

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.40.30>

ОНТОЛОГИЯ КЛАССОВ ЦВЕТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПОСЕВОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ И ТЕСТИРОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ СО СВЕРТОЧНЫМИ СЛОЯМИ

Научная статья

Токарев К.Е.^{1,*}, Лебедь Н.И.², Токарева Е.В.³, Панчишкин А.П.⁴

¹ ORCID : 0000-0002-5548-5637;

² ORCID : 0000-0002-8709-6089;

³ ORCID : 0000-0002-4667-5260;

⁴ ORCID : 0009-0000-6044-3856;

^{1, 2, 3, 4} Волгоградский государственный аграрный университет, Волгоград, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (tke.vgsha[at]mail.ru)

Аннотация

Актуальность работы обусловлена тем, что интенсификация сельскохозяйственного производства требует обработки значительных объемов информации для решения задач повышения биопродуктивности и реализации политики импортозамещения. Развитие методов искусственного интеллекта (ИИ), глубокого машинного обучения и нейросетевых технологий позволяет осуществлять обработку оперативной и ретроспективной информации, получаемой с сельскохозяйственных угодий с использованием цифровых технологий на базе высокопроизводительных мощностей современных вычислительных комплексов. В статье описывается алгоритм сбора, формирования и классификации цветных (RGB) изображений посевов сельскохозяйственных культур, а также аспекты компьютерной реализации реляционной базы данных (БД) для их хранения. Реализованная БД на базе системы управления базами данных MySQL в среде разработки MySQL Workbench, предназначена для обучения и тестирования моделей глубокого машинного обучения, в том числе, искусственных нейронных сетей со сверточными слоями. Онтология классов изображений высокого разрешения включает в себя 4 категории: здоровая растительность («healthy»), пораженная растительность («affected»), почва, незасеянное поле («soil») и прочие объекты («other»).

Ключевые слова: онтология классов, аэрофотосъемка посевов, искусственный интеллект, нейронные сети, база данных.

AN ONTOLOGY OF CROP COLOUR IMAGE CATEGORIES FOR TRAINING AND TESTING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK MODELS WITH CONVOLUTIONAL LAYERS

Research article

Tokarev K.E.^{1,*}, Lebed N.I.², Tokareva E.V.³, Panchishkin A.P.⁴

¹ ORCID : 0000-0002-5548-5637;

² ORCID : 0000-0002-8709-6089;

³ ORCID : 0000-0002-4667-5260;

⁴ ORCID : 0009-0000-6044-3856;

^{1, 2, 3, 4} Volgograd State Agricultural University, Volgograd, Russian Federation

* Corresponding author (tke.vgsha[at]mail.ru)

Abstract

The relevance of the work is conditioned by the fact that intensification of agricultural production requires processing of significant amounts of information to solve the problems of increasing bioproductivity and implementation of import substitution policy. The development of artificial intelligence (AI) methods, deep machine learning and neural network technologies makes it possible to process operational and retrospective information from agricultural lands using digital technologies on the basis of high-performance capacities of modern computing complexes. The article describes the algorithm of collection, formation and classification of colour (RGB) images of crops, as well as aspects of computer implementation of relational database (DB) for their storage. The implemented database based on MySQL database management system in MySQL Workbench development environment is designed for training and testing deep machine learning models, including artificial neural networks with convolutional layers. The ontology of high-resolution image classes includes 4 categories: healthy vegetation ("healthy"), affected vegetation ("affected"), soil, unplanted field ("soil") and miscellaneous objects ("other").

Keywords: class ontology, aerial crop survey, artificial intelligence, neural networks, database.

Введение

Развитие технологий искусственного интеллекта, методов глубокого машинного обучения и нейросетевых технологий обуславливает возможность их широкого применения в различных отраслях народного хозяйства, в том числе сельском хозяйстве. В Российской Федерации реализуется целый ряд государственных программ для развития современного высокоэффективного сельского хозяйства, в частности, ключевой задачей является переход к цифровому сельскому хозяйству, точному земледелию, активному использованию интеллектуальных технологий в АПК [1]. Актуальность работы обусловлена тем, что интенсификация сельскохозяйственного производства требует обработки

значительных объемов информации для решения задач повышения биопродуктивности и реализации политики импортозамещения.

Промышленный характер сельскохозяйственного производства в регионах Российской Федерации требует создания новых методов его интенсификации, среди которых важное место занимают интеллектуальные методы мониторинга и анализа состояния посевов на значительных площадях с использованием средств дистанционного мониторинга. Различные вопросы применения искусственного интеллекта, компьютеризированных систем и нейросетевых технологий рассмотрены в работах Бородычева В.В. [2], [3], Михайленко И. М. [4], Трухачева В.И. [5], Юрченко И.Ф. [6] и других отечественных и зарубежных авторов [7], [8], [9], [11].

Материалы и методы

Для формирования обучающей, тестовой и проверочной выборок использовались цветные изображения высокого разрешения, полученные с использованием камер 4К с использованием беспилотных летательных аппаратов типа DJI Mavic 3 Pro (Рисунок 1).

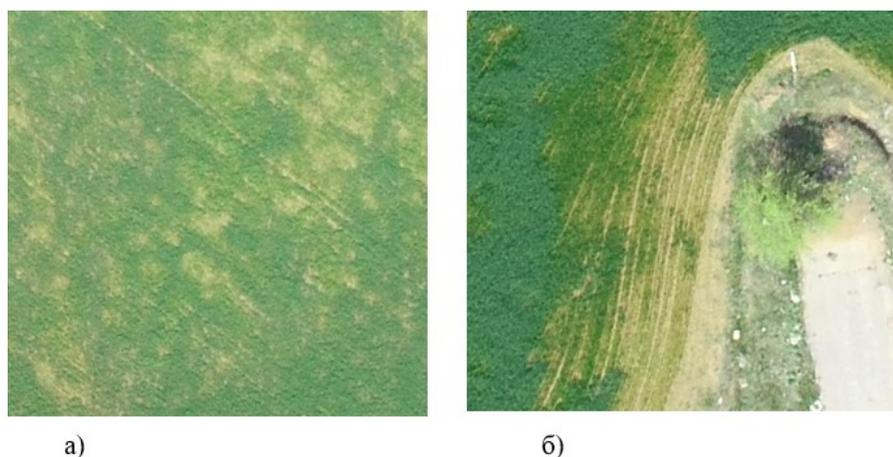


Рисунок 1 - Типовые изображения, полученные в ходе аэрофотосъемки тестовых участков
DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.40.30.1>

Таблица хранения исходных цветных изображений, полученных в ходе экспериментов по аэрофотосъемке посевов сельхозкультур в различные периоды (Рисунок 2), включает в себя возможность хранения исходных и классифицированных (размеченных) изображения полей, пользовательского выбора групп сельскохозяйственных культур (зерновые, овощные, технические и т.д.), сезонности, а также формирования периодов вегетации для каждой из групп культур с учетом фаз роста и их развития.

id	directory	is_good	is_bad	is_soil	is_other	field_image_id
1	D:\WorkPlace\Other\ToPolya\Mine\FieldTrain\I...	0	0	1	0	5
2	D:\WorkPlace\Other\ToPolya\Mine\FieldTrain\I...	0	0	1	0	5
3	D:\WorkPlace\Other\ToPolya\Mine\FieldTrain\I...	1	0	1	0	5
4	D:\WorkPlace\Other\ToPolya\Mine\FieldTrain\I...	1	0	0	0	5
5	D:\WorkPlace\Other\ToPolya\Mine\FieldTrain\I...	1	1	0	0	5
6	D:\WorkPlace\Other\ToPolya\Mine\FieldTrain\I...	1	0	0	0	5
7	D:\WorkPlace\Other\ToPolya\Mine\FieldTrain\I...	1	0	0	0	5
8	D:\WorkPlace\Other\ToPolya\Mine\FieldTrain\I...	1	0	1	0	5
9	D:\WorkPlace\Other\ToPolya\Mine\FieldTrain\I...	1	0	1	0	5
10	D:\WorkPlace\Other\ToPolya\Mine\FieldTrain\I...	1	0	1	0	5
11	D:\WorkPlace\Other\ToPolya\Mine\FieldTrain\I...	0	0	1	0	5
12	D:\WorkPlace\Other\ToPolya\Mine\FieldTrain\I...	0	0	1	0	5
13	D:\WorkPlace\Other\ToPolya\Mine\FieldTrain\I...	1	0	1	0	5
14	D:\WorkPlace\Other\ToPolya\Mine\FieldTrain\I...	1	0	0	0	5
15	D:\WorkPlace\Other\ToPolya\Mine\FieldTrain\I...	1	1	0	0	5
16	D:\WorkPlace\Other\ToPolya\Mine\FieldTrain\I...	1	0	0	0	5
17	D:\WorkPlace\Other\ToPolya\Mine\FieldTrain\I...	1	0	0	0	5
18	D:\WorkPlace\Other\ToPolya\Mine\FieldTrain\I...	1	0	0	0	5
19	D:\WorkPlace\Other\ToPolya\Mine\FieldTrain\I...	1	0	0	0	5
20	D:\WorkPlace\Other\ToPolya\Mine\FieldTrain\I...	1	0	1	0	5
21	D:\WorkPlace\Other\ToPolya\Mine\FieldTrain\I...	0	0	1	0	5
22	D:\WorkPlace\Other\ToPolya\Mine\FieldTrain\I...	1	0	1	0	5

Рисунок 2 - Фрагмент наполнения таблицы классифицированных сегментов изображений
DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.40.30.2>

Таблица цветных изображений предусматривает возможность хранения классифицированных снимков высокого разрешения по 4 классам: здоровая растительность («healthy»), пораженная растительность («affected»), почва, незасеянное поле («soil») и прочие объекты («other»).

Основные результаты и обсуждение

Реализованная база данных для хранения исходных и размеченных цветных изображений высокого разрешения базируется на реляционной модели данных, EER- диаграмма которой представлена на рисунке 3 и состоит из 5 таблиц:

- таблица хранения исходного цветного изображения поля с посевами, содержащая следующие атрибуты: id - индивидуальный номер изображения в БД; directory - путь до хранимого изображения; culture_group_id - ключ-значение индивидуального номера соответствующей изображению сельскохозяйственной культуры; season_id - ключ-значение индивидуального номера соответствующего изображению сезона фотографирования культуры; day_period_id - ключ-значение индивидуального номера соответствующего изображению временного периода роста культуры;

- таблица хранения сегментов исходного цветного изображения поля с экспертной разметкой (классификацией), содержащая следующие атрибуты: id - индивидуальный номер сегмента изображения в БД; directory - путь до хранимого сегмента изображения; field_image_id - ключ-значение индивидуального номера соответствующего сегменту оригинального изображения, is_good - значение типа «Да/Нет» (1/0 соответственно), отражающие наличие в сегменте класса «здоровая растительность», is_bad - значение типа «Да/Нет» (1/0 соответственно), отражающие наличие в сегменте класса «пораженная растительность», is_soil - значение типа «Да/Нет» (1/0 соответственно), отражающие наличие в сегменте класса «почва, незасеянное поле», is_other - значение типа «Да/Нет» (1/0 соответственно), отражающие наличие в сегменте класса «прочие объекты»;

- таблица сезонов аэрофотосъемки полей с посевами, содержащая следующие поля: id - индивидуальный номер сезона аэрофотосъемки в БД, season_name - наименование сезона аэрофотосъемки;

- таблица выращиваемой на поле культуры, содержащая следующие поля: id - идентифицирующий номер возделываемой сельскохозяйственной культуры в БД, culture_name - наименование сельскохозяйственной культуры;

- таблица временного (ретроспективного) периода выращиваемой на поле культуры, содержащая следующие поля: id - индивидуальный номер временного (ретроспективного) периода роста сельхозкультуры в БД, period - наименование периода роста и развития (фазы вегетации).

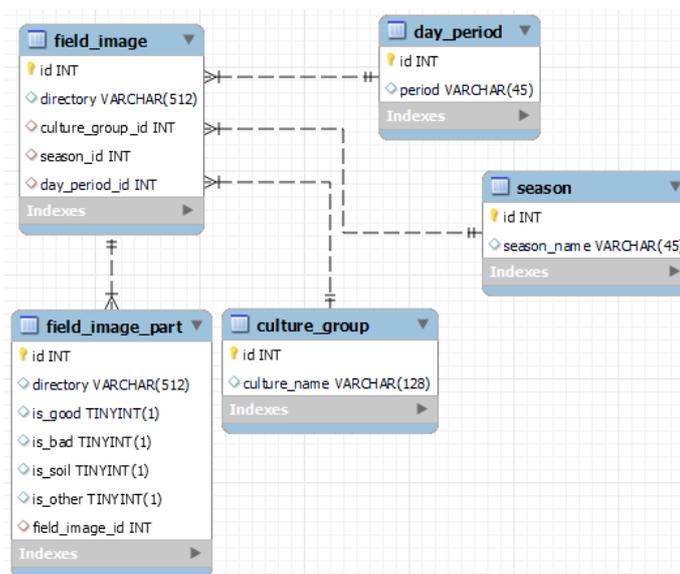


Рисунок 3 - EER диаграмма базы данных хранения цветных изображений

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.40.30.3>

Созданная реляционная база данных для хранения исходных и размеченных изображений посевов агрокультур позволила сформировать обучающую и тестовую выборки, включающие 34993 изображения, с их разметкой по четырем классам, что позволило осуществить программную реализацию (на языке программирования Python с использованием графической библиотеки tKinter) искусственной нейронной сети глубокого обучения со сверточными слоями для мультиклассового распознавания состояния посевов сельскохозяйственных [12].

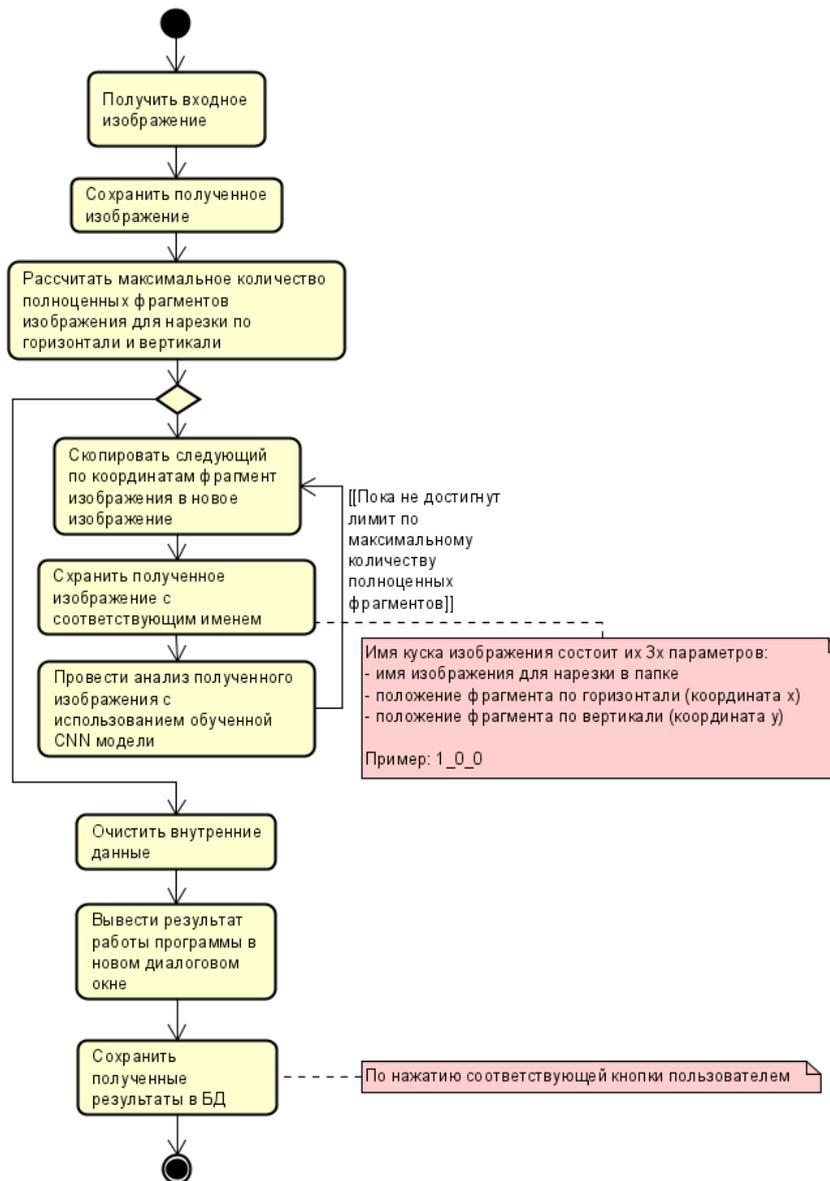


Рисунок 4 - Базовый алгоритм работы программы
DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.40.30.4>

Алгоритм работы программы, базирующейся на обученной модели архитектуры ResNext50 представлен на рисунке 4.

```

-- MySQL Workbench Forward Engineering

SET @OLD_UNIQUE_CHECKS=@@UNIQUE_CHECKS, UNIQUE_CHECKS=0;
SET @OLD_FOREIGN_KEY_CHECKS=@@FOREIGN_KEY_CHECKS,
FOREIGN_KEY_CHECKS=0;
SET @OLD_SQL_MODE=@@SQL_MODE,
SQL_MODE='ONLY_FULL_GROUP_BY,STRICT_TRANS_TABLES,NO_ZERO_IN_DATE,NO_ZE
RO_DATE,ERROR_FOR_DIVISION_BY_ZERO,NO_ENGINE_SUBSTITUTION';

-----
-- Schema mydb
-----
-- Schema fieldsdb
-----
-- Schema fieldsdb
-----
CREATE SCHEMA IF NOT EXISTS `fieldsdb` DEFAULT CHARACTER SET utf8
COLLATE utf8_bin ;USE `fieldsdb` ;

-----
-- Table `fieldsdb`.`culture_group`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `fieldsdb`.`culture_group` (
  `id` INT NOT NULL AUTO_INCREMENT,
  `culture_name` VARCHAR(128) NULL DEFAULT NULL,
  PRIMARY KEY (`id`))
ENGINE = InnoDB
AUTO_INCREMENT = 7
DEFAULT CHARACTER SET = utf8
COLLATE = utf8_bin;

-----
-- Table `fieldsdb`.`day_period`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `fieldsdb`.`day_period` (
  `id` INT NOT NULL AUTO_INCREMENT,
  `period` VARCHAR(45) NULL DEFAULT NULL,
  PRIMARY KEY (`id`))
ENGINE = InnoDB
AUTO_INCREMENT = 32
DEFAULT CHARACTER SET = utf8
COLLATE = utf8_bin;

-----
-- Table `fieldsdb`.`season`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `fieldsdb`.`season` (
  `id` INT NOT NULL AUTO_INCREMENT,
  `season_name` VARCHAR(45) NULL DEFAULT NULL,
  PRIMARY KEY (`id`))
ENGINE = InnoDB
AUTO_INCREMENT = 5
DEFAULT CHARACTER SET = utf8
COLLATE = utf8_bin;

```

Рисунок 5 - Скрипт создания схемы данных реляционной БД
DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.40.30.5>

Фрагмент исходного кода скрипта создания схемы реляционной БД представлен на рисунке 5.

Заключение

В ходе проводимого исследования, поддержанного грантом Российского научного фонда и администрации Волгоградской области (№ 22-21-20041) осуществлен сбор аэрофотоснимков посевов сельскохозяйственных культур на экспериментальных участках полей УНПЦ Горная поляна с использованием средств дистанционного мониторинга, что позволило сформировать базу данных цветных изображений высокого разрешения. Онтология классов цветных изображений, хранимых в БД, включает в себя 4 категории: здоровая растительность («healthy»), пораженная растительность («affected»), почва, незасеянное поле («soil») и прочие объекты («other»). Реализованная БД на базе системы управления базами данных MySQL в среде разработки MySQL Workbench, использовалась для обучения и тестирования моделей глубокого машинного обучения, в том числе, созданной и обученной, в ходе реализации проекта, рекуррентной нейронной сети со сверточными слоями.

Финансирование

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-21-20041, <https://rscf.ru/project/22-21-20041/> и Волгоградской области.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Funding

The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 22-21-20041, <https://rscf.ru/project/22-21-20041/> and the Volgograd region.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Агропромышленный комплекс России: AGRICULTURE 4.0: Монография в 2 томах. Том. 2. Современные технологии в агропромышленном комплексе России и зарубежных стран. Сельское хозяйство 4.0. Цифровизация АПК / Абрашкина Е.Д. [и др.] — М.: Ай Пи Ар Медиа, 2021. — 379 с.
2. Дубенок Н. Н. Алгоритм учета пространственной неоднородности исходных характеристик орошаемого участка на основе ГИС-технологий / Н. Н. Дубенок, В. В. Бородычев, М. Н. Лытов // Российская сельскохозяйственная наука. — 2019. — № 1. — С. 66-70.
3. Бородычев В.В. Обобщенная модель автоматизированной информационной системы мониторинга и управления орошением в режиме реального времени / В.В. Бородычев, М.Н. Лытов // Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование — № 1 (45). — 2017. — С. 161-170.
4. Михайленко И. М. Развитие методов и средств применения данных дистанционного зондирования земли в сельском хозяйстве / И. М. Михайленко // Тенденции развития науки и образования. — 2018. — № 41-3. — С. 70-83;
5. Трухачев В.И. Информационная система диагностики состава биологических образцов почвы на основе нейросетевой модели / В.И. Трухачев, С.Л. Белоухов, Е.В. Худякова [и др.] // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2023614442, 01.03.2023. Заявка № 2023613269 от 21.02.2023 г.
6. Алгоритмы управляющих воздействий и структура систем прецизионного регулирования мелиоративного состояния агроэкосистем / Юрченко И.Ф. // Проблемы развития с.-х. мелиораций и водохоз. комплекса на базе цифровых технологий / Всерос. науч.-исслед. ин-т гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова. — Москва. — 2019. — Т. 2. — С. 327-336.
7. Tokarev K. Monitoring and Intelligent Management of Agrophytocenosis Productivity Based on Deep Neural Network Algorithms / Tokarev K. [et al.]; In: Vasant, P., Weber, G.W., Marmolejo-Saucedo, J.A., Munapo, E., Thomas, J.J. (eds) // Intelligent Computing & Optimization. ICO 2022. Lecture Notes in Networks and Systems. — vol 569. — 2023 Springer, Cham. — DOI: 10.1007/978-3-031-19958-5_65
8. Рогачев А. Ф. Исследование развития и продуктивности сельскохозяйственных культур с применением беспилотных летательных аппаратов / А. Ф. Рогачев, Е. В. Мелихова, И. С. Белоусов // Известия НВ АУК. — 2020. — № 3(59). — С. 397-406. — DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-49.
9. Cheng G. ISNet: Towards Improving Separability for Remote Sensing Image Change Detection / G. Cheng, G. Wang and J. Han // in IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. — 2022. — vol. 60. — p. 1-11. — Art no. 5623811. — DOI: 10.1109/TGRS.2022.3174276.
10. Kamilaris A. Deep Learning in Agriculture: A survey. Computers and Electronics in Agriculture / A. Kamilaris, F.X. Prenafeta-Boldú. — 2018. — URL: www.arxiv.org/pdf/1807.11809 (accessed: 13.11.2023)
11. Лебедь Н. И. Повышение продуктивности агрофитоценозов в условиях точного земледелия с использованием нейросетевых алгоритмов глубокого обучения: обоснование применения и аспекты компьютерной реализации / Н. И. Лебедь, К. Е. Токарев // Международный сельскохозяйственный журнал. — 2022. — № 6(390). — С. 662-664. — DOI 10.55186/25876740_2022_65_6_662.
12. Токарев К.Е. Рекуррентная нейронная сеть глубокого обучения со сверточными слоями для мультиклассового распознавания посевов сельскохозяйственных культур / К.Е. Токарев, Н.И. Лебедь // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023681039, 10.10.2023. Заявка № 2023680320, 10.10.2023.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Agropromyshlennyy kompleks Rossii: AGRICULTURE 4.0: Monografiya v 2 tomah. Tom. 2. Sovremennyye tekhnologii v agropromyshlennom komplekse Rossii i zarubezhnyh stran. Sel'skoe hozyajstvo 4.0. Cifrovizaciya APK [Agro-industrial Complex of Russia: AGRICULTURE 4.0: A monograph in 2 volumes. Vol. 2. Modern Technologies in the Agro-industrial Complex of Russia and Foreign Countries. Agriculture 4.0. Digitalization of Agriculture] / Abrashkina E.D. [et al.] — M. : Aj Pi Ar Media, 2021. — 379 p. [in Russian]
2. Dubenok N. N. Algoritm ucheta prostranstvennoj neodnorodnosti iskhodnyh harakteristik oroshaemogo uchastka na osnove GIS-tekhnologij [An Algorithm for Taking into Account the Spatial Heterogeneity of the Initial Characteristics of the Irrigated Area Based on GIS-technologies] / N. N. Dubenok, V. V. Borodychev, M. N. Lytov // Rossijskaya sel'skokozyajstvennaya nauka [Russian Agricultural Science]. — 2019. — № 1. — P. 66-70 [in Russian].
3. Borodychev V.V. Obobshchennaya model' avtomatizirovannoj informacionnoj sistemy monitoringa i upravleniya orosheniem v rezhime real'nogo vremeni [A Generalized Model of an Automated Information System for Monitoring and Managing Irrigation in Real Time] / V.V. Borodychev, M.N. Lytov // Izvestiya nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie [Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and Higher Professional Education]. — № 1 (45). — 2017. — P. 161-170 [in Russian].
4. Mihajlenko I. M. Razvitie metodov i sredstv primeneniya dannyh distancionnogo zondirovaniya zemli v sel'skom hozyajstve [Development of Methods and Means of Applying Earth Remote Sensing Data in Agriculture] / I. M. Mihajlenko // Tendencii razvitiya nauki i obrazovaniya [Trends in the Development of Science and Education]. — 2018. — № 41-3. — P. 70-83 [in Russian]
5. Truhachev V.I. Informacionnaya sistema diagnostiki sostava biologicheskikh obrazcov pochvy na osnove nejrossetevoj modeli [An Information System for Diagnosing the Composition of Biological Soil Samples Based on a Neural Network Model] / V.I. Truhachev, S.L. Belopuhov, E.V. Hudyakova [et al.] // Certificate of registration of the computer program 2023614442, 03/01/2023. Application No. 2023613269 dated 02/21/2023 [in Russian]
6. Algoritmy upravlyayushchih vozdeystvij i struktura sistem precizionnogo regulirovaniya meliorativnogo sostoyaniya agroekosistem [Algorithms of Control Actions and the Structure of the System of Precise Regulation of the Reclamation State of Agroecosystems] / YUrchenko I.F. // Problemy razvitiya s.-h. melioracij i vodohoz. kompleksa na baze cifrovyyh tekhnologij

[Problems of Development of Agricultural Land Reclamation and Water Storage. A Complex Based on Digital Technologies] // *Vseros. nauch.-issled. in-t gidrotekhniki i melioracii im. A. N. Kostyakova* [All-Russian Scientific Research. Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov]. — Moscow. — 2019. — V. 2. — P. 327-336 [in Russian].

7. Tokarev K. Monitoring and Intelligent Management of Agrophytocenosis Productivity Based on Deep Neural Network Algorithms / Tokarev K. [et al.]; In: Vasant, P., Weber, G.W., Marmolejo-Saucedo, J.A., Munapo, E., Thomas, J.J. (eds) // *Intelligent Computing & Optimization. ICO 2022. Lecture Notes in Networks and Systems*. — vol 569. — 2023 Springer, Cham. — DOI: 10.1007/978-3-031-19958-5_65

8. Rogachev A. F. Issledovanie razvitiya i produktivnosti sel'skohozyajstvennyh kul'tur s primeneniem bespilotnyh letatel'nyh apparatov [Research on the Development and Productivity of Agricultural Crops Using Unmanned Aerial Vehicles] / A. F. Rogachev, E. V. Melihova, I. S. Belousov // *Izvestiya NV AUK* [Proceedings of the NV AUC]. — 2020. — № 3(59). — P. 397-406. — DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-49 [in Russian].

9. Cheng G. ISNet: Towards Improving Separability for Remote Sensing Image Change Detection / G. Cheng, G. Wang and J. Han // in *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. — 2022. — vol. 60. — p. 1-11. — Art no. 5623811. — DOI: 10.1109/TGRS.2022.3174276.

10. Kamilaris A. Deep Learning in Agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture* / A. Kamilaris, F.X. Prenafeta-Boldú. — 2018. — URL: www.arxiv.org/pdf/1807.11809 (accessed: 13.11.2023)

11. Lebed' N. I. Povyshenie produktivnosti agrofitocenzov v usloviyah tochnogo zemledeliya s ispol'zovaniem nejrosetevykh algoritmov glubokogo obucheniya: obosnovanie primeneniya i aspekty komp'yuternoj realizacii [Increasing the Productivity of Agrophytocenoses in the Conditions of Farming Technology Using Neural Network Algorithms of Deep Learning: Justification of Application and Aspects of Computer Implementation] / N. I. Lebed', K. E. Tokarev // *Mezhdunarodnyj sel'skohozyajstvennyj zhurnal* [International Agricultural Journal]. — 2022. — № 6(390). — P. 662-664. — DOI 10.55186/25876740_2022_65_6_662 [in Russian].

12. Tokarev K.E. Rekurrentnaya nejronnaya set' glubokogo obucheniya so svertochnymi sloyami dlya mul'tiklassovogo raspoznavaniya posevov sel'skohozyajstvennyh kul'tur [Current Neural Network for Deep Learning with Convolutional Layers for Multiclass Recognition of Crops] / K.E. Tokarev, N.I. Lebed' // Certificate of registration of the computer program RU 2023681039, 10.10.2023. Application No. 2023680320, 10.10.2023 [in Russian].