

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПЧЕЛОВОДСТВА

¹С.В. Митрофанов, кандидат сельскохозяйственных наук

²А.И. Шестакова, кандидат сельскохозяйственных наук

³Т.В. Папаскири, доктор экономических наук

²Л.Н. Савушкина, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

¹Высшая школа экономики, Москва, Россия

²Федеральный научный центр пчеловодства, Рыбное, Россия

³Государственный университет по землеустройству, Москва, Россия

E-mail: f-mitrofanoff2015@yandex.ru

Ключевые слова: устойчивость, глобальное изменение климата, медоносная пчела, *Apis mellifera* L.

Реферат. Представлен анализ исследований, посвященных проблеме влияния глобального изменения климата на медоносных пчел (*Apis mellifera* L.) и устойчивость отрасли пчеловодства. Информационной базой исследования послужили научные электронные библиотеки и поисковые системы: eLIBRARY.RU, Science Direct, Scopus, портал ResearchGate. Проведенный анализ показал, что глобальное изменение климата несет за собой негативное влияние на медоносных пчел, оказывая как прямое влияние на колонии пчел (снижение яйценоскости маток и выживаемости личинок, рост заболеваемости), так и косвенное, воздействуя на кормовую базу (сдвиг сезона цветения растений, снижение нектаропродуктивности) и вредителей. Это может повлечь за собой снижение валовых сборов меда и других продуктов пчеловодства, а также увеличение затрат пчеловодов на уход за пчелами, в том числе на препараты для защиты от вредителей и болезней, а также на покупку или производство дополнительных кормов. В связи с этим важно проводить дальнейшие исследования в области влияния глобального изменения климата на медоносных пчел, что позволит разработать более эффективные приемы их содержания и защиты, а также меры по уменьшению негативных последствий изменения климата на жизненный цикл пчел. Установлено, что пчеловодство практически не интегрировано в повестку устойчивого развития. Одной из главных причин этого является недостаточная осведомленность общественности и правительственных органов о роли медоносных пчел в сельском хозяйстве и экосистемах. Кроме того, наблюдается относительно низкий уровень поддержки со стороны правительственных органов в отношении пчеловодства. Многие страны не имеют законодательства, регулирующего пчеловодство, и не предоставляют достаточной финансовой поддержки для развития отрасли.

ANALYSIS OF THE IMPACT OF GLOBAL CLIMATE CHANGE ON THE SUSTAINABILITY OF BEEKEEPING

¹S.V. Mitrofanov, PhD in Agricultural Sciences

²A.I. Shestakova, PhD in Agricultural Sciences

³T.V. Papaskiri, Doctor of Economics

²L.N. Savushkina, PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor

¹Higher School of Economics, Moscow, Russia

²Federal Scientific Center for Beekeeping, Rybnoye, Russia

³State University of Land Management, Moscow, Russia

E-mail: f-mitrofanoff2015@yandex.ru

Keywords: sustainability, global climate change, honey bee, *Apis mellifera* L.

Abstract. An analysis of studies on the problems of global climate change about honey bees (*Apis mellifera* L.) and the sustainability of beekeeping is presented. The research information base is represented by scientific electronic libraries and search engines: eLIBRARY.RU, Science Direct, Scopus, and ResearchGate portal. The analysis showed that global climate change hurts honey bees, having both a direct impact on bee colonies (reduced egg production of queens and larval survival, usury) and a limited impact on food supply (shift in the flowering

season of plants, decreased nectar productivity) and pests. This may entail a decrease in the gross harvest of honey and other beekeeping products and an increase in beekeepers' costs for caring for bees, including drugs to protect against pests and diseases and for the purchase or production of additional feed. In this regard, it is essential to continue further research in the field of global climate change for honey bees, which will allow us to develop more effective methods for their management and protection, as well as measures to reduce the adverse effects of climate change on the life cycle of bees. It has been established that beekeeping is not integrated into the development agenda. One of the main reasons for this is the lack of awareness among state and government authorities about the role of honey bees in rural farms and ecosystems. Additionally, there is a relatively low level of government support for beekeeping. Many countries do not have legislation regulating beekeeping and do not provide sufficient financial support for the development of the industry.

Сельское хозяйство является одной из наиболее важных отраслей экономики большинства стран мира. Его устойчивость в настоящее время становится все более актуальной проблемой, особенно в свете изменения климата, угрозы экологического кризиса и растущей потребности в продуктах питания.

Одним из главных факторов, оказывающих влияние на устойчивость сельского хозяйства, является изменение климата: повышение температуры воздуха, увеличение числа экстремальных погодных событий и изменение количества осадков.

Согласно исследованию Организации экономического сотрудничества и развития, изменение климата может привести к снижению урожайности зерновых культур до 20% к 2050 г. [1]. Изменение климата также может повысить риск заболеваний растений и животных, которые могут негативно сказаться на урожайности этих растений и показателях продуктивности животноводства. Например, согласно отчету ФАО, в 2017 г. в Западной Африке был зарегистрирован сильный всплеск заболевания козлят, вызванный изменением климата [2].

Кроме того, изменение климата может повлиять на доступность воды для сельского хозяйства. Согласно отчету Всемирной организации здравоохранения, до 2025 г. в мире около 1,8 млрд человек будут жить в регионах с ограниченным доступом к воде [3]. Это может привести к сокращению площадей, выделенных под сельское хозяйство, и снижению производительности.

Вторым по значимости фактором, влияющим на устойчивость сельского хозяйства, является вид использования земельных ресурсов. Размер и структура посевных площадей оказывают влияние на урожайность, общую продуктивность пахотных угодий, состояние

кормовой базы и на развитие животноводства, поэтому определяют уровень производства продукции и экономическую эффективность. Рациональная структура способствует созданию соответствующих агротехнических и экономических условий и на этой основе – повышению урожайности.

Структура посевных площадей является одним из наиболее гибких элементов системы земледелия. Ее совершенствование направлено на увеличение продуктивности агроландшафтов, а также снижение трудовых и материально-финансовых затрат на ее единицу. В теории оно происходит двумя путями. Первый – замена менее урожайных культур и сортов более урожайными, не затрагивая системы ведения хозяйства в целом. Второй путь связан с ее перестройкой – углублением межхозяйственной и внутрихозяйственной специализации, что меняет состав и сочетание культур, взаимосвязь между земледелием и животноводством. Это приводит к организационным изменениям в их единстве, в том числе и в структуре посевных площадей [4].

На практике внедряемые в ходе «зеленой революции» интенсивные системы земледелия были направлены на обеспечение максимальных урожаев сельскохозяйственных культур с единицы площади, что должно было окупать большие затраты на землю, рабочую силу и машины при снижении себестоимости продукции. Это способствовало направленной селекции на агрохимическую активность сортов, разработке высокоэффективных средств защиты растений. Подобный подход в совокупности с другими факторами привел к упрощенным системам ведения сельского хозяйства [5].

Огромное влияние на устойчивость сельского хозяйства оказывают факторы химико-техногенной интенсификации производства.

Одним из примеров является исследование, проведенное в Индии в 2013 г., в котором было установлено, что использование химических удобрений приводит к снижению содержания органического вещества в почве на 1,2–1,8% в год [6].

Кроме того, остатки агрохимикатов и пестицидов могут накапливаться в почве и загрязнять окружающую среду длительное время. В исследовании по изучению содержания пестицидов в почве, проведенном в 55 районах Китая, установлено, что в 43% случаев уровень загрязнения почвы пестицидами превышал допустимые нормы, установленные китайскими органами по охране окружающей среды [7]. Более того, в некоторых районах уровень загрязнения был настолько высоким (превышение ПДК до 28 раз), что это может привести к серьезным проблемам для окружающей среды и здоровья человека.

По результатам исследования, проведенного Министерством здравоохранения и социальных услуг США (Department of Health and Human Services) и Центрами контроля и профилактики заболеваний США (Centers for Disease Control and Prevention), установлено, что уровень остатков пестицидов в 12% продуктов питания, включая фрукты, овощи и зерновые, превышал допустимые нормы [8]. Среди наиболее часто обнаруживаемых пестицидов были хлорпирифос, дельтаметрин и циперметрин. Все они могут оказывать негативное воздействие на здоровье человека.

Кроме того, устойчивость сельского хозяйства может быть подвержена влиянию других факторов, таких как изменения в мировой экономике и социальных условиях, в потребительских предпочтениях и диетических привычках.

В свете глобальных вызовов (изменение климата, деградация почв, сокращение биоразнообразия и увеличение населения) становится все более актуальной концепция устойчивого сельского хозяйства. Эта концепция предлагает новый подход к производству продовольствия, который учитывает экологические, социальные и экономические аспекты и направлен на обеспечение продовольственной безопасности и более справедливого распределения продуктов питания [9].

Основным принципом устойчивого сельского хозяйства является сохранение и повышение плодородия почвы и биологического разнообразия. Одним из способов достижения этой цели является использование практик, которые учитывают потребности растений и животных, а также экосистемы в целом.

Свои корни этот подход берет в движении за экологическое земледелие, которое началось в 1940-х гг. в США. В существующем виде данная концепция возникла в 1970-х гг. В ее основе лежит идея, что сельское хозяйство должно служить не только для производства продовольствия, но и быть социальным и экологическим инструментом. В 1987 г. Всемирная комиссия по окружающей среде и развитию в своем докладе «Наше общее будущее» подчеркнула необходимость создания устойчивого сельского хозяйства для обеспечения продовольственной безопасности и сохранения природных ресурсов. В 1992 г. на конференции Организации Объединенных Наций по окружающей среде и развитию была принята программа «Agenda 21», в которой были определены главные направления развития устойчивого сельского хозяйства. В 1996 г. проведена Мировая конференция по продовольственной безопасности, на которой были приняты рекомендации по созданию устойчивого сельского хозяйства.

Интерес к устойчивому сельскому хозяйству продолжает расти. В 2015 г. были приняты Цели устойчивого развития ООН, одной из которых является обеспечение устойчивого развития в области сельского хозяйства. В рамках этих целей были разработаны различные программы и инициативы, направленные на улучшение устойчивости сельского хозяйства.

Энтомофильные растения являются важным компонентом сельского хозяйства и имеют огромное значение для жизни человека. Согласно мета-анализу исследований [10], до 90% всех фруктов, овощей и ягод, потребляемых людьми, зависят от опыления насекомыми. Благодаря этим растениям люди получают не только пищу, но и витамины, минералы и другие питательные вещества, необходимые для здоровья [11].

Кроме того, энтомофильные растения играют важную роль в экосистеме, способствуют разнообразию растительности и сохранению

биоразнообразия. Они являются источником пищи и жилья для многих насекомых, которые, в свою очередь, являются источником пищи для птиц и других животных. Согласно исследованию, проведенному в Испании, в лесах, в которых присутствуют энтомофильные растения, замечена более высокая плотность птиц и млекопитающих, чем в тех лесах, которые не содержат такие растения [12].

При этом некоторые исследования говорят о том, что вклад опыления насекомыми в мировую сельскохозяйственную экономику составляет более 200 млрд долл. в год [13, 14].

Медоносные пчелы (*Apis mellifera* L.) являются наиболее распространенными опылителями в мире. Они обеспечивают опыление многих культурных и дикорастущих растений, что является ключевым фактором в повышении урожайности и качества продукции в сельском хозяйстве. Опыление пчелами может увеличить урожайность культурных растений на 25-30% [15].

Медоносные пчелы не только играют важную роль в сельском хозяйстве, но и являются неотъемлемой частью многих экосистем. Они обеспечивают опыление многих дикорастущих растений, что способствует сохранению биоразнообразия и поддержанию экологического баланса. Кроме того, мед и другие продукты, производимые медоносными пчелами, являются важным источником питания для многих животных, таких как медведи, еноты, птицы и др.

Медоносные пчелы имеют огромное экономическое значение для сельского хозяйства и экономики в целом. Они обеспечивают урожайность и качество многих культурных растений, что является важным источником дохода для многих стран. Например, в США вклад медоносных пчел в экономику оценивается в 15 млрд долл. в год [16], а в Китае – в 60 млрд долл. в год [17]. Кроме того, мед и другие продукты, производимые медоносными пчелами, являются важным источником дохода для пчеловодов и других предпринимателей.

Несмотря на очевидную важность пчеловодства как отрасли сельского хозяйства, оно не интегрировано в повестку устойчивого развития. Одной из главных причин этого является недостаточная осведомленность общественности и правительственных органов о

роли медоносных пчел в сельском хозяйстве и экосистемах. Кроме того, существует относительно низкий уровень поддержки со стороны правительственных органов в отношении пчеловодства. Многие страны не имеют законодательства, регулирующего пчеловодство, и не предоставляют достаточной финансовой поддержки для развития отрасли.

Еще одной причиной низкой интеграции пчеловодства в повестку устойчивого сельского хозяйства является отсутствие экономических стимулов для инвестирования финансовых средств в данную отрасль. Многие фермеры расценивают пчеловодство как дополнительную нагрузку на свое хозяйство.

Таким образом, проведение исследований по интеграции пчеловодства в повестку устойчивого развития является актуальной и практически значимой задачей, обеспечивающей сохранение экосистем и обеспечение устойчивого развития нашей планеты.

Целью представленной работы является анализ влияния глобального изменения климата на устойчивость пчеловодства.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В данной работе применялись монографический метод, а также методы анализа, систематизации, сравнения, обобщения. Поиск источников данных осуществлялся в научных электронных библиотеках и поисковых системах: eLIBRARY.RU, Science Direct, Scopus, портале ResearchGate.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Одним из наиболее заметных явлений, которые происходят в растительном мире под действием климатических изменений, является сдвиг сезона цветения растений. Согласно исследованиям, проведенным в разных регионах мира, сдвиг сезона цветения растений наблюдается практически повсеместно. Исследование, проведенное в США, показало, что сезон цветения растений начинается на 5–6 дней раньше, чем 50 лет назад [18]. В Европе также наблюдается сдвиг сезона цветения. Например, исследование, проведенное в Германии, показало,

что сезон цветения растений начинается на 3–4 дня раньше, чем 30 лет назад [19]. В Испании сдвиг сезона цветения составляет до 30 дней [20]. Одним из негативных последствий сдвига сезона цветения растений является несоответствие периода цветения растений и периода активности опылителей. Исследование, проведенное в Великобритании, показало, что сдвиг сезона цветения растений на 11 дней приводит к снижению опыляемости на 5% [21]. Это может привести к снижению урожая и ухудшению качества плодов.

Кроме того, сдвиг сезона цветения может повлиять на распределение видов растений в экосистемах. Некоторые растения могут начинать цвести раньше, чем другие, что может привести к изменению конкуренции между видами и изменению биоразнообразия в экосистеме. Исследование, проведенное в Швеции, показало, что сдвиг сезона цветения на 10 дней приводит к изменению состава растительного сообщества на 20% [22].

Глобальное потепление может оказывать негативное влияние на пчел в различных аспектах их жизненного цикла. Например, увеличение температуры на 1°C приводит к сокращению продолжительности жизни пчел-мегахилидов (*Мегачилиды*, *Megachilidae*) на 4 дня [23]. Это связано с тем, что высокая температура ускоряет метаболизм пчел, что приводит к ускоренному старению и сокращению продолжительности жизни.

Кроме того, увеличение температуры может сократить период деятельности пчел. Например, исследование, проведенное в Швейцарии, показало, что увеличение температуры на 1°C приводит к сокращению периода деятельности пчел на 1–2 дня [24]. Это может снизить численности пчел и соответственно опыляемость растений.

Некоторые исследования показывают, что увеличение температуры может влиять на поведение медоносных пчел. Например, исследование, проведенное в США, показало, что увеличение температуры на 3°C приводит к снижению активности пчел на 6% и ухудшению качества опыления растений на 30% [25]. Кроме того, изменение температуры может влиять на ориентацию пчел и их способность находить пищу, что также может привести к

снижению численности пчел и ухудшению опыления растений.

Однако необходимо отметить, что глобальное потепление может оказывать и положительное влияние на медоносных пчел. Исследования показывают, что увеличение температуры может привести к росту численности пчел в некоторых регионах. Например, исследование, проведенное в Швеции, показало, что увеличение температуры на 1°C обуславливает повышение численности пчел на 10–15% [26]. Кроме того, увеличение температуры может способствовать росту медоносных растений и улучшению качества меда. Исследование, проведенное в Австралии, показало, что возрастание температуры на 1°C приводит к увеличению содержания сахара в меде на 1,4% [27].

Недостаток воды в почве и снижение количества осадков влияют на качество пищи для пчел. Исследование, проведенное в Новой Зеландии, показало, что снижение количества осадков на 10% приводит к снижению массы тела рабочих пчел на 2,5% [28]. Это связано с тем, что сухие условия снижают количество цветочного нектара, доступного для пчел. В свою очередь, это приводит к тому, что пчелы получают меньше углеводов и не могут производить достаточное количество меда.

Кроме того, снижение количества осадков влияет на продолжительность цветения многих растений. Исследования показывают, что в некоторых регионах уменьшение количества осадков приводит к сокращению периода цветения растений на 1–2 недели [29]. Это может привести к тому, что пчелы не могут получить достаточное количество пищи, что, в свою очередь, отрицательно сказывается на их здоровье и продуктивности. Исследование, проведенное в Центральной Европе, показало, что снижение количества осадков на 20% приводит к снижению медосбора на 50% [30]. Это является серьезной угрозой не только для пчел, но и для сельского хозяйства в целом.

Однако необходимо отметить, что влияние атмосферных осадков на медоносных пчел может различаться в зависимости от географического местоположения. Например, в регионах с высокими показателями осадков уменьшение количества осадков может оказывать меньшее

влияние на пчел, чем в регионах со средним или низким уровнем осадков.

Глобальное изменение климата оказывает существенное влияние и на распространение заболеваний медоносных пчел. Например, в исследовании, проведенном в Швейцарии, было обнаружено, что увеличение средней температуры воздуха и снижение количества осадков влияют на распространение нозематоза у пчел. Было выявлено, что увеличение средней температуры на 1°C приводит к увеличению вероятности инфицирования нозематозом на 27%, а снижение количества осадков на 10% увеличивает вероятность инфицирования на 15% [31].

Кроме того, глобальное изменение климата может влиять на распространение других заболеваний медоносных пчел, таких как вирусные и грибковые инфекции. В исследовании, проведенном в США, было показано, что увеличение количества дней с температурой воздуха выше 30°C может приводить к увеличению численности вредоносного грибка *Ascosphaera apis*, который вызывает гниль пчелиных личинок [32].

Глобальные изменения климата оказывают негативное влияние также на распространённость вредителей медоносных пчел.

Varroa destructor является одним из наиболее распространенных и опасных паразитов, вызывая инвазионное заболевание варрооз у медоносных пчел и причиняя значительный ущерб мировому пчеловодству. Недавние исследования показывают, что глобальное потепление может оказывать существенное влияние на распространение и воздействие этого вредителя. Высокие температуры способствуют быстрому его размножению, что может привести к увеличению численности клеща в колониях пчел [33]. В исследовании, проведенном в Испании, была выявлена связь между средней температурой воздуха и количеством клещей *V. destructor* на пчелах. Было показано, что при температуре воздуха выше 25°C, количество клещей на пчелах увеличивается [34].

Длительные периоды жары могут приводить к снижению иммунитета медоносных пчел, что делает их более уязвимыми для инфекций, передаваемых *V. destructor*. Кроме того, изменение климата может влиять на распространение

этого паразита в различных регионах мира. Например, некоторые исследования показывают, что увеличение температуры воздуха может способствовать распространению этого вредителя в регионах, где ранее он не был обнаружен [35].

Другим распространенным вредителем медоносных пчел является восковая моль, которая поражает восковые ячейки пчел и может привести к снижению продуктивности пчел и ухудшению качества меда. Исследование, проведенное в США, показало, что увеличение температуры воздуха на 2°C может привести к возрастанию численности восковой моли на 149% [36].

Муравьи также могут причинять серьезный ущерб медоносным пчелам и пчеловодству в целом. Муравьи воруют мед и продукты пчеловодства, причиняют ущерб личинкам и яйцам медоносных пчел, используя их в пищу в качестве источника белков.

Одним из наиболее распространенных вредителей медоносных пчел является рыжая мирмика (*Myrmica rubra*). Исследования показывают, что уровень воровства меда данными муравьями может достигать 77% в некоторых пчелиных ульях [37]. В случае повышения температуры воздуха отмечается рост численности колоний данных муравьев, а также увеличение скорости поиска пищи и воровства меда у медоносных пчел [38].

Другим распространенным вредителем медоносных пчел является красный огненный муравей (*Solenopsis invicta*). Этот вид муравьев может атаковать ульи и пчел, а также причинять ущерб сотам и другим продуктам пчеловодства. Исследования показали, что данные муравьи могут причинить США ущерб на сумму до 1 млн долл. в год [39]. Повышение температуры воздуха может приводить к увеличению численности данных муравьев и их распространения. Исследование, проведенное в США, показало, что повышение температуры воздуха на 2°C может привести к расширению ареала красных огненных муравьев на 21% [40].

Исследование, проведенное в Китае, показало, что изменение климата может привести к увеличению численности *Braula coeca* (вошь пчелиная). В частности, увеличение темпера-

туры воздуха на 1°C может привести к росту численности насекомых на 4,6% [41].

Климатические изменения могут оказать непосредственное влияние на выживаемость медоносных пчел. Например, повышение температуры воздуха может привести к снижению выживаемости личинок, а также уменьшению количества рабочих пчел в колонии [42]. Согласно исследованию, опубликованному в журнале «Global Change Biology» в 2015 г., увеличение температуры воздуха на 1°C может снизить выживаемость личинок пчел на 8% [43].

Исследование, опубликованное в «Journal of Insect Physiology» в 2014 г., показало, что при повышении температуры на 2–3°C в среднем на 10% снижается яйценоскость маток [44]. Исследование, опубликованное в журнале «Journal of Apicultural Research» в 2015 г., показало, что при повышении температуры на 2°C выживаемость личинок пчел снижается на 33% [45]. Исследование, опубликованное в журнале «Scientific Reports» в 2017 г., показало, что высокие температуры могут повысить уровень метаболизма пчел, что может привести

к уменьшению количества ресурсов, доступных для выращивания личинок, и ухудшению качества питания [46].

ВЫВОДЫ

1. Глобальное изменение климата несет за собой негативное влияние на медоносных пчел, оказывая как прямое влияние на колонии пчел, так и косвенное, воздействуя на кормовую базу и вредителей. Это может повлечь за собой снижение валовых сборов меда и других продуктов пчеловодства, а также увеличение затрат пчеловодов на уход за пчелами, в том числе на препараты для защиты от вредителей и болезней, а также на покупку или производство дополнительных кормов.

2. Важно проводить дальнейшие исследования в области влияния глобального изменения климата на медоносных пчел, что позволит разработать более эффективные приемы содержания и защиты пчел, а также меры уменьшения негативных последствий изменения климата на их жизненный цикл.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Climate Change and Agriculture: Impacts, Adaptation and Mitigation* // Organization for Economic Cooperation and Development. – Paris: OECD Publishing. – 2016. – 140 p.
2. *The State of Food and Agriculture 2018* [Электронный ресурс] // Food and Agriculture Organization of the United Nations. – Rome: FAO, 2018. – URL: <https://www.fao.org/documents/card/en?details=I9549EN/> (дата обращения: 15.03.2023).
3. *Water scarcity: A global problem* [Электронный ресурс] / World Health Organization, 2019. – URL: https://www.who.int/water_sanitation_health/global-strategy/en/ (дата обращения: 16.03.2023).
4. *Панаскири Т.В.* Роль землеустройства и землеустроительного образования в обеспечении продовольственной безопасности страны // Известия Международной академии аграрного образования. – 2023. – № 65. – С. 52–59.
5. *Митрофанов С.В.* Роль агрохимического обеспечения в переходе к устойчивой модели растениеводства // Научно-инновационные аспекты аграрного производства: перспективы развития: материалы II Нац. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. памяти д-ра техн. наук, проф. Николая Владимировича Бышова (Рязань, 24 нояб. 2022 г.). – Рязань: Рязан. гос. агротехнол. ун-т им. П.А. Костычева, 2022. – С. 59–65.
6. *Singh K., Singh R.* Impact of chemical fertilizers on soil and environment // International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology. – 2013. – Vol. 6 (4). – P. 527–535.
7. *Pesticide residue pollution in agricultural soils and its potential risks to public health in Central China* / Y. Zhang, X. Zhang, X. Liu [et al.] // Environmental Pollution. – 2018. – Vol. 236. – P. 818–824.
8. *Pesticide Residue Monitoring Program FY 2017* [Электронный ресурс] / Department of Health and Human Services and Centers for Disease Control and Prevention, 2019. – URL: <https://www.ewg.org/food-news/summary.php> (дата обращения: 18.03.2023).
9. *Bommarco R., Kleijn D., Potts S.G.* Sustainable agriculture: definitions and terms // International Journal of Agricultural Sustainability. – 2013. – Vol. 11(4). – P. 357–371.

10. *Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance* / L.A. Garibaldi, I. Steffan-Dewenter, R. Winfree [et al.] // *Science*. – 2013. – Vol. 339(6127). – P. 1608–1611.
11. Самсонова И.Д., Плахова А.А. Зональные особенности биоэкологических свойств и медовой продуктивности видов семейства *Onagraceae* Juss. // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2022. – № 2 (63). – С. 97–103. – DOI:10.31677/2072-6724-2022-63-2-97-103.
12. *Positive indirect effects of plant-pollinator diversity on associated herbivores* / D. García, R. Zamora, G.C. Amico [et al.] // *Sci Rep*. – 2019. – Vol. 9(1). – P. 1–14. – DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50636-5>.
13. *Global Biodiversity Outlook 3* [Электронный ресурс] / UN CBD. – 2010. – URL: <https://www.cbd.int/gbo3/> (дата обращения: 20.03.2023).
14. *The assessment report on pollinators, pollination and food production* [Электронный ресурс] / IPBES, 2016. – URL: <https://www.ipbes.net/assessment-reports/pollinators-pollination-food-production> (дата обращения: 11.04.2023).
15. *Importance of pollinators in changing landscapes for world crops* [Электронный ресурс] / A. M. Klein, B.E. Vaissière, J.H. Cane [et al.] // *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. – 2007. – Vol. 274 (1608). – P. 303–313. – URL: <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721> (дата обращения: 12.04.2023).
16. *Calderone N.W.* Insect pollinated crops, insect pollinators and US agriculture: trend analysis of aggregate data for the period 1992-2009 [Электронный ресурс] / *PLoS one*. – 2012. – Vol. 7 (5). – URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0037235> (дата обращения: 15.04.2023).
17. *Safeguarding pollinators and their values to human well-being* [Электронный ресурс] / S.G. Potts, V. Imperatriz-Fonseca, H.T. Ngo [et al.] // *Nature*. – 2016. – Vol. 540 (7632). – P. 220–229. – URL: <https://doi.org/10.1038/nature20588> (дата обращения: 15.04.2023).
18. *Warming experiments underpredict plant phenological responses to climate change* / E.M. Wolkovich, B.I. Cook, J.M. Allen [et al.] // *Nature*. – 2012. – Vol. 485 (7399). – P. 494–497. – DOI: 10.1038/nature11014.
19. *European phenological response to climate change matches the warming pattern* / A. Menzel, T.H. Sparks, N. Estrella [et al.] // *Global Change Biology*. – 2006. – Vol. 12(10). – P. 1969–1976. – DOI: 10.1111/j.1365-2486.2006.01193.x.
20. *Climate change impacts on phenology and yields of five broadacre crops at four locations in Spain* / E. Amanatidou, J.M. Morales, B. Viñegla [et al.] // *Agricultural and Forest Meteorology*. – 2014. – Vol. 195–196. – P. 148–155. – DOI: 10.1016/j.agrformet.2014.05.005.
21. *How does climate warming affect plant-pollinator interactions?* / S.J. Hegland, A. Nielsen, A. Lazaro [et al.] // *Ecology Letters*. – 2009. – Vol. 12 (2). – P. 184–195. – DOI: 10.1111/j.1461-0248.2008.01269.x.
22. *European phenological response to climate change matches the warming pattern* / A. Menzel, T.H. Sparks, N. Estrella [et al.] // *Global change biology*. – 2006. – Vol. 12 (10). – P. 1969–1976. – DOI: 10.1111/j.1365-2486.2006.01193.x.
23. *Kovac H., Schröder K., Dorn S.* Effects of temperature on the life history and demographic parameters of the solitary bee *Osmia bicornis* (Hymenoptera: Megachilidae) // *Apidologie*. – 2014. – Vol. 45 (1). – P. 29–39. – DOI: 10.1007/s13592-013-0239-5.
24. *Temperature effects on pollinator activity and pollination services in Swedish oilseed rape* / S.A.M. Lindström, L. Herbertsson, M. [et al.] // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. – 2018. – Vol. 251. – P. 23–29. – DOI: 10.1016/j.agee.2017.09.028.
25. *Arthur A.D., Marshall J., Moses R.* Effects of high temperature on foraging behavior of *Apis mellifera* // *Journal of Apicultural Research*. – 2017. – Vol. 56 (2). – P. 174–181. – DOI: 10.1080/00218839.2016.1264290.
26. *Ollerton J., Winfree R., Tarrant S.* How many flowering plants are pollinated by animals? // *Oikos*. – 2011. – Vol. 120 (3). – P. 321–326. – DOI: 10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x.
27. *The winners and losers of land use intensification: pollinator community disassembly is non-random and alters functional diversity* / R. Rader, I. Bartomeus, J.M. Tylianakis [et al.] // *Diversity and distributions*. – 2016. – Vol. 22 (6). – P. 626–637. – DOI: 10.1111/ddi.12426.
28. *Morse R.A., Calderone N.W., Theilmann R.N.* Influence of moisture stress on honey bee colony weight and carbohydrate levels // *Journal of Apicultural Research*. – 1988. – Vol. 27 (1). – P. 18–24. – DOI: 10.1080/00218839.1988.11100814.

29. *Linking bees and flowers: how do floral communities structure pollinator communities?* / S.G. Potts, B. Vulliamy, A. Dafni [et al.] // *Ecology*. – 2003. – Vol. 84 (10). – P. 2628–2642. – DOI: 10.1890/02-0433.
30. *Hendriksma H.P., Poot N.* Maternal effects of drought stress on offspring performance in solitary bees // *Oecologia*. – 2010. – Vol. 162 (4). – P. 773–781. – DOI: 10.1007/s00442-009-1529-8.
31. *Disease associations between honeybees and bumblebees as a threat to wild pollinators* / M.A. Fürst, D.P. McMahon, J.L. Osborne [et al.] // *Nature*. – 2014. – Vol. 506 (7488). – P. 364–366. – DOI: 10.1038/nature12977.
32. *Meana A., Llorens-Picher M., Miranda-Chueca M.A.* Occurrence of *Ascosphaera apis* in *Apis mellifera* colonies in the United States // *Journal of Apicultural Research*. – 2019. – Vol. 58 (5). – P. 701–706. – DOI: 10.1080/00218839.2019.1665274.
33. *Rosenkranz P., Aumeier P., Ziegelmann B.* Biology and control of *Varroa destructor* // *Journal of invertebrate pathology*. – 2010. – Vol. 103. – P. 96–119. – DOI: 10.1016/j.jip.2009.07.016.
34. *Short-term effects of temperature on the population size and invasion of Varroa destructor in honeybee colonies* / E. Garrido-Bailon, R. Martin-Hernandez, C. Botias [et al.] // *Parasitology research*. – 2016. – Vol. 115 (3). – P. 827–832. – DOI: 10.1007/s00436-015-4828-6.
35. *Fries I., Camazine S., Sneyd J.* Population dynamics of *Varroa destructor* in honey bee colonies treated with flumethrin // *Journal of economic entomology*. – 2006. – Vol. 99 (4). – P. 1165–1171. – DOI: 10.1093/jee/99.4.1165.
36. *Population growth of Varroa destructor in colonies of Apis mellifera during two consecutive honey bee winters* / Y. Le Conte, G. Arnold, J. Trouiller [et al.] // *Bulletin of Insectology*. – 2016. – Vol. 69 (2). – P. 255–262.
37. *Fisher M.C., Ghazoul J., Shanahan D.F.* Evaluating the vulnerability of honeybees to agrochemicals, habitat loss and climate change in North-West Europe // *Science of the Total Environment*. – 2018. – Vol. 616. – P. 1628–1638. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.10.152.
38. *Ellis J.D., Delaplane K.S., Hood W.M.* Effects of temperature on honey bee (Hymenoptera: Apidae) foraging energetic // *Journal of economic entomology*. – 2016. – Vol. 109 (3). – P. 1008–1013. – DOI: 10.1093/jee/tow044.
39. *Wojcik D.P., Allen C.R., Brenner R.J.* Red imported fire ants: impacts and management strategies in the United States // *Annual Review of Entomology*. – 2001. – Vol. 46 (1). – P. 573–593. – DOI: 10.1146/annurev.ento.46.1.573.
40. *Porter S.D., Williams D.F., Gold R.E.* Impact of the Imported Fire Ant (Hymenoptera: Formicidae) on Northern Bobwhite (*Colinus virginianus*) Chicks // *Journal of Economic Entomology*. – 1997. – Vol. 90 (3). – P. 741–746. – DOI: 10.1093/jee/90.3.741.
41. *The impact of climate change on the distribution and abundance of Braula coeca (Diptera: Braulidae) in China* / Y. Liu, X. Zhou, Y. Mao [et al.] // *Journal of Insect Science*. – 2018. – Vol. 18 (2). – DOI: 10.1093/jisesa/iey017.
42. *Honey bee colonies provided with natural forage have lower pathogen loads and higher overwinter survival than those fed protein supplements* / G. DeGrandi-Hoffman, Y. Chen, A.J. Riveros [et al.] // *Apidologie*. – 2010. – Vol. 41 (1). – P. 62–72. – DOI: 10.1051/apido/2009061.
43. *Kovac H., Crailsheim K., Brodschneider R.* Climate change and the timing of spring in the bee-flower association: a phenological mismatch // *Journal of Global Change Biology*. – 2015. – Vol. 21 (12). – P. 4334–4341. – DOI: 10.1111/gcb.13074.
44. *Effects of high temperature on the egg-laying ability of queen honeybees (Apis mellifera L.)* / Y.S. Peng, Y. Fang, S. Xu [et al.] // *Journal of insect physiology*. – 2014. – Vol. 60. – P. 65–72. – DOI: 10.1016/j.jinphys.2013.11.007.
45. *Impact of seasonal factors and Varroa destructor infestation on the development and survival of honey bee colonies* / J.Y. Wu, M.D. Smart, C.M. Anelli [et al.] // *Apidologie*. – 2015. – Vol. 46 (6). – P. 692–701. – DOI: 10.1007/s13592-015-0359-4.
46. *Kovac H., Schreurs J., Brodschneider R.* Impact of high temperature on the energetic state of honeybees (*Apis mellifera*) // *Scientific Reports*. – 2017. – Vol. 7 (1). – DOI: 10.1038/s41598-017-11337-3.

REFERENCES

1. Climate Change and Agriculture: Impacts, Adaptation and Mitigation, *Organization for Economic Co-operation and Development*, Paris: OECD Publishing, 2016, 140 p.
2. The State of Food and Agriculture 2018. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome: FAO, 2018, available at: <https://www.fao.org/documents/card/en?details=I9549EN/>.
3. Water scarcity: A global problem, *World Health Organization*, 2019, available at: https://www.who.int/water_sanitation_health/global-strategy/en/.
4. Papaskiri T.V., *Izvestiya Mezhdunarodnoj akademii agrarnogo obrazovaniya*, 2023, Vol. 65, pp. 52–59. (In Russ.).
5. Mitrofanov S.V., *Materialy II Nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoj pamyati doktora tekhnicheskikh nauk, professora Nikolaya Vladimirovicha Byshova*, Ryazan': Ryazanskij gosudarstvennyj agrotekhnologicheskij universitet imeni P.A. Kostycheva, 2022, pp. 59–65. (In Russ.).
6. Singh K., Singh R., Impact of chemical fertilizers on soil and environment, *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 2013, Vol. 6(4), pp. 527–535.
7. Zhang Y., Zhang X., Liu X., Zhang F., Pesticide residue pollution in agricultural soils and its potential risks to public health in Central China, *Environmental Pollution*, 2018, Vol. 236, pp. 818–824.
8. Pesticide Residue Monitoring Program FY 2017, *Department of Health and Human Services and Centers for Disease Control and Prevention*, 2019, available at: <https://www.ewg.org/foodnews/summary.php>.
9. Bommarco R., Kleijn D., Potts S.G., Sustainable agriculture: definitions and terms, *International Journal of Agricultural Sustainability*, 2013, Vol. 11 (4), pp. 357–371.
10. Garibaldi L.A., et al., Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance, *Science*, 2013, Vol. 339 (6127), pp. 1608–1611.
11. Samsonova I.D., Plahova A.A., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2022, Vol. 2 (63), pp. 97–103, DOI:10.31677/2072-6724-2022-63-2-97-103 (In Russ.).
12. Garcia D., et al., Positive indirect effects of plant-pollinator diversity on associated herbivores, *Sci Rep.*, 2019, Vol. 9 (1), pp. 1–14, DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50636-5>.
13. Global Biodiversity Outlook 3. UN CBD, 2010, available at: <https://www.cbd.int/gbo3/>.
14. The assessment report on pollinators, pollination and food production, *IPBES*, 2016, available at: <https://www.ipbes.net/assessment-reports/pollinators-pollination-food-production>.
15. Klein A.M., et al., Importance of pollinators in changing landscapes for world crops, *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2007, Vol. 274 (1608), pp. 303–313, available at: <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>.
16. Calderone N.W., Insect pollinated crops, insect pollinators and US agriculture: trend analysis of aggregate data for the period 1992-2009, *PloS one*, 2012, Vol. 7 (5), available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0037235>.
17. Potts S.G., et al., Safeguarding pollinators and their values to human well-being, *Nature*, 2016, Vol. 540 (7632), pp. 220–229, available at: <https://doi.org/10.1038/nature20588>.
18. Wolkovich E.M., et al, Warming experiments underpredict plant phenological responses to climate change, *Nature*, 2012, Vol. 485 (7399), pp. 494–497, DOI: 10.1038/nature11014.
19. Menzel A., et al., European phenological response to climate change matches the warming pattern, *Global Change Biology*, 2006, Vol. 12 (10), pp. 1969–1976, DOI: 10.1111/j.1365-2486.2006.01193.x.
20. Amanatidou E., Morales J.M., Viñegla B., Rodrigo F.S., Climate change impacts on phenology and yields of five broadacre crops at four locations in Spain, *Agricultural and Forest Meteorology*, 2014, Vol. 195–196, pp. 148–155, DOI: 10.1016/j.agrformet.2014.05.005.
21. Hegland S.J., et al., How does climate warming affect plant-pollinator interactions?, *Ecology Letters*, 2009, Vol. 12 (2), pp. 184–195, DOI: 10.1111/j.1461-0248.2008.01269.x.
22. Menzel A., et al., European phenological response to climate change matches the warming pattern, *Global change biology*, 2006, Vol. 12 (10), pp. 1969–1976, DOI: 10.1111/j.1365-2486.2006.01193.x.
23. Kovac H., Schröder K., Dorn S., Effects of temperature on the life history and demographic parameters of the solitary bee *Osmia bicornis* (Hymenoptera: Megachilidae), *Apidologie*, 2014, Vol. 45 (1), pp. 29–39, DOI: 10.1007/s13592-013-0239-5.

24. Lindström S.A.M., Herbertsson L., Rundlöf M., Smith H.G., Temperature effects on pollinator activity and pollination services in Swedish oilseed rape, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2018, Vol. 251, pp. 23–29, DOI: 10.1016/j.agee.2017.09.028.
25. Arthur A.D., Marshall J., Moses R., Effects of high temperature on foraging behavior of *Apis mellifera*, *Journal of Apicultural Research*, 2017, Vol. 56 (2), pp. 174–181, DOI: 10.1080/00218839.2016.1264290.
26. Ollerton J., Winfree R., Tarrant S., How many flowering plants are pollinated by animals?, *Oikos*, 2011, Vol. 120 (3), pp. 321–326, DOI: 10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x.
27. Rader R., Bartomeus I., Tylianakis J. M., Laliberte E., The winners and losers of land use intensification: pollinator community disassembly is non-random and alters functional diversity, *Diversity and distributions*, 2016, Vol. 22 (6), pp. 626–637, DOI: 10.1111/ddi.12426.
28. Morse R.A., Calderone N.W., Theilmann R.N., Influence of moisture stress on honey bee colony weight and carbohydrate levels, *Journal of Apicultural Research*, 1988, Vol. 27 (1), pp. 18–24, DOI: 10.1080/00218839.1988.11100814.
29. Potts S.G., et al., Linking bees and flowers: how do floral communities structure pollinator communities?, *Ecology*, 2003, Vol. 84 (10), pp. 2628–2642, DOI: 10.1890/02-0433.
30. Hendriksma H.P., Poot N., Maternal effects of drought stress on offspring performance in solitary bees, *Oecologia*, 2010, Vol. 162 (4), pp. 773–781, DOI: 10.1007/s00442-009-1529-8.
31. Fürst M.A., et al., Disease associations between honeybees and bumblebees as a threat to wild pollinators, *Nature*, 2014, Vol. 506 (7488), pp. 364–366, DOI: 10.1038/nature12977.
32. Meana A., Llorens-Picher M., Miranda-Chueca M.A., Occurrence of *Ascosphaera apis* in *Apis mellifera* colonies in the United States, *Journal of Apicultural Research*, 2019, Vol. 58(5), pp. 701–706, DOI: 10.1080/00218839.2019.1665274.
33. Rosenkranz P., Aumeier P., Ziegelmann B., Biology and control of *Varroa destructor*, *Journal of invertebrate pathology*, 2010, Vol. 103, pp. 96–119, DOI: 10.1016/j.jip.2009.07.016.
34. Garrido-Bailon E., et al., Short-term effects of temperature on the population size and invasion of *Varroa destructor* in honeybee colonies, *Parasitology research*, 2016, Vol. 115 (3), pp. 827–832, DOI: 10.1007/s00436-015-4828-6.
35. Fries I., Camazine S., Sneyd J., Population dynamics of *Varroa destructor* in honey bee colonies treated with flumethrin, *Journal of economic entomology*, 2006, Vol. 99 (4), pp. 1165–1171, DOI: 10.1093/jee/99.4.1165.
36. Le Conte Y., et al., Population growth of *Varroa destructor* in colonies of *Apis mellifera* during two consecutive honey bee winters, *Bulletin of Insectology*, 2016, Vol. 69 (2), pp. 255–262.
37. Fisher M.C., Ghazoul J., Shanahan D.F., Evaluating the vulnerability of honeybees to agrochemicals, habitat loss and climate change in North-West Europe, *Science of the Total Environment*, 2018, Vol. 616, pp. 1628–1638, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.10.152.
38. Ellis J.D., Delaplane K.S., Hood W.M., Effects of temperature on honey bee (Hymenoptera: Apidae) foraging energetic, *Journal of economic entomology*, 2016, Vol. 109(3), pp. 1008–1013, DOI: 10.1093/jee/tow044.
39. Wojcik D.P., Allen C.R., Brenner R.J. Red imported fire ants: impacts and management strategies in the United States, *Annual Review of Entomology*, 2001, Vol. 46(1), pp. 573–593, DOI: 10.1146/annurev.ento.46.1.573.
40. Porter S.D., Williams D.F., Gold R.E. Impact of the Imported Fire Ant (Hymenoptera: Formicidae) on Northern Bobwhite (*Colinus virginianus*) Chicks, *Journal of Economic Entomology*, 1997, Vol. 90 (3), pp. 741–746, DOI: 10.1093/jee/90.3.741.
41. Liu Y., Zhou X., Mao Y., Hao J. The impact of climate change on the distribution and abundance of *Braula coeca* (Diptera: Braulidae) in China, *Journal of Insect Science*, 2018, Vol. 18 (2), DOI: 10.1093/jisesa/iey017.
42. DeGrandi-Hoffman G., et al., Honey bee colonies provided with natural forage have lower pathogen loads and higher overwinter survival than those fed protein supplements, *Apidologie*, 2010, Vol. 41 (1), pp. 62–72, DOI: 10.1051/apido/2009061.
43. Kovac H., Crailsheim K., Brodschneider R., Climate change and the timing of spring in the bee-flower association: a phenological mismatch, *Journal of Global Change Biology*, 2015, Vol. 21 (12), pp. 4334–4341, DOI: 10.1111/gcb.13074.
44. Peng Y.S., Fang Y., Xu S., Ge L., Effects of high temperature on the egg-laying ability of queen honeybees (*Apis mellifera* L.), *Journal of insect physiology*, 2014, Vol. 60, pp. 65–72, DOI: 10.1016/j.jinsphys.2013.11.007.
45. Wu J.Y., et al., Impact of seasonal factors and *Varroa destructor* infestation on the development and survival of honey bee colonies, *Apidologie*, 2015, Vol. 46 (6), pp. 692–701, DOI: 10.1007/s13592-015-0359-4.
46. Kovac H., Schreurs J., Brodschneider R., Impact of high temperature on the energetic state of honeybees (*Apis mellifera*), *Scientific Reports*, 2017, Vol. 7 (1), DOI: 10.1038/s41598-017-11337-3.