

Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің Ғылым жаршысы: пәнаралық = Вестник науки Казахского агротехнического исследовательского университета имени Сакена Сейфуллина: междисциплинарный. – Астана: С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 2025. - № 2/1 (126). - Р.17-28. - ISSN 2710-3757, ISSN 2079-939X

doi.org/ 10.51452/kazatu.2025.2/1(126).1912

ӘОЖ 631. 46: [631.862:636.2]

Зерттеу мақаласы

**Геоақпараттық және ақпараттық технологияларды қолдану негізінде
Қазақстанның әлсіз ылғалды орташа жылы агроклиматтық аймағында саяк
шегірткелерді фитосанитарлық бақылау әдістерін жетілдіру**

Байбусенов К.С. , Аманбай Ж.З. 

С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан

Автор-корреспондент: Байбусенов К.С.: kurmet_1987@bk.ru

Бірлескен автор: (1: ЖА) amانبай_zhasulan@mail.ru

Қабылданған күні: 10-04-2025 **Қабылданды:** 23-06-2025 **Жарияланды:** 05-07-2025

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Қазақстан – ауыл шаруашылығына бағытталған аграрлық ел, алайда шегіртке секілді зиянды организмдер егін шаруашылығына елеулі қауіп төндіреді. Жаппай көбейген жылдары шегірткелер өнімнің 100%-на дейін жойқын зиян келтіруі мүмкін. Осыған байланысты фитосанитариялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету үшін зиянкестер популяциясын болжау және басқару стратегиясына көшу қажеттілігі туындап отыр. Зерттеуде қашықтықтан зондтау, геоақпараттық жүйелер (ГАЖ), машиналық оқыту және жасанды интеллект негізінде зиянды стадиялық емес шегірткелердің таралуын болжауға арналған цифрлық веб-қосымша әзірлеу қарастырылады.

Материалдар мен әдістер. Бұл зерттеулерде стадиялық емес шегіртке зиянкестерінің таралуы мен қоныстануы туралы көпжылдық тарихи деректерді жинау және өңдеу үшін өсімдік зиянкестерінің пайда болуы мен дамуын фитосанитарлық бақылауда, болжауда және сигнал беруде статистикалық талдау әдістері пайдаланылды.

Зерттеу барысында. Ақмола және Қарағанды облыстарының агроклиматтық аймақтарында жүргізіліп, көпжылдық (2003-2023 жж.) фитосанитарлық деректер жиналды және талданды. Шегірткелердің таралуына әсер ететін метеорологиялық, климаттық және топырақтық факторлар ескерілді. Деректерді талдау үшін MySQL, Statistica, Python және Google Earth Engine сияқты құралдар пайдаланылып, нейрондық желілер мен машиналық оқыту модельдері негізінде болжау алгоритмдері жасалды.

Қорытынды. Жобаның нәтижесі зиянды организмдердің таралуын картаға түсіріп, нақты уақыт режимінде бақылауға мүмкіндік беретін веб-қосымша болады. Бұл шешім зиянкестерге қарсы күресте ресурстарды ұтымды пайдалануға, экологиялық қауіпсіздікті арттыруға және ауыл шаруашылығы өндірісінің рентабельділігін көтеруге септігін тигізеді.

Кілт сөздер: зиянды саяк шегіртке; болжау; агроклиматтық аймақ; модельдеу; ГАЖ және ақпараттық технология.

Кіріспе

Қазақстан Республикасы Ауыл шаруашылығы дақылдары негізгі экспортқа бағдарланған тауар болып табылатын аграрлық ел болып табылады. Ауыл шаруашылығы дақылдарының өнімділігін төмендететін негізгі факторлардың бірі - зиянды организмдер, соның ішінде шегіртке зиянкестерінің шабуылы. Агрометеорологиялық жағдайларға байланысты орта есеппен 30-50% жетуі мүмкін, ал жаппай көбею жылдарында зиян 100% жетеді [1]. Қазақстан аумағының фитосанитариялық қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін күрес Стратегиясынан зиянкестер

популяциясын басқару стратегиясына көшу қажет. Зиянды организмдердің популяциясын басқару қашықтықтан зондтауға, геоақпараттық жүйелер (ГАЗ) және қашықтықтан бақылау әдістеріне негізделген популяцияны болжау және бақылау әдістерін жетілдіру, алдын алу шараларын, соның ішінде қауіпті емес инсектицидтерді, биопестицидтерді және биологиялық құралдарды қолдану қажет.

Бүгінгі таңда өсімдіктерді қорғау жөніндегі заманауи маманға шегіртке зиянкестерінің санын болжау және бақылау бойынша нақты және нақты шешім қажет, ол қол жетімділігімен, жаңашылдығымен және қолдануда практикалық болуымен ерекшелену қажет. Себебі экономикалық әл-ауқат пен тұтастай алғанда өндірістің рентабельділігі осы мәселеге уақтылы жауап беруге байланысты болады [2].

Қазіргі уақытта агроөнеркәсіптік кешен саласында технологиялар мен цифрландыруды дамыту дәуірінде нақты уақыт режимінде қорғау іс-шараларын жоспарлау бойынша оңтайлы шешім қабылдау үшін машиналық оқыту алгоритмдері мен Қазақстанның әрбір агроклиматтық аймағы бойынша ГАЗ-технологиялар негізінде цифрлық ақпараттық веб-қосымша түріндегі зиянды стадиялық емес шегірткелер популяциясын фитосанитариялық болжау модельдерін әзірлеуге үлкен қажеттілік туындап тұр. Зиянды саяқ шегірткелердің фитосанитариялық мониторингі және зиянды стадиялық емес шегірткелерді болжау жөніндегі құзыретті қызметтер әлі күнге дейін ескірген әдістерді басшылыққа алады. Сонымен қатар, тек санның логикалық болжамы ғана қолданылып қана қоймайды, оларды құрастыру кезінде ауа-райы мен климаттың болжаушылары мүлдем ескерілмейді. Қазақстан аумағының фитосанитариялық қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін күрес стратегиясынан зиянкестер популяциясын басқару стратегиясына көшу қажет. Зиянды организмдердің популяциясын басқару үшін қашықтықтан зондтау, ГАЗ және қашықтықтан бақылау әдістеріне негізделген популяцияны болжау және бақылау әдістерін жетілдіру, алдын алу шараларын, соның ішінде қауіпті емес инсектицидтерді, биопестицидтерді және биологиялық құралдарды қолдану қажет [3].

Қазіргі уақытта өсімдіктерді қорғау саласындағы мамандар үшін шегіртке зиянкестерінің таралуын алдын ала анықтап, тиімді бақылау шараларын ұйымдастыру маңызды. Бұл үшін қолдануға ыңғайлы, заманауи және қолжетімді әдістер қажет. Себебі экономикалық әл-ауқат пен тұтастай алғанда өндірістің рентабельділігі осы мәселеге уақтылы жауап беруге байланысты болады [2].

Қазіргі кезде зиянды ағзаларға қарсы фитосанитарлық мониторингте жүзеге асатын технологиялар мен цифрландырудың қарқынды дамуына байланысты, зиянды саяқ шегірткелердің таралуын нақты уақыт режимінде болжауға мүмкіндік беретін, Қазақстанның агроклиматтық аймақтарына бейімделген ГАЗ-технологиялар мен машиналық оқыту әдістеріне негізделген веб-қосымша түріндегі фитосанитариялық болжау модельдерін құру өзекті мәселеге айналады. Сонымен қатар, фитосанитариялық мониторинг және зиянды саяқ шегірткелерді болжау жөніндегі құзыретті қызметтер әлі күнге дейін ескірген әдістерді басшылыққа алады. Зиянды саяқ шегірткелердің тек санның логикалық болжамы ғана қолданылып қана қоймайды, оларды құрастыру кезінде ауа-райы мен климаттың болжамалары мүлдем ескерілмейді [4].

Ғылыми жаңалығы ретінде Қазақстан Республикасының агроөнеркәсіп кешені саласындағы биоинформатика және цифрландыру нақты заманауи инновациялық шешімдерді талап ететіндігіне байланысты қорғау іс-шараларын жоспарлау бойынша оңтайлы шешім қабылдау үшін фитосанитариялық болжаудың автоматтандырылған жүйесін пайдалана отырып, зиянды саяқ шегірткелерді фитосанитариялық болжауды әдістемелік қамтамасыз ету жөніндегі веб-қосымшаны әзірлеу осы проблеманы уақтылы шешу болып табылады. Біздің жағдайда, бұл әзірлеме алғаш рет тәжірибелік қолдануға бағытталатын болады және фитосанитариялық мониторинг және болжау қызметі мамандары үшін Қазақстанның әрбір агроклиматтық аймағы бойынша зиянды саяқ шегірткелердің санын жыл сайын болжауда, демек, алдағы маусымға немесе болашақ жылға арналған қорғау шараларының көлемін жоспарлауда цифрлық сервис болып табылады. Бұл техникалық шешімдер мен веб-қосымшаның мүмкіндіктері қорғау шараларының көлемін оңтайлы жоспарлауға мүмкіндік берсе, ал өсімдіктерді қорғау құралдарын пайдалануды ұтымды етеді. Осы зерттеулердің нәтижелері мәлімделген саладағы ғалымдардың кең ауқымына, оларды ғылыми зерттеулерінде сілтеме жасауға және қолдануға мүмкіндік береді [5].

Геоақпараттық және ақпараттық технологияларды қолдану негізінде Қазақстанның әлсіз ылғалды орташа жылы агроклиматтық аймағында саяқ шегірткелерді фитосанитарлық бақылау әдістерін жетілдіру ауыл шаруашылығы өнімдерінің қауіпсіздігін арттыруға, зиянкестермен күресуде ресурстарды тиімді пайдалануға, инновациялық технологияларды енгізуге, экологиялық тұрақтылықты қамтамасыз етуге және фермерлерге нақты ақпарат пен қолдау ұсынуға мүмкіндік береді [6].

Материалдар мен әдістер

Бұл зерттеулерде стадиялық емес шегіртке зиянкестерінің таралуы мен қоныстануы туралы көпжылдық тарихи деректерді жинау және өңдеу үшін өсімдік зиянкестерінің пайда болуы мен дамуын фитосанитарлық бақылауда, болжауда және сигнал беруде статистикалық талдау әдістері пайдаланылды [7-10].

Осы жоба шеңберінде «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ жанындағы АӨК цифрландыру саласындағы технологиялық құзыреттілік орталығының ресурстары еске қосылды және пайдаланылды. Атап айтқанда, зерттеулер ауыл шаруашылығындағы үлкен деректерді талдау (Big Data), жасанды интеллект, ГАЖ-технологиялары зертханаларында жүргізіледі. Зерттеу барысы алдымен көпжылдық фитосанитарлық деректерді жинап, бірнеше болжау модельдеріне машиналық оқыту алгоритмін пайдалана отырып, ГАЖ арқылы кеңістікте талдауға мүмкіндік береді (1-сурет).



1-сурет – Жоба бойынша зерттеулерді орындау реттілігінің Блок-схемасы

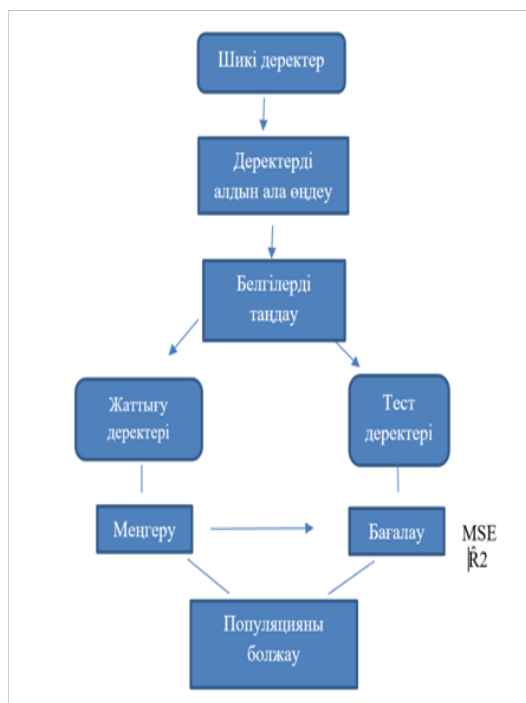
1. *Деректерді жинау және біріктіру.* 2-3 жыл бойы жүргізілген зерттеулерде фитофагтар популяциясы санының өзгеруінің қажетті заңдылықтары мен себептерін анықтау мүмкін болмағандықтан, біздің зерттеулерімізде зиянды саяқ шегірткелер санының көпжылдық динамикасының өзгеру заңдылықтарын анықтау үшін кейіннен санның барабар болжамдарын жасау үшін олардың Ақмола мен Қарағанды облысында таралуы мен қоныстануы туралы көпжылдық материалдар жиналатын, талданатын және өңделетін болады агроклиматтық аймақтарға байланысты. Осы мақсатта талдау үшін өсімдіктерді қорғау мемлекеттік қызметтерінің тарихи деректері, зиянкестердің пайда болуын болжау және дабыл беру пайдаланылды.

Жоба жиналған деректерді жан-жақты талдау және болжамды модельдерді құру үшін MySQL және PostgreSQL сияқты дерекқорды басқарудың реляциялық жүйелері (ДҚБЖ) стадиялық емес шегірткелердің зиянды түрлері бойынша ақпараттық дерекқорды құру кезінде Statistica бағдарламасын пайдаланылды.

2. *Болжау модельдері.* Нейрондық желілерді және машиналық оқыту технологияларын пайдалана отырып, зиянды саяқ шегірткелердің популяциясын болжау үшін әртүрлі кезеңдерді қамтитын кешенді тәсіл қабылданды. Ең алдымен, Ақмола мен Қарағанды облысының

агроклиматтық аймағындағы шегіртке зиянкестерінің популяциясы туралы көпжылдық тарихи деректер жиналып, өңделді. Бұл деректер климаттық жағдайлар, дақылдар және зиянкестердің болуы туралы ақпаратты қамтиды. Бұл кезең болжау моделін әзірлеу үшін негіз болып табылады [11].

Келесі қадам-деректерді дайындау. Шикі деректер тазалау, жетіспейтін мәндерді толтыру және категориялық белгілерді кодтау процесінен өтеді. Сонымен қатар, деректерді жақсы түсіну үшін exploratory Data Analysis (EDA) жүргізілді. Бұл кезең деректерді сақтау үшін MySQL және деректерді талдау үшін Python кітапханаларын пайдалануды қамтиды. Нейрондық желілерді қолдана отырып модельдеу кезеңінде болжаушылар туралы мәліметтерді қабылдайтын және шегіртке зиянкестерінің санын болжайтын нейрондық желі жасалды (2-сурет). Диссертациялық тақырыпқа сәйкес келетін базалық деректер модельдің өнімділігін бағалауға арналған оқу және сынақ жинақтарын қолданысқа енгізіп меңгеретін боламыз. Алдымен нейрондық желіні құру және оқыту үшін Google Cola және Keras және Thensorflow және т.б. сияқты Python кітапханаларын қолдандық. Қабаттар саны, нейрондар және белсендіру функциялары сияқты желі параметрлерін реттеу модельдің ең жақсы өнімділігіне қол жеткізу мақсатында жасалды [12]. Нәтижесінде, ұсынылған әдіс деректерді жинауды, дайындауды және талдауды, нейрондық желіні дамытуды және оны оңтайландыруды біріктіреді.



2-сурет – Нейрондық желілер мен машиналық оқыту технологияларын қолдана отырып, деректерді өңдеу және болжау моделін оқыту

Машиналық оқыту мен нейрондық желілерге негізделген шегіртке зиянкестерінің популяциясын болжаудың кешенді жүйесін жасайды (2-сурет). Бұл тәсіл Ақмола және Қарағанды облыстарының зиянды саяқ шегірткелердің популяциясын тиімді болжауға және басқаруға мүмкіндік береді [13].

3. ГАЗ. Кеңістіктік талдау Ақмола және Қарағанды облыстарының агроклиматтық аймағында зерттелетін зиянкестердің таралуын модельдеу мүмкіндігімен цифрлық карта жасау үшін стадиялық емес шегірткелердің популяциялық динамикасының метеопараметрлерінің өзгеруіне байланысты ГАЗ негізінде әдістер пайдаланылды. ЖҚЗ деректері ретінде TERRA және Aqua (MODIS), Sentinel, Landsat спутниктерінен ғарыштық суреттер пайдаланылды. Климаттық деректер Қазгидромет; WorldClim; Bioclim; Global-Pet; Aridityindex; Landcover және т.б. көздерден алынды. Landsat және Sentinel спутниктерінің деректері оптикалық, инфрақызыл, жақын инфрақызыл, кеңістіктік ажыратымдылығы 10-60 м дейінгі термалды диапазондағы мультиспектрлік кескіндер, жиілігі 3-16 күнді құрайды [14, 15].

Зерттеу барысында көктем мен жаз мезгілінің суреттері бойынша вегетациялық индекстердің матрицаларын есептеу қажет болды. Ол үшін ENVI, ERDAS немесе ArcGIS бағдарламалық жасақтамасын қолдана отырып есептеу жүргізілді. Топырақ ылғалдылығы туралы мәліметтер smos және smar ресурстарынан 1 км рұқсатпен жүктеледі <http://nsidc.org/data/smar> және Landsat суреттерінен жер бетінің температурасы есептелген. Жер бедері туралы деректер ShuttleRadarTopographyMission (SRTM) ашық көздерінен, топырақ деректері - мемлекеттік жер кадастрының автоматтандырылған ақпараттық жүйесінің порталынан алынды. Талдау нәтижелері бойынша шегірткелер дамитын метеопараметрлер критерийлері нақтыланатын болады.

4. *Веб-сайт (қосымша).* Шегіртке зиянкестерінің таралуы мен санын картаға түсіру және болжау ауыл шаруашылығы жерлері мен жайылымдарға келтірілген зиянды азайту үшін ажырамас қадамдар болып табылады. Қорғаныс іс-шараларын жоспарлау бойынша оңтайлы шешім қабылдау үшін фитосанитариялық болжаудың автоматтандырылған жүйесін пайдалана отырып, зиянды стадиялық емес шегірткелерді фитосанитариялық болжауды әдістемелік қамтамасыз ету жөніндегі веб-қосымшаны әзірлеу қажет.

Деректерді жинау және біріктіру: веб-интерфейс шегіртке зиянкестерінің популяциясына қатысты деректерді жинауға және біріктіруге арналған. Өртүрлі сипаттағы деректер шегірткелердің орналасқан жері, саны және даму кезеңдері туралы ақпаратты қамтиды [16, 17].

Нәтижелер мен талқылау

Даму және көбею ерекшеліктерін анықтау үшін зиянды саяқ шегірткелер санының динамикасы туралы ғылыми мәліметтер алынды. 2-3 жылда фитофагтар популяциясы санының өзгеруінің қажетті заңдылықтары мен себептерін анықтау мүмкін болмағандықтан, біздің зерттеулерімізде зиянды саяқ шегірткелер санының көпжылдық динамикасының өзгеру заңдылықтарын анықтау үшін, олардың таралуы мен қоныстануы туралы көпжылдық материалдар жиналып талданды және өңделді. Атап айтқанда, зерттелетін аумақ ішіндегі әрбір агроклиматтық аймақ үшін Қазақстанның орталық және солтүстік бөлігіндегі зиянды саяқ шегірткелер санының динамикасы бойынша көпжылдық тарихи деректер жиналды.

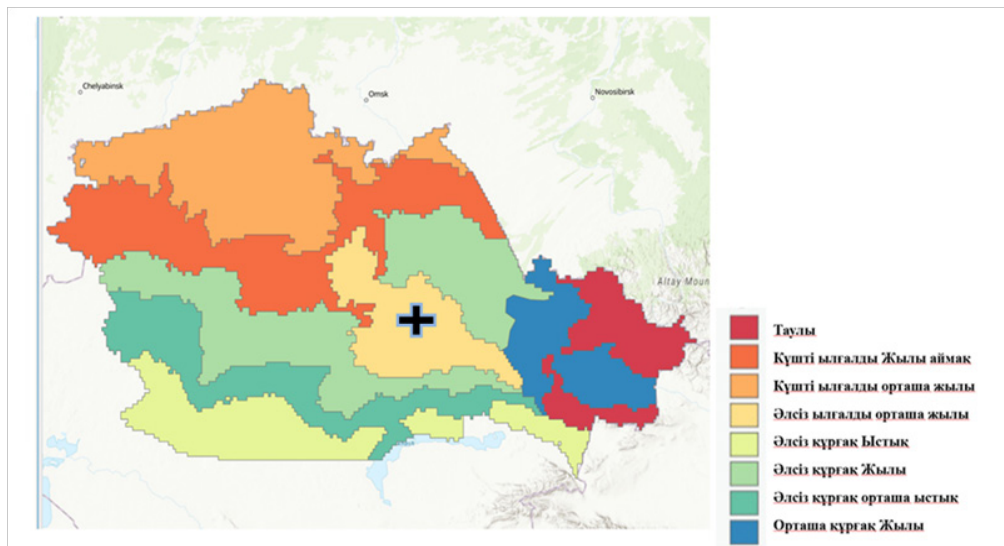
Машиналық оқыту технологияларының көмегімен деректерді одан әрі өңдеу және талдау үшін зерттелетін объектілердің саны мен таралуы туралы деректер 2003-2023 жылдар кезеңінде жиналды. Көпжылдық деректерді өңдеу барысында зиянкестер санының көрсеткіштері ретінде салыстырмалы қоныстану (Қс, %), негізгі қоныстану (Қн, дана/Қоныстату аймағы) және абсолютті қоныстану (Қабс, дана/м²) сияқты көрсеткіштер пайдаланылды. Жиналған деректерді жан-жақты талдау және болжамды модельдерді одан әрі құру үшін Statistica бағдарламасы, MySQL сияқты мәліметтер базасын басқарудың реляциялық жүйелері (СУБД) қолданылды. Бұл өз алдында саяқ шегірткелердің зиянды түрлері туралы ақпараттық мәліметтер базасын құруға мүмкіндік берді [18].

Бастапқы деректер Google Earth Engine платформасынан алынды. Google Earth Engine (GAE), бұл геокеңістіктік деректерді талдауға және визуализациялауға арналған бұлтты платформа. Ол спутниктік суреттерді, климаттық бақылауларды және жердегі климаттық деректерді қоса алғанда, қашықтықтан зондау және метеорологиялық деректердің үлкен массивіне қол жеткізуге мүмкіндік береді.

Деректерді талдау үшін күнделікті Тарихи климаттық және ауа-райы деректерін қамтамасыз ететін «ECMWF/ERA 5 LAND/DAILY_AGE» (ERA 5 - land Daily Aggregated-ECMWF Climate Reanalysis) деректер жиынтығы пайдаланылды. Өңдеуден өткен негізгі параметрлер белсенді температурасы бар күндер саны (+10 °С жоғары) және осы кезеңнің басталу күні болды. Деректер 2003-2023 жылдар аралығында таңдалған қызығушылық аймағының әрбір пикселі бойынша орташаланып алынған. Сонымен қатар, зерттеу аумағының әр пикселі үшін сол кезеңдегі белсенді температураның қосындысы туралы мәліметтер алынды. Жауын-шашын мен булану деректері негізінде ылғалдандыру коэффициенті есептелді, бұл климаттық жағдайларды олардың ауыл шаруашылығына жарамдылығы тұрғысынан бағалаудың маңызды көрсеткіші болып табылады.

Алынған нәтижелерге тереңірек талдау жүргізу үшін мәліметтер ArcGIS Pro жүйесінде өңделді. Содан кейін жалпы агроклиматтық сипаттамалары бар аймақтарды анықтау үшін ISO Cluster Unsupervised Classification құралы қолданылды. Бұл аймақтар векторлық

көпбұрыштарға айналдырылды, бұл өз алдында агроклиматтық аймақтарды түпкілікті жіктеу үшін аймақтық статистиканы жүргізуге мүмкіндік берді. Алынған мәліметтер негізінде зерттелетін аумақтағы температура мен ылғалдылық сипаттамаларындағы айырмашылықтарды көрсететін агроклиматтық аймақтар айқындалды. Қарастырылып отырған зерттеу аумағындағы агроклиматтық аймақ - әлсіз ылғал орташа жылы (3-сурет).

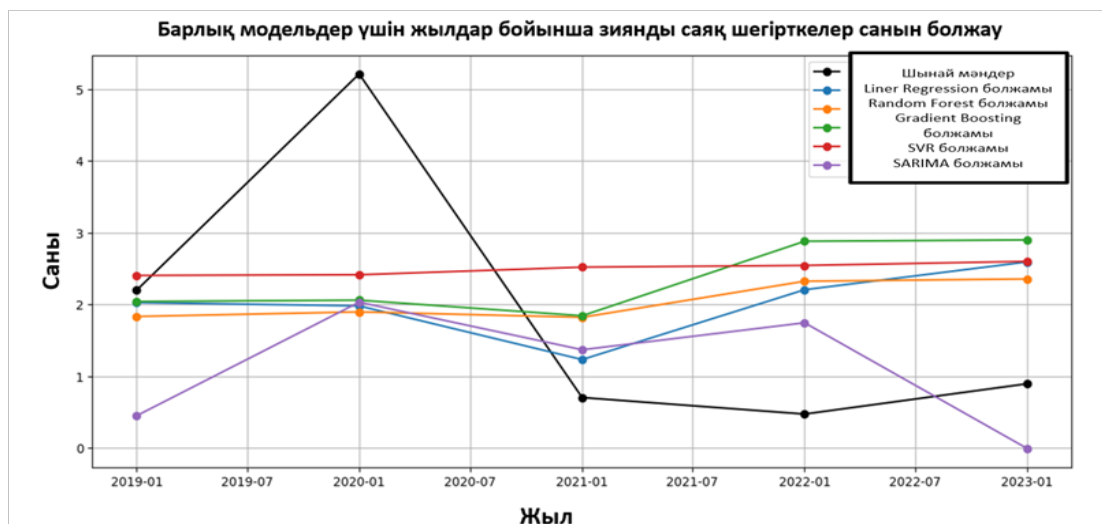


3-сурет – Агроклиматтық аймақ

Әлсіз ылғалды жылы аймақ Ақмола облысының оңтүстігі, Қарағанды облысының солтүстігінен оңтүстік-шығысына қарай Қарағанды қаласы мен жақын маңдағы аудандардың айналасын алып жатады.

Қазақстанның әрбір агроклиматтық аймағы үшін машиналық оқыту алгоритмдері негізінде санды болжау жүйесін құру үшін зерттелетін зиянкестер санын болжаудың негізгі предикторларын анықтау жұмыстары жүргізілді (4-сурет).

Әрбір агроклиматтық аймақ үшін Қазақстанның Орталық, Солтүстік бөлігіндегі зиянды саяқ шегірткелердің санын болжаудың іргелі болжаушыларын анықтау мақсатында машиналық оқыту алгоритмдерінің негізінде 2003-2023 жылдар кезеңіндегі ауа-райы-климаттық және эдафикалық (топырақ) факторлардың әсеріне байланысты зерттелетін зиянкестер санының динамикасы туралы көпжылдық тарихи деректер өңделді және талданды.



4-сурет – Барлық модельдер үшін жылдар бойынша зиянды саяқ шегірткелер санын болжау

Кіріс оқу және сынақ деректеріне бөлінді. Оқу деректері үшін 2003 жылдан 2018 жылға дейін, ал 2019 жылдан 2023 жылға дейін сынақ деректері ретінде таңдалды.

Төмендегі аталған стандартты модельдер арқылы болжам жасалынды:

- Сызықтық регрессия;
- Кездейсоқ орман;
- Градиентті күшейту;
- SVR;
- SARIMA.

MSE және R2 метрикасының мәніне сүйене отырып, SARIMA барлық модельдер арасында жақсы нәтиже көрсетті.

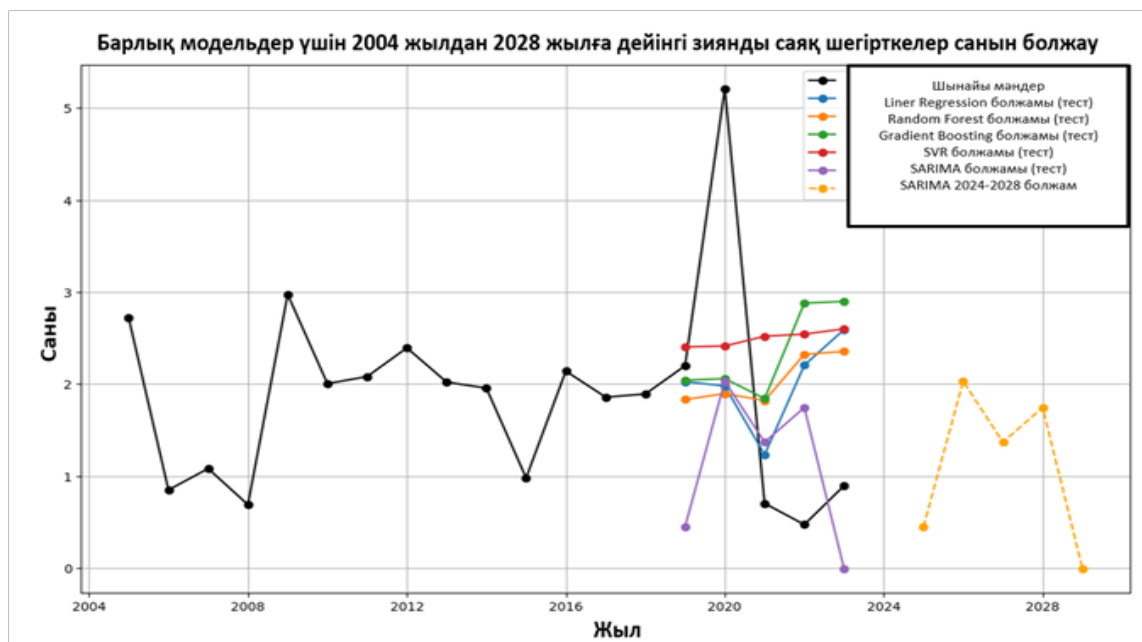
MSE және R2 метрикасының мәніне сүйене отырып, SARIMA барлық модельдер арасында жақсы нәтиже көрсетті.

Мұнда әр модельге арналған көрсеткіштерді талдау берілген:

- Linear Regression: MSE = 3.33, R2 = -0.07
- Random Forest: MSE = 3.59, R2 = -0.15
- Gradient Boosting: MSE = 4.21, R2 = -0.36
- SVR: MSE = 3.67, R2 = -0.18
- SARIMA: MSE = 3.21, R2 = -0.03

Алынған нәтижені қорытындылай Sarima ең аз MSE мәніне ие (3.21), бұл барлық модельдер арасындағы ең аз болжау қатесін көрсетеді. Барлық модельдер үшін R2 теріс, яғни болжамдар деректердің өзгеруін қарапайым орташадан гөрі жақсы түсіндірмейді. Алайда, SARIMA R2 (-0.03) ең кіші теріс мәні бар, бұл оны сәл дәлірек етеді. Осылайша, SARIMA ұсынылған модельдер арасында жақсы нәтиже көрсетті, өйткені ол уақыт қатарына тән уақытша және маусымдық тәуелділіктерді ескере отырып жақсы жұмыс істейді.

Өртүрлі сипаттамалары бар агроклиматтық аймақтар қарастырылады: таулы аймақтардан және ылғалды климаты бар орташа жылы аймақтардан құрғақ және ыстық аймақтарға дейін. Аймақтарды осындай кең қамту жағдайлардың әртүрлілігін ескеруге және зерттелетін фитофагтардың санына әсер ететін негізгі факторларды (негізгі предикторларды) анықтауға мүмкіндік берді. Алдын ала өңдеу кезеңінде кіріс машиналық оқыту модельдеріне бейімделді.



5-сурет – Барлық модельдер үшін 2004 жылдан 2028 жылға дейінгі зиянды саяқ шегірткелердің санын болжау

Аймақ және аудан кодтары сияқты категориялық айнымалылар сандық форматқа ауыстырылды. Тексеру деректерінің, атап айтқанда температураның, күн радиациясының және топырақ ылғалдылығының жетіспеушілігін анықтады. Өткізілген мәндер медианалық мәндермен толтырылды, бұл шығып қалған мәндерге байланысты сол мәндердердің бұрмалануына әкелген жоқ [19].

Зиянкестердің санын болжау үшін стандартты модельдер сыналды: сызықтық регрессия, кездейсоқ орман, градиентті күшейту, тірек векторлары (SVR) және SARIMA. 2003 жылдан 2018 жылға дейінгі деректер оқыту үшін, ал 2019 жылдан 2023 жылға дейін тестілеу үшін пайдаланылды (5-сурет).

Көптеген аймақтардағы орташа квадраттық қатенің (MSE) ең кіші мәні SARIMA моделінде алынды, бұл оның деректердегі уақытша және маусымдық тәуелділіктерді есепке алу қабілетіне байланысты. Болжамды деректер сәйкес, барлық агроклиматтық аймақтар бойынша 2024 жылдан кейінгі болашақ жылдарда (2024-2028 жж.) зиянкестер санының артатыны және оның 2026 жылы шыңына жетіп, кейін қайта төмендейтіні көрсетіледі. Бұл ереже, негізінен, зерттелетін зиянкестер санының динамикасының 10-12 жылдық циклінің жалпы тенденциясына қайшы келмейді және осы болжамды модельдің шындыққа жанасатынын растайды.

Алайда, сызықтық регрессия мен SVR жеке аймақтарда да жақсы нәтиже көрсетті, бұл аймақ сипаттамаларына байланысты модель тиімділігінің өзгергіштігін көрсетеді. Әр аймақ үшін нәтижелерді талдау зиянкестердің саны әртүрлі маусымдардағы әртүрлі болжаушыларға байланысты деген қорытындыға келеді.

Корреляциялық болжамды талдау әр аймақта әртүрлі климаттық және топырақ параметрлері зиянкестердің санына айтарлықтай әсер ететінін көрсетті. Осыған сәйкес, жер бетінен 2 м биіктіктегі температура, жауын-шашын және топырақ ылғалдылығы көптеген агроклиматтық аймақтарда маңызды іргелі предикторлар болып саналады.

Предикторларға және олардың әртүрлі агроклиматтық аймақтардағы зерттелетін зиянкестер санымен корреляциясына қатысты бірнеше маңызды жайттарды бөліп көрсетуге болады. Ең алдымен, температура, жауын-шашын және топырақ ылғалдылығы олардың санына әсер ететін негізгі предикторлар болып табылады. Сонымен қатар, корреляцияның түрі мен бағыты жыл мезгіліне және нақты агроклиматтық аймаққа байланысты өзгереді.

Көктемде көптеген аймақтарда температураның зиянкестер санымен оң корреляциясы байқалады. сәл ылғалды орташа жылы аймақта (популяция аймағының зиянкестер санымен корреляция коэффициенті: 0,450) температураның жоғарылауы зиянкестер популяциясының көбеюін ынталандырады.

Жаз мезгілінде бұл байланыстар одан сайын түрлене түседі. Әлсіз құрғақ орташа ыстық аймақта жауын-шашын мөлшері (шілде айындағы жауын-шашынның зиянкестер санымен корреляция коэффициенті: 0,118) және топырақ ылғалдылығы да популяцияның өсуіне ықпал етеді, ал жоғары температура тежегіш фактор ретінде анықталған.

Күзде корреляция агроклиматтық аймақтар арасында өзгеріп отырады. Әлсіз ылғалды орташа жылы аймақта температура (қазан айындағы температураның зиянкестер санымен корреляция коэффициенті: 0,211) зиянкестер санының өсуіне оң әсер етеді, ал топырақ ылғалдылығы (тамыз айындағы топырақ ылғалының зиянкестер санымен корреляция коэффициенті: - 0,229) керісінше теріс әсер етеді.

Осылайша, зиянкестер санының динамикасы климаттық жағдайлармен және метеопараметрлермен тығыз байланысты деген қорытынды жасауға болады. Көктемде температура мен жауын-шашынның көтерілуі олардың белсендірілуіне ықпал етеді. Әртүрлі агроклиматтық аймақтарда бұл келесі жағдайларда көрінеді:

Өте ылғалды орташа жылы аймақ: зиянкестердің белсендірілуі 12-15 °C температурада (сәуір және мамыр температурасы), жауын-шашын мөлшері 0,04-тен 0,06 м дейін және топырақтың ылғалдылығы 29-32% болған жағдайда байқалады.

Саяқ шегіртке зиянкестерінің санын болжаудың негізгі болжаушыларының деректерін анықтау Ақмола мен Қарағанды облыстарының агроклиматтық аймағы үшін машиналық оқыту алгоритмдерінің көмегімен болашақ жылдарға арналған сан динамикасын болжау жүйесі

құрылады. Бұл алдағы маусымға немесе жылға арналған қорғау шараларын барабар жоспарлауға мүмкіндік береді, өйткені ол зерттелетін зиянкестердің биоэкологиялық ерекшеліктері әртүрлі көрінетін әр агроклиматтық аймақтың ауа-райы мен климаттық сипаттамаларына және параметрлеріне сүйенеді [20].

Қорытынды

Зиянды саяқ шегірткелердің көпжылдық динамикасын зерттеу, олардың таралуы мен қоныстануының ерекшеліктерін анықтау агрономия мен экология саласында маңызды рөл атқарады. Бұл зерттеу Қазақстанның орталық және солтүстік бөліктеріндегі зиянкестердің саны мен таралу заңдылықтарын анықтауға бағытталған. Машиналық оқыту әдістері арқылы өңделген деректер, зиянкестер санын болжау үшін қолданылатын түрлі модельдердің тиімділігін көрсетеді. Жиналған көпжылдық мәліметтер негізінде, әрбір агроклиматтық аймақ үшін сандық болжамды модельдер құрылып, алдағы жылдарда зиянкестер санының өзгерісі туралы нақты болжамдар жасауға мүмкіндік береді. Бұл жұмыстар, сондай-ақ агроклиматтық аймақтардың ерекшеліктерін ескере отырып, болашақта қорғау шараларын тиімді жоспарлауға септігін тигізеді.

Қазақстанның агроклиматтық аймақтарының жіктелуі мен олардың температура және ылғалдылық сипаттамаларының өзгерістерін ескере отырып, зерттелген шегірткелердің саны мен таралуын алдын ала болжау нақты экологиялық жағдайларды басқаруға ықпал етеді. Сонымен қатар, жиналған деректер мен өңделген ақпараттар агроклиматтық жағдайлардың өзгерісіне сәйкес зиянкестердің биологиялық ерекшеліктерін ескере отырып, тиімді күрес шараларын әзірлеуге негіз болады. Бұл зерттеу агрономдар мен фермерлер үшін, шегірткелердің зиянды әсерін азайту мақсатында дәл болжамдар жасауға мүмкіндік береді. Атап айтқанда, болжау жүйесі алдағы аграрлық маусымға дайындықты жақсартып, экологиялық және экономикалық тиімділікті арттыруға ықпал етеді. Қорытындысында, зерттеудің нәтижелері Қазақстанның аграрлық саласындағы фитосанитарлық қауіпсіздікті қамтамасыз етуге бағытталған маңызды қадам болып табылады.

Авторлардың үлесі

ЖА: Зерттеуді концептуализациялап, рәсімдеді, әдебиетті жан-жақты зерттеп, жинақталған деректерді талдады және қолжазбаны дайындады. КБ: қолжазбаның соңғы редакциясын жасап, тексерді. Барлық авторлар қолжазбаның соңғы редакциясын оқып, қарап шығып, мақұлдады.

Қаржыландыру туралы ақпарат

Жұмыс 2024-2026 жылдарға арналған гранттық қаржыландыру шеңберінде ЖТН AP22784639 ғылыми-техникалық бағдарламасы бойынша «Машиналық оқыту алгоритмдері мен ГАЗ-технологиялары негізінде Қазақстанда зиянды саяқ шегірткелер популяциясын фитосанитариялық болжам беруінің модельдерін әзірлеу» тақырыбы бойынша қаржылық қолдаумен орындалды.

Әдебиеттер тізімі

- 1 Чильдебаев, МК, Сагитов, АО, Акмоллаева, АС, Хасенов, СС. (2004). Материалы по фауне и экологии саранчовых Северного Казахстана. *Вестник сельскохозяйственной науки*, 4, 46-52.
- 2 Камбулин, ВЕ. (2000). Саранчовые в Казахстане. *Защита и карантин растений*, 7, 12-13.
- 3 Камбулин, ВЕ, Ыскак, С., Төлеубаев, КМ. (2010). Динамика популяций стадных саранчовых в Казахстане, *Защита и карантин растений*, 4, 17-20.
- 4 Humphreys, JM, Srygley, RB, Branson, DH. (2022). Geographic variation in migratory grasshopper recruitment under projected climate change. *Geographies*, 2, 12-30.
- 5 Baibussenov, K., Bekbaeva, A., Azhbenov, V., Sarbaev, A., Yatsyuk, S. (2021). 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*, 21(1), 144-153.

6 Baibussenov, K., Bekbaeva, A., Azhbenov, V. (2022). Simulation of Favorable Habitats for Non-Gregarious Locust Pests in North Kazakhstan Based on Satellite Data for Preventive Measures. *Journal of Ecological Engineering*, 23(7), 299-311.

7 Сагитов, АО, Дуйсембеков, БА. и др. (2016). *Фитосанитарный мониторинг вредных и особо опасных вредных организмов (вредителей, болезней, сорных растений): учебное пособие*. Алматы: Казахский НИИЗиКР, 376.

8 Ажбенов, ВК. (2013). *Руководство для выполнения мониторинговых работ по итальянской саранче с использованием GPS-технологий*. Астана: 41.

9 Дубровин, ВВ, Теняева, ОЛ, Крицкая, ВП. (2011). *Методы фитосанитарного мониторинга в защите растений от вредных организмов*. М.: 230.

10 Сулейменов, СИ, Абдрахманов, МА, Сулейменова, ЗШ, Камбулин, ВЕ, и др. (2009). *Методические указания по учету и выявлению вредных и особо опасных вредных организмов сельскохозяйственных угодий*. Астана: 312.

11 Ibrahim, EA, et al. (2022). An expert system for insect pest population dynamics prediction. *Computers and Electronics in Agriculture*, 198, 107124.

12 Xiao, Q. et al. (2019). Occurrence prediction of pests and diseases in cotton on the basis of weather factors by long short term memory network. *BMC bioinformatics*, 20, 1-15.

13 de Oliveira Aparecido, LE, et al. (2020). Machine learning algorithms for forecasting the incidence of Coffea arabica pests and diseases. *International Journal of Biometeorology*, 64, 671-688.

14 Коновалова, НВ, Капралов, ЕГ. (1997). *Введение в ГИС: учебное пособие*. М.: ГИС-Ассоциация, 160.

15 Трифонова, ТА, Мищенко, НВ, Краснощеков, АН. (2005). *Геоинформационные системы и дистанционное зондирование в экологических исследованиях*. М.: УМО РФ, 349.

16 Карпик, АП. (2004). *Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий: монография*. Новосибирск: СГГА, 260.

17 Klein, I., et al. (2023). Application of geospatial and remote sensing data to support locust management. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 117. DOI: 10.1016/j.jag.2023.103212.

18 Klein, I., Oppelt, N., Kuenzer, C. (2021). Application of Remote Sensing Data for Locust Research and Management. *A Review. Insects*, 12. DOI:10.3390/insects12030233.

19 Brière, J.-F, Dubuc, PR. (2011). Climate variability and ecological consequences for insect pest populations. *Climatic Change*, 108(3-4), 431-443. DOI:10.1007/s10584-011-0145-6.

20 Yadav, S., Singh, H. (2016). Agro-climatic indices for evaluating agricultural suitability in arid regions. *Journal of Agrometeorology*, 18(1), 35-42.

References

1 Chil'debayev, MK, Sagitov, AO, Akmollaeva, AS, Hasenov, SS. (2004). Materialy po faune i ekologii saranchovyh Severnogo Kazahstana. *Vestnik sel'skohozyaistvennoi nauki*, 4, 46-52.

2 Kambulin, VE. (2000). Saranchovye v Kazahstane. *Zashhita i karantin rastenii*, 7, 12-13.

3 Kambulin, VE, Yskak, S., Toleubaev, KM. (2010). Dinamika populyacii stadnyh saranchovyh v Kazahstane, *Zashhita i karantin rastenii*, 4, 17-20.

4 Humphreys, JM, Srygley, RB, Branson, DH. (2022). Geographic variation in migratory grasshopper recruitment under projected climate change. *Geographies*, 2, 12-30.

5 Baibussenov, K., Bekbaeva, A., Azhbenov, V., Sarbaev, A., Yatsyuk, S. (2021). 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*, 21(1), 144-153.

6 Baibussenov, K., Bekbaeva, A., Azhbenov, V. (2022). Simulation of Favorable Habitats for Non-Gregarious Locust Pests in North Kazakhstan Based on Satellite Data for Preventive Measures. *Journal of Ecological Engineering*, 23(7), 299-311.

- 7 Sagitov, AO, Dujsembekov, BA, i dr. (2016). *Fitosanitarnyi monitoring vrednyh i osobo opasnyh vrednyh organizmov (vrediteli, boleznei, sornyh rastenii): uchebnoe posobie*. Almaty: Kazahskii NII ZiKR, 376.
- 8 Azhbenov, VK. (2013). *Rukovodstvo dlya vypolneniya monitoringovyh rabot po ital'yanskoi saranche s ispol'zovaniem GPS-tehnologii*. Astana: 41.
- 9 Dubrovin, VV, Tenyaeva, OL, Krickaya, VP. (2011). *Metody fitosanitarnogo monitoringa v zashhite rastenii ot vrednyh organizmov*. M.: 230.
- 10 Suleimenov, SI, Abdrahmanov, MA, Suleimenova, ZSh, Kambulin, VE, i dr. (2009). *Metodicheskie ukazaniya po uchetu i vyivleniyu vrednyh i osobo opasnyh vrednyh organizmov sel'skohozyaystvennyh ugodii*. Astana: 312.
- 11 Ibrahim, EA, et al. (2022). An expert system for insect pest population dynamics prediction. *Computers and Electronics in Agriculture*, 198, 107124.
- 12 Xiao, Q. et al. (2019). Occurrence prediction of pests and diseases in cotton on the basis of weather factors by long short term memory network. *BMC bioinformatics*, 20, 1-15.
- 13 de Oliveira Aparecido, LE, et al. (2020). Machine learning algorithms for forecasting the incidence of Coffea arabica pests and diseases. *International Journal of Biometeorology*, 64, 671-688.
- 14 Konovalova, NV, Kapralov, EG. (1997). *Vvedenie v GIS: uchebnoe posobie*. M.: GIS-Associaciya, 160.
- 15 Trifonova, TA, Mishhenko, NV, Krasnoshhekov, AN. (2005). *Geoinformacionnye sistemy i distancionnoe zondirovanie v ekologicheskikh issledovaniyakh*. M.: UMO RF, 349.
- 16 Karpik, AP. (2004). *Metodologicheskie i tehnologicheskie osnovy geoinformacionnogo obespecheniya territorii: monografija*. Novosibirsk: SGGA, 260.
- 17 Klein, I., et al. (2023). Application of geospatial and remote sensing data to support locust management. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 117. DOI: 10.1016/j.jag.2023.103212.
- 18 Klein, I., Oppelt, N., Kuenzer, C. (2021). Application of Remote Sensing Data for Locust Research and Management. *A Review. Insects*, 12. DOI:10.3390/insects12030233.
- 19 Brière, J.-F, Dubuc, PR. (2011). Climate variability and ecological consequences for insect pest populations. *Climatic Change*, 108(3-4), 431-443. DOI:10.1007/s10584-011-0145-6.
- 20 Yadav, S., Singh, H. (2016). Agro-climatic indices for evaluating agricultural suitability in arid regions. *Journal of Agrometeorology*, 18(1), 35-42.

**Совершенствование методов фитосанитарного контроля саранчи
в умеренно влажной умеренно тёплой агроклиматической зоне Казахстана
на основе применения геоинформационных и информационных технологий**

Байбусенов К.С., Аманбай Ж.З.

Аннотация

Предпосылки и цель. Казахстан аграрная страна, ориентированная на сельское хозяйство, однако такие вредные организмы, как саранча, представляют серьезную угрозу для земледелия. В годы массового размножения саранча может нанести ущерб до 100% урожая. В связи с этим возникает необходимость перехода к стратегии прогнозирования и управления популяцией вредителей для обеспечения фитосанитарной безопасности. В исследовании рассматривается разработка цифрового веб-приложения для прогнозирования распространения нестадных вредоносных саранчовых на основе дистанционного зондирования, геоинформационных систем (ГИС), машинного обучения и искусственного интеллекта.

Материалы и методы. В исследовании использовались методы статистического анализа в фитосанитарном контроле, прогнозировании и сигнализации появления и развития вредителей растений для сбора и обработки многолетних исторических данных о распространении и заселении нестадных саранчовых.

Ход исследования. Работы проводились в агроклиматических зонах Акмолинской и Карагандинской областей, были собраны и проанализированы фитосанитарные данные за 2003–2023 годы. Учитывались метеорологические, климатические и почвенные факторы, влияющие на распространение саранчи. Для анализа данных использовались инструменты MySQL, Statistica, Python и Google Earth Engine. На основе нейронных сетей и моделей машинного обучения были разработаны прогнозные алгоритмы.

Заключение. Результатом проекта станет веб-приложение, позволяющее в режиме реального времени отслеживать распространение вредных организмов на карте. Это решение поможет рационально использовать ресурсы в борьбе с вредителями, повысит экологическую безопасность и рентабельность сельскохозяйственного производства.

Ключевые слова: вредоносная саранча; прогнозирование; агроклиматическая зона; моделирование; ГИС и информационные технологии.

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

Kurmet S. Baibussenov, Zhasulan Z. Amanbay

Abstract

Background and Aim. Kazakhstan is an agrarian country focused on agriculture; however, harmful organisms such as locusts pose a serious threat to crop production. In years of mass outbreaks, locusts can cause up to 100% crop loss. Therefore, strategies focused on forecasting and managing pest populations are needed to ensure phytosanitary safety. This study explores the development of a digital web application for predicting the distribution of solitary (non-gregarious) locust species using remote sensing, geographic information systems (GIS), machine learning, and artificial intelligence.

Materials and Methods. The study employed statistical analysis techniques in phytosanitary monitoring, forecasting, and early warning of pest emergence and development. Long-term historical data (2003-2023) on the distribution and colonization of solitary locust pests were collected and analyzed.

Research Process. The research was conducted in the agro-climatic zones of the Akmola and Karaganda regions. Meteorological, climatic, and soil factors influencing locust distribution were considered. Data analysis was performed using tools such as MySQL, Statistica, Python, and Google Earth Engine. Forecasting algorithms were developed using neural networks and machine learning models.

Conclusion. The outcome of the project will be a web application that enables real-time mapping and monitoring of harmful organism distribution. This tool will support the efficient use of pest control resources, improve environmental safety, and increase the profitability of agricultural production.

Keywords: locusts; forecasting; agro-climatic zone; modeling; GIS; information technology; phytosanitary monitoring.