутых, часто соединяющихся между собой. Размер ячей 2,0 мкм, сильно уменьшается к полюсам (Рисунок 4).



Рисунок 4. Гледичия трехлопчатая: соцветия и пыльцевые зёрна (СЭМ:увеличение $\times 2\ 000$ –5 000)

Семейство розоцветные. Пыльцевые зерна боярышника обыкновенного 3-бороздно-поровые, эллипсоидальные, в очертании с полюса 3-лопастные, с экватора эллиптические. ПО 36,0–41,0 мкм, ЭД 26,8–30,6 мкм. Борозды глубокие, широкие, сжатые с экватора. Поры

слабозаметные, более менее округлые или продолговатые, около 10,0 мкм в наибольшем диаметре. Диаметр апокольпиума 7,2 мкм, ширина 18,0–21,6 мкм. Экзина равномерно утолщенная, 1,5 мкм толщиной. Скульптура поверхность экзины тонкая, извилистно-струйчатая, струйки направлены под углом к друг к другу, столбики слабозаметные, край экзины почти ровный. По краю борозды струйки идут параллельно, а в мезокольпиуме под разным углом. У некоторых ПЗ борозды сливаются в области полюса (Рисунок 5).

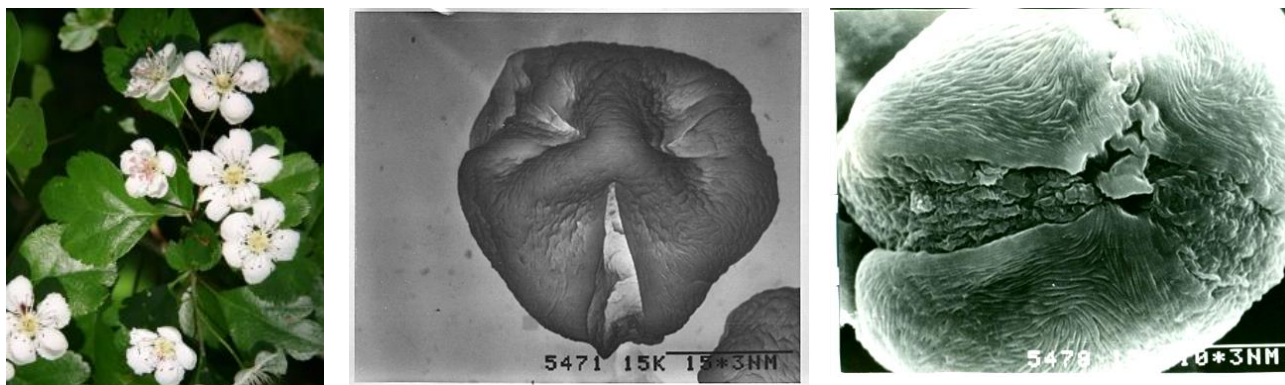


Рисунок 5. Боярышник обыкновенный: цветы и пыльцевое зерно (СЭМ: увеличение $\times 2\ 000$, $3\ 000$ – $10\ 000$)

Семейство мальвовые. Пыльцевые зерна гибиска сирийского сфероидальные, многопоровые, в очертании — округлые. Диаметр зерен с шипами — 33,6–40,0 мкм. Поры округлые или широкоэллиптические 5,0–6,0 мкм в диаметре с ровным краем. Поверхность экзины крупно шиповатая, а между шипами — складчатая. Шипы конусоидальные, мономорфные, сильно вытянутые, крупные (10,0) 15,0–20,5 мкм высотой, 5,0–6,6 мкм шириной в основании, с притупленными верхушками, на расстоянии 25,0–33,3 мкм. Основания шипов широкие (Рисунок 6).

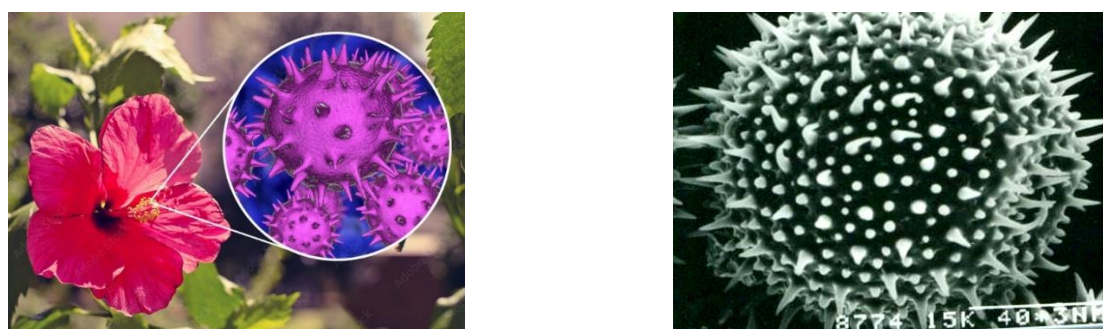


Рисунок 6. Гибиск сирийский: цветок и пыльцевое зерно (СЭМ: увеличение $\times 600$)

Пыльцевые зерна мальвы пренебреженной сфероидальные, многопоровые, в очертании округлые. Диаметр зерен с шипами – 38,0 мкм. Поры в числе более 100, округлые 1,3–2,0 мкм в диаметре с ровным краем. Поверхность экзины крупно шиповатая, а между шипами – ямчатая. Шипы остроконические, очень сильно отличающиеся друг от друга по высоте, 2,7–12,0 мкм, 2,6–4,0 мкм шириной в основании, иногда с загнутой верхушкой, бывают большие и острые или тупые и короткие, прямые или изогнутые (Рисунок 7).

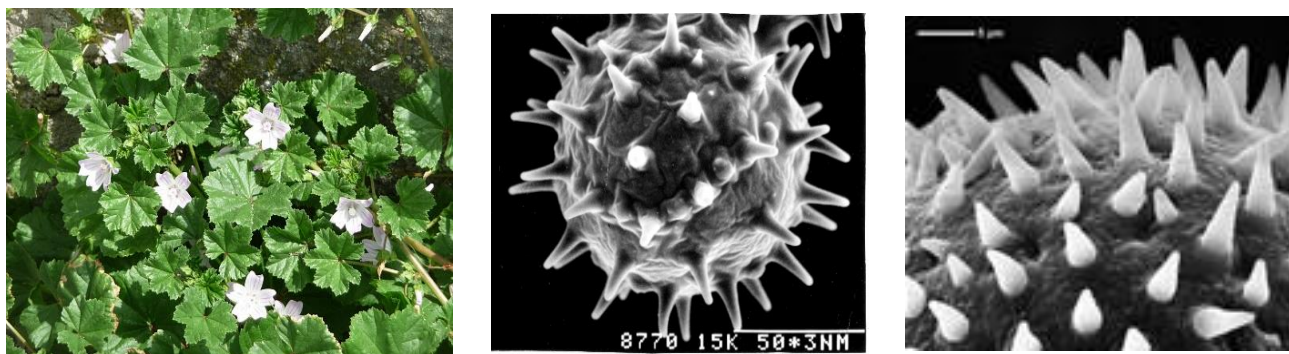


Рисунок 7. Пыльцевое зерно мальвы пренебреженной (СЭМ: увеличение $\times 600$, 3 000)

Установлено, что в аэропалинологическом спектре г. Ош пыльца мальвовых составляла 5%. Увеличение числа автомобилей и постепенный сдвиг в сторону урбанизации являются основными причинами увеличения различных типов загрязняющих веществ в окружающей среде (SO_2 , O_3 , NO , CO_2) негативно влияют на физиологическую активность растений. Считается, что пыльца накапливает большее количество загрязняющих веществ из-за своей липофильности и высокой вязкости [7, 8].

Изменение климата является физико-метеорологическим фактом и, помимо его других последствий, влияет на здоровье человека, в особенности на клинические симптомы поллиноза [9]. Температура и осадки изменяют максимумы дневной эмиссии пыльцы от 35 до 40% и увеличивают общую годовую эмиссию пыльцы на 16-40% из-за изменений в фенологии и продукции. Вклад изменения системы землепользования в распределение источников пыльцы относительно невелик ($<10\%$), по сравнению с изменением климата или CO_2 [10].

Изменение климата влияет как на начало, продолжительность и серьезность пыльцевого сезона, так и на структуру пыльцевого зерна. С повышением уровня CO_2 увеличивается фотосинтез и пыльцепродуктивность растений. Во время развития в пыльнике и при рассеивании пыльцы в окружающей среде на нее воздействует комплекс метеорологических условий и загрязнителей воздуха, тем самым усиливая тяжесть клинических проявлений аллергического ринита и бронхиальной астмы. На распределение энтомофильной пыльцы в воздухе могут повлиять изменения в традиционной системе землепользования и, в целом, антропогенная деятельность. В настоящее время сельское хозяйство и система озеленения (без учёта аллергенности растений) положительно воздействуют на распространение новых культур и акклиматизированных пород в дополнение к изменению климата, что способствует росту популяций растений и их распространению в ранее необычных местах. В мировом масштабе растет число стран, включая Кыргызстан с постоянно растущими площадями, отведенными под сельское хозяйство, что повлияет на рост аллергических заболеваний [11-13].

Установлено, что утрата биоразнообразия, изменение климата, загрязнение и микробиом взаимосвязаны, рост аллергии в городской среде также может быть связан с его сокращением [14, 15].

Наблюдаемое и прогнозируемое воздействие изменения климата на аэроаллергены включает вариации в их продукции и концентрации в атмосфере, сдвиги во времени и продолжительности пыльцевого сезона, модификации аллергенности пыльцы и спор, а также изменения в географическом и пространственном распределении аэроаллергенов и самих растений [16].

Блок 2. Медоносные пчёлы как биомониторы и биоиндикаторы.

Считают, что сложные взаимодействия между медоносными пчелами, приносимой ими пыльцой медоносов и пыльценосов, и загрязнителями воздуха в изменяющемся климате, загрязнении окружающей среды до сих пор недостаточно изучены.

Рабочие медоносные пчелы обычно живут около сорока пяти дней, проходя разные стадии развития и роли в улье [17]. Они большую часть своей жизни подвергаются воздействию загрязняющих веществ, содержащихся в пище, а также тех, которые переносятся в улей пчелами-собирающими при хранении пыльцы и нектара. Биомониторинг, в частности, приобрел популярность в медицинских исследованиях благодаря своей эффективности, специфичности и экономической эффективности [18].

В области загрязнения окружающей среды значительное внимание уделено изучению медоносных пчел и продуктов пчеловодства. Медоносные пчелы как биомониторы выделяются тем, что аккумулируют загрязняющие вещества из воздуха, почвы и воды в определенном радиусе более 3 км во время своих кормовых экспедиций [19-24], потом всё это попадает в мёд.

Характеристики медоносных пчел (и продуктов пчеловодства) как индикаторов загрязнения окружающей среды:

1. Повсеместно распространены их легко содержать и собирать [19, 25].

2. Совершают несколько походов за пищей в день (12–15 в период активности), охватывая площадь около 7 км² [10, 26], накапливая в пищеварительном тракте или непосредственно на их волосатых телах загрязняющие вещества из окружающей среде [20, 28].

Подсчитано, что одна колония медоносных пчел (из 20 000 пчел) собирает около десяти миллионов микробразцов нектара и пыльцы в день [25].

Таким образом, медоносные пчелы собирают фрагменты окружающей среды, аккумулируя загрязняющие вещества из воздуха, воды и почвы [25, 29]. По возвращении в улей пчелы-сборщицы переносят собранные загрязняющие вещества, где они впоследствии накапливаются в продуктах пчеловодства, таких как воск и мед [20, 30, 31].

3. Объединяют данные о загрязнении в пределах определенной географической области, и их относительно легко отбирать.

Кроме того, заслуживающие внимания результаты были получены при анализе пыльцы, преимуществом которой является ее легкость и доступность сбора из разных мест [7, 8, 30]. Но накопительный потенциал пыльцы во многом зависит от ее липофильности и, следовательно, от вида растений [7, 32]. Пыльца более чувствительна к изменению погодных условий, поскольку низкие температуры ограничивают кормовую деятельность медоносных пчел и, следовательно, отбор проб пыльцы [32].

Мёд может отображать сезонные, а также пространственные колебания некоторых тяжелых металлов. Следует подчеркнуть, что все исследования, оценивающие уровень загрязнения меда по сравнению с медом всей пчелы, показали, что его надежность была довольно низкой [16].

Пределы надежности ульевых матриц связаны с сезоном отбора проб, погодными условиями и кормовой деятельностью. В зависимости от используемой матрицы, а также от типа загрязнения, надежность и полезность ульевых матриц различаются. Примером этого является загрязнение ПАУ и типичные сезоны отбора проб пчелиных матриц и, в частности, кормовых медоносных пчел.

Пиковые уровни ПАУ обычно наблюдаются зимой, что объясняется более высокими

выбросами некоторых ПАУ в холодные месяцы из-за увеличения отопительной деятельности и увеличения автомобильного движения [33] и чувствительностью некоторых ПАУ к фотодеградации [34]. Однако активность кормодобывания естественным образом снижается в зимой [28], что приводит к меньшему их воздействию на пчел. Более того, большинство включенных исследований ограничивали выборку сезонами с высокой активностью кормодобывания. Поскольку для оценки критических уровней ПАУ потребуется последовательная матрица отбора проб в течение всего года, возникает естественная дилемма «не то место, не то время», что приводит к ограниченной надежности медоносных пчел как единого биомонитора загрязнения ПАУ.

Независимо от типа загрязнения, более высокие уровни обычно наблюдались летом. Тем не менее, Илиевич с соавт. [36] сообщили о пиковых уровнях кадмия и хрома у медоносных пчел зимой. Поскольку зимние пчелы редко покидают улей и, следовательно, меньше подвергаются воздействию атмосферных загрязнителей, этот факт, скорее всего, можно объяснить питанием, которое они потребляют зимой. На основании этого наблюдения изменение наблюдаемой матрицы ульев зимой на те, которые лучше отражают загрязнение источников пищи, кажется благоприятным. Что касается других источников пищи, таких как пыльца и прополис, лишь немногие исследования оценивали уровни загрязняющих веществ в этих матрицах [7, 8, 30, 35].

На активность добывания пищи влияет не только температура, но и скорость ветра, влажность и облачность [25]. В дополнение к этим естественным погодным условиям, факторы окружающей среды, такие как плохое качество воздуха или вырубка лесов и урбанизация, влияют на кормление медоносных пчел. Продолжительность поиска пищи увеличивается пропорционально увеличению концентрации твердых частиц [37]. Более того, если источников пищи недостаточно, медоносные пчелы увеличивают обычное расстояние кормления с нескольких сотен метров вокруг улья до километров в поисках пищи [25]. Это может привести к неожиданно низким концентрациям загрязняющих веществ у медоносных пчел, находящихся на предположительно загрязненных участках. Однако удивительно высокие уровни загрязняющих веществ в районах, удаленных от источников загрязнения, можно объяснить дрейфом и переносом на большие расстояния от удаленных источников загрязнения [36, 37]. Эти результаты могут указывать на то, что места отбора проб не следует выбирать априори, а выбирать так, чтобы они отражали концентрации на всей территории [36].

Используя подход «Единое здоровье», можно достичь более безопасного мира для всех живых существ, способствуя балансу между развитием человека и сохранением экосистем [38]. Эта концепция не только защищает здоровье человека, но также признает внутреннюю ценность биоразнообразия и решающую роль, которую животные и окружающая среда играют в нашем общем благополучии. С точки зрения гигиены окружающей среды медоносную пчелу можно рассматривать как модельный организм для концепции «Единое здоровье» [39]. Его применение в качестве биомонитора позволяет устанавливать соответствующие уровни загрязняющих веществ, а также делать выводы о качественном состоянии окружающей среды. Оценка всего тела медоносной пчелы позволяет объединить загрязняющие вещества, присутствующие в окружающем воздухе, почве и воде, и, следовательно, дает общую картину состояния загрязнения на определенной территории. Как организм, который сам по себе находится под сильным влиянием погодных условий, изменения ландшафта и загрязнения [35, 40, 41], который сообщил, что из-за истощения природных ресурсов изученные медоносные пчелы использовали смолу и асфальт для

производства прополиса. Угроза общему здоровью человека, связанная с деградацией природных экосистем, очевидна [35], биомониторинг медоносных пчел предоставляет ценную информацию о состоянии общей окружающей среды. [37].

Медоносная пчела сама по себе оказалась самой надежной матрицей, позволяющей обнаруживать пространственные и сезонные изменения в определенных загрязняющих веществах. Однако надежность медоносных пчел или продуктов пчеловодства в качестве биомониторов зависит от множества переменных. Некоторые из них весьма неопределенны, тогда как другие можно учесть, следуя определенным рекомендациям. Во-первых, необходимо контролировать как минимум три улья на участке, чтобы учитывать различия в одной и той же семье. Во-вторых, для проверки пространственной изменчивости различные участки должны быть расположены на расстоянии не менее 8 км друг от друга, чтобы свести к минимуму вероятность перекрытия территорий из-за радиуса полета кормящихся медоносных пчел. В-третьих, в зависимости от интересующего загрязнителя для достижения более значимых результатов могут потребоваться дополнительные матрицы ульев или другие методы мониторинга. Более того, авторы исследования должны осознавать, что на кормление медоносных пчел влияют многочисленные факторы, что затрудняет создание стандартных значений и методов. В-четвертых, медоносные пчелы вместо пыльцы стали приносить в ульи микропластик, в настоящее время установлено наличие полимерных частиц в мёде.

Следует также учитывать, что при аллергических реакциях на пыльцу, употреблять мёд и цветочную пыльцу в пищу или как лечебное средство, несмотря на их целебные свойства, категорически запрещается. Это связано с тем, что в мёд попадает практически весь спектр аллергенной пыльцы, начиная от пыльцы полыни — краевого аллергена республики и заканчивая пыльцой древесно-кустарниковых растений. В него также попадают споры грибов, вегетирующие на пыльце многих растений или как результат фитопатологии.

Мониторинг окружающей среды на предмет загрязнения пестицидами, тяжелыми металлами и грибковыми и бактериальными патогенами имеет решающее значение для защиты здоровья людей, сельского хозяйства и экосистем в целом. Использование медоносных пчел в качестве биомониторов представляет собой возможность для непрерывного мониторинга загрязнения, дополняющую традиционные методы. Такой подход предлагает более всеобъемлющий и сложный взгляд на здоровье окружающей среды, согласующийся с концепцией «Единое здоровье», которая признает взаимосвязь здоровья окружающей среды, животных и человека. Посредством мониторинга медоносных пчел мы можем получить ценную информацию об условиях окружающей среды и, как следствие, о благополучии сообществ, проживающих в этой среде. Тем не менее, нынешний объем исследований в этой области ограничен, часто сосредотачивается на контрастных ландшафтах и оценке аналогичных типов загрязнителей без достаточной концептуализации. Это подчеркивает необходимость дальнейших исследований и стандартизации исследований по биомониторингу медоносных пчел. Подобные усилия не только улучшат наше понимание окружающей среды, но и будут способствовать развитию доступных и широко применимых методов мониторинга. С точки зрения гигиены окружающей среды необходимы стандартизированные исследования, чтобы создать доступный протокол мониторинга и обеспечить более однородную интерпретацию уровней, обнаруженных в матрицах ульев.

Из-за изменения климата и загрязнения среды обитания человека концентрация в атмосфере таких триггерных факторов, как пыльца и споры прогрессивно увеличивается и вызывает аллергический ринит и бронхиальную астму у сенсibilизированных больных.

Пыльца анемофильных, а иногда энтомофильных растений как ведущая причина поллиноза является одним из основных компонентов в составе атмосферного биоаэрозоля.

Мониторинг аэроаллергенов уже давно считается исследователями ключевым индикатором состояния окружающей среды для изменения климата [42]. В связи с признанием взаимодействия физических, химических и биологических аспектов атмосферы, необходим комплексный подход не только к мониторингу и оценке, но также к прогнозированию и информированию населения о качестве воздуха [43].

Мы отметили прогрессирующий рост исследований и систематических обзоров по биомониторам как индикаторам комплексной триады изменения климата, загрязнения окружающей среды и изменением ранее существующей системы землепользования.

Доказательства воздействия изменения климата и традиционной системы землепользования, а также загрязнения среды обитания человека на продуктивность, концентрацию аэроаллергенов, сезонность, распределение и увеличение их аллергенного потенциала продолжают накапливаться и заполнять пробелы, которые остаются в наших знаниях по этой сложной комплексной теме. Изменение климата, урбанизация, связанная с загрязнением окружающей среды, способствуют изменчивости характеристик аэроаллергенов, приводя к растущему числу больных поллинозами и бронхиальной астмой.

В будущем из-за последствий антропогенной триады сценарий роста растений может быть изменен таким образом, что новая рассеиваемая пыльца будет уже модифицирована и негативно повлияет на здоровье человека через ингаляционные и пищевые аллергены. Как следствие, в средне- и долгосрочной перспективе ожидается рост заболеваемости аллергическими заболеваниями, вторичными по отношению к пыльце.

Основные эффекты влияния антропогенной триады: изменения климата, системы землепользования и урбанизации, загрязнения среды обитания человека на пыльцу энтомофильных растений и медоносных пчёл:

1) наблюдаются более раннее сроки и удлинение сезона пылевания медоносов и пыльценосов;

2) увеличение концентрации и видового состава пыльцы аллергенных растений в воздухе городов, в связи с выращиванием новых сельскохозяйственных культур (изменения традиционной системы землепользования) и озеленения растениями, имеющими выраженные аллергенные свойства;

3) изменение аллергенного потенциала под воздействием загрязняющих веществ: увеличение числа аллергенов, содержащихся в пыльце;

4) вегетирование на пыльце бактерий и спор грибов, изменяющих структуру пыльцевого зерна;

5) медоносные пчелы (*Apis mellifera*) зарекомендовали себя как отличные биомониторы и биоиндикаторы: а) устойчивы и накапливают или реагируют на стрессоры, не разрушаясь; б) переносят загрязняющие вещества: тяжелые металлы, пестициды, микропластик и болезнетворные микроорганизмы (бактерии, споры грибов) в свои ульи; в) служат для мониторинга возникающих экологических угроз, таких как изменение климата, ландшафта и традиционной системы землепользования.

б) мёд обладает аллергенными свойствами, так как в него попадает пыльца как медоносов и пыльценосов, так и споры грибов.

Список литературы:

1. Girotti S., Ghini S., Ferri E. Bioindicators and biomonitoring: honeybees and hive products as pollution impact assessment tools for the Mediterranean area // Euro-Mediterr J Environ Integr.

2020. 5, 62. <https://doi.org/10.1007/s41207-020-00204-9>
2. Bookman R. Pollinosis due to insect pollinated plants // *Ann Allergy*. 1979. №43(2). P. 133.
 3. Lewis W. H., Dixit A. B., Wedner H. J. Aeropollen of weeds of the western United States Gulf Coast // *Ann Allergy*. 1991. №67(1). P. 47-52.
 4. Garrec J. P. Use of pollen in plant biomonitoring of air pollution // *Environ. News*, 2006. №12. P. 2.
 5. Swierczyńska-Machura D, Krakowiak A, Pałczyński C. Alergia zawodowa spowodowana przez rośliny ozdobne // *Med. Pr.* 2006. №57(4). P. 359-64.
 6. Gilles S., Behrendt H., Ring J., Traidl-Hoffmann C. The Pollen Enigma: Modulation of the Allergic Immune Response by Non-allergenic // *Pollen-Derived Compounds*. 2012. №18 (16). P. 2314–2319. <https://doi.org/10.2174/138161212800166040>.
 7. Lambert O., Veyrand B., Durand S., Marchand P., Le Bizec B., Piroux M., Puyo S., Thorin C., Delbac F., Pouliquen H. Polycyclic aromatic hydrocarbons: Bees, honey and pollen as sentinels for environmental chemical contaminants // *Chemosphere*. 2012. №86. P. 98–104. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.09.025>
 8. Lambert O., Piroux M., Puyo S., Thorin C., Larhantec M., Delbac F., Pouliquen H. Bees, honey and pollen as sentinels for lead environmental contamination. // *Environ. Pollut.* 2012. №170. P. 254–259. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.07.012>
 9. Anenberg S. C., Haines S., Wang, E. Synergistic health effects of air pollution, temperature, and pollen exposure: a systematic review of epidemiological evidence // *Environ. Health*. 2020. №19. P. 130. <https://doi.org/10.1186/s12940-020-00681-z>
 10. Zhang Y., Steiner A. Projected climate-driven changes in pollen emission season length and magnitude over the continental // *United States Nature Communications*. 2022. V. 13. P. 1234.
 11. Cecchi L., Morabito M., Domeneghetti M. P. Long distance transport of ragweed pollen as a potential cause of allergy in central Italy // *Ann. Allergy Asthma Immunol.* 2006. №96. P. 86–91.
 12. Gornall J., Betts R., Burke E., Clark R., Camp J., Willett K., Wiltshire A. Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century // *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2010. V. 365. №1554. P. 2973-2989. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0158>
 13. Кобзарь В. Н., Осмонбаева К. Б. Влияние изменения землепользования на аэромикологический спектр. // *Бюллетень науки и практики*. 2018. Т.4. №11. С. 51–60.
 14. Haahtela T. A biodiversity hypothesis // *Allergy*. 2019. №74. P. 1445–1456.
 15. Haahtela T., Holgate S., Pawankar R. The biodiversity hypothesis and allergic disease: World allergy organization position statement // *World Allergy Organ. J.* 2013. №6. P. 3. <https://doi.org/10.1186/1939-4551-6-3>
 16. Beggs P. G. Climate change, aeroallergens, and the aeroexposome // *Environ. Res. Lett.* 2021. №3. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abda6f>
 17. Devillers J. Honey Bees: Estimating the Environmental Impact of Chemicals. Taylor and Francis; London // *The ecological importance of honey bees and their relevance to ecotoxicology*; 2002. P. 1–11.
 18. Al-Alam J., Chbani A., Faljoun Z., Millet M. The use of vegetation, bees, and snails as important tools for the biomonitoring of atmospheric pollution-a review // *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2019. №26. P. 9391–9408. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04388-8>
 19. Perugini M., Manera M., Grotta L., Abete M.C., Tarasco R., Amorena M. Heavy metal (Hg, Cr, Cd, and Pb) contamination in urban areas and wildlife reserves: Honeybees as bioindicators. // *Biol. Trace Elem. Res.* 2011. №140. P. 170–176. <https://doi.org/10.1007/s12011->

010-8688-z

20. Negri I., Mavris C., Di Prisco G., Caprio E., Pellecchia M. Honey Bees (*Apis mellifera*, L.) as Active Samplers of Airborne Particulate Matter. // PLoS. 2015. №10. P. e0132491. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132491>

21. Van der Steen J. J., de Kraker J., Grotenhuis T. Spatial and temporal variation of metal concentrations in adult honeybees (*Apis mellifera* L.) // Environ. Monit. Assess. 2012. №184. P. 4119–4126. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2248-7>

22. Badiou-Beneteau A., Benneveau A., Geret F., Delatte H., Becker N., Brunet J. L., Reynaud B., Belzunces L. P. Honeybee biomarkers as promising tools to monitor environmental quality // Environ. Int. 2013. №60. P. 31–41. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.07.002>

23. Ruschioni S., Riolo P., Minuz R.L., Stefano M., Cannella M., Porrini C., Isidoro N. Biomonitoring with honeybees of heavy metals and pesticides in nature reserves of the Marche Region (Italy) // Biol. Trace Elem. Res. 2013. №154. P. 226–233. <https://doi.org/10.1007/s12011-013-9732-6>

24. Gutierrez M., Molero R., Gaju M., van der Steen J.J., Porrini C., Ruiz J. A. Assessment of heavy metal pollution in Cordoba (Spain) by biomonitoring foraging honeybee // Environ. Monit. Assess. 2015. №187. P. 651. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4877-8>

25. Porrini C., Ghini S., Girotti S., Sabatini A.G., Gattavecchia E., Celli G.B., Devillers J., Pham-Delègue M.-H. Use of Honey Bees as Bioindicators of Environmental Pollution in Italy. CRC Press; Boca Raton, FL, USA. 2002.

26. Martinello M., Manzinello C., Borin A., Avram L. E., Dainese N., Giuliano I., Mutinelli F. A survey from 2015 to 2019 to investigate the occurrence of pesticide residues in dead honeybees and other matrices related to honeybee mortality incidents in Italy // Diversity. 2019. V. 12. №1. P. 15. <https://doi.org/10.3390/d12010015>

27. Adey M. On the scientific front // Bee World. 1984. V. 65. №3. P. 137-138. <https://doi.org/10.1080/0005772X.1984.11098794>

28. Devillers J., Pham-Delègue M. H. (ed.). Honey bees: estimating the environmental impact of chemicals. – CRC Press, 2002.

29. Celli G., Maccagnani B. Honey bees as bioindicators of environmental pollution // Bulletin of Insectology. 2003. V. 56. №1. P. 137-139..

30. Satta A., Verdinelli M., Ruiu L., Buffa F., Salis S., Sassu A., Floris I. Combination of beehive matrices analysis and ant biodiversity to study heavy metal pollution impact in a post-mining area (Sardinia, Italy) // Environmental Science and Pollution Research. 2012. V. 19. P. 3977-3988. <https://doi.org/10.1007/s11356-012-0921-1>

31. Leita L., Muhlbachova G., Cesco S., Barbattini R., Mondini C. Investigation of the use of honey bees and honey bee products to assess heavy metals contamination. // Environ. Monit. Assess. 1996. №43. P. 1–9. <https://doi.org/10.1007/BF00399566>

32. Evans D. E., Taylor P. E., Singh M. B., Knox R. B. Quantitative analysis of lipids and protein from the pollen of *Brassica napus* L. // Plant Sci. 1991. №73. P. 117–126. [https://doi.org/10.1016/0168-9452\(91\)90133-S](https://doi.org/10.1016/0168-9452(91)90133-S)

33. Chen S. J., Wang J., Wang T., Wang T., Mai B. X., Simonich S. L. M. Seasonal variations and source apportionment of complex polycyclic aromatic hydrocarbon mixtures in particulate matter in an electronic waste and urban area in South China // Sci. Total Environ. 2016. №573. P. 115–122. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.101>

34. Smith K. E. C., Thomas G. O., Jones K. C. Seasonal and Species Differences in the Air–Pasture Transfer of PAHs // Environ. Sci. Technol. 2001. №35. P. 2156–2165.

<https://doi.org/10.1021/es000200a>

35. Kargar N., Matin G., Matin A. A., Buyukisik H. B. Biomonitoring, status and source risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) using honeybees, pine tree leaves, and propolis. // *Chemosphere*. 2017. №186. P. 140–150. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.07.127>

36. Ilijević K., Vujanović D., Orčić S., Purać J., Kojić D., Zarić N., Čelić T. V. Anthropogenic influence on seasonal and spatial variation in bioelements and non-essential elements in honeybees and their hemolymph // *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*. 2021. V. 239. P. 108852. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2020.108852>

37. Cho Y., Jeong S., Lee D., Kim S. W., Park R. J., Gibson L., Park C. R. Foraging trip duration of honeybee increases during a poor air quality episode and the increase persists thereafter // *Ecology and Evolution*. 2021. V. 11. №4. P. 1492-1500. <https://doi.org/10.1002/ece3.7145>

38. Lerner H., Berg C. The concept of health in One Health and some practical implications for research and education: what is One Health? // *Infection ecology & epidemiology*. 2015. V. 5. №1. P. 25300. <https://doi.org/10.3402/iee.v5.25300>

39. De Jongh E. J., Harper S. L., Yamamoto S. S., Wright C. J., Wilkinson C. W., Ghosh S., Otto S. J. One Health, One Hive: A scoping review of honey bees, climate change, pollutants, and antimicrobial resistance // *PloS one*. 2022. V. 17. №2. P. e0242393. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242393>

40. Mair K. S., Irrgeher J., Haluza D. Elucidating the Role of Honey Bees as Biomonitors in Environmental Health Research // *Insects*. 2023. V. 14. №11. P. 874. <https://doi.org/10.3390/insects14110874>

41. Matin G., Kargar N., Buyukisik H. B. Bio-monitoring of cadmium, lead, arsenic and mercury in industrial districts of Izmir, Turkey by using honey bees, propolis and pine tree leaves // *Ecological Engineering*. 2016. V. 90. P. 331-335. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.01.035>

42. English P. B., Sinclair A. H., Ross Z., Anderson H., Boothe V., Davis C., Simms E. Environmental health indicators of climate change for the United States: findings from the State Environmental Health Indicator Collaborative // *Environmental health perspectives*. 2009. V. 117. №11. P. 1673-1681. <https://doi.org/10.1289/ehp.0900708>

43. Klein T., Kukkonen J., Dahl Å., Bossioli E., Baklanov A., Vik A. F., Sofiev M. Interactions of physical, chemical, and biological weather calling for an integrated approach to assessment, forecasting, and communication of air quality // *Ambio*. 2012. V. 41. P. 851-864. <https://doi.org/10.1007/s13280-012-0288-z>

References:

1. Girotti, S., Ghini, S., & Ferri, E. (2020). Bioindicators and biomonitoring: honeybees and hive products as pollution impact assessment tools for the Mediterranean area. *Euro-Mediterr J Environ Integr*, 5, 62. <https://doi.org/10.1007/s41207-020-00204-9>

2. Bookman, R. (1979). Pollinosis due to insect pollinated plants. *Ann Allergy*. Aug. 43(2), 133.

3. Lewis, W. H., Dixit, A. B., & Wedner, H. J. (1991). Aeropollen of weeds of the western United States Gulf Coast. *Ann Allergy*, 67(1), 47-52.

4. Garrec, J. P. (2006). Use of pollen in plant biomonitoring of air pollution. *Environ. News*, 12, 2.

5. Swierczyńska-Machura, D., Krakowiak, A., & Pałczyński, C. (2006). Alergia zawodowa spowodowana przez rośliny ozdobne. *Med. Pr.*, 57(4), 359-64.

6. Gilles, S., Behrendt, H., Ring, J., & Traidl-Hoffmann, C. (2012). The Pollen Enigma:

Modulation of the Allergic Immune Response by Non-allergenic, *Pollen-Derived Compounds*, 18 (16), 2314–2319. <https://doi.org/10.2174/138161212800166040>

7. Lambert, O., Veyrand, B., Durand, S., Marchand, P., Le Bizec, B., Piroux, M., Puyo, S., Thorin, C., Delbac, F., & Pouliquen, H. (2012). Polycyclic aromatic hydrocarbons: Bees, honey and pollen as sentinels for environmental chemical contaminants. *Chemosphere*, 86, 98–104. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.09.025>

8. Lambert, O., Piroux, M., Puyo, S., Thorin, C., Larhantec, M., Delbac, F., & Pouliquen, H. (2012). Bees, honey and pollen as sentinels for lead environmental contamination. *Environ Pollut*, 170, 254–259. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.07.012>

9. Anenberg, S. C., Haines, S., & Wang, E. (2020). Synergistic health effects of air pollution, temperature, and pollen exposure: a systematic review of epidemiological evidence. *Environ. Health*, 19, 130. <https://doi.org/10.1186/s12940-020-00681-z>

10. Zhang, Y., & Steiner, A. (2022). Projected climate-driven changes in pollen emission season length and magnitude over the continental. *United States Nature Communications*, 13, 1234.

11. Cecchi, L., Morabito, M., & Domeneghetti, M. P. (2006). Long distance transport of ragweed pollen as a potential cause of allergy in central Italy. *Ann. Allergy Asthma Immunol*, 96, 86–91.

12. Gornall, J., Betts, R., Burke, E., Clark, R., Camp, J., Willett, K., & Wiltshire, A. (2010). Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), 2973–2989. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0158>

13. Kobzar, V., & Osmonbaeva, K. (2018). Effects of change land use on aeromicrobiological spectrum. *Bulletin of Science and Practice*, 4(11), 51–60. (in Russian).

14. Haahtela, T. (2019). A biodiversity hypothesis. *Allergy*, 74, 1445–1456.

15. Haahtela, T., Holgate, S., Pawankar, R., Akdis, C. A., Benjaponpitak, S., Caraballo, L., ... & von Hertzen, L. (2013). The biodiversity hypothesis and allergic disease: world allergy organization position statement. *World Allergy Organization Journal*, 6, 3. <https://doi.org/10.1186/1939-4551-6-3>

16. Beggs, P. G. (2021). Climate change, aeroallergens, and the aeroexposome. *Environ. Res. Lett.*, 3. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abda6f>

17. Devillers, J. (2002). Honey Bees: Estimating the Environmental Impact of Chemicals. Taylor and Francis. 1–11.

18. Al-Alam, J., Chbani, A., Faljoun, Z., & Millet, M. (2019). The use of vegetation, bees, and snails as important tools for the biomonitoring of atmospheric pollution—a review. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 26, 9391–9408. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04388-8>

19. Perugini, M., Manera, M., Grotta, L., Abete, M. C., Tarasco R., Amorena M. (2011). Heavy metal (Hg, Cr, Cd, and Pb) contamination in urban areas and wildlife reserves: Honeybees as bioindicators. *Biol. Trace Elem. Res.*, 140, 170–176. <https://doi.org/10.1007/s12011-010-8688-z>

20. Negri, I., Mavris, C., Di Prisco, G., Caprio, E., & Pellicchia, M. (2015). Honey Bees (*Apis mellifera*, L.) as Active Samplers of Airborne Particulate Matter. *PLoS one*, 10, e0132491. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132491>

21. Van der Steen, J. J., de Kraker, J., & Grotenhuis, T. (2012). Spatial and temporal variation of metal concentrations in adult honeybees (*Apis mellifera* L.). *Environ. Monit. Assess*, 184, 4119–4126. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2248-7>

22. Badiou-Beneteau, A., Benneveau, A., Geret, F., Delatte, H., Becker, N., Brunet, J. L., Reynaud, B., & Belzunces, L. P. (2013). Honeybee biomarkers as promising tools to monitor

environmental quality. *Environ. Int.*, 60, 31–41. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.07.002>

23. Ruschioni, S., Riolo, P., Minuz, R.L., Stefano, M., Cannella, M., Porrini, C., & Isidoro, N. (2013). Biomonitoring with honeybees of heavy metals and pesticides in nature reserves of the Marche Region (Italy). *Biol. Trace Elem. Res.*, 154, 226–233. <https://doi.org/10.1007/s12011-013-9732-6>

24. Gutierrez, M., Molero, R., Gaju, M., van der Steen, J. J., Porrini, C., & Ruiz, J. A. (2015). Assessment of heavy metal pollution in Cordoba (Spain) by biomonitoring foraging honeybee. *Environ. Monit. Assess*, 187, 651. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4877-8>

25. Porrini, C., Ghini, S., Girotti, S., Sabatini, A. G., Gattavecchia, E., Celli, G. B., Devillers, J., & Pham-Delègue, M.-H. (2002). Use of Honey Bees as Bioindicators of Environmental Pollution in Italy.

26. Martinello, M., Manzinello, C., Borin, A., Avram, L. E., Dainese, N., Giuliano, I., ... & Mutinelli, F. (2019). A survey from 2015 to 2019 to investigate the occurrence of pesticide residues in dead honeybees and other matrices related to honeybee mortality incidents in Italy. *Diversity*, 12(1), 15. <https://doi.org/10.3390/d12010015>

27. Adey, M. (1984). On the scientific front. *Bee World*, 65(3), 137-138. <https://doi.org/10.1080/0005772X.1984.11098794>

28. Devillers, J., & Pham-Delègue, M. H. (Eds.). (2002). *Honey bees: estimating the environmental impact of chemicals*.

29. Celli, G., & Maccagnani, B. (2003). Honey bees as bioindicators of environmental pollution. *Bulletin of Insectology*, 56(1), 137-139.

30. Satta, A., Verdinelli, M., Ruiu, L., Buffa, F., Salis, S., Sassu, A., & Floris, I. (2012). Combination of beehive matrices analysis and ant biodiversity to study heavy metal pollution impact in a post-mining area (Sardinia, Italy). *Environmental Science and Pollution Research*, 19, 3977-3988. <https://doi.org/10.1007/s11356-012-0921-1>

31. Leita, L., Muhlbachova, G., Cesco, S., Barbattini, R., & Mondini, C. (1996). Investigation of the use of honey bees and honey bee products to assess heavy metals contamination. *Environ. Monit. Assess*, 43, 1–9. <https://doi.org/10.1007/BF00399566>

32. Evans, D. E., Taylor, P. E., Singh, M. B., Knox, R. B. (1991). Quantitative analysis of lipids and protein from the pollen of *Brassica napus* L. *Plant Sci.*, 73, 117–126. [https://doi.org/10.1016/0168-9452\(91\)90133-S](https://doi.org/10.1016/0168-9452(91)90133-S)

33. Chen, S. J., Wang, J., Wang, T., Wang, T., Mai, B. X., & Simonich, S. L. M. (2016). Seasonal variations and source apportionment of complex polycyclic aromatic hydrocarbon mixtures in particulate matter in an electronic waste and urban area in South China. *Sci. Total Environ*, 573, 115–122. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.101>

34. Smith, K. E. C., Thomas G. O., Jones K. C. (2001). Seasonal and Species Differences in the Air–Pasture Transfer of PAHs. *Environ. Sci. Technol*, 35, 2156–2165. <https://doi.org/10.1021/es000200a>

35. Kargar, N., Matin, G., Matin, A. A., & Buyukisik, H. B. (2017). Biomonitoring, status and source risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) using honeybees, pine tree leaves, and propolis. *Chemosphere*, 186, 140–150. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.07.127>

36. Ilijević, K., Vujanović, D., Orčić, S., Purać, J., Kojić, D., Zarić, N., ... & Čelić, T. V. (2021). Anthropogenic influence on seasonal and spatial variation in bioelements and non-essential elements in honeybees and their hemolymph. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 239, 108852. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2020.108852>

37. Cho, Y., Jeong, S., Lee, D., Kim, S. W., Park, R. J., Gibson, L., ... & Park, C. R. (2021). Foraging trip duration of honeybee increases during a poor air quality episode and the increase persists thereafter. *Ecology and Evolution*, 11(4), 1492-1500. <https://doi.org/10.1002/ece3.7145>
38. Lerner, H., & Berg, C. (2015). The concept of health in One Health and some practical implications for research and education: what is One Health?. *Infection ecology & epidemiology*, 5(1), 25300. <https://doi.org/10.3402/iee.v5.25300>
39. de Jongh, E. J., Harper, S. L., Yamamoto, S. S., Wright, C. J., Wilkinson, C. W., Ghosh, S., & Otto, S. J. (2022). One Health, One Hive: A scoping review of honey bees, climate change, pollutants, and antimicrobial resistance. *PloS one*, 17(2), e0242393. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242393>
40. Mair, K. S., Irrgeher, J., & Haluza, D. (2023). Elucidating the Role of Honey Bees as Biomonitors in Environmental Health Research. *Insects*, 14(11), 874. <https://doi.org/10.3390/insects14110874>
41. Matin, G., Kargar, N., & Buyukisik, H. B. (2016). Bio-monitoring of cadmium, lead, arsenic and mercury in industrial districts of Izmir, Turkey by using honey bees, propolis and pine tree leaves. *Ecological Engineering*, 90, 331-335. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.01.035>
42. English, P. B., Sinclair, A. H., Ross, Z., Anderson, H., Boothe, V., Davis, C., ... & Simms, E. (2009). Environmental health indicators of climate change for the United States: findings from the State Environmental Health Indicator Collaborative. *Environmental health perspectives*, 117(11), 1673-1681. <https://doi.org/10.1289/ehp.0900708>
43. Klein, T., Kukkonen, J., Dahl, Å., Bossioli, E., Baklanov, A., Vik, A. F., ... & Sofiev, M. (2012). Interactions of physical, chemical, and biological weather calling for an integrated approach to assessment, forecasting, and communication of air quality. *Ambio*, 41, 851-864. <https://doi.org/10.1007/s13280-012-0288-z>

Работа поступила
в редакцию 01.07.2024 г.

Принята к публикации
10.07.2024 г.

Ссылка для цитирования:

Кобзарь В. Н., Пересадин Н. А. Энтомофильная пыльца и пчелы как биомониторы и биоиндикаторы антропогенной триады // Бюллетень науки и практики. 2024. Т. 10. №8. С. 91-107. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/105/11>

Cite as (APA):

Kobzar, V. & Peresadin, N. (2024). Entomophilous Pollen and Bees as Biomonitors and Bioindicators of the Anthropogenic Triad. *Bulletin of Science and Practice*, 10(8), 91-107. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/105/11>