

УДК 632

DOI 10.51691/2541-8327_2022_9_9

***ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ МЕСТ РАСПРОСТРАНЕНИЯ
ВРЕДНЫХ НЕСТАДНЫХ САРАНЧОВЫХ В ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКИХ
РАЙОНАХ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ
РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВИДОВ***

Байбусенов К.С.

доктор PhD, ассоциированный профессор,

Казахский агротехнический университет имени Сакена Сейфуллина,

Казахстан, г. Астана

Ажбенов В.К.

д.б.н., профессор, академик АСХН РК,

*Казахский научно-исследовательский институт защиты и карантина
растений имени Жазкена Жиёмбаева,*

Казахстан, г. Алматы

Бекбаева А.М.

магистр наук, научный сотрудник ГИС-центра,

Казахский агротехнический университет имени Сакена Сейфуллина,

Казахстан, г. Астана

Аннотация. В статье приведены результаты исследований, основанные на результатах моделирования экологических ниш (ENM), которое было реализовано с использованием платформы MaxEnt. При моделировании экологических ниш были определены границы классов по вероятности заселения вредителями, результаты исследований представляют собой охват этих областей по отношению к общей площади исследований. Инновацией этого исследования является универсальный подход, который учитывает не только экологические и климатические условия, но и текущую ситуацию с управлением сельскохозяйственными землями и применением пестицидов.

Ключевые слова: нестадные саранчовые вредители, моделирование экологической ниши (ENM), прогнозирование потенциального распространения, Северный Казахстан.

***PREDICTION OF POTENTIAL DISTRIBUTION SITES OF HARMFUL
NON-INVASIVE LOCUSTS IN AGRICULTURAL AREAS OF NORTHERN
KAZAKHSTAN USING A SPECIES DISTRIBUTION MODEL***

Baibussenov K.S.

*PhD, Associate Professor, Saken Seifullin Kazakh Agro Technical University
Kazakhstan, Astana*

Azhbenov V.K.

*Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of the Academy of
Agricultural Sciences of the Republic of Kazakhstan,
Kazakh Research Institute of Plant Protection and Quarantine named after Zhazken
Zhiembayev,
Kazakhstan, Almaty*

Bekbayeva A.M.

*Master of Science, Researcher at the GIS Center,
Saken Seifullin Kazakh Agro Technical University,
Kazakhstan, Astana*

Annotation. The article presents the results of research based on the results of modeling ecological niches (UST), which was implemented using the MaxEnt platform. When modeling ecological niches, class boundaries were determined according to the probability of pest infestation, the research results represent the coverage of these areas in relation to the total area of research. The innovation of this study is a universal approach that takes into account not only environmental and climatic conditions, but also the current situation with the management of agricultural land and the use of pesticides.

Keywords: non-invasive locust pests, ecological niche modeling (ENM), prediction of potential spread, Northern Kazakhstan.

Введение.

Актуальная проблема в области защиты растений – это высокая угроза опасных вредных организмов производству сельскохозяйственной продукции и продовольственной безопасности государства [3]. Исследования в области нахождения путей ограничения вредных организмов и их влияния на продовольственную безопасность являются неотложными и приоритетными задачами [27].

В соответствии с современными тенденциям развитием науки и техники мировой уровень научных исследований в защите растений определяется использованием инновационных технологий в фитосанитарном мониторинге и прогнозировании [4, 17, 30]. С применением инновационных технологий, таких как ГИС и ГЛОНАСС/GPS-технологий открывается исключительная возможность точного выявления очагов вредных видов, быстрой передачи данных, прогнозирования их дальнейшего распространения и принятия правильных решений по защите урожая.

Северный Казахстан является экономически значимым земледельческим регионом в республике. Вместе с этим, природно-климатические данные региона считаются наиболее оптимальной средой для распространения и вредоносности всех видов саранчовых [21]. Актуальным остается предотвращение ущерба от вредных нестатных саранчовых, которые в годы массового размножения причиняют не меньший вред, чем статные перелетные виды саранчи [10, 18]. Притом, естественные сельскохозяйственные угодья являются резервуаром для нестатных саранчовых. В связи с чем, непосредственно близкое расположение посевов сельскохозяйственных культур к пастбищным участкам делает благоприятным для заселения данными фитофагами [6].

Если подходить с практической и производственной точки зрения, то все мониторинговые работы по нестадным саранчовым ведутся одновременно по комплексу вредоносных видов для сельского хозяйства. Согласно литературных источников и наших собственных наблюдений [2, 20, 35], комплекс вредных нестадных саранчовых, дестабилизирующий производство сельскохозяйственных растений насчитывает 9-10 видов. Из них в земледельческих районах Северного Казахстана встречаются такие виды как малая крестовичка - *Dociostaurus brevicollis* (Ev.), атбасарка - *Dociostaurus kraussi kraussi* (INGEN.), темнокрылая кобылка - *Stauroderus scalaris* (F.-W.), сибирская кобылка - *Aeropus sibiricus sibiricus* (L.), крестовая кобылка - *Pararcpytera microptera microptera* (F.-W.), белополосая кобылка - *Chorthippus albomarginatus albomarginatus* (DEG.), степной конек - *Euchorthippus pulvinatus* (F.-W.). Все указанные виды на станциях встречаются в комплексном соотношении.

Регионы Северного Казахстана по показателям распространенности нестадных саранчовых относятся к региону с высокой степенью заселенности [20]. Они повреждают зерновые, зернобобовые, кормовые культуры и пастбищные угодья. Согласно Приказу Министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 19.03.2020 г. № 100 [16], нестадные саранчовые включены в перечень вредных организмов, фитосанитарные мероприятия против которых осуществляется за счет бюджетных средств.

Цель исследований – моделирование экологических ниш нестадных саранчовых вредителей на основе ГИС-технологий и методов дистанционного зондирования для выявления потенциальных мест распространения и предотвращения ущерба от опасных вредителей в земледельческих районах Северного Казахстана.

Прогностическое моделирование географического распределения на основе экологической ниши изучаемого объекта стало важным инструментом в агроэкологии [29, 31]. Моделирование использует предыдущую информацию о

пространственном распределении видов в экосистеме, ограничивая прогнозные модели ближайшей экологической нишей, таким образом генерируя прогноз возможных районов встречаемости на основе условий окружающей среды, которые схожи с выявленной фактически заселенной площадью [33].

В результате моделирования экологических ниш исследуемых вредителей, с помощью таких продуктов ГИС-технологий как программа MAXENT, становится возможным на цифровых картах исследуемой местности располагать информацией о потенциальных местах размножения саранчовых вредителей, куда в первую очередь должны быть направлены усилия по мониторинговым и защитным мероприятиям.

Как показывают современные результаты исследований в данном направлении, моделирование экологических ниш вредных организмов зависит, прежде всего, от факторов окружающей среды и некоторых экологических параметров [19, 22]. Ссылаясь на исследования большинства ученых [29, 31], в качестве данных факторов и параметров большое место отводится вегетационному покрову (индексу NDVI), что является кормовой базой фитофагов и метеопараметры исследуемой среды, что определяет благоприятные условия обитания тех или иных групп вредителей.

В нашем случае, нами выдвигается подход моделирования экологических ниш нестатных саранчовых вредителей на примере регионов Северного Казахстана, куда входят 4 области: Акмолинская, Павлодарская, Костанайская и Северо-Казахстанская. Стоит отметить, что данные исследования направлены на совершенствования фитосанитарного контроля и превентивных мер в исследуемом регионе для выявления потенциальных зон распространения вредных организмов, а также рационального планирования и использования средств защиты растений. Предлагаемые подходы и методы могут быть использованы другими исследователями схожих направлений.

Материалы и методы исследований.

Объектами исследования являлись нестадные виды саранчовых. Методики исследования и анализов – общепринятые методы в фитосанитарном мониторинге и прогнозе [1, 5, 7, 11, 14]. В целях определения экологических ниш исследуемых саранчовых, а также мониторинга их развития и распространения в рамках настоящего проекта задействованы имеющиеся ресурсы Центра ГИС-технологий Казахского агротехнического университета имени С. Сейфуллина. Для этого собирались данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) за многолетний период в виде космических снимков, климатические данные, исторические данные по массовым размножениям саранчовых, данные о рельефе местности, данные о почве [23-25, 28].

Особое место занимает оценивание фитосанитарного состояния посевов, т.е. обнаружение очагов болезней, вредителей и засоренности культуры сорняками. Как правило, для этих задач применяют методику определения различия в спектральных яркостях растительности в течение вегетационного периода на основе нормализованного дифференциального вегетационного индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) и индекс условий вегетации VCI (Vegetation Conditions Index) [8, 12, 13, 23-25, 28, 34].

В качестве данных ДЗЗ используются космические снимки из спутников TERRA и Aqua(MODIS). Климатические данные были получены из источников Bioclim. По результатам анализа будут уточнены критерии метеопараметров, при которых развиваются саранчовые. Данными со спутников Landsati Sentinel являются мультиспектральные изображения в оптическом, инфраскрасном, ближнем инфракрасном, термальном диапазонах с пространственным разрешением от 10 м до 60 м, периодичностью 3-16 дней [19, 23, 26, 27]. Со спутников MODISTERRA и AQUA были скачаны гиперспектральные изображения, с пространственным разрешением от 250 до 1000 м каждый день.

По результатам, классификации и расчета индексов, с калибровкой наземных данных выявляются территории местообитания саранчи, а также определены факторы распространения. Важным этапом разработки методики фитосанитарного контроля нестадных саранчовых является создание экологического моделирования ниш с использованием программы MaxEnt [25, 32].

Моделирование экологических ниш исследуемых нестадных саранчовых вредителей охватывает два направления:

- 1) разработку базовой модели на основе климатических переменных;
- 2) разработку модели экологических ниш на основе данных ДЗЗ.

Базовая модель представляет собой совокупность оптимальных климатических параметров (среднемесячные температуры, осадки, коэффициент ГТК и т.п.) для развития и размножения нестадных саранчовых вредителей и является основой для выявления очагов распространения и высокой плотности нестадных саранчовых для совершенствования превентивных мер управления вредителями в земледельческих районах Северного Казахстана. Для массового появления нестадных саранчовых критичным является засушливые условия вегетационного периода в течение ряда лет подряд [3, 6, 10, 18, 20, 21].

Результаты исследований и их обсуждение.

Обработка климатических данных и данных рельефа местности с электронных ресурсов для уточнения критериев метеопараметров.

В целях определения экологических ниш нестадных саранчовых собраны данные ДЗЗ в виде космических снимков, данных о рельефе местности. Проведен сбор и анализ климатических данных и данных рельефа местности с электронных ресурсов для уточнения критериев метеопараметров, при которых развиваются саранчовые. Получены климатические данные из источников: WorldClim; Bioclim. Проведен анализ по уточнению критериев метеопараметров, при которых развиваются саранчовые.

Снимки были загружены с помощью Google Engine. Загруженные данные были пересчитаны на средние помесечно по всем годам с 1999 по 2021 с помощью QGIS. Далее для моделирования все растры были приведены в единый пространственный сегмент и одинаковое пространственное разрешение. Также все растры были приведены в единую проекцию, и конвертированы в формат ASCII с помощью ArcGIS.

В таблице 1 приведены данные по ключевым климатическим и метеопараметрам. То есть, для обработки были взяты такие ключевые факторы как Индекс засушливости PDSI (Февраль-июль, 1999-2021), NDVI (Июнь, 2015-2021), NDWI (Июнь, 2015-2021), Солярная радиация (Февраль-июль, 1999-2021), Осадки (Январь-декабрь, 1999-2021), Температура минимальная (Январь-декабрь, 1999-2021) и Температура максимальная (Январь-декабрь, 1999-2021).

Таблица 1.

Климатические данные, определенные как входные параметры (data input) для моделирования экологических ниш (ENM) нестатных саранчовых вредителей

№	Климатические данные	Периодичность, гг.
1	Индекс засушливости PDSI, Февраль	1999-2021
2	Индекс засушливости PDSI, Март	1999-2021
3	Индекс засушливости PDSI, Апрель	1999-2021
4	Индекс засушливости PDSI, Май	1999-2021
5	Индекс засушливости PDSI, Июнь	1999-2021
6	Индекс засушливости PDSI, Июль	1999-2021
7	NDVI Июнь	2015-2021
8	NDWI Июнь	2015-2021
9	Сол. Радиация, Февраль	1999-2021
10	Сол. Радиация, Март	1999-2021
11	Сол. Радиация, Апрель	1999-2021
12	Сол. Радиация, Май	1999-2021
13	Сол. Радиация, Июнь	1999-2021
14	Сол. Радиация, Июль	1999-2021
15	Осадки Январь	1999-2021
16	Осадки Февраль	1999-2021
17	Осадки Март	1999-2021
18	Осадки Апрель	1999-2021
19	Осадки Май	1999-2021

ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ДНЕВНИК НАУКИ»

20	Осадки Июнь	1999-2021
21	Осадки Июль	1999-2021
22	Осадки Август	1999-2021
23	Осадки Сентябрь	1999-2021
24	Осадки Октябрь	1999-2021
25	Осадки Ноябрь	1999-2021
26	Осадки Декабрь	1999-2021
27	Температура минимальная Январь	1999-2021
28	Температура минимальная Февраль	1999-2021
29	Температура минимальная Март	1999-2021
30	Температура минимальная Апрель	1999-2021
31	Температура минимальная Май	1999-2021
32	Температура минимальная Июнь	1999-2021
33	Температура минимальная Июль	1999-2021
34	Температура минимальная Август	1999-2021
35	Температура минимальная Сентябрь	1999-2021
36	Температура минимальная Октябрь	1999-2021
37	Температура минимальная Ноябрь	1999-2021
38	Температура минимальная Декабрь	1999-2021
39	Температура максимальная Январь	1999-2021
40	Температура максимальная Февраль	1999-2021
41	Температура максимальная Март	1999-2021
42	Температура максимальная Апрель	1999-2021
43	Температура максимальная Май	1999-2021
44	Температура максимальная Июнь	1999-2021
45	Температура максимальная Июль	1999-2021
46	Температура максимальная Август	1999-2021
47	Температура максимальная Сентябрь	1999-2021
48	Температура максимальная Октябрь	1999-2021
49	Температура максимальная Ноябрь	1999-2021
50	Температура максимальная Декабрь	1999-2021

Как видно из данных, для проведения моделирования экологических ниш (ENM) больше всего (каждый по 24% из 100%) были использованы такие факторы как осадки, температура минимальная и температура максимальная за период с 1999 по 2021 гг.ежемесячно. Это объясняется тем что данные факторы являются основными в изучении биоэкологических особенностей вредителей [35].

В качестве второстепенных факторов были взяты такие показатели как Индекс засушливости PDSI и Солярная радиация (каждый по 12 % из 100%) за февраль-июль месяцы за 1999-2021гг. Индекс засушливости был добавлен в данном году исследования. Так как, была выявлена закономерность между

годами с ГТК. По мнению ученых [8, 13, 34] они также в определенной мере влияют на развитие и цикличность изучаемых вредителей.

Минорную позицию занимают показатели NDVI и NDWI за июнь, 2015-2021 гг. Данные показатели также являются важными [29, 31], так как индекс вегетации и увлажненность растений соответственно за июнь месяц. Июнь месяц был выбран в связи с тем, что личиночная стадия основных видов нестатных саранчовых приходится именно на этот месяц в регионах Северного Казахстана и все меры борьбы против них необходимо проводить до окрыления саранчи [10, 18, 20].

База исходных данных высококачественных участков растительного покрова и нескольких вспомогательных наборов данных достигает точности 80% (Copernicus Global Land Cover Layers: CGLS-LC100 collection). На рисунке 4 представлены классы исследуемой территории.

Слои земного покрова являются очень важным критерием в установлении предпочтительных мест обитания нестатных саранчовых вредителей, так как эти данные показывают растительность, что и является кормовой базой для исследуемых вредителей. Как видно из данных, выбранные районы исследований представлены преимущественно травянистой растительностью и пашней, что является очень благоприятным условием для обитания саранчовых вредителей. В дальнейшем эти критерии были учтены в моделировании экологических ниш исследуемых вредителей посредством сопоставления растительного покрова с готовой моделью о предпочтительном заселении вредителями.

Экологическое моделирование ниш нестатных саранчовых с использованием дистанционных методов.

Запуск модели проводился по базовым настройкам. Выбор оптимальной модели производится пошагово, число шагов (maximum iterations) по умолчанию установлено равным 500. Это значение чаще всего подходит только для простых моделей или для оценочного анализа. Для сложных моделей с

множеством факторов значение параметра требуется повышать. В нашем исследовании число шагов было установлено 5000. Также, был установлен накопленный (cumulative) результат, который наиболее пригоден при поиске границ распространения видов. Этот тип результата пропорционален вероятности присутствия вида при соблюдении ряда дополнительных условий.

Метод максимальной энтропии, является SDM, специально разработанной для случаев, когда известны точки присутствия вида, но нет точных данных о его отсутствии на определенной территории. Модель экологической ниши (ENM) выполняется в основном так же, как и SDM, но включает расширенный набор факторов [25, 32].

Входными данными модели были созданы случайным образом координаты точек на основе отчетов наземного обследования по районам исследований. Мы ранжировали (от 1 до 6) районы областей по данным отчетов о площадях заселения личинками нестадных саранчовых [9]. На основе классификации районов были созданы случайным образом точки для обучения модели.

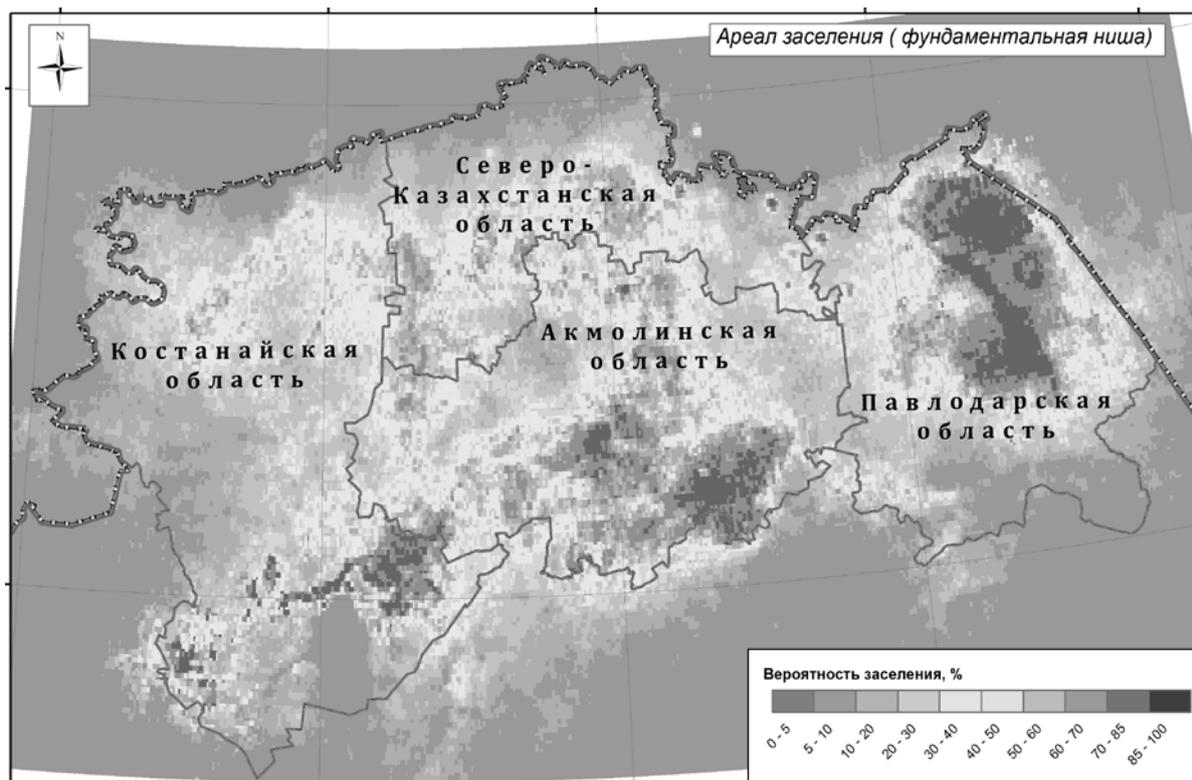


Рисунок 1. Результат моделирования: Фундаментальная ниша ареала заселения нестатных саранчовых вредителей

На рисунке 1 представлена реализованная ниша, полученная в результате проведенной модели. Во второй год исследований проведена работа по моделированию экологических ниш исследуемых саранчовых в целях прогнозирования их распространения на основе ГИС-технологий с использованием программы MaxEnt, в частности осуществлена механистическая модель (модель ENM - фундаментальная ниша). В данной случае были увеличены количество климатических факторов, что позволило осуществить механистическое моделирование фундаментальной ниши. Входные данные были учтены по всем районам, а входные параметры были взяты за 1999-2021 годы. При моделировании экологических ниш нестатных саранчовых вредителей, были определены следующие границы классов для перехода от количественных к качественным показателями: I (85-100%) - зона очень высокой вероятности заселения, II (70-85%) - зона высокой вероятности заселения, III (50-70%) - зона средней вероятности заселения, IV (0-50%) - зона

низкой вероятности заселения, С точки зрения фитосанитарной безопасности нас интересуют первые две зоны (I и II), так как остальные зоны не представляет риска для сельскохозяйственных районов.

Согласно запущенной модели ENM (рисунок 1), высокие показатели ареала заселения отводятся центральной и северной части Павлодарской области. Здесь моделирование экологических ниш на большинстве территории показывает вероятность заселения нестадных саранчовых I и II зоны с соотношением 1:1 (зоны равны) в слабо засушливой, умеренно теплой агроклиматической зоне. В южной части Костанайской области модель ENM на большинстве территории прогнозирует вероятность заселения I и II зоны с соотношением 1:2 (доминирует II зона) в умеренно засушливой теплой агроклиматической зоне данного региона. В южной и юго-восточной части Акмолинской области модель прогнозирует вероятность заселения I и II зоны с соотношением 1:3 (сверхдоминирует II зона) в слабо влажной, умеренно теплой агроклиматической зоне области. В Северо-Казахстанской области не наблюдаются I и II зоны. В связи с этим, данный регион можно отнести к районам с минимальной подверженностью заселения нестадными саранчовыми вредителями.

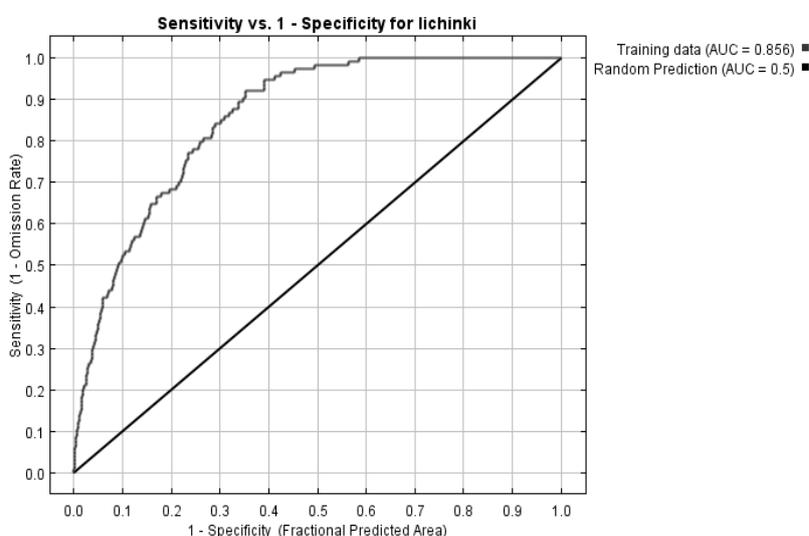


Рисунок 2.
кривая

ROC-
ошибка при

валидации механистической
модели (ENM).

Базовой мерой оценки качества модели в MaxEnt является площадь под ROC-кривой – AUC (area under receiver operating characteristic (ROC) curve) (рисунок 2). Этот показатель прогнозной способности интерпретируется как вероятность того, что случайно выбранные координаты предсказаны лучше, чем случайно выбранные фоновые координаты. По значению AUC качество моделирования можно условно разделить на пять категорий: 0.9–1 – “отлично”, 0.8–0.9 – “хорошо”, 0.7–0.8 – “удовлетворительно”, 0.6–0.7 – “плохо”, <0.6 – “очень плохо” (моделирование не удалось). На рисунке 3, представлена кривая ошибок по результатам моделирования. $AUC = 0.856$ (рисунок 2). Таким образом, полученная механистическая модель при экологическом моделировании ниш является удовлетворительной (адекватной).

Заключение.

В соответствии с современными тенденциям развитием науки и техники мировой уровень научных исследований в защите и карантине растений определяется использованием инновационных технологий в фитосанитарном мониторинге и прогнозировании. С применением инновационных технологий, таких как ГИС и ДЗЗ-технологии, открывается исключительная возможность точного выявления очагов вредных видов, быстрой передачи данных, принятия правильных и эффективных решений по защите урожая. Предлагаемый способ моделирования экологических ниш (ENM) вредных нестатных саранчовых является одним из инновационных подходов в прогнозировании развития и распространения вредителей сельскохозяйственных культур. Так как с помощью данного подхода можно установить предпочтительные места обитания и потенциальные зоны распространения саранчовых вредителей, особенно в Северной части Казахстана, где расположены основные экономически важные зерновые культуры и земли сельскохозяйственного пользования.

Финансирование.

Данные исследования выполняются в рамках финансируемого научного гранта - *ИРН AP08052747* «Фитосанитарный контроль за нестадными саранчовыми в земледельческих районах Северного Казахстана на основе инновации ГИС-технологий и методов дистанционного зондирования Земли» на 2020-2022 гг.

Библиографический список

- 1) Ажбенов. В.К. Руководство для выполнения мониторинговых работ по итальянской саранче с использованием GPS-технологий. -Астана, 2013. -41с.
- 2) Акмоллаева А.С. Саяқ шегірткелердің әр түрлі биотоптардағы түр құрамы // Международная научная конференция // Международная научная конференция «Стратегия научного обеспечения АПК РК в отраслях земледелия, растениеводства и садоводства: реальность и перспективы». – Алматы, 2004. - Кн. 2. - С. 202-203.
- 3) Ажбенов В.К., Костюченков Н.В., Байбусенов К.С. Превентивный фитосанитарный контроль засаранчовыми в Казахстане // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 125-летию со дня рождения Терентия Семеновича Мальцева. – Курган, 5 ноября 2020 г. – С. 613-619.
- 4) Гричанов И.Я. Высокопроизводительные и высокоточные технологии и методы фитосанитарного мониторинга. – СПб: ВИЗР. - 2009. - 86 с.
- 5) Дубровин В.В., Теняева О.Л., Крицкая В.П. Методы фитосанитарного мониторинга в защите растений от вредных организмов. – М., 2011. - 230 с.
- 6) Камбулин В.Е. Саранчовые - методы оценки вреда, прогноз численности и технологии выявления заселенных территорий / Камбулин В.Е. - Алматы, 2018. - 300 с
- 7) Камбулин В.Е., Ниязбеков Ж.Б., Муратова Н.Р., Цычуева Н.Ю. и др. Рекомендации по мониторингу саранчовых с использованием ГИС-технологий

и дистанционного зондирования Земли. – Алматы: Изд-во КазНИИЗКР, 2015. – 28 с.

8) Михайленко И.М. , Воронков И.В. Методы обнаружения сорняков, болезней и вредителей растений по данным дистанционного зондирования. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. - 2016. - Т. 13. - № 3. С. 72–83.

9) Обзоры распространения вредных организмов сельскохозяйственных культур в Казахстане в 1999-2019 гг. и прогноз их появления / МСХ РК. - Алматы/Астана. - 1999-2021.

10) Сергеев М.Г. Вредные Саранчовые России и сопредельных регионов: прошлое, настоящее, будущее // Защита и карантин растений. - 2010. - № 1. – С. 18-22.

11) Сагитов А.О., Дуйсембеков Б.А. и др. 2016. Фитосанитарный мониторинг вредных и особо опасных вредных организмов (вредителей, болезней, сорных растений): (учебное пособие), издание третье на каз.яз. – Алматы: Казахский НИИЗиКР. - 376 с.

12) Спивак Л.Ф., Батырбаева М.Ж., Витковская И.С., Муратова Н.Р., Исламгулова А.Ф. Пространственно-временные особенности изменения состояния степной растительности Казахстана по данным спутниковой съемки. / Экосистемы: экология и динамика, 2017, том 1, № 3, с. 116-145.

13) Спивак Лев, Витковская Ирина, Батырбаева Мадина, Кауазов Азамат. Оценка риска засухи для регионов Казахстана — на основе многолетних данных ДЗЗ./ Космические исследования и технологии. – 2011. № 1. -С.33-37.

14) Сулейменов С.И., Абдрахманов М.А., Сулейменова З.Ш., Камбулин В.Е. и др. Методические указания по учету и выявлению вредных и особо опасных вредных организмов сельскохозяйственных угодий. – Астана, 2009. – 312 с.

15) Трифонова Т.А., Мищенко Н.В., Краснощеков А.Н. Геоинформационные системы и дистанционное зондирование в экологических исследованиях. - М.: УМО РФ, 2005. – 349 с.

- 16) Утверждены Правила проведения фитосанитарных мероприятий (аннотация к документу от 19.03.2020) [Электрон. ресурс]. - 2020. - URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=36523634 (дата обращения: 06.05.2020).
- 17) Фролов А.Н. Современные тенденции развития фитосанитарного мониторинга и прогноза // Вестник защиты растений. - М. - 2010. - №2. – С. 3-14.
- 18) Чильдебаев М.К., Сагитов А.О., Акмоллаева А.С., Хасенов С.С, Материалы по фауне и экологии саранчовых Северного Казахстана // Вестник сельскохозяйственной науки. – 2004. - Т. 4. - С. 46-52.
- 19) Aguilar M., Lado C. Ecological niche models reveal the importance of climate variability for the biogeography of protosteloid amoebae // The ISME J. - 2012. - Vol. 6. - P. 1506–1514.
- 20) Baibussenov K.S., Sarbaev A.T., Azhbenov V.K., Harizanova V.B. Predicting the phase state of the abundance dynamics of harmful non-gregarious locusts in Northern Kazakhstan and substantiation of protective measures // Biosciences Biotechnology Research Asia - 2015. - Vol. 12 (2). - P. 1535-1543.
- 21) Baibussenov, K., Aigul Bekbaeva, Valery Azhbenov, Amageldy Sarbaev and Svetlana Yatsyuk. Investigation of Factors Influencing the Reproduction of Non-Gregarious Locust Pests in Northern Kazakhstan to Substantiate the Forecast of their Number and Planning of Protective Measures // OnLine Journal of Biological Sciences. - 2021. – Vol. 21 (1). – P. 144-153.
- 22) Barnagaud J-Y., Devictor V., Jiguet F., Barbet-Massin M., Le Viol I., Relating Habitat and Climatic Niches in Birds // PLOS ONE. – 2012. - Vol. 7(3) – P. 77-93.
- 23) Booth, T. H., Nix, H. A., Busby, J. R., & Hutchinson, M. F. Bioclim: the first species distribution modelling package, its early applications and relevance to most current MaxEnt studies // Diversity and Distributions. - 2013. – Vol. 20 (1). – P. 1-9.
- 24) Ceccato P., Cressman K., Giannini A., Trzaska S. The desert locust upsurge in West Africa (2003-2005): Information on the desert locust early warning system and

the prospects for seasonal climate forecasting // Intl J Pest Management. — 2007. — Vol. 53(1). – P. 7-13.

25) Elith J., Steven J. Trevor H., Miroslav D. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists // Diversity and Distributions. - 2011. – Vol. 17. – P. 43–57.

26) Hijmans R. J., Cameron, S. E., Parra J. L., Jones P. G., & Jarvis A. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas // International Journal of Climatology. – 2005. – Vol. 25(15). – P. 1965-1978.

27) Huis V., Cressman K., Magor J. Preventing desert locust plagues: optimizing management interventions // Entomologia Experimentalis et Applicata. — 2007. — Vol. 122. – P. 191-214.

28) Jakob J. The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM): a breakthrough in remote sensing of topography // Acta Astronautica. – 2001. – Vol. 48. - Iss. 5–12. – P. 559-565.

29) Latchininsky A.V., Sivanpillai R. Locust Habitat Monitoring and Risk Assessment Using Remote Sensing and GIS Technologies // Integrated Management of Arthropod Pests and Insect Borne Diseases. - 2010. – Vol. 5. P. 163-188.

30) Le Gall, M.; Overson, R.; Cease, A. A Global Review on Locusts (Orthoptera: Acrididae) and Their Interactions with Livestock Grazing Practices // Front. Ecol. Evol. – 2019. – Vol. 7.- P. 263.

31) Malakhov D.V., Zlatanov B.V. An Ecological Niche Model for *Dociostaurus maroccanus*, Thunberg, 1815 (Orthoptera, Acrididae): The Nesting Environment and Survival of Egg-Pods // Biosis: Biological Systems. - 2020. – Vol. 1(1). – P. 8-24.

32) Merow C., Smith M.J., Silander J.A. A practical guide to Maxent for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter // Ecography. – 2013. – Vol. 36 (10). – P. 1058-1069.

33) Phillips S.J., Anderson R.P., Schapire R.E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions // Ecol. Mod. – 2006. – Vol. 190. P. 231-259.

- 34) Terekhov A., Muratova N. Soils Spring Productive Moisture Reserve Evaluation Model for Northern Kazakhstan on the Basis of NOAA/AVHRR Information // Intern. Conf. Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology III, Manfred Owe, Guido D'Urso, Editors. Toulouse, 17–21 Sep. 2001. Proc. of SPIE. 2002. V. 4542. P. 47–52.
- 35) Zhang L., Lecoq M, Latchininsky A. and Hunter D. Locust and Grasshopper Management // Annual Review of Entomology. - 2019. – Vol. 64. – P. 15–34.

Оригинальность 76%