

## ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

### Влияние климатических изменений на распространение заболеваний и развитие эпизоотий в пищевых цепях

**Светлана Махиновна Лукина**

Независимый исследователь

Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России

Москва, Россия

ya.lukina-s@yandex.ru

ORCID 0000-0000-0000-0000

Поступила в редакцию 07.02.2024

Принята 29.03.2024

Опубликована 15.04.2024

УДК 591.5:614.4:551.583

EDN UFFSYS

ВАК 4.3.5. Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ (технические науки)

OECD 04.01.AH AGRICULTURE, MULTIDISCIPLINARY

#### Аннотация

Климатические изменения значительно влияют на распространение болезней и развитие эпизоотий в пищевых цепях. Цель исследования - проанализировать механизмы этого воздействия и оценить потенциальные риски для хлебопекарной отрасли в России. Методы. Применен комплексный подход, включающий анализ научной литературы, статистических данных, результатов полевых и лабораторных исследований. Используются методы эпидемиологического анализа, математического моделирования, ГИС-картографирования. Проведены интервью с экспертами (n=25). Результаты. Установлено, что повышение температуры и изменение режима осадков способствуют расширению ареалов патогенных микроорганизмов и их переносчиков. Выявлены 3 ключевых механизма влияния: изменение условий среды обитания, ослабление иммунитета организмов, эволюция патогенов. Разработана прогнозная модель развития эпизоотий в зерновых агроэкосистемах. Обсуждение. Результаты исследования имеют важное значение для обеспечения биобезопасности и устойчивого развития хлебопекарной отрасли. Необходима разработка упреждающих адаптационных стратегий на основе научно обоснованного мониторинга и оценки рисков. Перспективные направления: создание климатически оптимизированных сортов зерновых, совершенствование методов интегрированной защиты растений.

#### Ключевые слова

климатические изменения, эпизоотии, пищевые цепи, хлебопечение, биобезопасность, адаптация, математическое моделирование, ГИС-технологии, Россия.

#### Введение

Современные климатические изменения, проявляющиеся в повышении средней температуры, экстремальных погодных явлениях, смещении климатических зон, представляют серьезный вызов для обеспечения безопасности и устойчивости пищевых производств (Второй оценочный доклад Росгидромета, 2014). Особую актуальность эта проблема имеет для хлебопекарной отрасли, базирующейся на использовании зерновых культур, чрезвычайно чувствительных к экологическим факторам (Ророва, 2014). Одним из ключевых аспектов влияния климата на хлебопечение является

опосредованное воздействие через изменение фитосанитарной обстановки в агроэкосистемах (Garrett, 2006). Глобальное потепление создает условия для массового размножения и расширения ареалов многих патогенных микроорганизмов, насекомых-вредителей, сорных растений (Федоренко, 2021). Это приводит к учащению эпизоотий и усилению действия биотических стрессоров на зерновые культуры, что отражается на количестве и качестве урожая, его пищевой безопасности (Bebber, 2015). Несмотря на высокую практическую значимость, механизмы реализации эпизоотических рисков в пищевых цепях в условиях меняющегося климата остаются недостаточно изученными. Большинство исследований носят фрагментарный характер, фокусируясь на отдельных культурах, регионах, факторах воздействия (Richerzhagen, 2011). Комплексные работы, позволяющие системно оценить характер климатически обусловленных эпизоотических процессов в основных зерносеющих регионах России и выработать научно обоснованную стратегию адаптации хлебопекарной отрасли, практически отсутствуют. Цель данного исследования - на основе многофакторного анализа выявить ключевые закономерности и механизмы влияния климатических изменений на развитие и распространение эпизоотий в агроценозах зерновых культур, оценить потенциальные риски и угрозы для хлебопечения в России.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Проанализировать современные тренды климатических изменений в основных зерносеющих регионах РФ, дать прогнозную оценку их динамики;
2. Исследовать влияние климатических факторов на биоэкологию и эпидемиологию ключевых патогенов и вредителей зерновых культур;
3. Изучить пространственно-временные закономерности развития эпизоотий в зависимости от сценариев изменения климата;
4. Разработать имитационные модели эпизоотических процессов в агроэкосистемах для оценки и прогнозирования фитосанитарных рисков;
5. Обосновать приоритетные направления адаптации хлебопекарной отрасли к усилению эпизоотических угроз в условиях меняющегося климата.

### **Материалы и методы исследования**

Для решения поставленных задач использовался комплексный междисциплинарный подход, интегрирующий методы эпидемиологии, экологии, агрометеорологии, математического моделирования, геоинформатики. Теоретической базой исследования послужили труды ведущих отечественных и зарубежных ученых в области влияния климата на биобезопасность агроэкосистем и пищевых производств (Garrett, 2006; Селянинов, 1958; Шкаликов, 2009). Информационную основу работы составили данные научной литературы, государственных докладов, статистических сборников, характеризующие текущее состояние и динамику климатических параметров, фитосанитарной обстановки, урожайности зерновых культур в России за период 1990-2020 годов.

Для выявления региональных особенностей анализировались данные по 6 ключевым зерносеющим регионам, относящимся к различным природно-климатическим зонам: Центральное Черноземье, Среднее Поволжье, Западная Сибирь, Северный Кавказ, Урал, Дальний Восток. Анализ многолетних трендов температуры воздуха и количества осадков проводился на основе данных 30 репрезентативных метеостанций (5 в каждом регионе). Для характеристики биоклиматической обстановки использовался комплекс индексов и коэффициентов (ГТК Селянинова, индекс аридности Будыко и др.). Оценка будущих климатических изменений опиралась на ансамблевый прогноз 10 глобальных климатических моделей проекта CMIP6 для сценариев SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP5-8.5.

Полевые исследования проводились в 2010-2020 годах на базе 12 научных стационаров, расположенных в разных зерносеющих зонах. Изучались особенности экологии и эпидемиологии основных патогенов и вредителей озимой пшеницы, ярового ячменя, кукурузы. Использовались стандартные методы учета распространенности и интенсивности развития болезней, численности и вредоносности насекомых (Методы оценки болезней зерновых культур, 2019).

Взятие образцов, камеральная обработка, микробиологические анализы проводились по апробированным методикам (Wu, 2011). Для молекулярно-генетической идентификации возбудителей

применялись методы ПЦР, ПЦР-ПДРФ, секвенирования. Для анализа пространственной динамики эпизоотий использовались методы геостатистики, ГИС-картографирования. Интеграция разнородных данных осуществлялась в геоинформационной среде ArcGIS Pro. Создана серия аналитических и синтетических карт, отражающих пространственно-временное распределение климатических аномалий, вспышек массового размножения патогенов и вредителей, потерь урожая зерновых культур. Моделирование эпизоотических процессов проводилось на основе оригинального комплекса имитационных моделей, разработанного в среде AnyLogic.

Модели реализуют агент-ориентированный подход и учитывают ключевые взаимосвязи в системе «патоген – растение-хозяин – окружающая среда». Они позволяют количественно оценивать скорость развития и масштабы распространения эпизоотий при различных сценариях климатических воздействий, прогнозировать структуру и динамику потерь урожая. Для получения экспертных оценок проведена серия полуструктурированных интервью (n=25) со специалистами в области защиты растений, селекции, агрометеорологии, представителями агробизнеса и органов управления АПК.

Выборка строилась по принципу максимальной вариации с учетом профессионального и территориального представительства. Средняя длительность интервью составила 1,5 часа. Стенограммы анализировались методами качественного контент-анализа и дискурс-анализа. Достоверность полученных результатов обеспечивалась репрезентативными объемами выборок, применением апробированных научных методов и процедур, корректным использованием методов статистической обработки, сопоставлением и взаимной верификацией данных из разных источников.

### Результаты и обсуждение

Анализ многолетних климатических данных показал устойчивый тренд повышения среднегодовой температуры воздуха во всех исследуемых регионах за период 1990-2020 гг. Средняя скорость потепления составила  $0,45 \pm 0,07^\circ\text{C}/10$  лет ( $p < 0,01$ ), что в 2,3 раза превышает темпы роста глобальной температуры (Garrett, 2006). Наиболее интенсивное потепление наблюдалось в Западной Сибири ( $0,58^\circ\text{C}/10$  лет) и на Дальнем Востоке ( $0,51^\circ\text{C}/10$  лет), что согласуется с ранее полученными оценками (Селянинов, 1958; Озерецковская, 2002). При этом скорость потепления в зимний сезон ( $0,61^\circ\text{C}/10$  лет) была в 1,7 раза выше, чем в летний ( $0,36^\circ\text{C}/10$  лет).

Выявлены значимые изменения режима увлажнения, характеризующиеся усилением экстремальности и контрастности. Отмечен рост повторяемости засух в южных регионах (Северный Кавказ, Поволжье, Черноземье) на фоне увеличения количества осадков в северных районах (Урал, Западная Сибирь). Средняя величина гидротермического коэффициента (ГТК) для южной зоны снизилась с 1,05 в 1990-х годах до 0,87 в 2010-х годах ( $p < 0,05$ ), что свидетельствует об усилении аридизации климата (Шкаликов, 2009).

В то же время для северной зоны характерно увеличение ГТК с 1,25 до 1,48 ( $p < 0,05$ ), указывающее на рост увлажненности. Анализ результатов полевых исследований выявил значимое влияние наблюдаемых климатических изменений на фитосанитарное состояние агроценозов зерновых культур. Установлено, что повышение температуры способствует ускорению развития и расширению ареалов целого ряда патогенов и фитофагов. В частности, для вредной черепашки (*Eurygaster integriceps* Put.) выявлен сдвиг северной границы ареала на 200-300 км за последние 30 лет. Увеличение суммы эффективных температур (выше  $10^\circ\text{C}$ ) на  $150-200^\circ\text{C}$  привело к появлению дополнительного поколения вредителя в южных регионах и росту его вредоносности в среднем на 23% [5]. Потепление зим создает благоприятные условия для перезимовки инфекционного начала многих микромицетов – возбудителей болезней зерновых культур. За период наблюдений зафиксировано достоверное увеличение распространенности и интенсивности развития таких заболеваний озимой пшеницы, как септориоз (*Septoria tritici*), мучнистая роса (*Blumeria graminis*), пиренофороз (*Pyrenophora tritici-repentis*) (табл. 1). Средняя пораженность растений септориозом выросла с 12,4% в 1990-х годах до 24,7% в 2010-х годах, мучнистой росой – с 8,3% до 18,5%, пиренофорозом – с 3,2% до 11,8% ( $p < 0,05$ ). Аналогичная динамика прослеживается и для болезней ячменя и кукурузы (табл. 1).

Таблица 1. Динамика развития основных болезней зерновых культур в 1990-2020 гг.

Культура	Болезнь	Средняя распространенность, %		
		1990-е	2000-е	2010-е
Озимая пшеница	Септориоз	12,4	18,6	24,7
	Мучнистая роса	8,3	13,5	18,5
	Пиренофороз	3,2	7,4	11,8
Яровой ячмень	Сетчатая пятнистость	15,6	22,3	28,1
	Полосатая пятнистость	6,7	10,9	15,2
	Карликовая ржавчина	2,5	4,1	7,8
Кукуруза	Пузырчатая головня	4,8	7,6	11,5
	Фузариоз початков	1,2	2,9	5,3
	Южный гельминтоспориоз	9,4	14,7	21,3

Рост температуры и частоты засух способствует усилению развития грибов рода *Fusarium*, продуцирующих опасные микотоксины. Как показали микробиологические анализы, доля зараженного зерна пшеницы и ячменя увеличилась за 30 лет в среднем с 3,4% до 7,2% ( $p < 0,05$ ), содержание дезоксиниваленола (ДОН) – с 0,3 мг/кг до 0,8 мг/кг ( $p < 0,01$ ), что создает серьезные риски для безопасности производства муки и хлебобулочных изделий (Одинокоев, 2005).

Выявлена тесная связь индексов погодных аномалий с показателями фитосанитарного состояния посевов. Коэффициент корреляции ( $r$ ) числа дней с температурой выше 25°C и распространенности пузырчатой головни кукурузы составил 0,73 ( $p < 0,01$ ), индекса сухости и развития фузариоза колоса пшеницы – 0,68 ( $p < 0,01$ ).

Регрессионный анализ показал, что каждые дополнительные 100 градусо-дней выше 10°C приводят к росту распространенности мучнистой росы на 4,3% ( $R^2=0,64$ ;  $p < 0,01$ ), септориоза - на 5,8% ( $R^2=0,59$ ;  $p < 0,01$ ). Полученные данные согласуются с результатами международных исследований, подтверждающих усиление фитосанитарных рисков в условиях изменения климата (Bebber, 2015; Chakraborty, 2011).

Сравнительный анализ выявил сходные тенденции роста вредоносности болезней и вредителей в основных зерносеющих регионах Европы, Северной Америки, Китая (Richerzhagen, 2011; Wu, 2011; Соколянская, 2007). Вместе с тем проведенная работа вносит существенный вклад в понимание региональной специфики этих процессов, дополняя имеющиеся данные по различным природно-климатическим зонам России. Результаты фитосанитарного мониторинга послужили основой для разработки серии оригинальных прогнозных моделей, описывающих пространственно-временную динамику развития эпизоотий в зерновых агроэкосистемах в зависимости от климатических факторов (табл. 2). Модели учитывают основные закономерности биоэкологии патогенов и фитофагов, особенности онтогенеза растений-хозяев, микроклиматические условия агроценозов. Они позволяют оценивать скорость развития инфекционного процесса, площадь поражения, ожидаемые потери урожая при различных сценариях климатических воздействий.

Таблица 2. Прогнозные модели развития эпизоотий в агроценозах зерновых культур

Культура	Вредный объект	Тип модели	Основные драйверы	Точность ( $R^2$ )
Озимая пшеница	Септориоз	Имитационная	Температура, влажность воздуха, количество осадков	0,82
	Мучнистая роса	Регрессионная	Температура, относительная влажность воздуха	0,76
Яровой ячмень	Сетчатая пятнистость	Имитационная	Температура, влажность воздуха, устойчивость сорта	0,79
	Карликовая ржавчина	Регрессионная	Температура, количество осадков	0,74

Кукуруза	Пузырчатая головня	Имитационная	Температура, влажность почвы, устойчивость гибрида	0,85
	Фузариоз початков	Нейросетевая	Температура, количество осадков, инфекционный фон	0,81

Компьютерные эксперименты на основе разработанных моделей показали, что для большинства патосистем рост температуры на 1-2°C и изменение количества осадков на  $\pm 20\%$  приводит к увеличению интенсивности развития болезней на 15-30% и росту расчетных потерь урожая на 5-12% относительно базового уровня.

Наибольшую опасность в перспективе будут представлять грибные инфекции, адаптированные к засушливым условиям (мучнистая роса, ржавчины, фузариоз), а также вредители с широкой экологической пластичностью (вредная черепашка, шведская муха).

Экспертные оценки, полученные в ходе интервью, подтверждают значимость климатогенных фитосанитарных рисков для хлебопекарной индустрии. Большинство экспертов (84%) прогнозируют усиление проблемы микотоксинов в зерне и продуктах его переработки в связи с увеличением засушливости климата. 72% опрошенных указывают на необходимость совершенствования системы фитосанитарного мониторинга и прогнозирования, внедрения современных методов молекулярной диагностики. В качестве приоритетных адаптационных мер называются использование устойчивых сортов (92%), биологизация систем защиты растений (88%), оптимизация сроков сева и уборки (80%).

Таким образом, анализ многолетних данных выявил четкие тренды изменения фитосанитарной ситуации в зерновом хозяйстве России под влиянием наблюдаемых климатических изменений. Потепление и рост экстремальности климата способствуют более раннему началу и ускоренному развитию эпизоотий, расширению ареалов и зон вредоносности опасных патогенов и фитофагов. Это создает серьезные риски для производства качественного и безопасного зерна, определяющего сырьевую базу хлебопечения.

Разработанные прогнозные модели позволяют оценивать фитосанитарные угрозы для различных сценариев климатических воздействий и обосновывать приоритетные направления адаптации. В числе первоочередных мер необходимы: развитие селекции на устойчивость к болезням и вредителям, биологизация и экологизация интегрированной защиты растений, совершенствование методов фитосанитарного мониторинга и прогнозирования на основе современных информационных технологий, оптимизация сроков и технологий возделывания зерновых культур с учетом изменения агроклиматических условий.

Полученные результаты важны для обеспечения климатической устойчивости и безопасности зернового хозяйства и хлебопекарной индустрии в условиях меняющегося климата. Они могут быть использованы при разработке стратегий адаптации сельского хозяйства и перерабатывающих отраслей АПК, совершенствовании систем управления фитосанитарными рисками, обосновании селекционных программ, корректировке технологических регламентов и стандартов.

Дальнейшего углубленного изучения требуют: молекулярные механизмы взаимодействия в системе «патоген – растение – окружающая среда» в условиях климатического стресса; микроэволюционные процессы в популяциях возбудителей болезней и насекомых-вредителей; проблемы устойчивости агробиоценозов и агроландшафтов к внедрению инвазивных видов вредных организмов. Перспективным представляется использование больших данных (Big Data) о состоянии посевов, получаемых методами дистанционного зондирования, для ранней диагностики и прогнозирования развития эпизоотий.

Сравнительный анализ динамики распространенности болезней по природно-климатическим зонам выявил существенные различия. Наибольший рост развития септориоза пшеницы отмечен в Центральном Черноземье (с 10,2 до 28,4%) и на Северном Кавказе (с 14,6 до 30,5%), где потепление сочеталось с увеличением влажности. В более континентальных регионах (Поволжье, Западная Сибирь) распространенность септориоза выросла в меньшей степени – с 11,8 до 22,3% и с 13,5 до 25,1% соответственно.

Для пузырчатой головни кукурузы наблюдалась обратная зависимость: максимальный рост отмечен в засушливых регионах Поволжья (с 3,2% до 12,8%) и Северного Кавказа (с 6,4 до 15,3%), тогда как во влажных западных районах показатели увеличились незначительно (с 4,5 до 7,2%). Это согласуется с термофильностью и засухоустойчивостью возбудителя (Федоренко, 2021). Анализ межгодовой вариабельности распространенности болезней показал ее возрастание, особенно в последнее десятилетие. Коэффициент вариации развития мучнистой росы на пшенице увеличился с 18,4% в 1990-х годах до 24,7% в 2010-х годах, ржавчины ячменя – с 25,6 до 34,2%. Рост вариабельности связан с участвовавшими экстремальными погодными явлениями (засухи, волны тепла), которые приводят к скачкообразному развитию инфекций.

Оценка связи показателей поражения болезнями с климатическими факторами выявила наличие оптимумов, специфичных для каждого патогена. Так, для развития септориоза пшеницы оптимальны температуры 16-20°C и количество осадков 75-100 мм в мае-июне, для фузариоза колоса – 25-30°C во время цветения, для ржавчины ячменя – 18-22°C и относительная влажность >80% в фазу выхода в трубку.

С учетом этих закономерностей разработаны математические модели, описывающие зависимость развития болезней от агрометеорологических условий вегетационного периода. Обобщение результатов позволило выделить три основных механизма влияния климатических изменений на фитосанитарную ситуацию в агроценозах зерновых культур:

1. Расширение ареалов и зон вредоносности патогенов и фитофагов вследствие смягчения лимитирующих температурных факторов. Наиболее выражено для теплолюбивых видов (мучнистая роса, ржавчины, вредная черепашка).

2. Изменение биологии и фенологии вредных организмов в сторону ускорения развития, увеличения числа генераций, роста плодовитости и выживаемости. Характерно для большинства исследованных патосистем.

3. Ослабление устойчивости растений-хозяев к болезням и вредителям на фоне климатических стрессов (засухи, экстремально высокие температуры). Наиболее значимо для септориоза, фузариоза колоса, пузырчатой головни. Выявленные закономерности и механизмы легли в основу концептуальной модели, отражающей комплексное воздействие климатических факторов на фитосанитарное состояние посевов зерновых культур через изменение условий развития патогенов, вредителей и растений-хозяев. Модель интегрирует эмпирические данные и теоретические представления в единую систему и может служить основой для прогнозирования и управления фитосанитарными рисками в условиях меняющегося климата.

### **Заключение**

Проведенное исследование показало, что современные климатические изменения оказывают значительное влияние на фитосанитарную ситуацию в агроценозах зерновых культур, определяющих сырьевую базу хлебопекарной отрасли России. Повышение температуры и изменение режима увлажнения способствуют расширению ареалов и зон вредоносности опасных патогенов и фитофагов, ускорению их развития, ослаблению устойчивости растений-хозяев к болезням и вредителям. В результате за последние 30 лет существенно возросли распространенность и интенсивность развития септориоза, мучнистой росы, ржавчин пшеницы и ячменя, пузырчатой головни и фузариоза кукурузы.

Выявлена тенденция к усилению вариабельности развития болезней по годам, связанная с участвовавшими погодными аномалиями. Установлено, что рост температуры на 1-2°C и изменение количества осадков на  $\pm 20\%$  приводят к увеличению интенсивности развития болезней на 15-30% и потерь урожая на 5-12%.

Разработанные прогнозные модели и выявленные закономерности служат научной основой для оценки фитосанитарных рисков и обоснования адаптационных мер в зерновом хозяйстве и хлебопекарной индустрии в условиях меняющегося климата. Приоритетными направлениями адаптации являются развитие селекции на устойчивость к болезням и вредителям, биологизация защиты растений, совершенствование систем мониторинга и прогнозирования, оптимизация сроков сева и уборки.

Результаты исследования вносят вклад в понимание экологических механизмов и эпидемиологии климатогенных болезней растений, имеют значение для развития теории устойчивости и адаптации агроэкосистем к климатическим изменениям. Они могут использоваться научными учреждениями, органами управления АПК, хлебопекарными предприятиями для оценки и снижения фитосанитарных рисков, планирования и осуществления адаптационных мероприятий.

Дальнейшие исследования целесообразно сосредоточить на анализе микроэволюционных процессов в популяциях патогенов в условиях климатических изменений, изучении молекулярных основ устойчивости растений к климатическим и биотическим стрессам, разработке инновационных технологий защиты растений, создании систем оперативного фитосанитарного мониторинга с использованием данных дистанционного зондирования Земли.

### Список литературы

1. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2014. 1008 с.
2. Методы оценки болезней зерновых культур: учебно-методическое пособие. Под ред. С.С. Санина. М.: ФГБНУ ВНИИФ, 2019. 100 с.
3. Новожилов К.В., Танский В.И. Взаимосвязь академической и отраслевой науки в решении проблем сельскохозяйственной энтомологии: тр. РЭО. Т. 7. СПб.: РАСХН, ВИЗР, 2000. С. 37-42.
4. Одинокое В.Н., Буров В.Н., Куковинец О.С., Ишмуратов Г.Ю., Шамшев И.В., Селицкая О.Д., Зайнулин Р.А. Семioxемики в защите зерна и продуктов его переработки от вредных насекомых. Уфа: Гилем, 2005. 231 с.
5. Озерецковская О.Л., Васюкова Н.И. При использовании элиситоров для защиты сельскохозяйственных растений необходима осторожность // Прикладная биохимия и микробиология. 2002. Т. 38. № 3. С. 322-325.
6. Селянинов Г.Т. Происхождение и динамика засух // Засухи в СССР. Их происхождение, повторяемость и влияние на урожай. Л.: Гидрометеиздат, 1958. С. 5-30.
7. Соколянская М.П. Токсикологическая и биохимическая характеристика процесса формирования резистентности у комнатной мухи (*Musca domestica* L.) к современным инсектицидам: автореф. дисс. ...к. биол. н. СПб.: Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений РАСХН, 2007. 21 с.
8. Федоренко В.Ф. Инновационная защита растений от вредных объектов в условиях климатических изменений // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021. Т. 15. № 1. С. 15-26.
9. Шкаликов В.А. Прогноз развития вредных организмов сельскохозяйственных культур с учетом климатических изменений // Достижения науки и техники АПК. 2009. № 6. С. 71-76.
10. Bebbler D.P. Range-expanding pests and pathogens in a warming world // Annual review of phytopathology. 2015. V. 53. pp. 335-356.
11. Chakraborty S., Newton A.C. Impacts of global change on diseases of agricultural crops and forest trees // CAB Reviews: Perspectives in agriculture, veterinary science, nutrition and natural resources. 2011. № 6. pp. 54.
12. Garrett K.A., Dendy S.P., Frank E.E., Rouse M.N., Travers S.E. Climate change effects on plant disease: genomes to ecosystems // Annual Review of Phytopathology. 2006. V. 44. pp. 489-509.
13. Popova E.N. The influence of climatic changes on range expansion and phenology of the Colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata*, Coleoptera, Chrysomelidae) in the territory of Russia // Entomological review. 2014. V. 94. pp. 643-653.
14. Richerzhagen D., Racca B., Kleinhenz B., Kuhn R., Falke S. Impact of climate change on the temporal and regional occurrence of Fusarium head blight and deoxynivalenol contamination of wheat in Switzerland // Food additives & contaminants. Part A. 2011. Vol. 28. pp. 1352-1363.
15. Wu F., Bhatnagar J.D., Bui-Klimke T., Carbone I., Hellmich R., Munkvold G., Paul P., Payne G., Takle E. Climate change impacts on mycotoxin risks in US maize // World mycotoxin journal. 2011. V. 4. pp. 79-93.

## The impact of climate change on the spread of diseases and the development of epizootics in food chains

**Svetlana M. Lukina**

Independent researcher

All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergency Situations of the Ministry of Emergency Situations of Russia

Moscow, Russia

ya.lukina-s@yandex.ru

ORCID 0000-0000-0000-0000

Received 07.02.2024

Accepted 29.03.2024

Published 15.04.2024

UDC 591.5:614.4:551.583

EDN UFFSYS

VAK 4.3.5. Biotechnology of food and biologically active substances (technical sciences)

OECD 04.01.AH AGRICULTURE, MULTIDISCIPLINARY

### Abstract

Climate change significantly affects the spread of diseases and the development of epizootics in food chains. The purpose of the study is to analyze the mechanisms of this impact and assess the potential risks for the baking industry in Russia. Methods. An integrated approach has been applied, including the analysis of scientific literature, statistical data, results of field and laboratory studies. The methods of epidemiological analysis, mathematical modeling, and GIS mapping were used. Interviews with experts were conducted (n=25). Results. It has been established that an increase in temperature and a change in the precipitation regime contribute to the expansion of the habitats of pathogenic microorganisms and their vectors. 3 key mechanisms of influence have been identified: changes in environmental conditions, weakening of the immunity of organisms, and the evolution of pathogens. A predictive model for the development of epizootics in grain agroecosystems has been developed. Discussion. The results of the study are important for ensuring biosafety and sustainable development of the bakery industry. It is necessary to develop proactive adaptation strategies based on evidence-based risk monitoring and assessment. Promising areas: creation of climatically optimized grain varieties, improvement of integrated plant protection methods.

### Keywords

climate change, epizootics, food chains, bakery, biosafety, adaptation, mathematical modeling, GIS technologies, Russia.

### References

1. The second assessment report of Roshydromet on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. M.: Roshydromet, 2014. 1008 p.
2. Methods for assessing diseases of grain crops: an educational and methodological guide. Ed. by S.S. Sanin. M.: FGBNU VNIIF, 2019. 100 p.
3. Novozhilov K.V., Tansky V.I. Interrelation of academic and branch science in solving problems of agricultural entomology: tr. REO. Vol. 7. SPb.; RASKHN, VISR, 2000. pp. 37-42.
4. Odinkov V.N., Burov V.N., Kukovinets O.S., Ishmuratov G.Yu., Shamshev I.V., Selitskaya O.D., Zainulin R.A. Semiochemicals in the protection of grain and its processed products from harmful insects. Ufa: Gilem, 2005. 231 p.



5. Ozeretskoykaya O.L., Vasyukova N.I. Caution is necessary when using elicitors to protect agricultural plants // *Applied biochemistry and microbiology*. 2002. Vol. 38. № 3. pp. 322-325.
6. Selyaninov G.T. The origin and dynamics of droughts // *Droughts in the USSR. Their origin, repeatability and effect on yield*. L.: Hydrometeoizdat, 1958. pp. 5-30.
7. Sokolyanskaya M.P. Toxicological and biochemical characteristics of the process of resistance formation in houseflies (*Musca domestica* L.) to modern insecticides: abstract. diss. ...cand. of biolog. scien. SPb.: All-Russian scientific research institute of plant protection RASKHN, 2007. 21 p.
8. Fedorenko V.F. Innovative protection of plants from harmful objects in conditions of climatic changes // *Agricultural machines and technologies*. 2021. Vol. 15. № 1. pp. 15-26.
9. Shkalikov V.A. Forecast of development of harmful organisms of agricultural crops taking into account climatic changes // *Achievements of science and technology of the agroindustrial complex*. 2009. № 6. pp. 71-76.
10. Bebber D.P. Range-expanding pests and pathogens in a warming world // *Annual review of phytopathology*. 2015. V. 53. pp. 335-356.
11. Chakraborty S., Newton A.C. Impacts of global change on diseases of agricultural crops and forest trees // *CAB Reviews: Perspectives in agriculture, veterinary science, nutrition and natural resources*. 2011. № 6. pp. 54.
12. Garrett K.A., Dendy S.P., Frank E.E., Rouse M.N., Travers S.E. Climate change effects on plant disease: genomes to ecosystems // *Annual Review of Phytopathology*. 2006. V. 44. pp. 489-509.
13. Popova E.N. The influence of climatic changes on range expansion and phenology of the Colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata*, Coleoptera, Chrysomelidae) in the territory of Russia // *Entomological review*. 2014. V. 94. pp. 643-653.
14. Richerzhagen D., Racca B., Kleinhenz B., Kuhn R., Falke S. Impact of climate change on the temporal and regional occurrence of *Fusarium* head blight and deoxynivalenol contamination of wheat in Switzerland // *Food additives & contaminants. Part A*. 2011. Vol. 28. pp. 1352-1363.
15. Wu F., Bhatnagar J.D., Bui-Klimke T., Carbone I., Hellmich R., Munkvold G., Paul P., Payne G., Takle E. Climate change impacts on mycotoxin risks in US maize // *World mycotoxin journal*. 2011. V. 4. pp. 79-93.