УДК 632.727:591.543.4:551.58(574) **Исследовательская статья**

Прогнозирование фенологии вредных нестадных саранчовых в агроклиматических зонах Казахстана на основе пространственного анализа

Байбусенов К.С., Елубаев Д.Р., Усалинов Е.Б., Аманбай Ж.З.

НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», Астана, Казахстан

Автор-корреспондент: Елубаев Д.Р.: dastanrmz@gmail.com
Со-авторы: (1: КБ) baibussenovks10051987@gmail.com; (2: ЕУ) erkin.usalinov@gmail.com
(3: ЖА) amanbai_zhasulan@mail.ru

Получено: 21.08.2026 **Принято:** 28.09.2026 **Опубликовано:** 09.10.2026

Авторские права: Байбусенов К.С. и др. Данная статья размещена в открытом доступе и распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Аннотация

Предпосылки и цель. Прогноз фенологии вредителей нестадных саранчовых важен при организации фитосанитарного мониторинга и определении времени проведения его работ. Целью работы являлось выявление закономерностей пространственного распределения и многолетней изменчивости дат массового отрождения личинок вредителей в агроклиматических районах Республики Казахстан по материалам фитосанитарного наблюдения за период 2003–2025 гг.

Материалы и методы. Многолетние наблюдения сроков появления фенофаз вредителей - нестадные саранча по административным регионам РК; календарная дата массового выхода из яйцевой диапаузы личинок переведена в DOY (день года); пространственная оценка проведена через призму агроклиматических зон, определенных по параметрам тёплого и влажного режима зоны. Межзональные различия оценивали критерием Фридмана, согласованность пространственного порядка – коэффициентом конкордации Кендалла, многолетние тенденции – критерием Манна-Кендалла и оценкой наклона Сена. Пространственная устойчивость фенологического режима оценивалась по коэффициенту ранговой корреляции Спирмена.

Результаты. Выявлена чёткая зональная неоднородность временных интервалов массового выхода личинок по агроклиматическим районам Казахстана. Временной разброс между максимальными сроками выходил за пределы одного месяца - от 21.04 варидно-теплом районе до 14.05 в сильноувлажненном умеренно теплом. Зональный эффект достоверный (χ^2=226,0; P<0,001) с большим коэффициентом пространственной согласованности W = 0,983. Установлена статистически достоверная динамика сдвигов начала отрождения на -0.2 дня/год (p=0.010) без изменения его локализации (ρ=0.995). Фиксация эффектов по району и году позволила описать 98,9% дисперсии времени отрождения. Примерный интервал смены возрастов личинок – от 13 до 16 дней с момента массового выхода их из кубышек.

Заключение. Агроклиматическое районирование позволяет учитывать пространственную неоднородность фенологического развития вредных нестадных саранчовых. Полученные результаты могут использоваться для дифференцированного планирования сроков фитосанитарных обследований и совершенствования системы фенологического прогнозирования с учётом фактических полевых и агрометеорологических данных.

Ключевые слова: вредные нестадные саранчовые; фенология развития; фенологический прогноз; агроклиматические районы; пространственное моделирование; фитосанитарный мониторинг.

Введение

Вредоносные нестадные саранчовые – одна из самых опасных групп фитофагов степной, сухостепной и полупустынной растительности Евразии [1]. В подходящих для них природных

климатических условиях создают местноочаговые вспышки численности. Приводят к падению продуктивности посевов, деградации естественных пастбищ и росту расходов по мерам защиты растений [2]. Нестабильно-сидячие виды саранчи в Казахстане повсеместно присутствуют на основных зонах земледелия страны и подлежат ежегодному государственному фитосанитарному наблюдению. При изменении климатических условий актуальность применения научно доказанных фенологических прогнозов растёт для определения сроков максимального риска появления вредителя и оптимизации работы по защите растений [3].

Эффективность фитосанитарного мониторинга зависит не только от размера популяций, но и от способности точно предсказать время наступления ключевых фенологических фаз [4, 5].

Наиболее информативным периодом обследований является массовое отрождение личинок младших возрастов, когда достигается максимальная достоверность оценки фитосанитарного состояния популяций и эффективности защитных мероприятий [6]. Поэтому прогнозирование сроков появления личинок имеет не меньшее практическое значение, чем прогнозирование численности вредителей [7, 8].

За последнее время все более востребованными становятся подходы к прогнозированию распространения и динамики популяций вредителей посредством применения ГИС, ДЗЗ, климатических реанализов, спутниковых снимков, а также пространственное моделирование [5, 9]. Точность прогнозирования достигается за счёт использования агроклиматических параметров – температура воздуха и почва, количество атмосферных осадков, влажность почвы, вегетационный индекс. Одновременно внедряются методы машинного обучения для выявления сложных взаимосвязей между экологическими факторами и динамикой развития насекомых [13–15]. Однако большинство исследований посвящено прогнозированию численности и пространственного распределения вредителей, тогда как вопросам фенологического прогнозирования вредных нестадных саранчовых уделяется значительно меньше внимания.

Фенологическое развитие вредителей растений, в том числе и саранчовых определяется комплексом абиотических факторов. Сроки выхода эмбрионов из диапаузы, отрождения личинок и последующего развития зависят от температуры воздуха и почвы, режима осадков, влажности почвы и накопления суммы эффективных температур [15]. При этом разные виды отличаются экологическими требованиями и скоростью развития. Применение одинаковых сроков по календарю при игнорировании пространственного варьирования агроклиматического фактора приводит к ошибкам в фенологическом прогнозе [16].

Казахстан характеризуется выраженной широтной зональностью, высокой континентальностью климата и разнообразием агроклиматических условий, определяющих сезонную динамику развития вредных нестадных саранчовых [17]. Пространственно-временная изменчивость сроков прохождения фенологических фаз обусловлена различиями в сроках весеннего потепления, накопления эффективных температур, продолжительности безморозного периода и режиме увлажнения. Несмотря на многочисленные исследования биологии, экологии и прогнозирования численности саранчовых, вопросы пространственного фенологического прогнозирования в различных агроклиматических зонах Казахстана остаются недостаточно изученными [15, 18].

Целью исследования являлось прогнозирование фенологического развития вредных нестадных саранчовых в агроклиматических зонах Казахстана на основе пространственного анализа многолетних данных фитосанитарного мониторинга за 2003–2025 гг. Для достижения поставленной цели определены пространственные особенности сроков отрождения личинок, оценена устойчивость выявленных закономерностей и проанализирована продолжительность развития личинок до второго возраста как наиболее значимого периода для организации фитосанитарного мониторинга.

Материалы и методы

В ходе исследований использованы материалы фенологического мониторинга вредных нестадных саранчовых, которые проводились государственными фитосанитарными службами Республики Казахстан в течение 2003–2025 гг. Показатели характеризуют динамику 23 лет наблюдений за пространственно-временной вариабельностью фенологии вредителя по разным

природно-климатическим зонам республики. Исходный массив включал 12 115 наблюдений, выполненных в 167 административных районах Республики Казахстан.

Фенологические данные охватывали комплекс вредных нестадных саранчовых, которые встречаются совместно и причиняют вред сельскохозяйственным культурам в составе многовидового комплекса. В связи с совместным обитанием видов и особенностями проведения фитосанитарного мониторинга анализ фенологических сроков проводился для комплекса в целом, без формирования отдельных временных рядов по каждому виду. При этом по материалам мониторинга наиболее массовыми и вредными видами являлись: *Calliptamus italicus, Calliptamus barbarus, Oedaleus decorus, Dociostaurus brevicollis, Chorthippus biguttulus, Arcyptera microptera, Notostaurus albicornis, Chorthippus albomarginatus.*

Первичной единицей анализа являлась дата наступления фенологической фазы, зарегистрированная для административного района в конкретном году. Для оценки статистической независимости сопоставляли интервалы между восемью последовательными фенологическими фазами. Поскольку в ряде случаев поздние фазы определялись прибавлением фиксированного числа суток к предыдущим, основным показателем исследования была принята дата массового отрождения личинок. Продолжительность развития до второго возраста анализировали отдельно как показатель, имеющий практическое значение для организации фитосанитарного мониторинга [19, 20].

Календарные даты переводились в порядковый номер дня в году (DOY – Day of Year). По пространственной принадлежности проводили группировку по агроклиматическому районированию территории Республики Казахстан с учётом административно –территориального деления за 2025 год. Агроклиматическое районирование выполнено согласно схемам, представленным в литературе по тепловодному обеспечению территории. В отличие от существующих подходов использовали четыре многолетних показателя: дату устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 10 °C, продолжительность теплого периода, его среднюю температуру и коэффициент увлажнения. По их сочетанию выделено 11 агроклиматических зон [21].

Для каждой зоны рассчитывали медиану и межквартильный интервал даты массового отрождения личинок. Различия между зонами оценивали критерием Фридмана, согласованность – коэффициентом конкордации Кендалла (Kendall's W), а попарные сравнения – критерием знаковых рангов Уилкоксона с поправкой Холма. Многолетние тенденции анализировали критерием Манна-Кендалла, величину тренда определяли по оценке наклона Сена (Sen's slope estimator) [22, 23]. Оценка пространственной устойчивости фенологического режима проводилась по методу ранговой корреляции Спирмена. Кроме того, была разработана модель с фиксированными эффектами района и года для анализа пространственной неоднородности и межгодовой вариации сроков фенологического развития. В качестве зависимой переменной использовали дату массового отрождения личинок, выраженную в днях года (DOY). Фиксированный эффект района учитывал устойчивые различия фенологических сроков между административными территориями, тогда как эффект года отражал общую межгодовую изменчивость. Долю объяснённой вариации оценивали по коэффициенту детерминации R^2 [24].

Статистика обрабатывалась в среде Python (библиотеки Pandas, NumPy, SciPy, Statsmodels, GeoPandas), пространственная обработка и подготовка картоматериала проводилась в QGIS 3.40. Уровень значимости во всех вычислениях установлен на уровне $p<0,05$.

Результаты

Предварительный анализ фенологического календаря показал, что зарегистрированные фенологические фазы не являются независимыми временными рядами. В 73,3% последовательностей наблюдений воспроизводился одинаковый набор межфазных интервалов, а в 87,6% случаев второй возраст регистрировался через 15 суток после массового отрождения личинок; 95% наблюдений находились в интервале 13–16 суток. Поэтому в качестве критерия пространственного анализа взято время массового выхода личинок, а период до второго возраста – критерий для организации фитосанитарного мониторинга.

Выявлена выраженная пространственная неоднородность сроков массового отрождения личинок вредных нестадных саранчовых в агроклиматических зонах Казахстана (таблица 1). Наиболее

ранние сроки отмечены в аридной жаркой зоне –111-й день года (21 апреля), наиболее поздние - в очень увлажнённой умеренно тёплой зоне – 134-й день года (14 мая), при максимальной разнице 23 суток. Различия статистически значимы (χ^2 Фридмана = 226,0; p<0,001), а высокий коэффициент конкордации Кендалла (W = 0,983) свидетельствует о сохранении практически неизменной последовательности агроклиматических зон по срокам массового отрождения личинок в течение всего периода исследований.

Таблица 1. Сроки отрождения и ориентировочного наступления второго возраста по агроклиматическим зонам

Агроклиматическая зона	Количество	Отрождение, DOY: медиана [Q1–Q3]	Медианная дата отрождения	Ориентир II возраста
Аридная / Жаркая	26	111 [104–116]	21 апр.	6 мая
Увлажнённая / Жаркая	3	112 [109–114]	22 апр.	7 мая
Горная Ю	2	113 [109–115]	23 апр.	8 мая
Полуаридная / Жаркая	32	115 [112–118]	25 апр.	10 мая
Горная ЮВ	12	116 [113–119]	26 апр.	11 мая
Аридная / Тёплая	9	122 [118–125]	2 мая	17 мая
Полуаридная / Тёплая	57	126 [124–128]	6 мая	21 мая
Горная В	8	129 [126–130]	9 мая	24 мая
Полуаридная / Умеренно тёплая	29	131 [128–134]	11 мая	26 мая
Увлажнённая / Умеренно тёплая	27	132 [129–135]	12 мая	27 мая
Очень увлажнённая / Умеренно тёплая	9	134 [131–137]	14 мая	29 мая

Пространственная картина многолетних медиан дат массового отрождения личинок отражает полученные результаты (рисунок 1). Ранние даты приходятся на юг и ЮЗ Казахстан, поздние - на севере страны; центральная и восточная части расположены между ними.

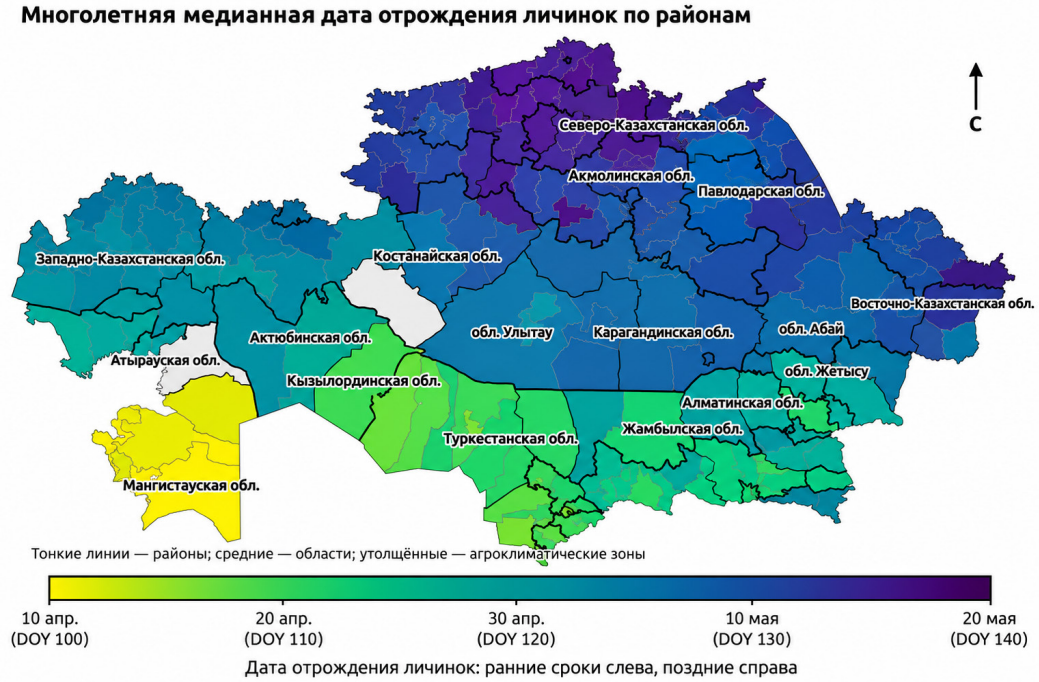


Рисунок 1. Пространственное распределение многолетних медианных сроков массового отрождения личинок вредных нестадных саранчовых в агроклиматических зонах Казахстана (2003–2025 гг.)

Границы пространственного распространения фенологических различий не совпадают в точности с административными границами – следовательно применение агроклиматического районирования для фенологического прогнозирования является обоснованным. На карте показан многолетний режим времени отрождения без учёта вариаций погоды по годам.

Для оценки долговременных изменений были сопоставлены два пятилетних периода – 2003–2007 и 2021–2025 гг. (рисунок 2).

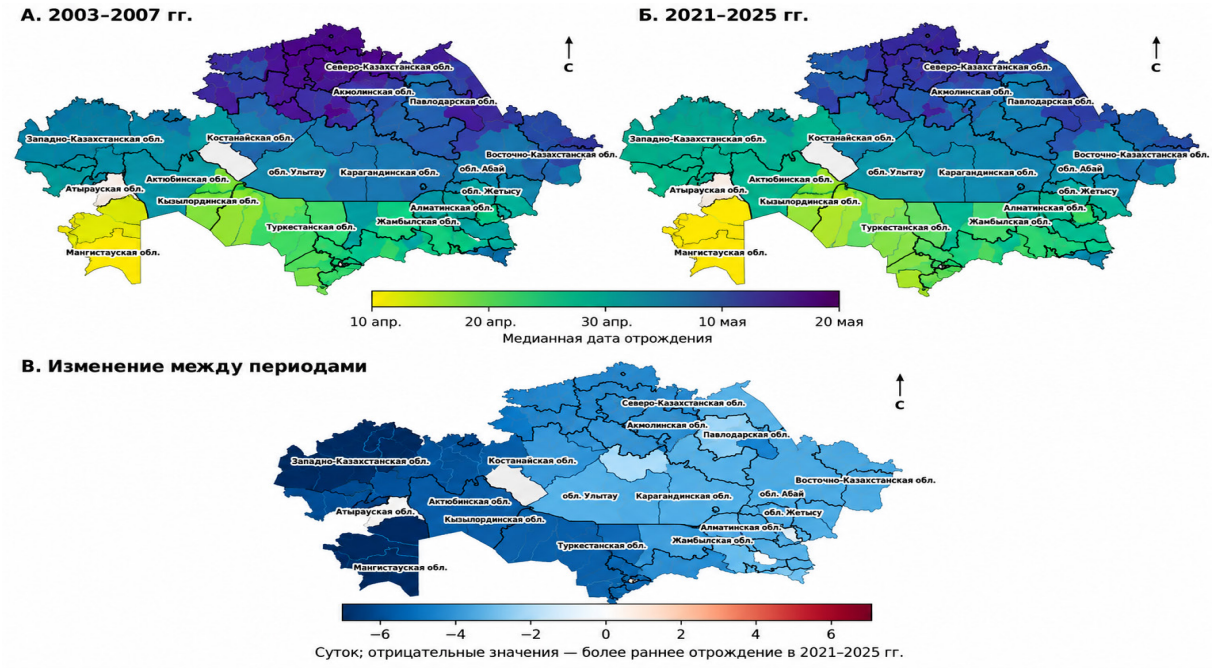


Рисунок 2. Медианные даты отрождения в 2003–2007 и 2021–2025 гг. и разность между периодами. На картах показаны границы и названия областей



Рисунок 3. Зональная последовательность дат отрождения и расчётного ориентира наступления второго личиночного возраста

Во всех сопоставимых районах сроки массового отрождения личинок вредных нестадных саранчовых сместились на 3–7 суток в сторону более раннего наступления, при медианной разности –5 суток. Многолетний ряд показал статистически достоверный тренд на сдвиг в сторону более раннего появления личинок (tau= -0.379; p=0.010), индекс наклона по Сену равен -0,2 суток/год (95% ДИ: -0, 33.0,00). При этом пространственное распределение фенологии оставалось стабильным – медиана рангового коэффициента корреляции Спирмана ρ=0,995.

Модель с фиксированными эффектами района и года объяснила 98,9% общей вариации сроков массового отрождения личинок. Высокая доля объяснённой вариации указывает на значительный вклад устойчивых различий между районами и общей межгодовой тенденции в формирование пространственно-временной структуры фенологии.

Оценка сроков достижения личинками второго возраста показала, что в жарких агроклиматических зонах его ожидаемое наступление приходится на конец апреля – начало мая, тогда как в более прохладных и увлажнённых зонах этот период смещается на вторую половину мая (рисунок 3).

Полученные календарные ориентиры позволяют дифференцированно планировать очередность проведения фитосанитарных обследований в зависимости от агроклиматических условий территории. Вместе с тем прогнозируемые сроки наступления второго возраста следует рассматривать как основу для организации мониторинга, а не как критерий принятия решений о проведении защитных мероприятий. Итоговое заключение делать исходя из данных полевых исследований, реальной плотности популяции вредного нестадного саранчового.

Для обобщения полученных результатов и оценки статистической надежности выявленных закономерностей в таблице 2 представлены основные показатели выполненного статистического анализа, характеризующие пространственные различия сроков отрождения личинок, их многолетнюю динамику и устойчивость пространственной структуры фенологического развития.

Таблица 2. Основные статистические оценки пространственно-временной структуры дат отрождения

Показатель	Оценка	Интерпретация
Межзональные различия	$\chi^2(10)=226,0$; $p<0,001$	Сроки неодинаковы между зонами
Согласованность зонального порядка	W=0,983	Почти постоянный порядок зон по срокам
Долговременная направленность	−0,20 суток/год; p=0,010	Формальное смещение к ранним датам
Межгодовое сходство карт	медиана ρ=0,995	Пространственный рисунок крайне устойчив
Модель «район + год»	R^2=0,989	Преобладают постоянные различия районов и общий сдвиг года
Отрождение → II возраст	15 суток; 95%: 13–16	Практическое окно, не независимая фаза

Показатели таблицы 2 говорят о достоверности результатов. По значимости критерия Фридмана и коэффициенту конкордации Кендалла можно сказать, что есть стабильные различия в сроках массового отрождения личинок по агроклиматическим зонам. Временная динамика показала наличие статистически достоверной тенденции на сдвиг фенофазы вперед во времени без потери пространственного порядка районов. Результаты позволяют говорить о наличии как региональной специфичности, так и общих межлетних сдвигов ритмов развития – база для фенологического прогноза вредной нестадной саранчи в агроклиматических районах Казахстана.

Обсуждение

Самый главный итог исследований – установление 23 дней разницы во времени массового выхода личинок вредных нестадных саранчевых из разных по контрасту агроклиматических зон Казахстана. Полученные различия соответствуют современным представлениям о фенологическом развитии саранчовых, согласно которым скорость завершения эмбрионального развития после диапаузы определяется преимущественно температурным режимом, а влажность почвы существенно влияет на сроки отрождения личинок [1, 15, 16, 24]. Аналогичные

закономерности отмечены для представителей семейства Acrididae в аридных и полуаридных регионах, где пространственная неоднородность тепловых и гидротермических условий обусловливает различия сроков прохождения фенологических фаз [2, 18, 24].

Особенности горных территорий подтверждают влияние не только широтного положения, но также высоты местности, экспозиции склонов и локальных микроклиматических условий на фенологическое развитие. Поэтому агроклиматическое районирование обеспечивает более точное фенологическое прогнозирование по сравнению с административно-территориальным делением [5, 7, 12].

Полученные результаты дополняют исследования по прогнозированию численности и пространственного распределения вредных нестадных саранчовых в Казахстане [11, 13, 14]. В отличие от них, настоящее исследование ориентировано на прогнозирование сроков развития, позволяющее определить оптимальное время проведения фитосанитарных обследований. Следовательно, карты фенологического прогноза дополняют карты фитосанитарного риска, обеспечивая пространственно-временное планирование мониторинга [4, 21].

Выявленная тенденция к более раннему массовому отрождению личинок требует осторожной интерпретации. Практически синхронное смещение сроков во всех агроклиматических зонах может быть связано как с современными климатическими изменениями, так и с особенностями формирования многолетнего фенологического календаря. Поэтому выявленная скорость изменения (–0,20 суток в год) требует дальнейшей проверки по первичным полевым наблюдениям, данным о видовом составе и многолетним агрометеорологическим рядам [15, 17, 24]. При этом важное значение имеют сумма эффективных температур и другие агроклиматические предикторы, определяющие продолжительность развития различных видов саранчовых [15, 16, 24].

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования полученных фенологических параметров при совершенствовании государственного фитосанитарного мониторинга. Указанные сроки массового выхода личинок и расчётный срок 13–16 дней до II возраста можно использовать для организации маршрутного обследования, включение этих сроков в ГИС с периодической коррекцией по условиям агрометеорологии позволит разработать региональную систему фенологического прогнозирования исследуемых вредителей.

Заключение

Установлено, что сроки массового отрождения личинок вредных нестадных саранчовых существенно различаются между агроклиматическими зонами Казахстана. Использование агроклиматического районирования позволило более точно отразить региональные особенности фенологического развития по сравнению с единым календарным подходом. Разница между крайними по времени отрождения личинок районами достигает 23 дней, однако наблюдается стабильная пространственная структура районов за период с 2003 по 2025 год.

Результаты работы показывают эффективность применения длительных рядов материалов фитосанитарного мониторинга для построения фенологического прогноза вредоносных нестадных видов саранчовых. Наблюдаемая тенденция к смещению сроков выхода личинок на раннее время нуждается в дальнейшем уточнении по материалам первичных полевого мониторинга и агрометеорологии.

Практическая ценность работы состоит в применении времени массового выхода личинок из яиц как стартовой точки для организации фитосанитарного контроля. Интервал 13–16 дней до выхода во второй возраст можно использовать при составлении графика последующих осмотров, но только с учётом уточнения фактическими данными полевых исследований.

Список литературы

1 Uvarov, B.P. (1977). *Grasshoppers and locusts. A handbook of general acridology.* 2: Behaviour, ecology, biogeography, population dynamics. London: Centre for Overseas Pest Research, 613.

2 Zhang, L., Lecoq, M., Latchininsky, A., Hunter, D. (2019). Locust and grasshopper management. *Annual Review of Entomology*, 64, 15–34. DOI: 10.1146/annurev-ento-011118-111644.

3 Latchininsky, A.V., Sergeev, M.G., Childebaev, M.K., Chernyakhovsky, M.E., Lockwood, J.A., et al. (2002). *Acridids of Kazakhstan, Central Asia and adjacent territories.* Laramie: University of Wyoming, 387.

4 Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2025). *Practical guidelines on locust and grasshopper monitoring in Caucasus and Central Asia.* Rome: FAO. https://www.fao.org/

5 Latchininsky, A.V., Sivanpillai, R. (2010). *Locust habitat monitoring and risk assessment using remote sensing and GIS technologies.* In Integrated management of arthropod pests and insect-borne diseases. Dordrecht: Springer, 163–188.

6 Latchininsky, A.V. (2013). Locusts and remote sensing: A review. *Journal of Applied Remote Sensing*, 7, 075099. DOI: 10.1117/1.JRS.7.075099.

7 Klein, I., Oppelt, N., Kuenzer, C. et al. (2021). Application of remote sensing data for locust research and management. *Insects*, 12(3), 233. DOI: 10.3390/insects12030233.

8 Sivanpillai, R., Latchininsky, A.V., Driese, K., Kambulin, V. (2006). Mapping locust habitats in River Ili Delta, Kazakhstan, using Landsat imagery. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 117, 128–134.

9 Latchininsky, A.V., Sivanpillai, R., Driese, K.L., Wilps, H. (2007). Can early season Landsat images improve locust habitat monitoring in the Amudarya River Delta of Uzbekistan? *Journal of Orthoptera Research*, 16(2), 167–173.

10 Sivanpillai, R., Latchininsky, A.V. (2008). Can late summer Landsat data be used for locating Asian migratory locust (*Locusta migratoria migratoria*) oviposition sites in the Amudarya River Delta, Uzbekistan? *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 128(2), 346–353.

11 Malakhov, D.V., Tsychuyeva, N.Y., Kambulin, V.E. (2018). Ecological modeling of Locusta migratoria L. breeding conditions in south-eastern Kazakhstan. *Russian Journal of Ecosystem Ecology*, 3(1).

12 Klein, I., van der Woude, S., Schwarzenbacher, F., Muratova, N., Slagter, B., Malakhov, D., Oppelt, N., Kuenzer, C. (2022). Predicting suitable breeding areas for different locust species: A multi-scale approach accounting for environmental conditions and current land cover situation. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 107, 102672. DOI: 10.1016/j.jag.2021.102672.

13 Baibussenov, K.S., Amanbay, Zh.Z. (2025). Sovershenstvovanie metodov fitosanitarnogo kontrolya saranchi v umerenno vlazhnoi umerenno tyoploi agroklimaticheskoi zone Kazahstana na osnove primeneniya geoinformacionnyh i informacionnyh tehnologii [Improvement of methods of phytosanitary control of locusts in the moderately humid moderately warm agro-climatic zone of Kazakhstan based on the use of geoinformation and information technologies]. *Vestnik nauki Kazakhskogo agrotekhnicheskogo issledovatelskogo universiteta imeni S. Seifullina*, 2(126). DOI: 10.51452/kazatu.2025.2/1(126).1912. [*In Russian*].

14 Baibussenov, K.S., Amanbay, Zh.Z., Bekbaeva, A.B. et al. (2025). Applying machine learning models to predict population dynamics of harmful non-gregarious locusts across Kazakhstan agroclimatic zones. *World Journal of Environmental Biosciences*, 14(4), 100–111.

15 Buckley, L.B. (2022). Temperature-sensitive development shapes insect phenological responses to climate change. *Current Opinion in Insect Science*, 52, 100897. DOI: 10.1016/j.cois.2022.100897.

16 Wang, X., Zhang, L., Ma, J., Wang, H., Zhao, Z. (2014). Improving the degree-day model for forecasting Locusta migratoria manilensis (Meyen) (Orthoptera: Acrididae). *PLoS ONE*, 9(3), e90024. DOI: 10.1371/journal.pone.0090024.

17 Azhbenov, V.K., Dinasilov, A.S., Arystangulov, S.S., Zhumagaliev, A.K., Nurmanov, Zh.G., Nikonorov, A.P. (2024). Fitosanitarnyi kontrol' za marokkskoi saranchoi v Kazahstane v usloviyah antropogennogo vliyaniya i masshtabnyh izmenenii klimata [Phytosanitary control of Moroccan locusts in Kazakhstan under conditions of anthropogenic influence and large-scale climate change]. *Elita.uz - Elektron Ilmiy Jurnal*, 1(1), 20–22. [*In Russian*].

18 Sergeev, M.G., Childebaev, M.K., Vankova, I.A., Gapparov, F.A., Kambulin, V.E., Kokanova, E.O., Lachininsky, A.V., Pshenitsyna, L.B., Temreshev, I.I., Chernyakhovsky, M.E. *et al*. (2022). *Ital'yanskaja sarancha Calliptamus italicus (Linnaeus, 1758): Morfologiya, rasprostranenie, ekologija, upravlenie populyaciyami* [*Italian locust Calliptamus italicus (Linnaeus, 1758): Morphology, distribution, ecology, and population management*]. Rome: FAO, XVIII, 333. DOI: 10.4060/cb7921ru. [*In Russian*].

19 Sagitov, A.O., Duisembekov, B.A., Ismuhambetov, Zh.D. i dr. (2016). *Fitosanitarnyi monitoring osobo opasnyh i vrednyh organizmov (vreditelei, boleznei, sornyakov)* [*Phytosanitary monitoring of especially dangerous and harmful organisms (pests, diseases, weeds)*]. Almaty: Kazahskii nauchno-issledovatel'skii institut zashhity i karantina rastenii, 3-e izd., 376. [*In Russian*].

20 Kambulin, V.E., Yskak, S., Uspanov, A.M., Niyazbekov, Zh.B., Esimov, U.O., Boltaev, M.D., Ermekbaev, B.U., Bashkaraev, N.A., Nurmanov, Zh.G. (2024). *Rekomendacii po primeneniju bespilotnyh letatel'nyh apparatov (BPLA) dlja fitosanitarnogo monitoringa lichinok saranchovyh* [*Recommendations on the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for phytosanitary monitoring of locust larvae*]. Almaty: Kazahskii nauchno-issledovatel'skii institut zashhity i karantina rastenii im. Zh. Zhiembaeva, 36. [*In Russian*].

21 Latchininsky, A.V. (2026). *Practical guidelines on locust and grasshopper monitoring in Caucasus and Central Asia.* Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/ DOI: 10.4060/cd7870en.

22 Mann, H.B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13(3), 245–259.

23 Sen, P.K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 1379–1389. DOI: 10.1080/01621459.1968.10480934.

24 Rebaudo, F., Rabhi, V.-B. (2018). Modeling temperature-dependent development rate and phenology in insects: Review of major developments, challenges, and future directions. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 166(8), 607–617. DOI: 10.1111/eea.12693.

Қазақстанның агроклиматтық аймақтарында зиянды саяқ шегірткелердің фенологиялық дамуын кеңістіктік талдау негізінде болжау

Байбусенов К.С., Елубаев Д.Р., Усалинов Е.Б., Аманбай Ж.З.

«С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Зиянды саяқ шегірткелердің фенологиялық болжамы фитосанитариялық мониторингті уақтылы ұйымдастыру және зерттеу мерзімдерін оңтайландыру үшін маңызды. Зерттеудің мақсаты 2003–2025 жылдардағы фитосанитариялық мониторинг деректері негізінде Қазақстанның агроклиматтық аймақтарындағы зиянды саяқ шегірткелер дернәсілдерінің жаппай шығу мерзімдерінің кеңістіктік ерекшеліктері мен көпжылдық динамикасын анықтау.

Материалдар мен әдістер. Қазақстанның әкімшілік аудандары бойынша зиянды саяқ шегірткелердің фенологиялық фазаларының басталу мерзімдері туралы көпжылдық деректер пайдаланылды. Дернәсілдердің жаппай шығуының күнтізбелік күндері жылдың реттік күндеріне (DOY) түрлендірілді. Кеңістіктік талдау аумақтың жылумен және ылғалмен қамтамасыз етілу көрсеткіштеріне негізделген агроклиматтық аудандастыруды ескере отырып жүргізілді. Аймақтар арасындағы айырмашылықтар Фридман критерийімен, кеңістіктік реттіліктің сәйкестігі Кендалл конкордация коэффициентімен, көпжылдық үрдістер Манн–Кендалл критерийі және Сен көлбеуін бағалау әдісімен бағаланды. Фенологиялық режимнің кеңістіктік тұрақтылығы Спирменнің рангтік корреляция коэффициенті бойынша бағаланды.

Нәтижелер. Қазақстанның агроклиматтық аймақтары арасында дернәсілдердің жаппай шығу мерзімдерінің айқын кеңістіктік сарапануы анықталды. Ең ерте және ең кеш мерзімдер арасындағы айырмашылық 23 тәулікті құрады: аридті ыстық аймақта 21 сәуірден өте ылғалды қоңыржай жылы аймақта 14 мамырға дейін. Аймақтар арасындағы айырмашылықтар статистикалық тұрғыдан маңызды болды (χ^2=226,0; p<0,001), ал кеңістіктік реттіліктің тұрақтылығы жоғары болды (W=0,983). Дернәсілдердің ертерек шығуына қарай статистикалық тұрғыдан маңызды үрдіс анықталды, оның жылдамдығы жылына −0,20 тәулік (p=0,010), бұл ретте кеңістіктік құрылым сақталды (ρ=0,995). Аудан мен жыл тұрақты әсерлері бар модель шығу мерзімдерінің вариациясының 98,9% түсіндірді. Дернәсілдердің жаппай шығуынан кейін екінші жасқа өтуінің болжамды кезеңі 13–16 тәулікті құрады.

Қорытынды. Агроклиматтық аудандастыру зиянды саяқ шегірткелердің фенологиялық дамуының кеңістіктік біркелкі еместігін ескеруге мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер нақты далалық және агрометеорологиялық деректерді ескере отырып, фитосанитариялық зерттеулер мерзімдерін саралап жоспарлау және фенологиялық болжау жүйесін жетілдіру үшін пайдаланылуы мүмкін.

Кілт сөздер: зиянды саяқ шегірткелер; фенологиялық даму; фенологиялық болжау; агроклиматтық аймақтар; кеңістіктік талдау; фитосанитариялық мониторинг.

Forecasting the phenological development of harmful non-gregarious locusts in the agroclimatic zones of Kazakhstan based on spatial analysis

Kurmet S. Baibussenov, Dastan R. Yelubayev, Yerkin B. Ussalinov, Zhasulan Z. Amanbay

NJSC “S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University”, Astana, Kazakhstan

Abstract

Background and Aim. Forecasting the phenology of damaging non-gregarious locusts allows timely organization of phytosanitary monitoring, optimizing survey timing. The goal of the research was to identify the spatial features and trends over time in the period of mass emergence of damaging non-gregarious locust nymphs across agro-climatic regions of Kazakhstan using data from phytosanitary surveillance conducted between 2003–2025.

Materials and Methods. Long-term data on the dates of phenophases in harmful non-grasshopper species from regions of Kazakhstan are presented. The calendar date of massive nymph emergence was transformed to day-of-year (DOY). Spatial analyses were carried out with consideration of agro-climate zoning according to thermal and water supply criteria. Differences between zones were assessed using the Friedman test, consistency of the spatial order was assessed using Kendall’s coefficient of concordance, long-term trends were assessed using the Mann–Kendall test and Sen’s slope estimator. The spatial stability of the phenological regime was assessed using Spearman’s rank correlation coefficient.

Results. Spatial variability of time of mass nymphs hatching for agro-climatic regions of Kazakhstan revealed. Difference between minimum and maximum dates – 23 days (April 21 in dry-hot region up to May 14 in very-wet moderately-warm region); differences between regions are significant (χ^2=226.0; $p<0.001$), stability of spatial pattern is high (W=0.983). Statistically significant trend towards earlier nymph hatching was -0.20 days/year (p=0.010) with preserved spatial pattern (rho = 0.995); model with fixed effects of district and year accounted for 98.9% variance in hatching dates; estimated time from mass hatching until reaching second instar was 13–16 days.

Conclusion. Agroclimatological zonation allows considering the space-time variability of phenology of damaging nongregarious locusts. The obtained results may find application in differential scheduling of phytosurveys and optimization of a phenological forecasting system based on current field and agro-meteorological observations.

Keywords: harmful non-gregarious locusts; phenological development; phenological forecasting; agroclimatic zones; spatial analysis; phytosanitary monitoring.