

О.А. Ивашук¹, Б.Е. Ягалиева^{2*}, Д.В. Гончаров¹,
О.О. Ивашук³, К.К. Макулов³

¹Белгород мемлекеттік ұлттық зерттеу университеті, Белгород қ., Ресей

²Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті, Алматы қ.,
Қазақстан

³Ш. Есенов атындағы Каспий мемлекеттік технологиялар және инжиниринг университеті,
Ақтау қ., Қазақстан

*e-mail: bagdat.yagaliyeva@gmail.com

ПАРНИКТІК ГАЗДАРДЫҢ ӘСЕРІНЕН АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ДАҚЫЛДАРЫНЫҢ ЖАЙ-КҮЙІНІҢ ДИНАМИКАСЫН ЦИФРЛЫҚ МОНИТОРИНГТЕУ ЖӘНЕ БОЛЖАУ

Аңдатпа

Ұсынылған зерттеудің мақсаты – зерттелетін аумақтардағы парник газдарының концентрациясының динамикасына байланысты ауыл шаруашылығы өсімдіктерінің жағдайын цифрлық мониторинг жүргізу үшін мамандандырылған модельдер, әдістер және алгоритмдерді қамтитын әдістемелік құралдарды әзірлеу. Интеллектуалды модельдеу, геоинформациялық жүйелер (ГАЗ), 3D және VR технологияларын синтездеу арқылы өсімдік шаруашылығында шешім қабылдайтын тұлғаларды тиімді ақпаратпен қамтамасыз етудің перспективасы негізделеді. Бұл тәсіл техногендік және климаттық әсерлердің түрлі деңгейлерінде тиімді болады. Зерттелетін техногендік объектілердің технологиялық параметрлеріне, аумақтың инфрақұрылымдық ерекшеліктеріне және ауа райына байланысты парниктік газдардың жинақталу аймақтарын қалыптастыру үшін объективті себеп-салдарлық байланыстарды көрсететін жасанды нейрондық желілердің (көп қабатты перцептрон және радиалды-базистік функциямен) түрлі құрылымдарын пайдалана отырып, болжамдық нейрондық желілік модельдерді құру нәтижелері ұсынылды және зерттелді. Басым ауыл шаруашылығы дақылдарының кеңістіктік құрылымдары да өсімдіктердің өсуі мен дамуына әсер ететін факторлардың әртүрлі комбинациясы бар өсудің төрт негізгі кезеңіне қатысты құрылды, олардың ең маңыздысы парниктік газдардың шоғырлануы болып табылады. VR/AR технологияларын қолдану негізінде ағымдағы/болжамды жағдайларда нақты аумақ үшін ұтымды мәдениет пен технологиялық картаны таңдау арқылы көрнекі сараптамалық бағалауды қамтамасыз ететін 3D модельдер банкі қалыптасты. Бұл үлгілер кешені аумақты объективті бағалауға және ауыл шаруашылығы дақылдарын дұрыс таңдауға мүмкіндік береді. Цифрлық мониторингі ұйымдастыру және дақылдарды егу жұмыстарын жоспарлау тиімділігін арттыру үшін жоғары өнімділікті қамтамасыз ететін модельдік-алгоритмдік кешеннің прототипі ұсынылды. Дайындалған құралдар кешені кез келген мақсаттағы және әкімшілік иерархия деңгейіндегі аумақтарды бейімдеу зоналауы үшін технологиялар қалыптастыру және цифрлық мониторинг жүйелерін әзірлеу үшін масштабталуы мүмкін. Бұл жалпы алғанда, шешім қабылдауды қолдайтын интеллектуалды жүйелерді құру методологиясының дамуы болып табылады.

Түйін сөздер: цифрлық мониторинг және болжау, модельдеу, жасанды нейрондық желілер, виртуалды және қосымша шынайылық, визуализация, парниктік эффект, егін өнімділігі, бейімделу сценарийлерін бағалау.

О.А. Иващук¹, Б.Е. Ягалиева^{2*}, Д.В. Гончаров¹, О. О. Иващук³, К.К. Макулов³

¹Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

²Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева,
г. Алматы, Казахстан

³Каспийский государственный университет технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова,
г. Актау, Казахстан

ЦИФРОВОЙ МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ СОСТОЯНИЯ СЕЛЬХОЗКУЛЬТУР ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

Аннотация

Целью представленного исследования является разработка методологического инструментария, включающего специализированные модели, методы и алгоритмы, для осуществления цифрового мониторинга состояния сельскохозяйственных растений с возможностью прогнозирования в условиях динамики концентрации парниковых газов на исследуемых территориях. Обосновывается перспективность синтезированного применения методов интеллектуального моделирования, геоинформационных (ГИС), 3D и VR технологий для формирования эффективного информационного обеспечения лиц, принимающих решения в растениеводстве, при различных уровнях техногенного и климатического воздействия. Представлены и исследованы результаты построения прогностических нейросетевых моделей с использованием различных структур искусственных нейронных сетей (многослойного персептрона и с радиально-базисной функцией активации), которые отражают объективные причинно-следственные связи для формирования зон накопления парниковых газов в зависимости от технологических параметров исследуемых техногенных объектов, особенностей инфраструктуры территории и погодных условий. Также проведено построение пространственных структур приоритетных сельхозкультур относительно четырёх основных этапов произрастания при различных сочетаниях факторов, влияющих на рост и развитие растений, важнейшим из которых является концентрация парниковых газов. Сформирован банк 3D моделей, обеспечивающий на основе применения VR/AR технологий проведение визуализированных экспертных оценок с выбором рациональной культуры и технологической карты на конкретной территории в сложившихся/прогнозируемых условиях. Комплекс данных моделей позволяет провести как объективную оценку территории, так и адекватный выбор сельхозкультур. Предложен прототип модельно-алгоритмического комплекса, который может быть использован для организации цифрового мониторинга и повышения эффективности процесса планирования посевных работ с получением высокой урожайности растений. Разработанный инструментарий может быть масштабирован для формирования технологии и разработки систем цифрового мониторинга в целях адаптационного зонирования территорий любого назначения и уровня административной иерархии, что в целом является развитием методологии построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений.

Ключевые слова: цифровой мониторинг и прогнозирование, моделирование, искусственные нейронные сети, виртуальная и дополненная реальность, визуализация, парниковый эффект, урожайность сельскохозяйственных растений, оценка адаптационных сценариев.

О.А. Иващук¹, Б.Е. Ягалиева^{2*}, Д.В. Гончаров¹, О. О. Иващук³, К.К. Макулов³

¹Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

²Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan

³Caspian State University of Technology and Engineering named after Sh. Yessenov, Aktau, Kazakhstan

DIGITAL MONITORING AND FORECASTING OF AGRICULTURAL CROP CONDITION DYNAMICS UNDER THE INFLUENCE OF GREENHOUSE GASES

Abstract

The aim of the presented research is to develop a methodological toolkit that includes specialized models, methods, and algorithms for digital monitoring of agricultural plant conditions, with the capability of forecasting under the dynamics of greenhouse gas concentrations in the studied areas. The potential of the synthesized application of intelligent modeling methods, Geographic Information Systems (GIS), 3D, and VR technologies is justified to create effective information support for decision-makers in crop production under various levels of anthropogenic and climatic impacts. The results of constructing predictive neural network models using various structures of artificial neural networks (multi-layer perceptron and radial basis function)

are presented and analyzed. These models reflect objective causal relationships for forming zones of greenhouse gas accumulation based on the technological parameters of the studied anthropogenic objects, features of the area's infrastructure, and weather conditions. Additionally, spatial structures of priority crops have been built concerning four main growth stages under various combinations of factors influencing plant growth and development, the most important of which is greenhouse gas concentration. A bank of 3D models has been created, enabling visualized expert assessments using VR/AR technologies, allowing for the selection of the optimal crop and technological map for specific areas under current or projected conditions. This set of models allows for both an objective assessment of the territory and an adequate choice of agricultural crops. A prototype of a model-algorithmic complex is proposed, which can be used to organize digital monitoring and enhance the efficiency of planning sowing activities to achieve high crop yields. The developed toolkit can be scaled to form technologies and develop digital monitoring systems for adaptive zoning of areas of any purpose and administrative hierarchy level, representing a significant advancement in the methodology of constructing intelligent decision support systems.

Keywords: digital monitoring and forecasting, modeling, artificial neural networks, virtual and augmented reality, visualization, greenhouse effect, crop yields, assessment of adaptation scenarios.

Негізгі ережелер

Бұл зерттеу аясында цифрлық мониторинг жүйелерінің ақпараттық қамтамасыз етуі үшін модельдер мен әдістер кешенін әзірлеу міндеті шешілуде. Бұл кешен дәстүрлі ақпараттық жүйелердің деректер жинау және өңдеу функцияларымен қатар, интеллектуалды бағалау, болжау және кеңістіктік-уақыттық талдау функцияларын жаңартуға мүмкіндік береді. Зерттеу аясында ауыл шаруашылығы өндірісі саласы техногендік және климаттық әсерлердің қолданыстағы/болжаған жағдайларында приоритетті ауыл шаруашылығы дақылдарының жағдайын бағалау және болжау, әсіресе парник эффектiсiнiң динамикасында қарастырылуда.

Авторлар зерттелетін аумақтардағы парник газдарының қазіргі және болжаған таралуы мен жиналуын табиғи және техногендік параметрлерге байланысты визуализацияланған бағалау жүргізуге мүмкіндік беретін геоинформациялық жүйелермен (ГАЗ) интеграцияланған нейрондық желілік модельдерді әзірледі. Сондай-ақ, өсімдіктердің өсуі мен дамуын визуализациялау әдісі ұсынылды, бұл жоғарыда аталған факторларға байланысты өсімдік өсуінің орташа параметрлерін таңдауға мүмкіндік береді. Ауыл шаруашылығы өндірісі үшін басым өсімдіктердің төрт өсу кезеңі мен бес даму және өсіру жағдайына қатысты 3D модельдер банкі әзірленді. Мұндай модельдер өсімдік мәдениетінің өмірлік циклінің барлық кезеңдерінде, орта параметрлерінің мәндерінің әртүрлі комбинацияларында және сыртқы әсерлердің белгілі параметрлерінде сапалық күйін визуализацияланған түрде бағалауға, оңтайлы жағдайларды таңдап, сәйкесінше тиімді технологиялық картаны құруға мүмкіндік береді. Цифрлық мониторингтің нәтижесінде өсімдіктерді отырғызу параметрлері бойынша өнімділікті арттыруға ықпал ететін және парник газдарының әсерін төмендетуге бағытталған адаптациялық сценарийлер әзірленеді.

Кіріспе

Көптеген салалардағы тәрізді, ауыл шаруашылығы өндірісінде жұмыс істейтін қазіргі автоматтандырылған ақпараттық жүйелер болжамдау және деректерді интеллектуалды талдау функцияларымен жабдықталуы керек, сондай-ақ, салалық жағдай және аналитикалық орталықтардың негізінде нәтижелерді тұрақты түрде жаңартуды қамтамасыз етуі қажет [1,2]. Айта кету керек техногендік және табиғи объектілер, сондай-ақ олардың өзара әрекеттесу процестері жоғары динамика мен күрделілікпен сипатталады. Бұл салада цифрлық технологияларды пайдалану объективті себеп-салдарлық байланыстарды анықтап, адекватты бағалаулар жасау перспективасын айқындайды. Авторларда жасанды нейрондық желілер мен бұлдыр логика, геоинформациялық жүйелер (ГИС) және 3D моделдеу технологияларын синтездік қолдану негізінде интеллектуалды экологиялық мониторинг жүйелері мен шешім қабылдауды қолдау үшін тиімді ақпараттық қамтамасыз етуді әзірлеу тәжірибесі бар, мысалы [3,4].

Бүгінде қазіргі қоғамның маңызды және кеңінен талқыланатын жаһандық экологиялық мәселелердің бірі – парник эффектісі (ПЭ). Атмосферадағы парник газдарының (ПГ) концентрациясының, әсіресе көмірқышқыл газы CO_2 деңгейінің өзгеруі маңызды мәнге ие. Бұл ретте, әдетте, жылу сәулесінің тоқтап қалуы мен климаттық өзгерістермен байланысты теріс нәтижелер қарастырылады: температураның көтерілуі, озон қабатының бұзылуы және т.б. [5,6]. Алайда, Ресей, Қазақстан, Польша, Чехия, Германия, Канада және басқа да елдер сияқты тәуекелді егіншілік аймақтарына жататын елдер үшін парник эффектісінің өсімдіктердің фотосинтетикалық белсенділігін арттыруы және топырақ жағдайын жақсартуы сияқты өте маңызды екінші жағы бар [7,8]. Осылайша, бірқатар зерттеулер (мысалы, [9-11]) атмосферадағы CO_2 концентрациясының жоғарылауы ауыл шаруашылығы дақылдарының өнімділігіне оң әсер еткенін көрсетті: барлық түрлер бойынша орташа өнімділік 26%-ға артса, жас өсімдіктердің құрғақ зат мөлшері 40%-ға өскен. Зерттеулер көрсеткендей, жас өсімдіктердің биомассасының дамуы көбінесе CO_2 деңгейінің жоғары болуына әлдеқайда сезімтал болды: CO_2 концентрациясы екі есе артқан жағдайда, дәнді дақылдардың өнімділігінің өсуі биомасса өсімінен шамамен екі есе жоғары (36% және 20%).

Ғылыми жарияланымдарды талдау көрсеткендей, қазіргі уақытта парник эффектісінің динамикасында ауыл шаруашылығы аумақтарының параметрлерін объективті түрде бағалауға және ықтимал өнімділікті анықтауға мүмкіндік беретін зерттеулер өте аз. Сонымен қатар, жоғарыда айтылғандай, Бұл ретте, жоғарыда атап өткеніміздей, парник эффектісінің динамикасында биотехносферада жүріп жатқан процестер күрделі болып табылады және әртүрлі гетерогенді деректердің өзгеруімен сипатталады [12,13]. Сәйкес себеп-салдарлық байланыстарды адекватты көрсету үшін ПГ шығу деңгейін, таралу және жинақталу шарттары мен нәтижелерін сандық және кеңістіктік бағалауға, сондай-ақ егін себудің өнімділік тұрғысынан тиімді параметрлерін анықтайтын адаптациялық сценарийлерді қалыптастыру мен бағалауға мүмкіндік беретін модельдер мен алгоритмдер кешенін құру қажет.

ПЭ динамикасында ауыл шаруашылығы дақылдарының дамуын моделдеу нәтижелерін болжау және визуализациялау қоршаған орта факторлары, су ресурстары мен минералдардың қолжетімділігі, фотосинтетикалық белсенділік, техносфераның әсерін интеграциялауға жедел талдау жүргізуге мүмкіндік береді, бұл қымбат және еңбекті көп қажетсінетін дала эксперименттерін өткізбестен жүзеге асырылады. Нейрондық желілерді моделдеу технологияларын, сондай-ақ виртуалды және қосымша шындық технологияларын пайдалану имитациялық ортаны мүмкіндігінше көп параметрлермен құруға мүмкіндік береді. Бұл, өз кезегінде, ауыл шаруашылығы дақылдарының өсуі мен дамуын ғана емес, сонымен қатар олардың өсу ортасын да моделдеуге жол ашады [14].

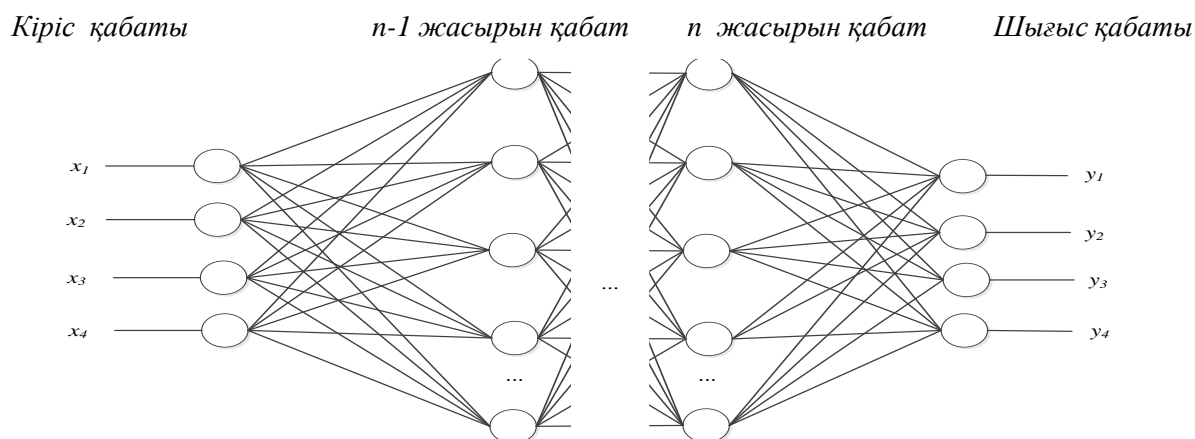
Зерттеу әдіснамасы

Бұл зерттеудің негізгі ғылыми міндеті – цифрлық мониторингтің келесі функцияларын жаңартуға мүмкіндік беретін модельдерді әзірлеу:

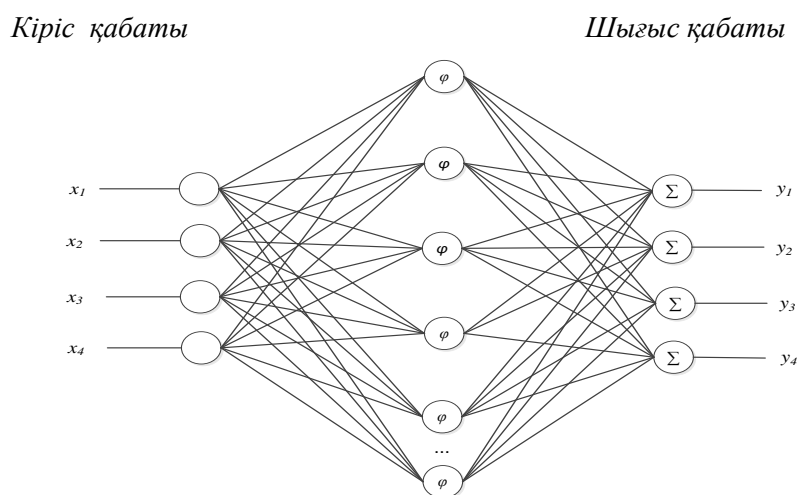
- қарастырылып отырған аумақта атмосферадағы ПГ қазіргі және болжамды деңгейін бағалау;

- ПЭ динамикасында ауыл шаруашылығы дақылдарының өсу процесін моделдеу және фотосинтетикалық белсенділігінің өзгерістерінің нәтижелерін визуализациялау.

Қойылған міндетті орындау үшін авторлар жасанды нейрондық желілер аппаратын (биотехносфераның күй параметрлері арасындағы себеп-салдарлық байланыстарды анықтау үшін, ПГ шығуы, таралуы және жиналуының нәтижелерін анықтайтын) және қосымша шындық құралдарын (зерттелетін аумақтағы ауыл шаруашылығы дақылдарының ықтимал өнімділігінің динамикасын визуализацияланған моделдеу және бағалау үшін, ПЭ әсерінде қалыптасқан сыртқы орта параметрлерін ескере отырып) пайдаланды. Парник газдарының (ПГ) атмосферадағы деңгейін бағалау және болжау моделін әзірлеу үшін келесі нейрондық желі топологиялары таңдалды: көпқабатты перцептрон, құрылымы 1-суретте көрсетілген, және радиалды базистік функциясы бар желі, құрылымы 2-суретте көрсетілген.



Сурет 1. Көпқабатты перцептронның құрылымы



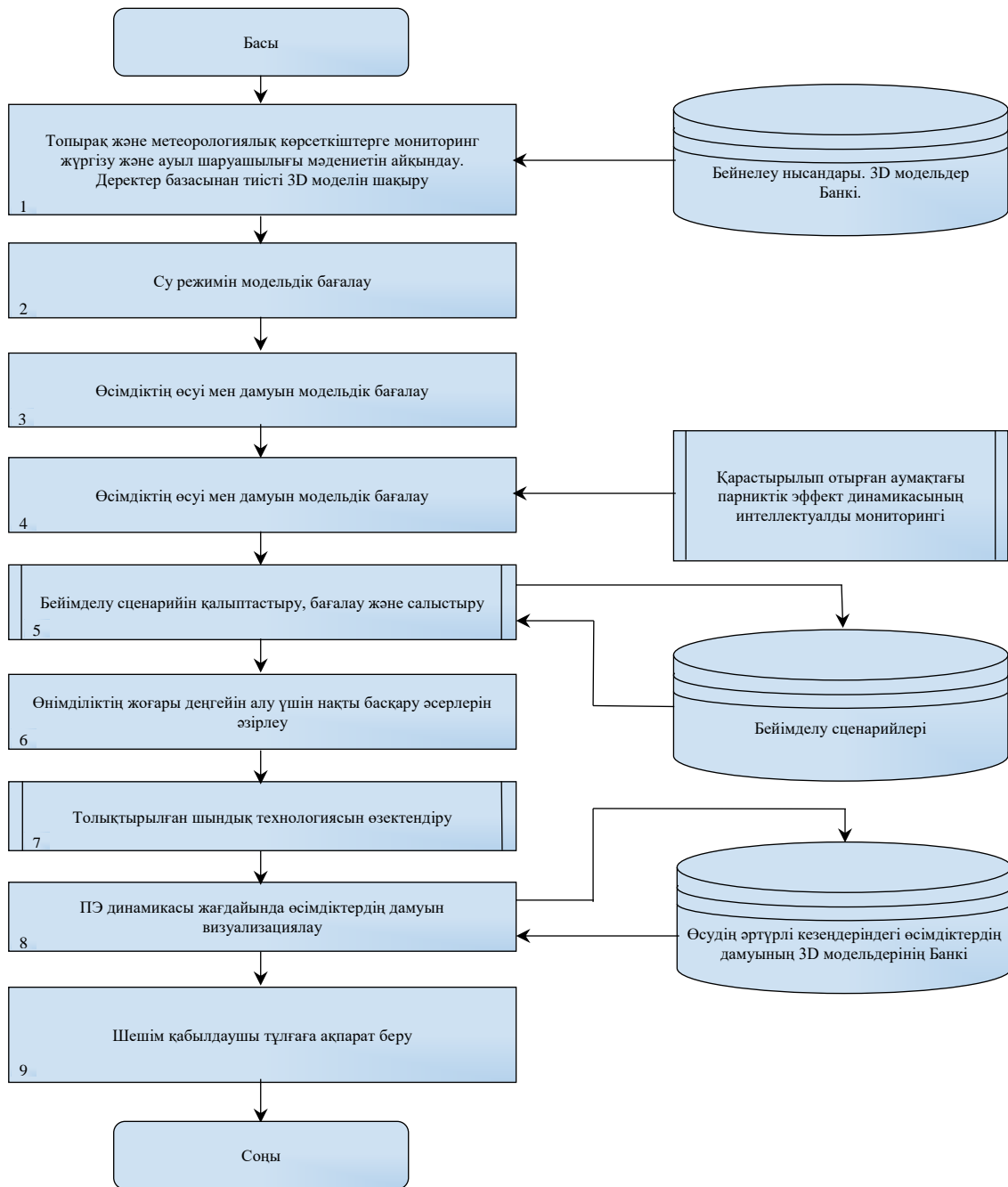
Сурет 2. Радиалды базистік функциясы бар жасанды нейрондық желінің құрылымы

Көпқабатты перцептронның құрылымы келесі элементтерден тұрады.

- кіріс қабаты: Бұл қабатқа кіріс мәндер векторы түседі $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}$, мұндағы: x_1 - шығарылымдардың көлемдік шығысы ($\text{м}^3/\text{сағ}$); x_2 - газдың жылдамдығы ($\text{м}/\text{с}$); x_3 - желдің жылдамдығы ($\text{м}/\text{с}$); x_4 - шығарылым нүктелерінен зерттелетін аумаққа дейінгі қашықтық (м). Бұл кіріс қабаты модельдің өңделетін деректерін қабылдайды. Бұл қабат жақын аумақтарда орналасқан стационарлық техногендік көздерден шығарындылардың сипаттамалары туралы ақпаратты қабылдайды;

- жасырын қабаттар, олар сыртқы ортадағы өзара әрекеттестікті көрсетеді және атмосфераның жер бетіндегі қабатында ПГ таралуы мен жинақталу процестерін сипаттайды;

- шығыс қабаты, ол атмосфераның жер бетіндегі қабатындағы ПГ $Y = \{y_1, y_2, y_3, y_4\}$ векторын береді, мұндағы y_1 - көмірқышқыл газы (CO_2), y_2 - метан (CH_4), y_3 - озон (O_3), y_4 - азот оксиді (N_2O). Бұл компоненттердің таңдалуы парник эффектісінің динамикасына әсер ететін негізгі газдар екендігімен түсіндіріледі. Радиалды базистік функциясы бар желінің құрылымы екі нейрондық қабаттан тұрады: Бірінші қабат нейрондар кіріс мәндер векторын өңдейді және әрбір мәннің радиалды базистік функциялардың орталықтарына қаншалықты жақын екенін анықтайды. Шығыс қабат – бұл бірінші қабаттың шығуларынан алынған сызықтық комбинациялар. Содан кейін, ауыл шаруашылығы дақылдарының қазіргі және болжаған өсуі мен дамуын визуализациялау үшін, цифрлық мониторинг шеңберінде жаңартылатын моделдеу алгоритмі ұсынылған, ол 3-суретте көрсетілген.



Сурет 3. Ауыл шаруашылығы дақылдарының өсуін модельдеу және визуализациялау, аумақтың өнімділігін бағалау алгоритмі

Бірінші кезеңде зерттелетін аумақтың техногендік және табиғи құрамдас бөліктерінің параметрлері анықталады, сондай-ақ ауыл шаруашылығы дақылының түрі таңдалады; кейіннен – сәйкес деректер қорынан оның 3D моделі шақырылады. 7, 8 және 9-қадамдарда деректерді кеңейтілген шындық технологиясы негізінде кеңістіктік визуализациялау жүргізіледі, сондай-ақ өсімдіктердің өсуі мен дамуының болжаушы 3D модельдері құрылады. Зерттелетін аумақта ауыл шаруашылығы дақылдарының өнімділігі өсімдік пен оны қоршаған орта – атмосфераның жер бетіндегі қабаты мен топырақ арасындағы зат алмасу және энергия алмасу процестерінің интенсивтілігі мен бағытымен анықталады. VR және AR жүйелерін қазіргі салада қолдану ақпаратты көрсету мен шешім қабылдайтын адамның компьютермен өзара әрекеттесуінің жаңа технологиясы болып табылады. Оның енгізілуінің нәтижелері ауыл шаруашылығы аумағын бейімдеу бойынша қабылданған басқару шешімдерін бағалау және

салыстыру үшін тиімді пайдаланылуы мүмкін. Бұл имитациялық эксперимент жүргізу арқылы: ауыл шаруашылығы дақылдарының нақты жағдайларда, көптеген параметрлердің комбинациясы әсерінен, өсуі мен дамуының нәтижесін жедел және көрнекі түрде болжауға; эксперимент өткізу мерзімдерін барынша қысқартуға; материалдық және еңбек ресурстарының шығындарын азайтуға; табиғи ортаға теріс әсерді төмендетуге мүмкіндік береді.

Зерттеу нәтижелері

Жоғарыда сипатталған топологиялармен эксперименттер жүргізілді, онда жасырын қабаттардың саны, қабаттардағы нейрондардың саны, әртүрлі активация функциялары мен оқу алгоритмдері өзгертілді. MATLAB жүйесінің Neural Network Toolbox пакеті қолданылды. Құрастырылған нейрожелілік модельдердің адекваттығы келесі критерийлер бойынша анықталды: (1) орташа квадраттық қате S , ол желіні оқыту процесінде минимизацияланады (2) детерминация коэффициенті R^2 , ол қажетті шығудың дисперсиясының үлесін сипаттайды; (3) оқыту және тестілеу топтамаларындағы аппроксимацияның орташа қатесі, бұл құрастырылған модельдің сапасы туралы жалпы түсінік береді.

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{z}_i - z_i \quad (1)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{z}_i - z)^2}{\sum_{i=1}^n (\hat{z}_i - \bar{z}_i)^2} \quad (2)$$

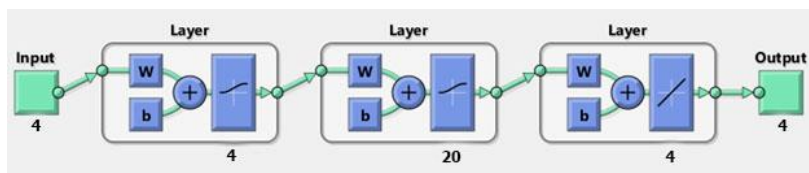
$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{\hat{z}_i - z_i}{\hat{z}_i} \right| \quad (3)$$

Құрастырылған модельдердің сапасын бағалау үшін оқыту процесінде қолданылмаған тестілеу топтамалары пайдаланылды. Егер шығу параметрлері үшін аппроксимацияның орташа қатесі 10%-дан аз болса, онда құрастырылған модельдің жақсы болжамдық қабілеттеріне ие екендігі есептелді. 1-кестеде сипаттамаларды таңдау бойынша эксперименттердің нәтижелері берілген, ең жақсы нәтижелер көрсеткен модельдердің параметрлері көрсетілген.

Кесте 1. Аталмыш аумақта ПГ концентрацияларын болжау үшін нейрожелілік модельдің сипаттамаларын таңдау бойынша эксперименттердің нәтижелері

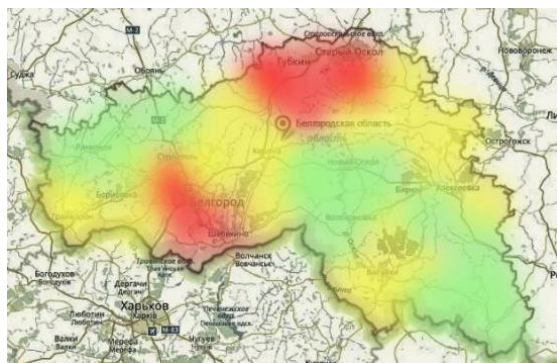
Желі топологиясы	Жасырын қабаттағы нейрондар саны	Функциясы жасырын қабат нейрондарын белсендіру	$S, 10^{-5}$	$R^2, \%$	$\bar{A}_t, \%$	$\bar{A}_t, \%$
RBF	143	Радиалды негіз	0,1	99,89	0,90	3,12
Персептрон	9	Сызықтық	0,18	99,72	0,92	2,36
Персептрон	11	Сызықтық	0,14	99,87	0,77	4,64
Персептрон	15	Сызықтық	0,15	99,82	0,82	4,12
Персептрон	17	Сызықтық	0,19	99,75	0,88	4,18
Персептрон	19	Сызықтық	0,2	99,58	0,92	3,48
Персептрон	8	Сигма тәрізді	0,16	99,88	0,93	2,35
Персептрон	12	Сигма тәрізді	0,12	99,86	0,94	2,44
Персептрон	13	Сигма тәрізді	0,14	99,88	0,97	2,39
Персептрон	20	Сигма тәрізді	0,17	99,85	0,98	2,32

Тестілеу эксперименттері ең жақсы нәтижелерді 2 жасырын қабаты (әрбір қабатта 4 және 20 нейрон) және сигмоида активация функциялары бар көпқабатты персептрон топологиясымен құрастырылған жасанды нейрондық желіде (ЖНЖ) байқалады. Бұл модельдің құрылымы MATLAB жүйесінде 4-суретте көрсетілген.



Сурет 4. MATLAB жүйесінде жүзеге асырылған көпқабатты перцептрон құрылымы

Нейрожелілік модельдеудің нәтижелерін визуализациялау құралдарымен біріктіріп, 5-суретте ПГ шығарындыларының кеңістіктік таралуы жылу картасы түрінде көрсетілген (Белгород облысы, РФ).



Сурет 5. Имитациялық модельдеудің нәтижелері

Алынған деректер негізінде Белгород облысындағы атмосфералық фонның теңгерімсіз құрылымы бар екенін және шығарындылардың максималды концентрациясы шығарындылар көзінің айналасында орналасқанын айтуға болады. Интенсивтілікке байланысты келесі топтарды бөліп көрсетуге болады: максималды, мұнда өнеркәсіп шығарындылары басым; орташа, мұнда көлік шығарындылары басым; төмен, мұнда шығарындылардың минималды көрсеткіштері байқалады. Ауыл шаруашылығы мәдениеттерінің ПГ концентрациясының артуына әртүрлі реакцияларын ескере отырып, өнімділікті арттыру мақсатында қолданылатын ауыспалы егіске өзгерістер енгізу мүмкіндігі пайда болады.

Цифрлық мониторинг аясында және оның негізінде тиімді шешімдер қабылдау үшін қарастырылып отырған аумақтарда өсірілетін (немесе болжанатын) өсімдіктердің сапалық күйін бағалау қажет. Агротехносфераның бар және болжамды мәндеріне ең жоғары реакция көрсететін дақылдарды анықтау мақсатында 3-суретте ұсынылған алгоритм негізінде арнайы құрал-жабдықты әзірлеу мақсатқа сай болады.

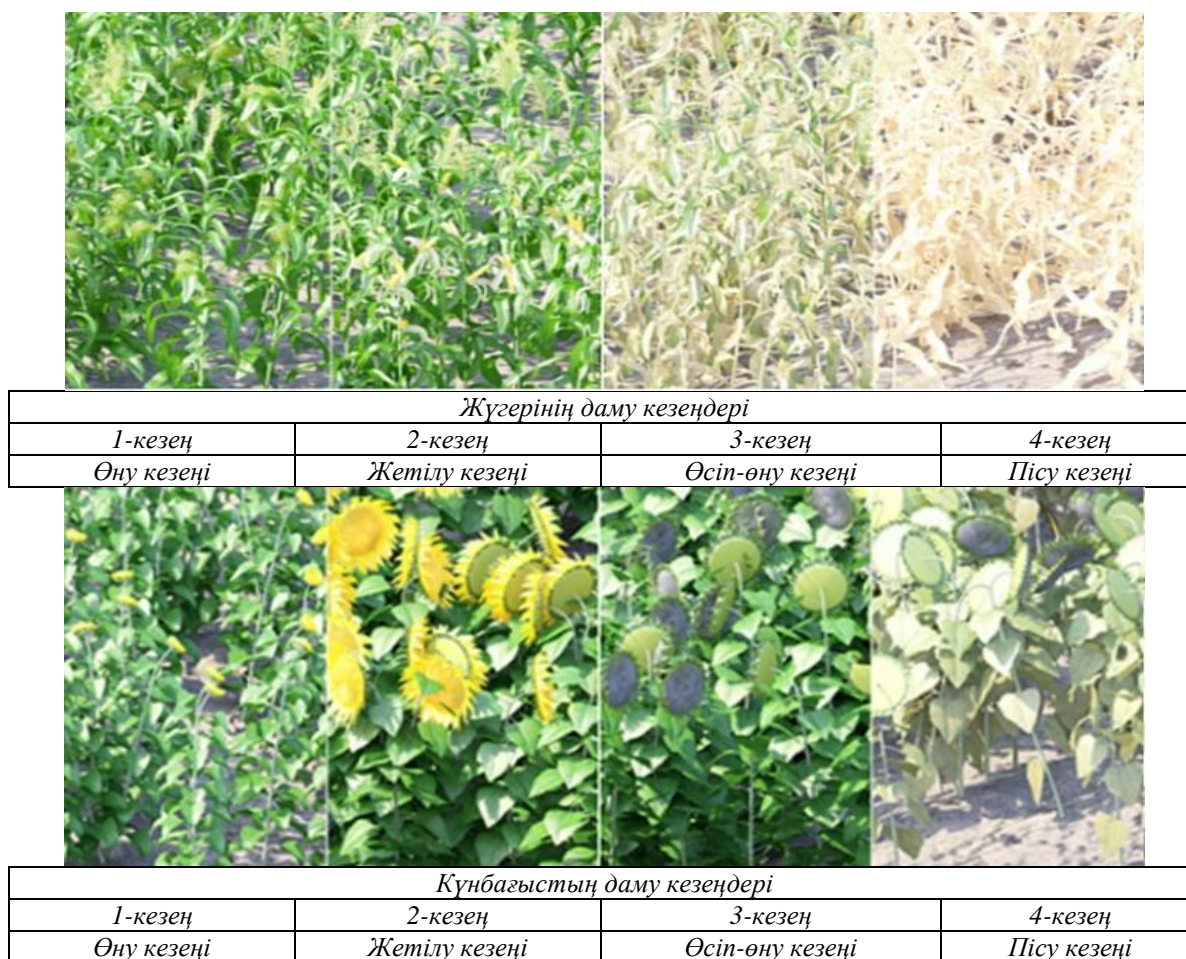
Приоритетті ауыл шаруашылығы дақылдарының (бидай, сұлы, арпа, жүгері және т.б.) 3D модельдерінің банкі әзірленді, ол өсімдіктердің өсуі мен дамуына әсер ететін факторлардың әртүрлі комбинацияларында өсіп-өнудің төрт негізгі кезеңіне қатысты ұсынылған. Барлығы 592 модель қамтылған, бұл VR/AR технологияларын пайдалану негізінде өсімдіктердің күйін визуализацияланған сараптамалық бағалауды жүргізуге, нақты аумақта қалыптасқан/болжанған жағдайларда рационалды дақылды және технологиялық картаны таңдауға мүмкіндік береді. Мұндай модельдердің мысалы 6-суретте көрсетілген.



HELIANTHUS ZEA MAYS BRASSICA NAPUS BETA VULGARIS

Сурет 6. Ауыл шаруашылығы дақылдарының 3D моделі мысалы

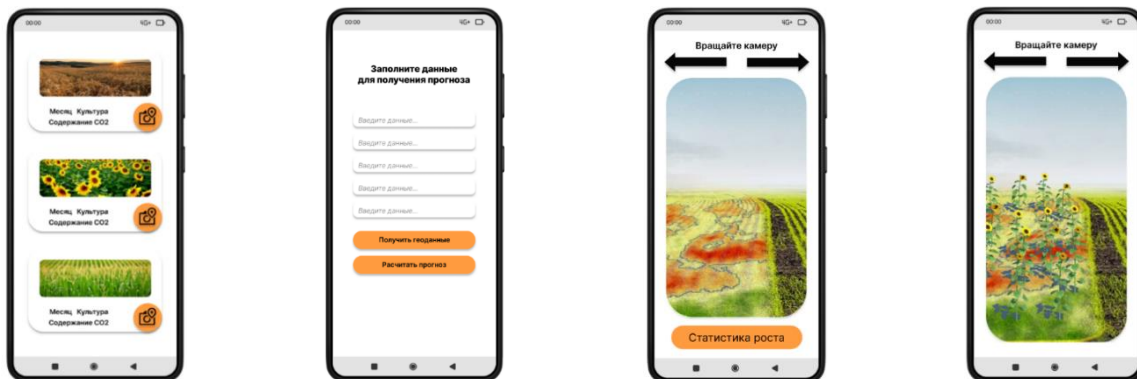
Имитациялық эксперименттер жүргізіліп, өсімдіктердің өсу кезеңдерінің болжамды визуализациясы қолайлы жағдайларда жүзеге асырылды; нәтижелердің мысалы 7-суретте көрсетілген.



Сурет 7. Жүгері мен күнбағыс өсімдіктерінің өсу кезеңдерінің болжамды визуализациясы

Зерттелетін аумақтағы приоритетті ауыл шаруашылығы дақылдарының өсуі мен дамуын цифрлық мониторинг аясында визуализациялау, сондай-ақ ПГ-ның кеңістіктік-уақыттық таралу нәтижелерін визуализациялау үшін мобильді қосымша прототипі жасалды. Өсімдіктердің күйін кеңейтілген шындық объектілері түрінде визуализациялау бағдарламалық іске асыруы геоинформациялық деректерге байланысты динамикалық

параметрлерді пайдаланып, ПГ концентрациясын көрсету және ауыл шаруашылығы мәдениетін визуализациялау үшін арнайы маркерді қолданады. Бағдарламалық шешімді қолдану үшін орналасқан жерді анықтау қажет, бұл көбінесе қазіргі мобильді платформаларда орнатылған GPS қабылдаушысы арқылы жүзеге асырылады. Интерфейстің макеттері 8-суретте көрсетілген.



Сурет 8. Пайдаланушы интерфейсінің макеттері

Ұсынылған алгоритмнің бағдарламалық іске асыруы топырақ, метеорологиялық және климаттық көрсеткіштерді ескеруге, олардың талдауы зерттелетін аумақтың өнімділігі туралы қорытынды жасауға мүмкіндік береді.

Дискуссия

Парник газдарының концентрациясының динамикасы жағдайында зерттелетін аумақтардағы ауыл шаруашылығы өсімдіктерінің күйін цифрлық мониторингте интеллектуалдық функцияларды жаңарту үшін әдістемелік құрал әзірленді. Бұл әдістеме жасанды нейрондық желілердің мүмкіндіктері мен ГАЖ құралдарын синтездеу негізінде зерттелетін аумақта ПГ-ның кеңістік-уақыттық және құрылымдық визуализацияланған бағалауын және болжамын жүргізуге мүмкіндік береді. Бірнеше модель парадигмалары қарастырылып, олардың адекваттылығы тексерілді. Ең жақсы нәтижелер 4 және 20 нейроннан тұратын екі жасырын қабаты бар көпқабатты перцептрон топологиясымен нейрондық желі көрсеткені анықталды ($S = 0,17 \cdot 10^{-5}$, $R^2 = 0,9985 \%$, $A_1 = 0,98 \%$, $A_2 = 2,32 \%$).

Өсімдіктердің сапалық күйін қазіргі және болашақ жағдайларда визуализацияланған бағалау үшін 3D моделдеу, виртуалды және кеңейтілген шындық технологияларының мүмкіндіктерін әртүрлі кезеңдерде іске асыратын арнайы алгоритм ұсынылды. Приоритетті ауыл шаруашылығы дақылдарының (бидай, сұлы, арпа, жүгері және т.б.) 3D модельдерінің банкі әзірленді, ол өсімдіктердің өсуі мен дамуына әсер ететін адаптациялық сценарийлердің әртүрлі параметрлерінің комбинацияларына қатысты төрт негізгі кезеңде ұсынылған. Бұл VR/AR технологияларын пайдалана отырып, зерттелетін аумақта өсіруге арналған дақылдарды таңдауда визуализацияланған сараптамалық бағалаулар жүргізуге мүмкіндік береді. Бұл құрал-жабдықты пайдалану және адекватты цифрлық мониторинг жүргізу ауыл шаруашылығы кәсіпорындарына техногендік және климаттық факторлардың әсерін ескеруге мүмкіндік береді, сондай-ақ агротехникалық жоспарларды өзгерту бойынша ғылыми негізделген шешімдерді уақтылы қабылдауға көмектеседі. Шешім қабылдайтын тұлғалар зерттелетін аумақта климаттық әсерлерді анықтау және ағымдағы/болжамды мәндер бойынша ауыл шаруашылығы мәдениеттерінің өсуі мен дамуын визуализациялау мүмкіндігіне ие болады. Ұсынылған тәсіл жоғары дәлдіктегі визуализацияланған модельдік бағалауларды, кеңістіктік және құрылымдық талдауды, сондай-ақ сыртқы әсер параметрлерінің динамикасына байланысты жағдайды болжамдауға қажетті ақпараттық қамтамасыз етуді қалыптастыру талап етілетін басқа интердисциплинарлық салаларда цифрлық мониторинг

жүйелерін құру үшін қолданылуы мүмкін. Арнайы атап өтетін жайт, агроэкологиялық зонирлеу сценарийлеріне кіретін биотехносфераның күй параметрлері арасындағы себеп-салдарлық байланыстарды анықтау, сондай-ақ тиісті модельдерді құру мақсатында цифрлық мониторинг пен шешім қабылдауды қолдаудың функцияларын одан әрі дамыту мен кеңейтуді талап етеді. Бұл техногендік және климаттық әсерлердің өнімділікке әсерін бағалау мен болжау, сондай-ақ қажетті көрсеткіштерге жету үшін өзгермелі параметрлердің мәндерін анықтау үшін маңызды.

Қорытынды

Бұл жұмыста ауыл шаруашылығында ПЭ динамикасы жағдайында интеллектуалды мониторинг жүйелерінің функцияларын ұйымдастыру үшін қазіргі цифрлық технологияларды қолдану қарастырылған. Деректер, модельдер мен алгоритмдерді пайдалану междисциплинарлық зерттеулер жүргізу мүмкіндіктерін кеңейтуге, ауыл шаруашылығы кәсіпорындарының егіс жұмыстарын жетілдіру, жаһандық табиғи-климаттық өзгерістер мен биотехносфераның аймақтық ерекшеліктеріне бейімделу жөніндегі шешімдер қабылдау процесін жетілдіруге мүмкіндік береді. Бұл ғылыми негізделген агроэкологиялық зонирлеу арқылы ауыл шаруашылығы дақылдарының жоғары өнімділігіне қол жеткізуге септігін тигізеді. Құрастырылған модельдер, Дамыған модельдер, әдіс, алгоритм және олардың бағдарламалық іске асыруы аймақтық автоматтандырылған басқару жүйелерінің кеңейтілген функциялары бар подсистемаларын құру және жаңарту үшін, сондай-ақ басқарушы органдар мен мамандандырылған ұйымдар тарапынан табиғи, климаттық және техногендік әсерлердің динамикасын ескере отырып, ғылыми негізделген адаптациялық сценарийлерді қалыптастыру мақсатында пайдаланылуы мүмкін.

Алғыс

Жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетінің қолдауымен (АР23489999 гранттық жобасы) орындалды.

Пайдаланылған дереккөздердің тізімі

- [1] Banjanović-Mehmedović L., Mehmedović F. (2020) *Intelligent manufacturing systems driven by artificial intelligence in industry 4.0. Handbook of Research on Integrating Industry 4.0 in Business and Manufacturing.* – IGI global., 31-52. DOI: [10.4018/978-1-7998-2725-2.ch002](https://doi.org/10.4018/978-1-7998-2725-2.ch002)
- [2] Jha K. et al. (2019) *A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence. Artificial Intelligence in Agriculture, T. 2, 1-12.* <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2019.05.004>
- [3] Ivashchuk O. et al. (2024) *Neural network methods for the detection of farm animals in dense dynamic groups on images. Applied Mathematics and Information Sciences, 18(2), 241-249.* [doi:10.18576/amis/180204](https://doi.org/10.18576/amis/180204)
- [4] Ivashchuk O.A. et al. (2023) *Creation and study of 3D models for digital plant phenotyping. Scientific and Technical Information Processing, T. 50(5), 422-429.* <https://www.springerprofessional.de/en/creation-and-study-of-3d-models-for-digital-plant-phenotyping/26822534>
- [5] Sweileh, W.M. (2020) *Bibliometric analysis of peer-reviewed literature on food security in the context of climate change from 1980 to 2019. Agriculture & Food Security, 9, 11.* <https://doi.org/10.1186/s40066-020-00266-6>
- [6] Muluneh M.G. (2021) *Impact of climate change on biodiversity and food security: a global perspective a review article. Agriculture & Food Security, 10, 36.* <https://doi.org/10.1186/s40066-021-00318-5>
- [7] Beddington, J.R. et al. (2012) *The role for scientists in tackling food insecurity and climate change. Agric & Food Secur., 1, 10.* <https://doi.org/10.1186/2048-7010-1-10>
- [8] Steenwerth, K.L. et al. (2014) *Climate-smart agriculture global research agenda: scientific basis for action. Agriculture & Food Security, 3, 11.* <https://doi.org/10.1186/2048-7010-3-11>
- [9] Павлова В. Н., Сиротенко О. Д. *Наблюдаемые изменения климата и динамика продуктивности сельского хозяйства России // Труды Главной геофизической обсерватории им. АИ Воейкова. 2012, 565, 132-151.* <https://meteoinfo.ru/images/media/books-docs/klim-riski-2017.pdf>

[10] Прядкина Г.А. Пигменты, эффективность фотосинтеза и продуктивность пшеницы // Plant varieties studying and protection. 2018, 14, 1. <https://cyberleninka.ru/article/n/pigmenty-effektivnost-fotosinteza-i-produktivnost-pshenitsy/viewer>

[11] Cohn, A.S. et al. (2017) Smallholder agriculture and climate change. Annual Review of Environment and Resources, 347-375. <https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev-environ-102016-060946>

[12] Harvey C.A. et al. (2018) Climate change impacts and adaptation among smallholder farmers in Central America. Agriculture & Food Security, 7(1), 1-20. <https://agricultureandfoodsecurity.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40066-018-0209-x>

[13] Yue Q. (2017) Mitigating greenhouse gas emissions in agriculture: From farm production to food consumption. Journal of Cleaner Production, 149, 1011-1019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.172>

[14] Бережной В.А. Разработка метода сегментации 3D моделей вегетативной части побега // Научно-технический вестник Поволжья. 2021, 5, 30-34. <https://www.ntvprt.ru/ru/archive-vypuskov>

References

[1] Banjanović-Mehmedović L., Mehmedović F. (2020) Intelligent manufacturing systems driven by artificial intelligence in industry 4.0. Handbook of Research on Integrating Industry 4.0 in Business and Manufacturing. IGI global., 31-52. DOI: [10.4018/978-1-7998-2725-2.ch002](https://doi.org/10.4018/978-1-7998-2725-2.ch002)

[2] Jha K. et al. (2019) A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence. Artificial Intelligence in Agriculture, T. 2, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2019.05.004>

[3] Ivashchuk O. et al. (2024) Neural network methods for the detection of farm animals in dense dynamic groups on images. Applied Mathematics and Information Sciences, 18(2), 241-249. [doi:10.18576/amis/180204](https://doi.org/10.18576/amis/180204)

[4] Ivashchuk O.A. et al. (2023) Creation and study of 3D models for digital plant phenotyping. Scientific and Technical Information Processing, T. 50(5), 422-429. <https://www.springerprofessional.de/en/creation-and-study-of-3d-models-for-digital-plant-phenotyping/26822534>

[5] Sweileh, W.M. (2020) Bibliometric analysis of peer-reviewed literature on food security in the context of climate change from 1980 to 2019. Agriculture & Food Security, 9, 11. <https://doi.org/10.1186/s40066-020-00266-6>

[6] Muluneh M.G. (2021) Impact of climate change on biodiversity and food security: a global perspective a review article. Agriculture & Food Security, 10, 36. <https://doi.org/10.1186/s40066-021-00318-5>

[7] Beddington, J.R. et al. (2012) The role for scientists in tackling food insecurity and climate change. Agric & Food Secur., 1, 10. <https://doi.org/10.1186/2048-7010-1-10>

[8] Steenwerth, K.L. et al. (2014) Climate-smart agriculture global research agenda: scientific basis for action. Agriculture & Food Security, 3, 11. <https://doi.org/10.1186/2048-7010-3-11>

[9] Pavlova V. N., Sirotenko O. D. (2012) Nabljudaemye izmenenija klimata i dinamika produktivnosti sel'skogo hozjajstva Rossii [Observed climate changes and dynamics of agricultural productivity in Russia]. Trudy Glavnoj geofizicheskoy observatorii im. AI Voejkova, 565, 132-151. <https://meteoinfo.ru/images/media/books-docs/klim-riski-2017.pdf>

[10]. Prjadkina G.A. (2018) Pigmenty, jeffektivnost' fotosinteza i produktivnost' pshenicy [Pigments, photosynthetic efficiency and productivity of wheat]. Plant varieties studying and protection, 14, 1. <https://cyberleninka.ru/article/n/pigmenty-effektivnost-fotosinteza-i-produktivnost-pshenitsy/viewer>

[11] Cohn, A.S. et al. (2017) Smallholder agriculture and climate change. Annual Review of Environment and Resources, 347-375. <https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev-environ-102016-060946>

[12] Harvey C.A. et al. (2018) Climate change impacts and adaptation among smallholder farmers in Central America. Agriculture & Food Security, 7(1), 1-20. <https://agricultureandfoodsecurity.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40066-018-0209-x>

[13] Yue Q. (2017) Mitigating greenhouse gas emissions in agriculture: From farm production to food consumption. Journal of Cleaner Production, 149, 1011-1019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.172>

[14] Berezhnoj V.A. (2021) Razrabotka metoda segmentacii 3D modelej vegetativnoj chasti pobega [Development of a method for segmentation of 3D models of the vegetative part of a shoot]. Nauchno-tehnicheskij vestnik Povolzh'ja, 5, 30-34. <https://www.ntvprt.ru/ru/archive-vypuskov>