

Оригинальная статья

УДК 631.67: 551.5:633.15

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2026-2-48-54>

ВЛИЯНИЕ ОРОШЕНИЯ НА ЭВАПОТРАНСПИРАЦИЮ И ПРОДУКТИВНОСТЬ КУКУРУЗЫ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Р.В. Калининченко^{1✉}, А.Е. Беденко²

¹ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт им. В.В. Докучаева»; г. Москва, Российская Федерация

² Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга»; поселок Радужный, Коломенский городской округ, Московская область, Российская Федерация

¹ kalinichenko_rv@esoil.ru ORCID ID: 0000-0003-3136-8468

² timbothdoom@gmail.com ORCID ID: 0009-0005-7522-0395

Аннотация. Цель работы – на основе комплексного анализа спутниковых данных (MODIS, Sentinel-2) и наземных метеорологических наблюдений количественно оценить влияние орошения на динамику эвапотранспирации, состояние вегетации и финальную урожайность кукурузы в условиях Тихорецкого района. Исследования проводились на двух производственных участках кукурузы: орошаемом (75 га) и богарном (95 га). Анализ охватывал период с 16 апреля по 31 октября 2025 г. Оценка водопотребления выполнялась по спутниковому продукту MOD16A2 (MODIS), позволяющему определить суммарную эвапотранспирацию (ЕТ) с восьмидневной дискретностью. Динамика состояния посевов анализировалась по индексу NDVI на основе данных Sentinel-2. Обработка временных рядов выполнялась в платформе Google Earth Engine, пространственный анализ – в среде QGIS. Метеорологическая информация о количестве осадков получена из архива метеостанции Тихорецк (Rp5). За исследуемый период суммарное количество осадков составило 335,6 мм. Суммарная эвапотранспирация на богарном участке составила 291,0 мм, тогда как на орошаемом – 363,0 мм, что на 72 мм выше. Среднесезонное значение NDVI на орошаемом поле достигло 0,617 и превысило показатель богарного участка (0,351) на 75,7%. Фактическая урожайность на богаре составила 11,3 ц/га, тогда как расчетная урожайность на орошении – 19,86 ц/га, что соответствует прибавке 8,56 ц/га. Искусственное орошение обеспечило дополнительное эффективное водопотребление и позволило сохранить фотосинтетическую активность растений в условиях засушливого сезона, что привело к повышению урожайности кукурузы на 75,7%. Использование спутниковых данных и геоинформационных платформ подтвердило высокую эффективность для мониторинга водного баланса и оценки агрономической эффективности поливов.

Ключевые слова: орошение, эвапотранспирация, кукуруза, MODIS, Sentinel-2, NDVI, Google Earth Engine, водный стресс, урожайность

Для цитирования: Калининченко Р.В., Беденко А.Е. Влияние орошения на эвапотранспирацию и продуктивность кукурузы по данным дистанционного зондирования земли. Природообустройство. 2026;Т.19(2):48-54. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2026-2-48-54>

Original article

THE EFFECT OF IRRIGATION ON THE EVAPOTRANSPIRATION AND PRODUCTIVITY OF CORN ACCORDING TO REMOTE SENSING DATA

R.V. Kalinichenko^{1✉}, A.E. Bedenko²

¹ Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Research Center “V.V. Dokuchaev Soil Institute”, Moscow, Russian Federation

² Federal State Budgetary Scientific Institution All-Russian Research Institute of Irrigation Systems and Agricultural Water Supply “Raduga”; Raduzhny Village, Kolomna City District, Moscow Region, Russian Federation

¹ kalinichenko_rv@esoil.ru ORCID ID: 0000-0003-3136-8468

² timbothdoom@gmail.com ORCID ID: 0009-0005-7522-0395

Abstract. The objective of the study was to quantitatively assess the impact of irrigation on evapotranspiration dynamics, vegetation condition, and final maize yield in the Tikhoretsk district using an integrated analysis of satellite data (MODIS, Sentinel-2) and ground-based meteorological observations. **Methods.** The study was conducted on two production maize fields: an irrigated field (75 ha) and a rainfed field (95 ha).

The analysis covered the period from April 16 to October 31, 2025. Water consumption was assessed using the MOD16A2 (MODIS) satellite product, which provides estimates of total evapotranspiration (ET) with an 8-day temporal resolution. Crop condition dynamics were analyzed using the NDVI vegetation index derived from Sentinel-2 data. Time-series processing was performed on the Google Earth Engine platform, while spatial analysis was carried out in the QGIS environment. Meteorological data on precipitation were obtained from the Tikhoretsk weather station archive (Rp5). **Results.** During the study period, total precipitation amounted to 335.6 mm. The cumulative evapotranspiration on the rainfed field was 291.0 mm, whereas on the irrigated field it reached 363.0 mm, which is 72 mm higher. The seasonal mean NDVI on the irrigated field reached 0.617 and exceeded the rainfed field value (0.351) by 75.7%. The actual yield on the rainfed field was 11.3 centners per hectare, while the estimated yield for the irrigated field reached 19.86 centners per hectare, corresponding to an increase of 8.56 centners per hectare. **Conclusion.** Irrigation provided additional effective water consumption and maintained the photosynthetic activity of plants under drought conditions, resulting in a 75.7% increase in maize yield. The use of satellite data and geospatial platforms proved to be an effective tool for monitoring the water balance and assessing the agronomic efficiency of irrigation.

Keywords: corn, irrigation, evapotranspiration, MODIS, Sentinel-2, NDVI, Google Earth Engine, water stress, yield

For citation: Kalinichenko R.V., Bedenko A.E. The effect of irrigation on the evapotranspiration and productivity of corn according to remote sensing data. *Prirodoobustrojstvo*. 2026;19(2):48-54. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2026-2-48-54>

Введение. Кукуруза является одной из ключевых зерновых культур, определяющих продовольственную безопасность и экспортный потенциал агропромышленного комплекса юга России [1]. Однако высокая продуктивность данной культуры напрямую коррелирует с режимом влагообеспеченности, особенно в критические фазы органогенеза [2]. В условиях глобального изменения климата и участвовавших волн почвенной засухи в центрально-черноземных регионах традиционное богарное земледелие становится высокорискованным [3]. Дефицит доступной влаги в период цветения и налива зерна приводит к преждевременному завершению вегетации и существенным потерям урожая [4]. В этой связи внедрение систем искусственного орошения рассматривается как основной фактор стабилизации производства зерна в степных зонах [5].

Современные исследования подтверждают, что эвапотранспирация (ЕТ) является интегральным показателем жизнедеятельности агрофитотенноза, отражающим как физическое испарение почвы, так и интенсивность транспирации растений [6]. Традиционные методы оценки ЕТ, основанные на лизиметрических данных или расчетах по формуле Пенмана-Монтейта, ограничены точечным характером измерений [7]. Решением данной проблемы является использование продуктов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) – таких, как MOD16A2, позволяющих проводить мониторинг водного баланса на обширных территориях с высокой временной дискретностью [8].

Ряд авторов отмечает, что использование спутниковых данных спектрорадиометра MODIS в сочетании с высокодетальными снимками Sentinel-2 позволяет не только оценивать водопотребление, но и диагностировать состояние биомассы через вегетационные индексы – в частности, NDVI [9, 10]. Корреляция между накопленной суммой эвапотранспирации и продуктивностью культур доказана во множестве агроклиматических зон, что позволяет использовать данные ДЗЗ для прогнозирования урожайности [11]. Однако для условий Краснодарского края количественные оценки эффективности поливных норм на основе алгоритмов MOD16 требуют дополнительной верификации.

Применение геоинформационных платформ – таких, как Google Earth Engine, радикально упростило обработку временных рядов данных, исключая ошибки, связанные с атмосферными помехами [12, 13]. Интеграция методов ДЗЗ и наземных метеорологических данных (Rp5) позволяет формировать цифровые двойники полей для оперативного управления поливами [14, 15]. Несмотря на имеющиеся наработки, вопрос сопоставимости динамики ЕТ и темпов деградации фотосинтетической активности на богаре и орошении в условиях жесткого термического стресса остается актуальным [16].

Цель исследований: на основе комплексного анализа спутниковых данных (MODIS, Sentinel-2) и наземных метеорологических наблюдений количественно оценить влияние орошения на динамику эвапотранспирации, состояние

вегетации и финальную урожайность кукурузы в условиях Тихорецкого района.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. Проанализировать метеорологические условия и структуру водного баланса в течение вегетационного периода 2025 г.

2. Провести сравнительный анализ динамики суммарной эвапотранспирации на орошаемом и богарном участках по данным MOD16A2.

3. Оценить реакцию посевов на водный стресс через мониторинг вегетационного индекса NDVI (Sentinel-2).

4. Установить взаимосвязь накопленного водопотребления и продуктивности культуры, определив экономическую и агрономическую эффективность полива.

Материалы и методы исследований.

Исследования проводились в Тихорецком районе на двух производственных участках с кукурузой на зерно в 2025 г. Участки расположены близко: орошаемый участок площадью 75 га (номер поля в ЕФГИС ЗСН: 03654-1042) и богарный участок площадью 95 га (номер поля в ЕФГИС ЗСН: 03654-1122).

Временной интервал анализа охватывал период с 16 апреля по 31 октября, что соответствует полному технологическому циклу возделывания культуры в хозяйстве. Метеорологическое обеспечение исследований базировалось на данных метеостанции Тихорецк (архив Rp5), на основе которых рассчитывался приходный элемент водного баланса (атмосферные осадки).

Центральным методом оценки водопотребления стал анализ суммарной эвапотранспирации (ET) по данным спутникового продукта MOD16A2.061 (спектрорадиометр MODIS). Данный инструмент позволяет количественно оценить объем влаги, расходуемой на транспирацию растениями и физическое испарение с поверхности почвы.

Обработка спутниковой информации выполнялась в платформе Google Earth Engine. Продукт MODIS генерирует накопленные значения ET за 8-дневные циклы, что позволило детально восстановить динамику водопотребления в течение всего сезона. Для получения физических значений в миллиметрах к исходным данным применялся коэффициент масштабирования 0.1. Итоговый показатель сезонного испарения рассчитывался как сумма всех 8-дневных интервалов. Этот метод позволил выявить точные моменты возникновения водного дефицита и оценить реальную эффективность поданной поливной воды.

Для контроля реакции посевов на водный режим и оценки динамики накопления биомассы использовался индекс вегетации NDVI, рассчитанный по данным спутников Sentinel-2. Благодаря высокому пространственному разрешению (10 м на пиксель) данный метод позволил детально отслеживать фотосинтетическую активность растений.

Учет фактической урожайности на богарном участке (контроль) производился методом прямого комбайнирования 29 августа, что было обусловлено преждевременным завершением вегетации культуры вследствие жесткого водного стресса.

Прогнозная урожайность для орошаемого массива рассчитывалась на основе установленных статистических зависимостей между накопленной суммой эвапотранспирации, значениями индекса NDVI и фактическим выходом зерна с контрольного участка. Математическая обработка данных выполнена с использованием аналитического инструментария Google Earth Engine и методов пространственного анализа в среде QGIS.

Результаты и их обсуждение. Анализ условий вегетации сельскохозяйственного сезона 2025 г. показал значительную неоднородность в обеспеченности посевов кукурузы доступной влагой. На основе данных наземной метеостанции (архив Rp5) установлено, что суммарное количество осадков за исследуемый период (с 16 апреля по 31 октября) составило 335,6 мм. Несмотря на то, что данный объем близок к среднесезонным значениям, его распределение во времени было неравномерным, что создало предпосылки для возникновения водного дефицита в критические фазы развития культуры.

Сравнительный анализ суммарной эвапотранспирации (ET), рассчитанной на основе спутниковых данных MODIS (061/MOD16A2), позволил количественно оценить вклад орошения в водный баланс посевов. Основные показатели приведены в таблице 1.

Суммарное испарение (291,0 мм) оказалось существенно ниже объема выпавших осадков (335,6 мм). Это указывает на низкий коэффициент использования естественной влаги по причине угнетения растений и потерь на поверхностный сток.

На орошаемом массиве зафиксировано превышение ET над уровнем осадков на 27,4 мм, что свидетельствует о вовлечении в водный баланс поливной воды. Однако определяющим показателем эффективности орошения является разница в суммарном испарении между участками,

Таблица 1. Сравнительные показатели водного баланса опытных участков
Table 1. Comparative indicators of the water balance of the experimental plots

Показатель / Indicator	Контроль (Богара) / Control (Bogara)	Орошаемый участок / Irrigated plot	Разница / Эффект / Difference / Effect
Σ Осадков (по данным Rp5), мм / Σ Precipitation (according to Rp5 data), mm	335,6		–
Суммарная эвапотранспирация (ЕТ), мм / Total evapotranspiration (ET), mm	291,0	363,0	+72,0 мм (+24,7%)
Разница между ЕТ и Σ осадков, мм / Difference between ET and precipitation Σ , mm	–44,6	+27,4	

которая составила 72,0 мм (720 м³/га). Именно этот дополнительный объем влаги обеспечил поддержание транспирационного потока в критические фазы развития культуры. Динамика эвапотранспирации показана на рисунке 1.

Анализ хода кривых показывает, что до середины июля показатели испарения на обоих участках были сопоставимы. Однако начиная со второй декады августа наблюдается резкое расхождение: богарный участок 03654-1122 вошел в состояние водного стресса, что привело к снижению ЕТ, в то время как на участке 03654-1042 за счет полива поддерживался высокий уровень транспирации.

Реакция посевов на изменение водного режима была зафиксирована с помощью индекса вегетации NDVI. Для обеспечения достоверности данных временные ряды были очищены от атмосферных помех методом статистической фильтрации выбросов (рис. 2).

На графике отчетливо прослеживается деградация фотосинтетической активности на богарном участке в августе, в то время как орошаемый участок сохранял высокие значения индекса до начала сентября. Среднесезонный индекс NDVI для орошаемого поля составил 0,617, что на 75,7% выше показателя богары (0,351).

Пространственное распределение биомассы в период максимального развития вегетативной массы наглядно представлено на рисунке 3.

Высокая детализация снимков Sentinel-2 (10 м/пикс) позволила выявить однородность посевов на орошении и зафиксировать угнетение растительности на богарном поле.

Взаимосвязь накопленной биомассы и конечной урожайности была подтверждена методом прямого комбайнирования. Фактическая урожайность на богарном участке составила 11,3 ц/га. Использование метода экстраполяции через интегральные показатели NDVI позволило

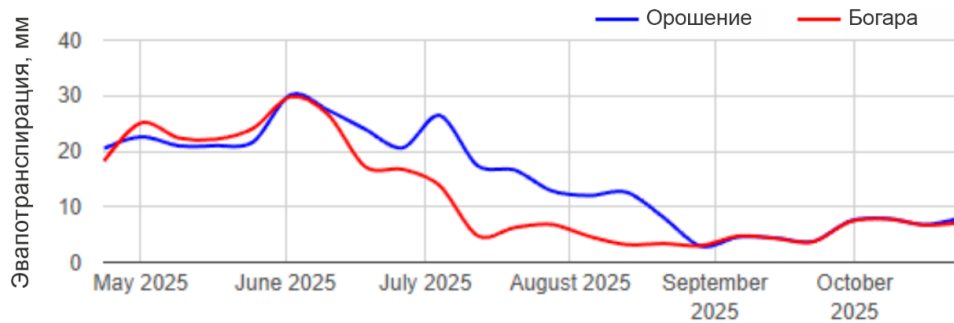


Рис. 1. Динамика эвапотранспирации
Fig. 1. Evapotranspiration dynamics

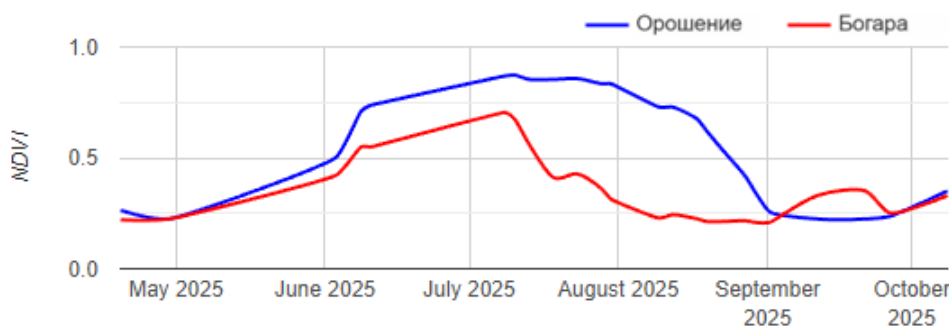


Рис. 2. Динамика вегетации
Fig. 2. Vegetation dynamics

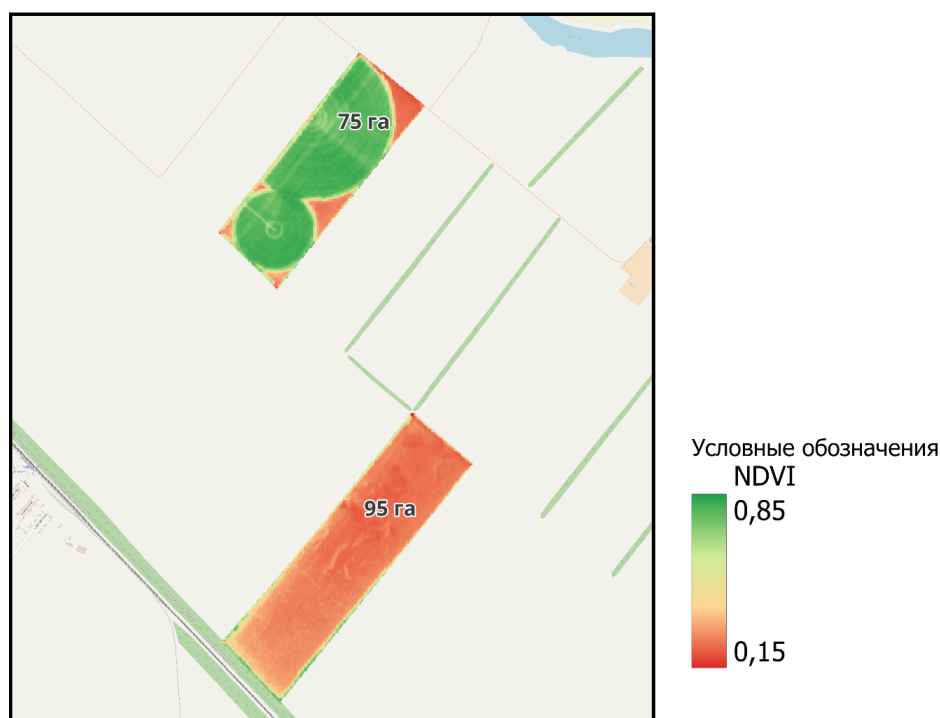


Рис. 3. Распределение индекса NDVI на исследуемых участках в период максимального развития вегетативной массы, июль-август 2025 г. (визуализация построена на основе композита снимков Sentinel-2 L2A за период с 15 июля по 15 августа 2025 г.)

Fig. 3. Distribution of the NDVI index in the study areas during the period of maximum development of vegetative mass (July–August 2025). The visualization is based on a composite of Sentinel-2 L2A images for the period from 15.07 to 15.08.2025

рассчитать прогнозную урожайность для орошаемого массива, которая составила 19,86 ц/га.

Таким образом, дополнительные 72,0 мм (720 м³/га) эффективного водопотребления, зафиксированные по данным MODIS на орошаемом участке, обеспечили прибавку урожая в размере 8,56 ц/га (или 75,7% к контролю). Это соответствует высокому уровню окупаемости орошения: на каждые 100 м³ дополнительно испаренной влаги получено 1,19 ц зерна кукурузы.

Искусственное орошение позволило преодолеть засушливые условия сезона 2025 г., обеспечив почти двукратный прирост продуктивности. Это доказывает, что своевременная подача воды в критические фазы развития кукурузы не просто компенсирует дефицит осадков, а радикально повышает коэффициент использования всех факторов роста (включая естественные осадки и солнечную радиацию), предотвращая преждевременную деградацию фотосинтетического аппарата

Выводы

Проведенные исследования подтверждают определяющую роль искусственного орошения в обеспечении стабильной продуктивности кукурузы в условиях юга России.

Анализ метеорологических условий сезона 2025 г. показал, что даже при формальном соответствии суммарных осадков среднегодовым нормам их крайне неравномерное распределение во времени создает критические риски для богарного земледелия.

Дефицит влаги во второй половине лета сократил срок вегетационного периода на целый месяц на контрольном участке. В то же время на орошаемом массиве за счет дополнительной подачи воды удалось продлить период активного фотосинтеза до плановых сроков уборки в октябре.

Сравнительная оценка водного баланса на основе данных MOD16A2 позволила количественно обосновать преимущество полива. Установлено, что суммарная эвапотранспирация на орошении составила 363 мм, что на 72 мм (720 м³/га) выше показателей контрольного участка.

В то время как на богарном поле значительная часть осадков не была усвоена, на опытном участке орошение позволило не только полностью использовать ресурс осадков, но и создать дополнительный транспирационный поток. Это предотвратило преждевременное старение посевов и обеспечило рост урожайности на 75,7%

относительно контроля. Итоговые данные подтверждают, что в засушливые периоды 2025 г. орошение явилось решающим фактором сохранения фотосинтетического потенциала кукурузы

Таким образом, в засушливых регионах орошение выступает в качестве стратегического инструмента стабилизации агробизнеса,

Список использованных источников

1. Ториков В.Е., Дронов А.В., Ториков В.В. и др. Ценность кукурузы, сорговых культур и их урожайность в зависимости от приемов выращивания // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 5 (75). С. 15-22. EDN: HPWMEH
2. Адамень Ф.Ф., Коковихин С.В., Сташкина А.Ф. Эффективность применения искусственного увлажнения с учетом метеорологических факторов при выращивании основных сельскохозяйственных культур в условиях Северного Причерноморья // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2023. № 33 (196). С. 34-43. EDN: ESFBTW
3. Чернявская С.А., Савченко ГИ., Данильченко Д.С. Анализ развития отрасли растениеводства в Краснодарском крае, Крыму, Астраханской области // Журнал прикладных исследований. 2025. № 6. С. 49-56
4. Гарманова Е.А., Айвазян Н.С., Ляховецкий А.М. Анализ использования земельных угодий в Краснодарском крае // Вестник науки. 2025. Т. 1, № 5 (86). С. 60-82. EDN: ELTTEY
5. Гумбаров А.Д., Долобешкин Е.В., Пасниченко П.Г., Карадаян Л.И. Эффективность применения комплексных мелиораций в условиях Краснодарского края // Дневник науки. 2019. № 3. С. 28-28
6. Jahangir M.H., Arast M. Remote sensing products for predicting actual evapotranspiration and water stress footprints under different land cover // Journal of Cleaner Production. 2020. T. 266. P. 121818
7. Degano M.F., Rivas R.E., Carmona F., Niclòs R., Sánchez J.M. Evaluation of the MOD16A2 evapotranspiration product in an agricultural area of Argentina, the Pampas region // The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science. 2021. T. 24, № 2. С. 319-328
8. Ronco E., Borgogno Mondino E.C. Aligning Evapotranspiration from MOD16A2. 061 Product to Ground Estimates in Piemonte (NW Italy): an analysis of temporal and spatial biases // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2025. T. 48. С. 201-206
9. Bhaga T.D., Dub T., Shekede M.D., Shoko C. Investigating the effectiveness of Landsat-8 OLI and Sentinel-2 MSI satellite data in monitoring the effects of drought on surface water resources in the Western Cape Province, South Africa // Remote Sensing Applications: Society and Environment. 2023. T. 32. С. 101037
10. Ma H. et al. Satellite canopy water content from Sentinel-2, Landsat-8 and MODIS: Principle, algorithm and assessment // Remote Sensing of Environment. 2025. T. 326. С. 11480
11. Huang J. et al. Remotely sensed high-resolution soil moisture and evapotranspiration: Bridging the gap between science and society // Water Resources Research. 2025. T. 61, № 5. С. e2024WR037929
12. Kaur H., Tyagi S., Mehta M., Singh D. Time series (2001/2002-2021) analysis of Earth observation data using Google Earth Engine (GEE) for detecting changes in land use land cover (LULC) with specific reference to forest cover in East Godavari Region, Andhra Pradesh, India // Journal of Earth System Science. 2023. T. 132, № 2. С. 86

позволяющего реализовать биологический потенциал культуры. Использование данных ДЗЗ и платформы Google Earth Engine доказало свою состоятельность как надежного инструмента для оперативного мониторинга и ретроспективного анализа эффективности водопользования в крупнотоварном производстве.

References

1. Torikov V.E., Dronov A.V., Torikov V.V., Osipov A.A., Lantsev V.V. The value of corn, sorghum crops and their yield depending on the methods of cultivation. 2019. № . 5 (75). P. 15-22. EDN: HPWMEH
2. Adamen F.F., Kokovikhin S.V., Stashkina A.F. Effectiveness of usage of artificial humidification taking into account meteorological factors in the cultivation of basic agricultural crops in the conditions of the Northern Black Sea region // Izvestiya of agricultural science of Tavrida. 2023. № . 33 (196). P. 34-43. EDN: ESFBTW
3. Chernyavskaya S.A., Savchenko G.I., Danilchenko D.S. Analysis of the development of the plant industry in the Krasnodar territory, Crimea, Astrakhan region // Journal of applied studies. 2025. № . 6. P. 49-56.
4. Garmanova E.A., Ayvazyan N.S., Lyakhovetsky A.M. Analysis of the use of land estates in the Krasnodar territory // Vestnik of science. 2025. V. 1. № . 5 (86). P. 60-82. EDN: ELTTEY
5. Gumberov A.D., Dolobeshkin E.V., Pasnichenko P.G., Karadayan L.I. Effectiveness of the application of complex land reclamation in the conditions of the Krasnodar territory // Science Diary. 2019. № . 3. P. 28-28.
6. Jahangir M.H., Arast M. Remote sensing products for predicting actual evapotranspiration and water stress footprints under different land cover // Journal of Cleaner Production. 2020. M. 266. P. 121818.
7. Degano M.F. Rivas R.E., Carmona F., Niclòs R., Sánchez J.M. Evaluation of the MOD16A2 evapotranspiration product in an agricultural area of Argentina, the Pampas region // The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science. – 2021. V. 24. № . 2. P. 319-328.
8. Ronco E., Borgogno Mondino E.C. Aligning Evapotranspiration from MOD16A2. 061 Product to Ground Estimates in Piemonte (NW Italy): an analysis of temporal and spatial biases // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2025. V. 48. P. 201-206.
9. Bhaga T.D., Dube T., Shekede M.D., Shoko C. Investigating the effectiveness of Landsat-8 OLI and Sentinel-2 MSI satellite data in monitoring the effects of drought on surface water resources in the Western Cape Province, South Africa // Remote Sensing Applications: Society and Environment. 2023. V. 32. P. 101037.
10. Ma H. et al. Satellite canopy water content from Sentinel-2, Landsat-8 and MODIS: Principle, algorithm and assessment // Remote Sensing of Environment. 2025. V. 326. P. 114801.
11. Huang J. et al. Remotely sensed high-resolution soil moisture and evapotranspiration: Bridging the gap between science and society // Water Resources Research. 2025. V. 61. № . 5. P. e2024WR037929.
12. Kaur H., Tyagi S., Mehta M., Singh D. Time series (2001/2002-2021) analysis of Earth observation data using Google Earth Engine (GEE) for detecting changes in land use land cover (LULC) with specific reference to forest cover in East Godavari Region, Andhra Pradesh, India // Journal of Earth System Science. 2023. V. 132. № . 2. P. 86.

13. Feng S., Li W., Xu J., Liang T., Ma X., Wang W., Yu H. Land use/land cover mapping based on GEE for the monitoring of changes in ecosystem types in the upper Yellow River basin over the Tibetan Plateau // *Remote Sensing*. 2022. Т. 14, № 21. С. 5361

14. Леус Н.А., Кумпилов Р.А. Метеорологические космические системы России и мира: экономический эффект // *Экономика космоса*. 2025. Т. 4, № 14. С. 3-15

15. Ермолаева О.С., Зейлигер А.М., Буравчиков Д.А. Идентификация орошаемых агроценозов по данным дистанционного зондирования земли с применением методов машинного обучения // *Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса*. 2024. Т. 11. С. 178; EDN: JVLRVK

16. Зейлигер А.М., Доброхотов А.В., Ермолаева О.С., Котов Я.С. Сегментирование потока суточного суммарного испарения орошаемого производственного посева сои по модели METRIC и данным Landsat-8 // *Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса*. 2025. Т. 22, № 2. С. 99-119. EDN: QQHEXZ

Информация об авторах

Роман Владимирович Калинин, канд. с.-х. наук, старший научный сотрудник ФБНУ «Федеральный исследовательский центр "Почвенный институт им. В.В. Докучаева"; ORCID ID: 0000-0003-3136-8468; SPIN-код автора: 2750-7629; Web of Science Researcher ID: MDS-9046-2025; Scopus Author ID: 572106369508; kalinichenko_rv@esoil.ru

Алексей Евгеньевич Беденко, младший научный сотрудник ФБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения "Радуга"; ORCID ID: 0009-0005-7522-0395; SPIN-код автора: 4065-2762; Web of Science Researcher ID: PLC-5413-2026; timbothdoom@gmail.com

Вклад авторов

Р.В. Калинин – разработка концепции исследований, формулировка целей и задач работы, организация полевых наблюдений, сбор и первичная обработка наземных метеорологических данных, участие в интерпретации результатов и подготовке разделов «Введение» и «Материалы и методы исследований». А.Е. Беденко – обработка спутниковых данных MODIS и Sentinel-2 в среде Google Earth Engine и QGIS, расчет эвапотранспирации и индекса NDVI, статистическая обработка временных рядов, формирование прогнозной урожайности, подготовка разделов «Результаты и их обсуждение» и «Выводы», визуализация данных (графики, карты, рисунки).

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interests

Поступила в редакцию / Received 13.01.2026

Поступила после рецензирования / Received 23.02.2026

Принята к публикации / Accepted 25.02.2026

13. Feng S., Li W., Xu J., Liang T., Ma X., Wang W., Yu H. Land use/land cover mapping based on GEE for the monitoring of changes in ecosystem types in the upper Yellow River basin over the Tibetan Plateau // *Remote Sensing*. 2022. V. 14. № 21. P. 5361.

14. Leus N.A., Kumpilov R.A. Meteorological Space Systems of Russia and the World: Economic Effect. // *The economy of space*. 2025. V. 4. № 14. P. 3-15.

15. Ermolaeva O.S., Zeiliger A.M., Buravchikov D.A. Identification of irrigated agroecosystems based on remote sensing of the earth using machine learning methods. // *Modern problems of remote sensing of the earth from space*. 2024. V. 11. P. 178. EDN: JVLRVK

16. Zeiliger A.M., Dobrokhotov A.V., Ermolaeva O.S., Kотов Ya.S. Segmentation of the flow of daily total evaporation of irrigated industrial sowing of soybeans according to the METRIC model and Landsat-8 data. // *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. 2025. V. 22. № 2. P. 99-119. EDN: QQHEXZ

About the authors

Roman V. Kalinichenko, CSs (Agro), senior researcher of the Federal Research Center "Soil Institute named after V.V. Dokuchaev"; ORCID ID: 0000-0003-3136-8468; Author's SPIN-code: 2750-7629; Web of Science Researcher ID: MDS-9046-2025; Scopus Author ID: 572106369508; kalinichenko_rv@esoil.ru

Alexey E. Bedenko, Junior Researcher, FBNU All-Russian Research Institute of Irrigation and Agricultural Water Supply Systems "Raduga"; ORCID ID: 0009-0005-7522-0395; Author's SPIN-code: 4065-2762; Web of Science Researcher ID: PLC-5413-2026; timbothdoom@gmail.com

Contribution of the authors

R.V. Kalinichenko – development of the research concept, formulation of goals and objectives of the work, organization of field observations, collection and primary processing of ground-based meteorological data, participation in the interpretation of the results and preparation of the sections "Introduction" and "Materials and methods".

A.E.: Bedenko – processing of MODIS and Sentinel-2 satellite data in the Google Earth Engine and QGIS environment, calculation of evapotranspiration and NDVI index, statistical processing of time series, formation of predicted yields, preparation of the sections "Results and discussion" and "Conclusion", data visualization (graphs, maps, figures).