

УДК 004.9:504.056  
DOI

## МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ТЕРРИТОРИЙ В УСЛОВИЯХ ДИНАМИКИ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

<sup>1</sup>Ивашук О.А., <sup>1</sup>Гончаров Д.В., <sup>2-6</sup>Казы А.К., <sup>7</sup>Ягалиева Е.Б.

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Белгород, e-mail: goncharov\_dv@bsu.edu.ru;

<sup>2</sup>Некоммерческая организация «Techno Women», Астана;

<sup>3</sup>Центр поддержки цифрового правительства, Астана;

<sup>4</sup>Евразийский гуманитарный институт имени А.К. Кусаинова, Астана;

<sup>5</sup>Министерство цифрового развития, инноваций и аэрокосмической промышленности Республики Казахстан, Астана;

<sup>6</sup>Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, Астана;

<sup>7</sup>Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, Алматы

На сегодняшний день для сельскохозяйственного растениеводства крайне важными являются не только процессы оценивания негативного антропогенного химического и физического воздействия на компоненты природной среды территорий, но и осуществление высокоточных прогнозов, а также поиски адекватных моделей удовлетворительного эколого-экономического баланса. Цель данной работы заключается в разработке единых научных подходов, методологического инструментария для комплексной оценки и прогнозирования эколого-экономической ситуации на сельскохозяйственных территориях в условиях динамики климатических, метеорологических и антропогенных параметров с формированием адаптационных сценариев по их развитию. Проведен комплексный анализ динамики климатических условий, природных, метеорологических и антропогенных факторов в Белгородской области, которая выступала в качестве пилотной площадки. Данный регион одновременно лидирует по производству сельскохозяйственной и металлургической продукции. Для визуализации оценки антропогенного воздействия на сельскохозяйственные территории разработано специализированное программное обеспечение, которое позволяет осуществлять пространственный, временной и структурный анализ данных. Исследованы ситуационные модели на основе интеграции геоинформационных систем и нейронных сетей. В результате проведенных исследований была предложена программная реализация методов и моделей интеллектуальной оценки территорий в условиях динамики климатических условий, которая позволяет формировать управляющие воздействия по адапционному зонированию сельскохозяйственных территорий в условиях динамики климатических параметров для повышения производительности территорий.

**Ключевые слова:** адаптация сельскохозяйственных территорий, динамика климатических параметров, повышение урожайности, зонирование, интеллектуальная оценка

*Исследование выполнено в рамках ИРН АР23489999 «Разработка интеллектуальной технологии и цифровой платформы адапционного зонирования территорий в условиях динамики климата» при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.*

## METHODS AND MODELS OF INTELLECTUAL ASSESSMENT OF TERRITORIES IN CONDITIONS OF DYNAMICS OF CLIMATIC CONDITIONS

<sup>1</sup>Ivaschuk O.A., <sup>1</sup>Goncharov D.V., <sup>2-6</sup>Kazi A.K., <sup>7</sup>Yagalieva E.B.

<sup>1</sup>Belgorod State National Research University, Belgorod, e-mail: goncharov\_dv@bsu.edu.ru;

<sup>2</sup>“Techno Women” Non-Profit Organization, Astana;

<sup>3</sup>Digital Government Support Center, Astana;

<sup>4</sup>Eurasian Humanitarian Institute named after A.K. Kusainov, Astana;

<sup>5</sup>Ministry of Digital Development, Innovation and Aerospace Industry of the Republic of Kazakhstan, Astana;

<sup>6</sup>Kazakh Agro Technical University named after S. Seyfullin, Astana;

<sup>7</sup>Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpaev, Almaty

Today, for agricultural crop production, it is extremely important not only to assess the negative anthropogenic chemical and physical effects on the components of the natural environment of territories, but also to make high-precision forecasts, as well as to search for adequate models of a satisfactory ecological and economic balance. The purpose of this work is to develop unified scientific approaches and methodological tools for a comprehensive assessment and forecasting of the ecological and economic situation in agricultural territories in the context of the

dynamics of climatic, meteorological and anthropogenic parameters with the formation of adaptation scenarios for their development. A comprehensive analysis of the dynamics of climatic conditions, natural, meteorological and anthropogenic factors in the Belgorod region, which acted as a pilot site, was carried out. This region is simultaneously a leader in the production of agricultural and metallurgical products. Specialized software has been developed to visualize the assessment of anthropogenic impact on agricultural territories, which allows for spatial, temporal and structural data analysis. Situational models based on the integration of geoinformation systems and neural networks are investigated. As a result of the conducted research, a software implementation of methods and models of intellectual assessment of territories in the context of the dynamics of climatic conditions has been proposed, which makes it possible to form control actions for the adaptive zoning of agricultural territories in the context of the dynamics of climatic parameters to increase the productivity of territories.

**Keywords:** adaptation of agricultural territories, increasing yields, dynamics of climatic parameters, zoning, intellectual assessment

*The study was carried out within the framework of IRN AP23489999 “Development of intelligent technology and a digital platform for adaptive zoning of territories in the context of climate dynamics” with the financial support of the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan.*

## Введение

Современные цифровые технологии, методы интеллектуального анализа данных и средства автоматизации активно внедряются во все сферы человеческой деятельности, способствуя развитию широкого круга междисциплинарных исследований и порождая новые знания в различных предметных областях, в том числе в области экологической и продовольственной безопасности [1, 2]. В этом контексте важно подчеркнуть, что сегодня значимыми являются не только процедуры оценки негативного химического и физического антропогенного воздействия на компоненты природной среды территорий, но и построение высокоточных прогнозов, а также поиск адекватных моделей, обеспечивающих приемлемый эколого-экономический баланс. Ключевым направлением считается мониторинг, прогнозирование и комплексная оценка последствий изменения природно-климатических и метеорологических параметров, связанных с парниковым эффектом [3, 4].

На сегодняшний день существует множество моделей, которые позволяют производить эксперименты по изменению климатических параметров, а также экологи отмечают, что во многих странах не организованы мероприятия по трансформации производства и минимизации выбросов в окружающую среду [5, 6]. Анализ современных исследований в селекции растений и трансформации сельского хозяйства указывает на возможную положительную реакцию различных растений на концентрацию углекислого газа в приземном слое атмосферы [7, 8], а также на повышение минерализации гумусового слоя почвы [9]. Многие исследования посвящаются карбоновому производству и секвестрации углекислого газа растениями, что также подтверждает актуальность применения мер экологического воздействия на производство [9, 10].

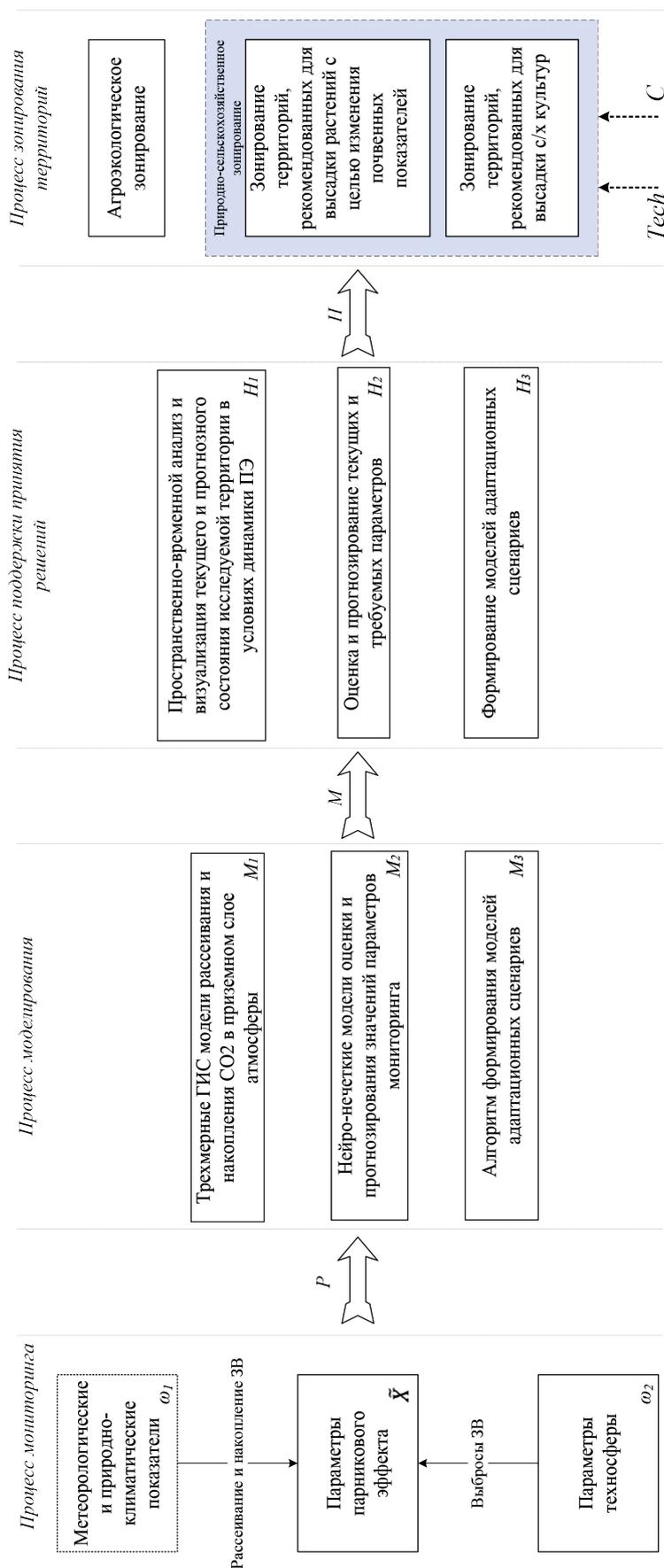
Текущая экологическая обстановка в регионах РФ указывает на необходимость реализации мероприятий по адаптации сельскохозяйственных территорий к техногенному воздействию, оказываемому промышленными предприятиями, которые находятся в непосредственной близости от растениеводческих комплексов. Проведение исследования связано со сбором разнородных метеорологических, климатических и почвенных данных, а также их влиянием на рост и развитие сельскохозяйственных культур и производительность территории в целом [11, 12].

**Цель исследования** – разработка единых научных подходов, методологического инструментария для комплексной оценки и прогнозирования эколого-экономической ситуации на сельскохозяйственных территориях в условиях динамики климатических, метеорологических и антропогенных параметров с формированием адаптационных сценариев по их развитию.

## Материалы и методы исследования

На основании прошлых исследований авторами был предложен новый подход для выполнения зонирования территорий сельскохозяйственного назначения в автоматизированном режиме в целях увеличения производительности, схема данного подхода представлена на рис. 1 [13, 14]. На схеме отражены основные этапы в их взаимодействии: интеллектуальный мониторинг; процесс моделирования; процесс поддержки принятия решений; результирующий процесс адаптационного зонирования территорий.

В качестве пилотной площадки определены сельскохозяйственные территории Чернянского и Корочанского районов Белгородской области, которые находятся в непосредственной близости с источниками выбросов (Старооскольский и Губкинский районы).



*Tech* – технология высадки с/х культур;  
*C* – вид с/х культуры.

Рис. 1. Схема автоматизированного адапционного зонирования сельскохозяйственных территорий  
 Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

### Результаты исследования и их обсуждение

Представленный на рис. 1 подход позволяет формировать адаптационные сценарии, которые являются рекомендациями, получаемыми в ходе поддержки принятия решений. Принятие решения осуществляется на основе результатов модельной оценки движения парниковых газов в приземном слое атмосферы на определенных территориях, визуализации роста и развития растений при помощи 3D-моделирования, а также расчета параметров произрастания с оценкой текущей/прогнозной производительности сельскохозяйственной территории.

Сочетание интеллектуальной технологии с геоинформационными системами позволяет сформировать пространственно-временную и структурную оценку движения парниковых газов в приземном слое атмосферы, визуализация данных достигается путем наложения цвета в виде тепловой карты [14]. Использование предложенной модели позволяет установить территории, которые соответствуют требованиям адаптационного зонирования [13]. Экранная форма разработанного программного обеспечения представлена на рис. 2.

Следующим шагом при формировании адаптационного сценария является оценка качественных параметров роста и развития сельскохозяйственной культуры. Авторским коллективом был разработан банк цифровых моделей приоритетных сельскохозяйственных культур, выращиваемых в Белгородской области, при различных атмосферных параметрах. Визуализация сельскохозяйственных культур выполнялась для различных концентраций угле-

кислого газа в приземном слое атмосферы на каждом из четырех этапов роста, исследовались диапазоны от 400 до 1000 с шагом 200 ppm. В результате работы авторским коллективом получено 592 3D-модели сельскохозяйственных культур [15].

Далее, для осуществления поддержки принятия решений необходимо выявление причинно-следственных связей между различными параметрами произрастания и воздействия на исследуемую культуру. Относительно исследуемой сельскохозяйственной культуры должна выполняться классификация территорий по производительности с учетом климатических и техногенных факторов. Авторским коллективом выполнена разработка данной модели, которая включает кластерную компоненту на базе парадигмы искусственной нейронной сети встречного распространения, описанной в [16].

Разработана программная реализация предложенных моделей на основе языка программирования C# и платформы .Net в среде разработки Visual Studio 2022. Для управления базой данных выбрана Microsoft SQL Server 2018. В процессе разработки особое внимание уделялось модульной архитектуре программного обеспечения, что обеспечивает гибкость и масштабируемость системы. Были реализованы механизмы обработки больших объемов данных и параллельных вычислений для повышения эффективности работы. Также проведена интеграция с внешними API для расширения возможностей анализа и визуализации данных, использованы специализированные библиотеки NeuronDotNet, FuzzyNet и GMap.Net.



Рис. 2. Экранная форма оценки продуктивности сельскохозяйственных территорий  
Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

Для тестирования программного обеспечения, реализующего предложенные модели, выполнен эксперимент, целью которого была оптимизация выбора сельскохозяйственной культуры, а также определение плана выращивания. На рис. 2 продемонстрирован результат комплексной оценки территории (используется нумерация территорий в виде  $x/y$ , где  $x$  – порядковый номер;  $y$  – площадь, га).

Результаты оценки территории 1/194 с выращиваемой культурой – подсолнечник (рис. 3, а) составили 0,2 (низкая эффективность), маркер территории – красный. Анализ приземного слоя атмосферы указывает на динамику движения  $CO_2$  в диапазоне 422 – 563 ppm. Анализ почвенных показателей (азот, фосфор, калий) указывает на низкое минеральное питание для прорастания подсолнечника. В качестве ре-

комендаций можно определить: внесение минеральных удобрений; изменение севооборота с введением сидеральных культур. Для исследуемой территории выполнены расчеты для определения плана внесения удобрений: так, для достижения средней по Белгородской области урожайности подсолнечника – 23 ц/га необходимо увеличение внесения удобрений (азот, фосфор, калий) на 33, 58 и 68% при текущих значениях: N – 76, P – 60, K – 102 кг/га. Внесение подобного объема удобрений для достижения средней урожайности по области является экономически невыгодным. Для выполнения адаптационного зонирования исследуемой территории были рассмотрены другие сельскохозяйственные культуры. На рис. 3, б, представлен имитационный эксперимент с сельскохозяйственной культурой – соя.

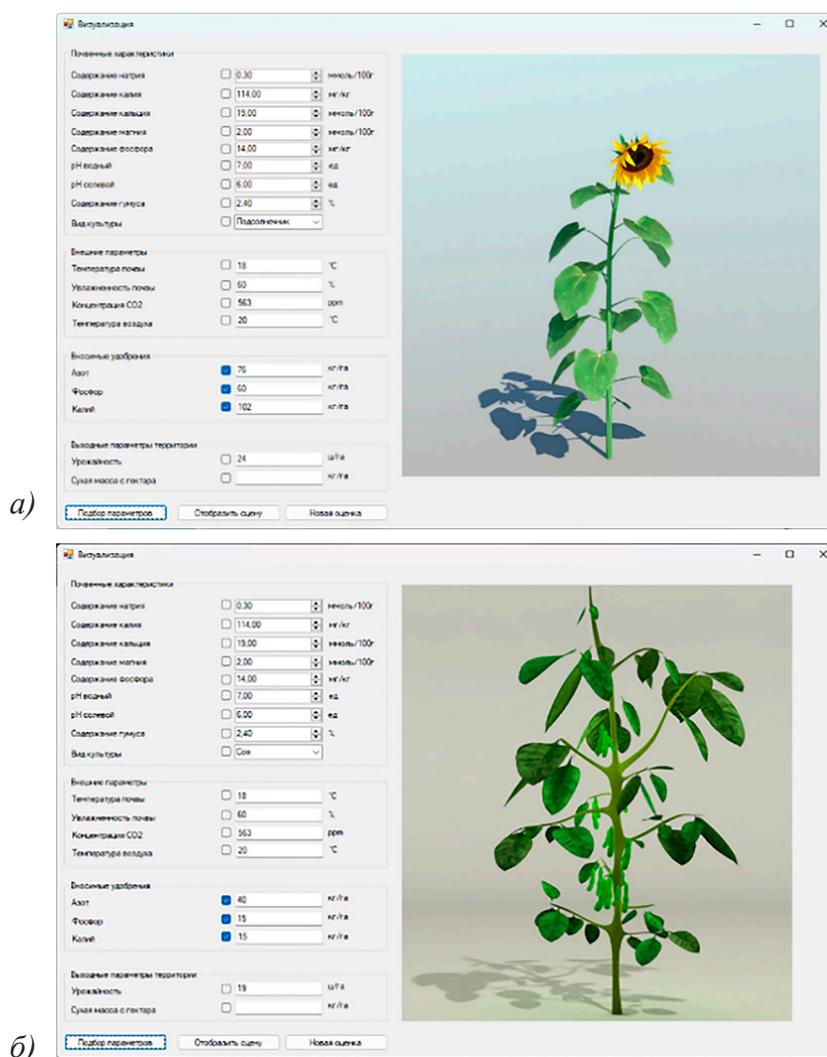


Рис. 3. Визуализированная прогнозная оценка возделывания сельхозкультур: а) подсолнечник; б) соя

Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

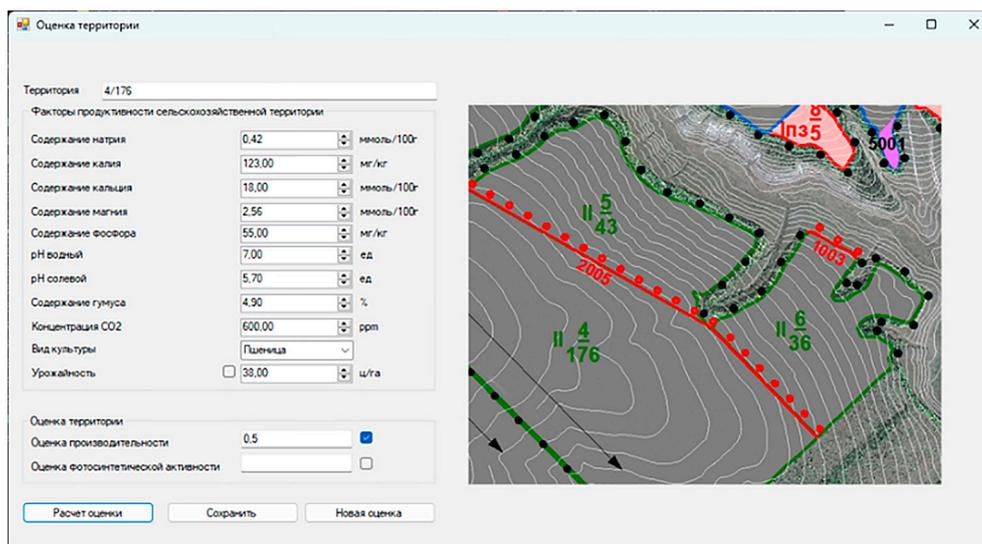


Рис. 4. Результат оценки с/х территории 4/176  
 Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

#### Параметры для оценки с/х территорий

Наименование параметра / территория	3/207	4/176	5/43	6/36
Вид культуры	Соя	Соя	Соя	Соя
Азотсодержащие удобрения, кг/га	42	40	43	44
Фосфорсодержащие удобрения, кг/га	16	15	16	16
Калийсодержащие удобрения, кг/га	16	15	16	17
Урожайность, ц/га	19	19	19	18

Источник: составлено авторами по результатам данного исследования.

Выращивание данной культуры на исследуемой территории является более экономически эффективным решением, так как требует меньшего объема вносимых удобрений для получения среднего урожая.

Формирование адаптационных сценариев в программном обеспечении позволяет определить не только наиболее подходящую сельскохозяйственную культуру для требуемой территории, но и определить территорию под необходимый севооборот. Был определен короткий севооборот, который включает кукурузу и сою. На рис. 4 приведен результат комплексной оценки сельскохозяйственной территории, который соответствует значению – 0,5 (средняя эффективность), для выделения используется зеленый маркер.

Были рассмотрены территории 3/207, 4/176, 5/43, 6/36, для которых определена максимальная концентрация  $CO_2$  – 600 ppm. Применение кластерной модели, согласно рис. 1, позволило определить оптимальную территорию на основе оценки урожайности культуры на исследуемой территории (таблица).

Исходя из результатов исследования рассматриваемые территории после выполнения адаптационного зонирования демонстрируют оценку производительности – 0,7 (нормальная эффективность), урожайность требуемых культур: кукуруза – 80 ц/га; соя – 23 ц/га.

#### Заключение

Для определенных сельскохозяйственных районов Белгородской области разработаны рекомендации по адаптационному зонированию с целью повышения урожайности. Анализ территорий с высокими зарегистрированными уровнями  $CO_2$  показал их низкую эффективность с точки зрения соотношения урожайности (ц/га) и объемов используемых удобрений. Проведенные прогнозные имитационные эксперименты двух видов позволили создать адаптационные сценарии: выбрана соя и соответствующая технология ее выращивания для конкретного района, что обеспечивает снижение объемов вносимых удобрений при сохранении приемлемого уровня производительности;

среди исследуемых территорий выделена оптимальная для внедрения короткого севооборота (соя – кукуруза), при котором урожайность культур увеличивается на 25% без дополнительного внесения удобрений. Разработанные модели и их программные реализации могут применяться при создании и обновлении автоматизированных систем управления сельским хозяйством, а также использоваться региональными органами и профильными организациями для разработки научно обоснованных адаптационных сценариев зонирования с учетом изменений природных, климатических и техногенных факторов.

### Список литературы

1. Кванин Д.А. Подходы к управлению экологической безопасностью дворовых территорий // *Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире*. 2014. Т. 1. № 6. С. 62–66. EDN: SHDBJB.
2. Волкова С.Н., Сивак Е.Е., Пашкова М.И., Шлеенко А.В., Морозова В.В. Метод имитационного моделирования экологического прогнозирования // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2016. № 9. С. 71–74. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-imitatsionnogo-modelirovaniya-ekologicheskogo-prognozirovaniya> (дата обращения: 26.07.2025). EDN: YNTQTX.
3. Малиновский А.В., Аканов Э.Н., Воронин П.Ю. Вегетационная климатическая установка для изучения воздействия на высшие растения увеличенной по сравнению с атмосферной концентрации CO<sub>2</sub> // *Физиология растений*. 2020. Т. 67. № 1. С. 105–112. DOI: 10.31857/S001533032001011X.
4. Лисецкий Ф.Н., Пичура В.И., Бреус Д.С. Оценка и прогноз изменений содержания гумуса в степных почвах с использованием геоинформационных и нейротехнологий // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2017. № 1. С. 24–28. URL: [http://dspace.bsuedu.ru/bitstream/123456789/63856/1/Lisetskii\\_Otsenka\\_17.pdf](http://dspace.bsuedu.ru/bitstream/123456789/63856/1/Lisetskii_Otsenka_17.pdf) (дата обращения: 26.07.2025).
5. Radpour S., Gemechu E., Ahiduzzaman Md., Kumar A. Developing a framework to assess the long-term adoption of renewable energy technologies in the electric power sector: the effects of carbon price and economic incentives // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021. Vol. 152. P. 111663. DOI: 10.1016/j.rser.2021.111663.
6. Шичкин А.В., Бувич А.Г., Ремезова М.С., Сергеев А.П., Баглаева Е.М., Субботина И.Е., Сергеева М.В., Мамедалиева А.Ю. Искусственные нейронные сети для прогнозирования изменения приземных концентраций основных парниковых газов // *Экологические системы и приборы*. 2021. № 9. С. 10–18. URL: <http://eco.tgizd.ru/ru/arhiv/20681> (дата обращения: 26.08.2025).
7. Кудеяров В.Н. Современное состояние углеродно-го баланса и предельная способность почв к поглощению углерода на территории России // *Почвоведение*. 2015. № 9. С. 1049–1060. DOI: 10.7868/S0032180X15090087. EDN: UDEUPR.
8. Ivaschuk O.A., Fedorov V.I., Goncharov D.V. Approaches to the Development of an Automated Control System for the Adaptation of Agricultural Areas under the Changing Greenhouse Effect // *Mathematical Statistician and Engineering Applications*. 2022. Vol. 71, Is. 2. P. 948. URL: [https://www.philstat.org/special\\_issue/index.php/MSEA/article/view/326](https://www.philstat.org/special_issue/index.php/MSEA/article/view/326) (дата обращения: 26.07.2025).
9. Мариев О.С., Давидсон Н.Б., Емельянова О.С. Влияние урбанизации на выбросы углекислого газа в регионах России // *Journal of Applied Economic Research*. 2020. Т. 19. № 3. С. 286–309. DOI: 10.15826/vestnik.2020.19.3.014.
10. Ильинова А.А., Ромашева Н.В., Стройков Г.А. Перспективы и общественные эффекты проектов секвестрации и использования углекислого газа // *Записки Горного института*. 2020. Т. 244. С. 493–502. DOI: 10.31897/PMI.2020.4.12.
11. Папцов А.Г., Шеламова Н.А. Направления и меры адаптации сельского хозяйства государств-членов ЕАЭС к глобальным климатическим изменениям // *Экономика сельского хозяйства России*. 2017. № 6. С. 90–97. URL: <http://esx.ru/article/2946> (дата обращения: 26.07.2025).
12. Сычев В.Г., Налиухин А.Н. Изучение потоков углерода и азота в длительных полевых опытах геосети с целью снижения выбросов парниковых газов и повышения депонирования диоксида углерода агроценозами // *Плодородие*. 2021. № 6. С. 38–41. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-potokov-ugleroda-i-azota-v-dlitelnyh-polevyh-opytah-geoseti-s-tselyu-snizheniya-vybrosov-parnikovyh-gazov-i-povysheniya> (дата обращения: 26.07.2025).
13. Константинов И.С., Бакаева Н.В. Концептуальные основы управления территориальной автотранспортной системой на основе парадигмы биосферной совместимости // *Информационные системы и технологии*. 2010. № 5. С. 109–118. URL: <https://oreluniver.ru/public/file/archive/isit%205-20101.pdf> (дата обращения: 26.07.2025).
14. Ивашук О.А., Кузичкин О.Р., Гончаров Д.В., Дунаева В.А. Цифровые технологии для оценки и прогнозирования влияния пространственно-временного распределения парниковых газов на фотосинтетическую активность сельскохозяйственных культур // *Известия Юго-Западного государственного университета*. 2023. Т. 27. № 1. С. 38–56. DOI: 10.21869/2223-1560-2023-27-1-38-56.
15. Гончаров Д.В., Ивашук О.А., Долгих Е.А., Гончарова И.И. Разработка информационной системы для моделирования и визуализации роста сельскохозяйственных культур в условиях изменения климата // *Вестник ГГНТУ. Технические науки*. 2023. Т. 19. № 4 (34). С. 5–14. URL: <https://back-lib.gstou.ru/articles/Zg7dtndM0kKeAaZEklvwGfn9sbHVMWRk4YBtgqHt.pdf> (дата обращения: 26.08.2025). DOI: 10.26200/GSTOU.2023.46.48.006.
16. Ивашук О.А., Гончаров Д.В., Федоров В.И. Моделирование автоматизированной системы управления производством растениеводческой продукции в условиях динамики парникового эффекта // *Современные наукоемкие технологии*. 2023. № 7. С. 27–33. DOI: 10.17513/snt.39690.