



Цифровизация методов прогноза урожайности сельскохозяйственных культур

Федоров Д.С.¹, ✉ Пищимко О.И.^{2,3}, Гарафутдинова Л.В.¹

¹Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук

Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

²Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт

Новосибирск, Россия

³Новосибирский государственный аграрный университет

Новосибирск, Россия

✉ e-mail: pishchimko@sibnigmi.ru

В статье приведены результаты разработки и применения современных методов прогноза урожайности сельскохозяйственных культур по Иркутской области на основе цифрового анализа. В исследовании приняли участие представители трех организаций, что является примером успешной интеграции научно-исследовательской и инновационной работы ученых. Использование комплексного статистического анализа и визуализации данных позволяет не только проводить расчеты, но и наглядно представлять результаты в виде графиков, давая возможность оценивать точность прогнозов через показатели их оправдываемости, абсолютной и относительной ошибки. При создании расчетных моделей использован многолетний ряд урожайности картофеля по всем категориям хозяйств и сельскохозяйственным предприятиям Иркутской области (данные предоставлены Иркутскстатом). Предложенное desktop-приложение разработано на базе языка программирования C#, имеет модульную структуру и включает три основных компонента: модуль взаимодействия с данными, модуль представления данных и модуль моделирования. Программа интегрирует как традиционные физико-статистические модели на основе данных наземной сети метеостанций, так и экспериментальные модели с применением индекса листовой поверхности (LAI), получаемого методами дистанционного зондирования. Созданные модели демонстрируют высокую точность прогнозирования с коэффициентом детерминации от 0,59 до 0,85. Программный продукт успешно прошел тестирование и внедрен в практическую деятельность Иркутского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды согласно решению Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и геофизическим прогнозам. Особое внимание в работе уделено перспективам развития системы, включая расширение функционала за счет внедрения методов машинного обучения и создания моделей для других сельскохозяйственных культур. Практическая значимость представленной разработки заключается в возможности оперативного получения прогнозов урожайности, что способствует принятию обоснованных решений в области планирования сельскохозяйственного производства и обеспечения продовольственной безопасности региона.

Ключевые слова: цифровизация, агрометеорология, прогноз урожайности, продовольственная безопасность, дистанционное зондирование, физико-статистические модели

Digitalization of crop yield forecasting methods

Fedorov D.S.¹, ✉ Pishchimko O.I.^{2,3}, Garafutdinova L.V.¹

¹Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences

Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

²Siberian Research Hydrometeorological Institute

Novosibirsk, Russia

³*Novosibirsk State Agrarian University*
Novosibirsk, Russia
✉e-mail: pishchimko@sibnigmi.ru

The article describes the development and application of agricultural crop yield forecasting methods in the Irkutsk region based on digital analysis. The study involved the representatives from three organizations, demonstrating successful integration of research and innovation work of the scientists. The use of complex statistical analysis and data visualization allows not only carrying out calculations, but also visually presenting the results in the form of graphs, making it possible to assess the accuracy of forecasts through the indicators of their justifiability, absolute and relative error. When creating the calculation models, a multi-year series of potato yields for all categories of farms and agricultural enterprises in the Irkutsk region (the data provided by the Irkutskstat, the state statistics authority for the Irkutsk region) was used. The proposed desktop application is developed using the C# programming language, has a modular structure and includes three main components: data interaction module, data presentation module, and modeling module. The program integrates both traditional physical-statistical models based on ground meteorological station network data and experimental models using the Leaf Area Index (LAI) obtained through remote sensing methods. The developed models demonstrate high forecasting accuracy with determination coefficients ranging from 0.59 to 0.85. The software product has successfully passed testing and has been implemented in the practical activities of the Irkutsk Department of Hydrometeorology and Environmental Monitoring according to the decision of the Central Methodological Commission on Hydrometeorological and Heliogeophysical Forecasts. Special attention is paid to the system's development prospects, including functionality expansion through the implementation of machine learning methods and development of the models for other agricultural crops. The practical significance of the development lies in the ability to obtain operational yield forecasts, which contributes to making informed decisions in agricultural production planning and ensuring regional food security.

Keywords: digitalization, agrometeorology, yield forecasting, food security, remote sensing, physical-statistical models

Для цитирования: Федоров Д.С., Пищимко О.И., Гарафутдинова Л.В. Цифровизация методов прогноза урожайности сельскохозяйственных культур // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2025. Т. 55. № 1. С. 5–13. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2025-1-1>

For citation: Fedorov D.S., Pishchimko O.I., Garafutdinova L.V. Digitalization of crop yield forecasting methods. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2025, vol. 55, no. 1, pp. 5–13. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2025-1-1>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Четвертая промышленная революция (Индустрия 4.0) значительно изменила сельскохозяйственный сектор за счет расширенного использования информационных технологий, датчиков, автономных транспортных средств, анализа данных и прогностического моделирования. Все это поддерживается киберфизическими системами (CPS), Интернетом вещей (IoT), искусственным интеллектом (AI) и обработкой значительных объемов данных. Развитие перечисленных направле-

ний открывает большие перспективы для повышения устойчивости сельскохозяйственных систем [1].

Своевременные и точные прогнозы урожайности незаменимы для реализации успешной государственной и международной политики в сфере сельского хозяйства и стабилизации рынка. В странах с дефицитом продовольствия прогнозы играют важную роль в планировании мер по обеспечению продовольственной безопасности [2]. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур в течение вегетационного

периода представляет собой сложную задачу из-за необходимости учета изменчивости свойств почв, генетики сельскохозяйственных культур, методов управления и их взаимодействия с климатическими условиями. Успех прогнозирования с использованием методов моделирования роста сельскохозяйственных культур зависит от точности моделирования динамических процессов и качества входных данных. Разработка более точных моделей и технических средств может помочь снизить неопределенность данных и улучшить прогностические расчеты [3, 4]. Своевременный прогноз урожайности сельскохозяйственных культур высокого качества играет важную роль в увеличении коммерческой прибыли и оценке страховых рисков в сельском хозяйстве.

Прогнозы урожайности, как правило, основаны на определяющих факторах, выявленных с помощью статистических методов и требований, характерных для изучаемой культуры. В работе часто используют данные спутниковых исследований и модели роста сельскохозяйственных культур^{1,2} [5]. Для оценки урожайности в региональных масштабах обычно применяют регрессионные модели, основанные на индексах вегетации, таких как нормализованный индекс различий растительности (NDVI), индекс листовой поверхности (LAI) [6]. Также при построении моделей оценки урожайности с использованием метеорологических данных входными переменными могут являться как исходные метеорологические факторы (осадки, температура, дефицит насыщения воздуха, солнечная радиация и др.), так и агрометеорологические индексы и комплексные показатели, которые рассчитываются на основе исходных

данных (различные индексы засухи). Это помогает улучшить точность и надежность моделей, позволяя более точно предсказывать урожайность и принимать обоснованные решения в сельском хозяйстве [7–9].

Знание о предполагаемом объеме урожая в определенном году может быть полезно при планировании посевных площадей. Прогнозирование урожайности помогает увеличить прибыльность хозяйства и сбалансировать использование производственных ресурсов, таких как удобрения или средства защиты растений. Сбалансированное применение этих продуктов приводит к уменьшению затрат на энергию и труд. В результате сельхозтоваропроизводители получают больший доход за счет сокращения производственных издержек. Кроме того, раннее и точное прогнозирование урожайности помогает организациям и агентствам по сбыту зерна планировать импорт и экспорт, а также организацию хранения полученного сырья. Прогнозирование урожайности способствует увеличению прибыли перерабатывающих предприятий, инструменты прогнозирования предоставляют ценную информацию для оценки объема сырья, которое эти компании смогут переработать^{3,4} [10–12].

Цель данной работы – цифровизация методов прогноза урожайности картофеля по всем категориям хозяйств и сельскохозяйственным предприятиям Иркутской области в удобном для пользователя интерфейсе.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Настоящее исследование направлено прежде всего на разработку программного обеспечения, реализующего методологию анализа и прогнозирования урожайности

¹Набока В.В., Пахомова Т.М. Опыт применения динамической модели агроценоза суточного разрешения (ВНИИСХМ, Сиротенко О.Д.) для агрометеорологического обеспечения растениеводства в Западной Сибири // Труды Сибирского регионального научно-исследовательского гидрометеорологического института: сб. статей. Новосибирск, 2021. Вып. 107. С. 100–111.

²РД 52.27.284–91. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов. М., 1991. С. 98–107.

³Johnson M.D., Hsieh W.W., Cannon A.J., Davidson A., Bédard F. Crop yield forecasting on the Canadian Prairies by remotely sensed vegetation indices and machine learning methods // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2016. Vol. 218. P. 74–84.

⁴Pantazi X.E., Moshou D., Alexandridis T., Whetton R.L., Mouazen A.M. Wheat yield prediction using machine learning and advanced sensing techniques // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2016. Vol. 121. P. 57–65.

картофеля по всем категориям хозяйств и сельскохозяйственным предприятиям. Предложенная система ориентирована на использование специалистами отделов агрометеорологических прогнозов Гидрометцентра России. Контекстная диаграмма деятельности системы, представленная на рис. 1, наглядно демонстрирует основные функции и взаимодействия в рамках разработанной цифровизированной технологии.

В ходе исследования предложена и реализована методика прогнозирования урожайности картофеля, состоящая из нескольких ключевых этапов. Первый этап предполагает описание структуры используемых данных и их графическое представление, сбор, систематизацию и визуализацию исходных данных, необходимых для построения прогнозных моделей.

Вторым этапом стало построение прогнозных моделей урожайности картофеля с использованием выделенных факторов. На основе собранных данных и выявленных ключевых факторов, влияющих на урожайность, были созданы физико-статистические модели, способные прогнозировать будущие значения урожайности по входящим в них предикторам.

На заключительном этапе был проведен расчет прогноза урожайности картофеля

и валового сбора на основе построенных моделей. Разработанное программное обеспечение позволяет специалистам вводить необходимые исходные данные и получать прогнозные значения урожайности картофеля на принятый в Росгидромете срок составления прогноза. Результаты прогнозирования могут быть использованы для принятия обоснованных решений в области планирования и управления сельскохозяйственным производством, при принятии экономических решений, связанных с продовольственной безопасностью региона, организацией торговли и логистики.

Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур требует междисциплинарных знаний на стыке нескольких наук: метеорологии, географии, агрономии, статистики, информатики и экономики. По заявке Иркутского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды авторами были разработаны [13] и внедрены методы прогноза урожайности картофеля по всем категориям хозяйств и сельскохозяйственным предприятиям Иркутской области (согласно решению Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам от 29.05.2023 г.). Были созданы и экспериментальные модели с использованием индекса листовой поверхности LAI⁵ (см. таблицу), так как дистанционное зондирование является удобным инструментом для мониторинга роста и прогноза урожайности культурных растений. Указанные выше разработки показали достаточно высокую оправдываемость в период испытаний.

Для улучшения взаимодействия пользователя с технологией было разработано desktop-приложение на объективно-ориентированном языке программирования C# с использованием Windows Form из .NET Framework для создания графического интерфейса. Приложение интегрирует в себя как физико-статистические модели, основанные на

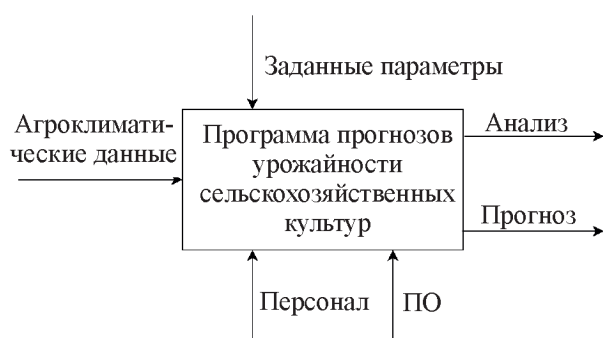


Рис. 1. Контекстная диаграмма деятельности системы IDEF0

Fig. 1. Context diagram of the IDEF0 system activity

⁵Пищимко О.И., Гарафутдинова Л.В. О возможности использования индекса дистанционного зондирования для прогнозирования урожайности картофеля (на примере Иркутской области) // Труды Сибирского регионального научно-исследовательского гидрометеорологического института: сб. статей. Новосибирск, 2023. Вып. 108. С. 104–111.

Модели, вошедшие в desktop-приложение
Models included in the desktop application

Номер модели	Вид модели	Коэффициент детерминации (R)
<i>Внедренные модели</i>		
1	$y = 155,69 + 26,43 \text{ ГТК (V-VII)} + 0,776n$	0,59
2	$y = 43,82 + 12,963 \text{ ГТК (V-VII)} + 3,148n$	0,85
<i>Экспериментальные модели</i>		
3	$y = 136,398 + (-0,626) \text{ ГТК (IV-20VII)} + (-5,171) \text{ LAI (VII)} + 1,06n$	0,62
4	$y = 119,924 + 2,155D \text{ (V-20.VII)} + (-5,840) \text{ LAI (VII)} + 1,017n$	0,66

Примечание. y – урожайность, ц/га; D – среднесуточный дефицит насыщения воздуха за периоды, гПа; ГТК – гидротермический коэффициент Селянинова; n – порядковый номер года.

данных наземной сети метеостанций и комплексных расчетных показателях, так и экспериментальную модель с использованием LAI. Успешность входящих в программный продукт моделей оценивали согласно РД 52.27.284–91 (см. сноску 2).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Предложенная программа имеет модульную структуру и состоит из трех основных компонентов (см. рис. 2). Каждый модуль выполняет определенные функции и обеспечивает взаимодействие с пользователем, обработку данных и представление результатов. Первый модуль отвечает за взаимодействие с данными. Он предоставляет возможность открытия пустого шаблона для ручного заполнения данных или импорта набора исходных данных из подготовленных файлов в формате *.xls (*.xlsx) (см. рис. 3). При запуске приложения все загруженные данные сохраняются в рабочей сессии, обеспечивая быстрый доступ к ним на протяжении всего сеанса работы с программой.

Второй модуль отвечает за представление данных. Он обеспечивает отображение всех загруженных таблиц исходных данных и результатов их обработки. Пользователь может просматривать данные о сумме осадков, средней температуре воздуха по декадам, среднесуточном дефиците насыщения воздуха (гПа) и среднеобластной урожайности. Кроме того, указанный модуль обеспечивает вывод информации, полученной в результате обработки данных, а также их визуализацию



Рис. 2. Структурная схема разработанной программы прогноза урожайности картофеля
Fig. 2. Structural scheme of the developed potato yield forecasting program

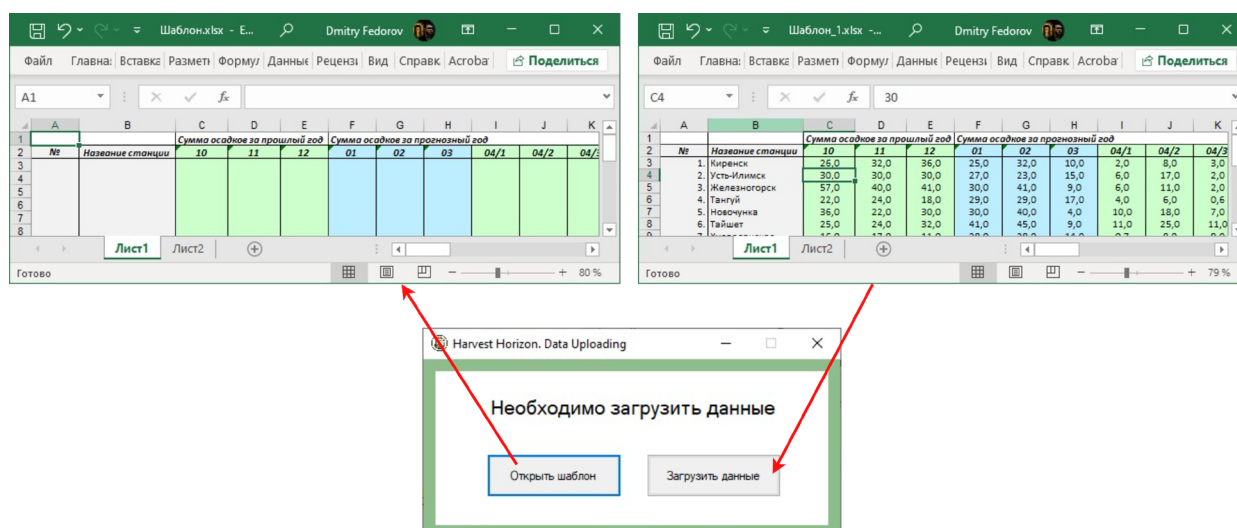


Рис. 3. Пример загрузки данных в приложение

Fig. 3. Example of data loading into the application

в виде графиков (см. рис. 4). Для удобства навигации между различными этапами анализа предусмотрены вкладки в верхней части интерфейса.

Третий модуль отвечает за моделирование данных. Он позволяет строить прогно-

зы среднеобластной урожайности картофеля по сельхозпредприятиям (валовой сбор (т) и урожайность (ц/га)) на выбранный год с помощью трех различных моделей (см. рис. 4). Для оценки точности построенных моделей используют показатели абсолютной и отно-

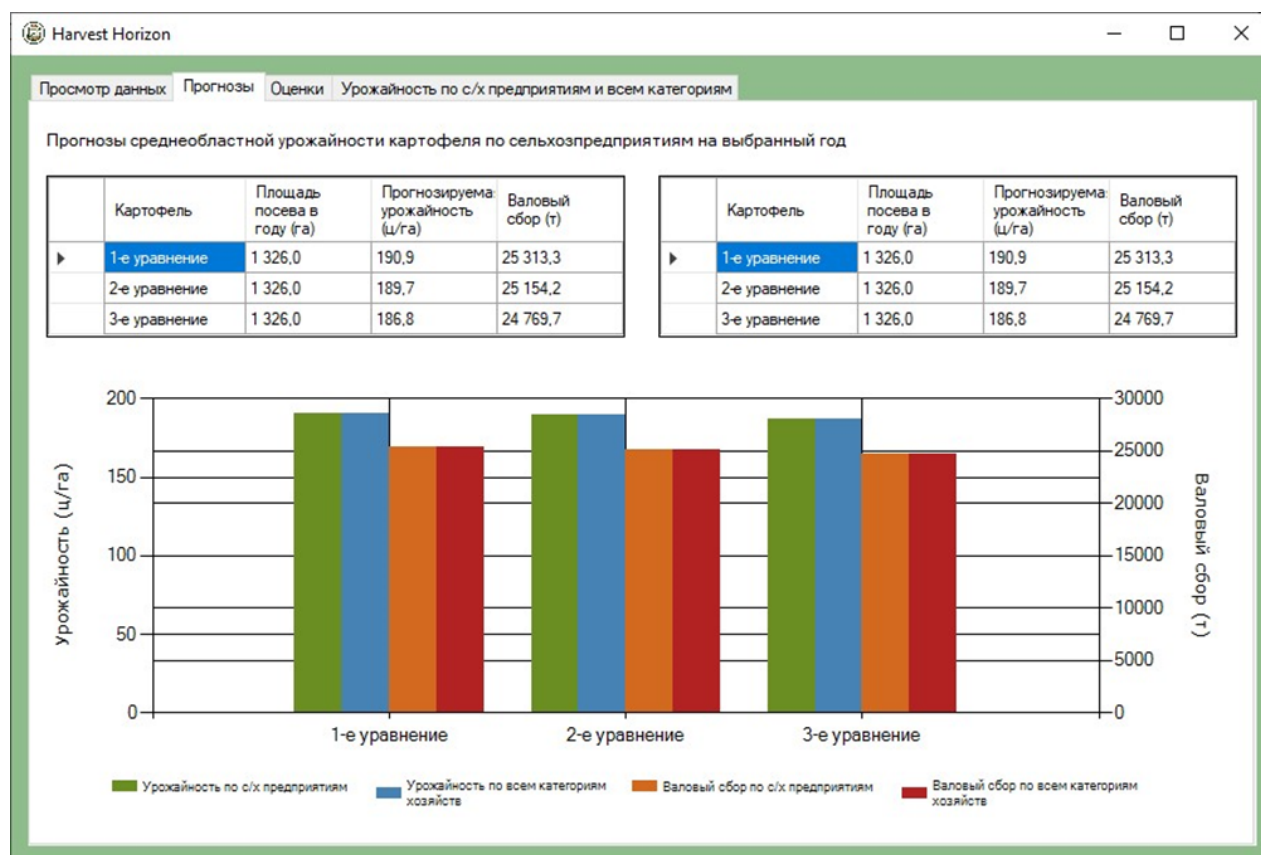


Рис. 4. Сравнение построенных прогнозных моделей

Fig. 4. Comparison of the constructed forecast models

сительной ошибки. Результаты моделирования представлены в виде сводной таблицы, которая содержит прогноз среднеобластной урожайности картофеля на выбранный год.

С помощью разработанной программы проведено исследование данных по прогнозу урожайности картофеля по всем категориям хозяйств и сельскохозяйственным предприятиям Иркутской области. В результате получены показатели точности прогнозирования, в частности коэффициент детерминации R^2 , равный 0,59–0,85. Указанный коэффициент является общепринятым статистическим показателем, характеризующим долю дисперсии зависимой переменной (в данном случае урожайности картофеля), объясняемую построенной моделью.

Одним из ключевых преимуществ предложенного программного обеспечения является его масштабируемость. Архитектура программы дает возможность в будущем проводить оптимизацию функционирования существующих алгоритмов, повышая их эффективность и производительность. Кроме того, модульная структура программы позволяет расширять функциональные возможности системы. Это означает, что в дальнейшем могут быть добавлены новые модули и алгоритмы, расширяющие возможности анализа и прогнозирования урожайности картофеля, а также адаптирующие программу к меняющимся потребностям пользователей.

Программа успешно прошла тестирование, все модули приложения корректно работают в соответствии с заявленным функционалом, разработка готова к внедрению.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования разработано desktop-приложение для анализа и прогнозирования урожайности картофеля, ориентированное на специалистов агрометеорологических служб. Цифровизированная технология позволяет рассчитывать среднеобластную урожайность и валовой сбор картофеля по всем категориям хозяйств и сельскохозяйственным предприятиям Иркутской области, производить оценку прогнозов по

критериям оправдываемости, абсолютной и относительной ошибки. Приложение успешно прошло этап тестирования, подтвердив корректность работы всех модулей, готово к практическому внедрению. В работе приведено описание первой версии программы. В перспективе планируется расширение ее функционала путем внедрения новых алгоритмов интеллектуального анализа данных, методов машинного обучения и разработки моделей для других сельскохозяйственных культур. Таким образом, разработанное приложение не только решает текущие задачи прогнозирования урожайности картофеля, но и создает основу для дальнейшего развития системы агрометеорологического прогнозирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cesco S., Sambo P., Borin M., Basso B., Orzes G., Mazzetto F. Smart agriculture and digital twins: Applications and challenges in a vision of sustainability // *European Journal of Agronomy*. 2023. Vol. 146. P. 126809. DOI: 10.3390/agronomy13081964.
2. Becker-Reshef I., Justice C., Barker B., Humber M., Rembold F., Bonifacio R., Zappacosta M., Budde M., Magadzire T., Shitote C., Pound J., Constantino A., Nakalembe C., Mwangi K., Sobue S., Newby T., Whitcraft A., Jarvis I., Verdin J. Strengthening agricultural decisions in countries at risk of food insecurity: the GEOGLAM crop monitor for early warning Remote Sens // *Environ.* 2020. Vol. 237. P. 111553. DOI: 10.1016/j.rse.2019.111553.
3. Liu K., Harrison M.T., Yan H., Liu D.L., Meinke H., Hoogenboom G., Wang B., Peng B., Guan K., Jaegermeyr J., Wang E., Zhang F., Yin X., Archontoulis S., Nie L., Badea A., Man J., Wallach D., Zhao J., Benjumea A.B., Fahad S., Tian X., Wang W., Tao F., Zhang Z., Rötter R., Yuan Y., Zhu M., Dai P., Nie J., Yang Y., Zhang Y. Silver lining to a climate crisis in multiple prospects for alleviating crop waterlogging under future climates // *Nature Communications*. 2023. Vol. 14. N 1. P. 765. DOI: 10.1038/s41467-023-36129-4.
4. Archontoulis S.V., Castellano M.J., Licht M.A., Nichols V., Baum M., Huber I., Martinez-Feria R., Puntel L., Ordóñez R.A., Iqbal J., Wright E.E., Dietzel R.N., Helmers M., Vanloocke A., Lieb-

- man M., Hatfield J.L., Herzmann D., Córdova S.C., Edmonds P., Togliatti K., Kessler A., Danalatos G., Pasley H., Pederson C., Kendall R., Lamkey K.R. Predicting crop yields and soil plant nitrogen dynamics in the US Corn Belt // *Crop Science*. 2020. Vol. 60. N 2. P. 721–738. DOI: 10.1002/csc2.20039.
5. Ji Z., Pan Y., Zhu X., Wang J., Li Q. Prediction of crop yield using phenological information extracted from remote sensing vegetation index // *Sensors*. 2021. Vol. 21. N 4. P. 1406. DOI: 10.3390/s21041406.
 6. Wolanin A., Mateo-García G., Camps-Valls G., Gómez-Chova L., Meroni M., Duveiller G., Lian-gzhi Y., Guanter L. Estimating and understanding crop yields with explainable deep learning in the Indian Wheat Belt // *Environmental research letters*. 2020. Vol. 15. N 2. P. 024019. DOI: 10.1088/1748-9326/ab68ac.
 7. Seffrin R., Araújo E.C., Bazzi C.L. Regression models for prediction of corn yield in the state of Paraná (Brazil) from 2012 to 2014 // *Acta Scientiarum. Agronomy*. 2018. Vol. 40. P. e36494. DOI: 10.4025/actasciagron.v40i1.36494.
 8. Mathieu J.A., Aires F. Assessment of the agro-climatic indices to improve crop yield forecasting // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2018. Vol. 253. P. 15–30. DOI: 10.1016/j.agrformet.2018.01.031.
 9. Holzman M.E., Carmona F., Rivas R., Niclos R. Early assessment of crop yield from remotely sensed water stress and solar radiation data // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2018. Vol. 145. P. 297–308. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2018.03.014.
 10. Adisa O., Botai J., Adeola A., Hassen A., Botai C., Darkey D., Tesfamariam E. Application of artificial neural network for predicting maize production in South Africa // *Sustainability*. 2019. Vol. 11. P. 1145. DOI: 10.3390/su11041145.
 11. Abbas F., Afzaal H., Farooque A.A., Tang S. Crop Yield Prediction through Proximal Sensing and Machine Learning Algorithms // *Agronomy*. 2020. Vol. 10. P. 1046. DOI: 10.3390/agronomy10071046.
 12. Gómez D., Salvador P., Sanz J., Luis J. Casanova Potato yield prediction using machine learning techniques and sentinel 2 data // *Remote Sensing*. 2019. Vol. 11. N 15. P. 1745. DOI: 10.3390/rs11151745.
 13. Пущимко О.И., Гарафутдинова Л.В. Прогнозирование урожайности картофеля // *Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.П. Филиппова*. 2022. № 4 (69). С. 15–22. DOI: 10.34655/bgsha.2022.69.4.002.

REFERENCES

1. Cesco S., Sambo P., Borin M., Basso B., Orzes G., Mazzetto F. Smart agriculture and digital twins: Applications and challenges in a vision of sustainability. *European Journal of Agronomy*, 2023, vol. 146, p. 126809. DOI: 10.3390/agronomy13081964.
2. Becker-Reshef I., Justice C., Barker B., Humber M., Rembold F., Bonifacio R., Zappacosta M., Budde M., Magadzire T., Shitote C., Pound J., Constantino A., Nakalembe C., Mwangi K., Sobue S., Newby T., Whitcraft A., Jarvis I., Verdin J. Strengthening agricultural decisions in countries at risk of food insecurity: the GEOGLAM crop monitor for early warning Remote Sens. *Environ*, 2020, vol. 237, p. 111553. DOI: 10.1016/j.rse.2019.111553.
3. Liu K., Harrison M.T., Yan H., Liu D.L., Meinke H., Hoogenboom G., Wang B., Peng B., Guan K., Jaegermeyr J., Wang E., Zhang F., Yin X., Archontoulis S., Nie L., Badea A., Man J., Wallach D., Zhao J., Benjumea A.B., Fahad S., Tian X., Wang W., Tao F., Zhang Z., Rötter R., Yuan Y., Zhu M., Dai P., Nie J., Yang Y., Zhang Y. Silver lining to a climate crisis in multiple prospects for alleviating crop waterlogging under future climates. *Nature Communications*, 2023, vol. 14, no. 1, p. 765. DOI: 10.1038/s41467-023-36129-4.
4. Archontoulis S.V., Castellano M.J., Licht M.A., Nichols V., Baum M., Huber I., Martinez-Feria R., Puntel L., Ordóñez R.A., Iqbal J., Wright E.E., Dietzel R.N., Helmers M., Vanloocke A., Liebman M., Hatfield J.L., Herzmann D., Córdova S.C., Edmonds P., Togliatti K., Kessler A., Danalatos G., Pasley H., Pederson C., Kendall R., Lamkey K.R. Predicting crop yields and soil plant nitrogen dynamics in the US Corn Belt. *Crop Science*, 2020, vol. 60, no. 2, pp. 721–738. DOI: 10.1002/csc2.20039.
5. Ji Z., Pan Y., Zhu X., Wang J., Li Q. Prediction of crop yield using phenological information extracted from remote sensing vegetation index. *Sensors*, 2021, vol. 21, no. 4, p. 1406. DOI: 10.3390/s21041406.
6. Wolanin A., Mateo-García G., Camps-Valls G., Gómez-Chova L., Meroni M., Duveiller G.,

- Liangzhi Y., Guanter L. Estimating and understanding crop yields with explainable deep learning in the Indian Wheat Belt. *Environmental research letters*, 2020, vol. 15, no. 2, p. 024019. DOI: 10.1088/1748-9326/ab68ac.
7. Seffrin R., Araújo E.C., Bazzi C.L. Regression models for prediction of corn yield in the state of Paraná (Brazil) from 2012 to 2014. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 2018, vol. 40, p. e36494. DOI: 10.4025/actasciagron.v40i1.36494.
8. Mathieu J.A., Aires F. Assessment of the agro-climatic indices to improve crop yield forecasting. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2018, vol. 253, pp. 15–30. DOI: 10.1016/j.agrformet.2018.01.031.
9. Holzman M.E., Carmona F., Rivas R., Niclos R. Early assessment of crop yield from remotely sensed water stress and solar radiation data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2018, vol. 145, pp. 297–308. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2018.03.014.
10. Adisa O., Botai J., Adeola A., Hassen A., Botai C., Darkey D., Tesfamariam E. Application of Artificial Neural Network for Predicting Maize Production in South Africa. *Sustainability*, 2019, vol. 11, p. 1145. DOI: 10.3390/su11041145.
11. Abbas F., Afzaal H., Farooque A.A., Tang S. Crop Yield Prediction through Proximal Sensing and Machine Learning Algorithms. *Agronomy*, 2020, vol. 10, p. 1046. DOI: 10.3390/agronomy10071046.
12. Gómez D., Salvador P., Sanz J., Luis J. Casanova Potato yield prediction using machine learning techniques and sentinel 2 data. *Remote Sensing*, 2019, vol. 11, no. 15, p. 1745. DOI: 10.3390/rs11151745.
13. Pishimko O.I., Garafutdinova L.V. Forecasting potato yield. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaistvennoy akademii im. V.R. Filippova = Vestnik of Buryat State Academy of Agriculture named after V.R. Philippov*, 2022, no. 4 (69), pp. 15–22. (In Russian). DOI: 10.34655/bgsha.2022.69.4.002.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Федоров Д.С., младший научный сотрудник; ORCID 0000-0001-8678-400X, SPIN-код 9530-8327

✉ **Пищимко О.И.**, старший научный сотрудник, аспирант; ORCID 0000-0002-6502-1879, SPIN-код 6239-4506; **адрес для переписки:** Россия, 630099, Новосибирск, ул. Советская, 30; e-mail: pishchimko@sibnigmi.ru

Гарафутдинова Л.В., младший научный сотрудник, аспирант; ORCID 0000-0001-5498-6539, SPIN-код 1924-2317

AUTHOR INFORMATION

Dmitry S. Fedorov, Junior Researcher; ORCID 0000-0001-8678-400X, SPIN-code 9530-8327

✉ **Olesya I. Pishchimko**, Senior Researcher, Post-graduate Student; ORCID 0000-0002-6502-1879, SPIN-code 6239-4506; **address:** 30, Sovetskaya St., Novosibirsk, 630099, Russia; e-mail: pishchimko@sibnigmi.ru

Lyudmila V. Garafutdinova, Junior Researcher, Post-graduate Student; ORCID 0000-0001-5498-6539, SPIN-code 1924-2317

Дата поступления статьи / Received by the editors 17.07.2024
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 04.09.2024
Дата публикации / Published 14.02.2025