

# Обнаружение возможности дистанционного распознавания орошаемых земель Республики Крым на основе спектрально-временных и температурных признаков

Е. С. Ёлкина<sup>1</sup>, Д. Е. Плотников<sup>1</sup>, Е. А. Дунаева<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Институт космических исследований РАН, Москва, 117997, Россия  
E-mail: elkina@d902.iki.rssi.ru*

<sup>2</sup> *Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма  
Симферополь, 295043, Республика Крым, Россия  
E-mail: dunaeva\_e@niishk.site*

Описаны результаты обнаружения новых спектрально-временных и температурных признаков, построенных по данным оптических и тепловых каналов спутника Landsat-8 в целях выявления орошаемых сельскохозяйственных земель Республики Крым в 2023 г. Оценка значимости признаков указывает на высокую информативность признака средневзвешенной даты максимума NDVI (*англ.* Normalized Difference Vegetation Index), максимальной температуры поверхности земли, а также медианного сезонного индекса GNDVI (*англ.* Green Normalized Difference Vegetation Index). Оценка модели для распознавания орошаемых земель на тестовом наборе показала общую точность 98,5 %, метрика *F*-score по классу «орошаемые» составила 98,7 %, была продемонстрирована возможность получения карты орошаемых участков. Дальнейшее расширение обучающей выборки позволит обеспечить устойчивое спутниковое картографирование орошаемых земель региона исследования. Необходимо отметить, что зависимость продуктивности используемых земель Республики Крым от климатических условий определяет необходимость использования орошения для устойчивого получения урожаев сельскохозяйственных культур, поэтому обнаружение возможности распознавания орошаемых земель способствует получению актуальной картографической информации об их расположении, необходимой для устойчивого управления сельским хозяйством и повышения продовольственной безопасности региона. Универсальность и переносимость исследованных признаков позволяет говорить о возможности их использования для распознавания орошаемых земель Республики Крым и для других сезонов вегетации.

**Ключевые слова:** орошаемые земли, Landsat, Sentinel-2, Random Forest, вегетационные индексы, рациональное природопользование

Одобрена к печати: 12.10.2024  
DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-5-379-386

## Введение

Распознавание орошаемых угодий по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) сопряжено с учётом особенностей возделывания различных культур, которые выражаются в различных системах и сроках полива, технологии и технике полива, наличии источников поливной воды, сложном мозаичном сочетании орошаемых и неорошаемых полей на одной территории. Возможности распознавания орошаемых земель по спутниковым данным посвящён ряд исследований на глобальном и региональном уровне. Оценки площади орошаемых земель на уровне стран даны в работах (Salmon et al., 2015; Thenkabail et al., 2008) с наилучшим пространственным разрешением 500 м. Региональные исследования с высокодетальным картографированием сосредоточены преимущественно в странах с засушливым климатом, где широко развито орошаемое земледелие (Китай, США, Индия). В частности, региональное картографирование орошаемых сельскохозяйственных земель с пространственным разрешением 30 м на основе данных Landsat с 1990 по 2020 г. на территорию бассейна р. Хейхэ с использованием комплекса оптических вегетационных индексов и двухступенчатой классификации методами кластеризации и машинного обучения представлено в работе (Tan et al., 2024). Для территории России практически нет исследований, направленных на автоматическое детектирование орошаемых земель по спутниковым данным.

Международные исследования показывают, что при оптимальном выборе дат и дистанционных индикаторов биомассы растений, влажности почвы, температуры поверхности земли по спутниковым данным возможно выявить орошаемые поля с достаточно высокой степенью достоверности с помощью методов автоматической классификации (Бекмухамедов и др., 2020; McAllister et al., 2015; Ozdogan, Gutman, 2008; Pervez et al., 2010; Xu et al., 2019; Zhang et al., 2022). При этом различия между поливными и естественно орошаемыми полями довольно сильно проявляются в регионах с засушливым климатом. Климат большей части Крыма можно охарактеризовать как аридный с выраженным дефицитом увлажнения при высоком уровне теплообеспеченности, что определяет необходимость использования орошения для получения стабильного урожая сельскохозяйственных культур. В 2014–2020 гг. резко меняется структура посевных площадей Республики Крым вследствие прекращения подачи воды по Северо-Крымскому каналу, возникает дефицит водных ресурсов. По разным оценкам (Демин, 2022; Юрченко, 2023), площадь поливных земель в 2014 г. по сравнению с 2013 г. сократилась в восемь раз (по некоторым оценкам, в 20) и в настоящее время поливается лишь порядка 5 % от общего количества мелиорированных земель. Начиная с 2021 г., с увеличением господдержки агропроизводства в республике, по данным статистики, растёт и количество орошаемых земель (<http://www.mcx.gov.ru>), в основном за счёт увеличения площади многолетних насаждений, однако объективной картографической информации об этих процессах и независимой оценки количества орошаемых площадей пока получено не было.

Ранее проведённые научным коллективом исследования в области мониторинга посевов по спутниковым данным (Дунаева и др., 2019; Плотников и др., 2020, 2024; Середа и др., 2020; Шабанов и др., 2018; Waldner et al., 2019) позволили отработать методы идентификации различных типов культур и диагностики наступления засушливых условий для Республики Крым. В настоящей работе описаны результаты исследования возможности распознавания орошаемых сельскохозяйственных земель на основе оптических и тепловых спутниковых данных Landsat-8 на территории Республики Крым.

## Данные и методы

В исследовании использовались наземные и спутниковые данные за 2023 г. на территорию Республики Крым, включая точечные наземные данные о расположении участков орошаемых и неорошаемых полей на части территории Сакского и Красногвардейского районов. Для подготовки выборки на уровне полей точечные данные были сопоставлены с границами полей (рис. 1, см. с. 381), полученными фотоинтерпретацией разновременного синтеза ежедневных композитных изображений Sentinel-2 MSI (*англ.* Multispectral Instrument) (Plotnikov et al., 2022) в интерфейсе платформы «Vega-Science» (<http://sci-vega.ru>).

Для формирования признаков распознавания использовалась сезонная временная серия атмосферно скорректированных спутниковых изображений Landsat-8 (приборы OLI и TIRS (*англ.* Operational Land Imager и Thermal Infrared Sensor)) за весь период наблюдений 2023 г., включая спектральные каналы GREEN (зелёный) (Band3), RED (красный) (Band4), NIR (*англ.* Near InfraRed, ближний инфракрасный) (Band5) и Thermal (тепловой) (Band10), прошедших этап маскирования мешающих факторов. Температура поверхности была рассчитана в градусах Цельсия на основе теплового канала (Duan et al., 2021). Исходя из предположений о различиях орошаемых и неорошаемых полей, в частности о том, что растительность на орошаемых землях характеризуется накоплением большого объёма зелёной биомассы в течение сезона, более низкой температурой поверхности, более длительным интервалом вегетации, нами были разработаны и исследованы следующие признаки:

- NDVIMax — максимальное значение NDVI (*англ.* Normalized Difference Vegetation Index) в пикселе за сезон;
- T\_atMaxNDVI — радиояркостная температура поверхности в момент достижения максимального значения NDVI;
- NDVI\_20p — 20-й перцентиль сезонных значений NDVI;

- TMax — максимальная температура поверхности Земли за сезон;
- DateOfMaxNDVI — средневзвешенная дата максимума NDVI;
- GNDVI\_Median — медианное значение индекса GNDVI (*англ.* Green Normalized Difference Vegetation Index) за сезон.

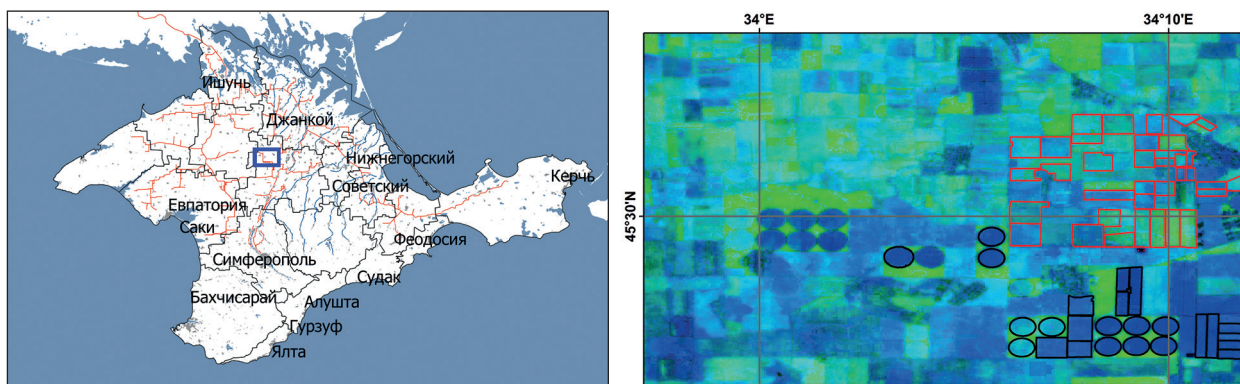


Рис. 1. Общая карта региона исследования (слева), чёрным цветом обозначены границы районов, красным — оросительные каналы, синий прямоугольник — иллюстрация справа. Цветосинтезированное изображение исследуемых признаков (справа) (канал R — DateOfMaxNDVI, G — TMax, B — NDVIMax) на часть территории с разметкой: чёрные границы — орошаемые поля, красные — неорошаемые

Нормализованный разностный вегетационный индекс NDVI рассчитывается по формуле:  $(NIR - RED)/(NIR + RED)$ ; зелёный нормализованный разностный вегетационный индекс GNDVI — по формуле:  $(NIR - GREEN)/(NIR + GREEN)$ .

Для оценки информативности разработанных признаков, а также для картографирования на их основе орошаемых участков был использован метод Random Forest (Breiman, 2001). Для обучения модели использовалось 70 % обучающей выборки, для независимой оценки модели — остальные 30 %.

## Результаты

После построения признаков с использованием обучающей выборки были построены попарные диаграммы рассеяния для классов орошаемых и неорошаемых земель (рис. 2, см. с. 382).

Полученные диаграммы рассеяния указали на заметно бóльшую вариабельность и многомодальность дистанционных характеристик орошаемых земель, в то время как неорошаемые земли формировали, как правило, более компактные области в пространстве признаков (см. рис. 2). Это может указывать на разнообразие орошаемых культур, а также на имеющиеся различия в системах и сроках полива.

Оценка значимости признаков указывает на более высокую информативность DateOfMaxNDVI, TMax, а также GNDVI\_Median (рис. 3, см. с. 383). Оценка модели на тестовом наборе показала общую точность 98,5 %, метрика F-score по классу «орошаемые» составила 98,7 %.

На последнем этапе созданная модель была использована для локального картографирования участков орошаемых земель (см. рис. 3).

## Выводы

В рамках работы были обнаружены возможности и обозначены перспективы использования временных серий спутниковых данных Landsat для картографирования орошаемых земель части территории Республики Крым за 2023 г., однако авторы полагают, что найденные при-

знаки позволят решить эту задачу и за другие сезоны вегетации. Данные спутника Landsat, доступные более чем за тридцатилетний период, были выбраны ввиду обеспечения возможности сравнения результатов картографирования орошаемых земель на территории полуострова за разные периоды. Было показано, что наиболее информативными являются признаки, основанные на фенологических особенностях орошаемых культур, сезонной максимальной температуры, а также медианных значениях индекса GNDVI. Оценка модели для распознавания орошаемых земель на тестовом наборе показала общую точность 98,5 %, метрика *F-score* по классу «орошаемые» составила 98,7 %, была продемонстрирована возможность получения карты орошаемых участков. В дальнейшем необходимо расширение и повышение точности обучающей выборки для учёта особенностей всех орошаемых культур на территории региона исследования.

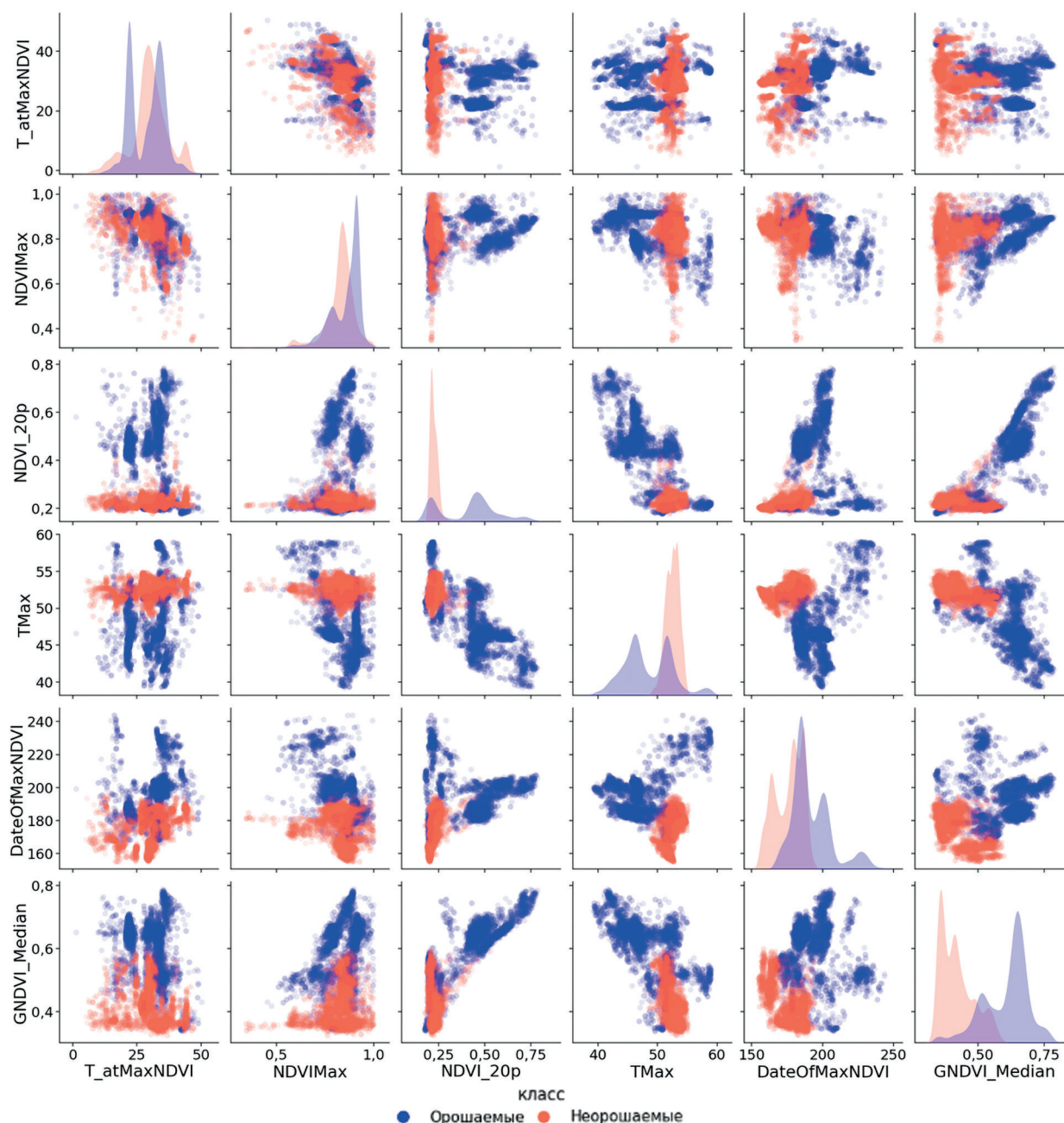


Рис. 2. Диаграммы рассеяния для пар признаков двух классов земель: орошаемых (синий цвет) и неорошаемых (красный цвет)

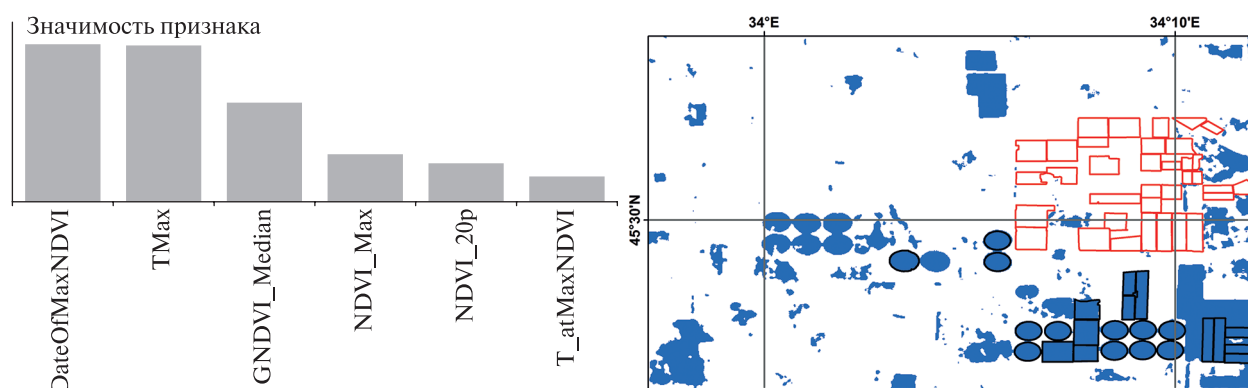


Рис. 3. Гистограмма (слева) значимости признаков в порядке убывания и результат (справа) распознавания орошаемых земель на область рис. 1 (синий цвет) на фоне разметки: чёрный цвет — орошаемые земли, красный — неорошаемые

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 24-27-00251 («Разработка алгоритма оценки потенциала биопродуктивности земель на основе данных ДЗЗ в условиях различной водообеспеченности», <https://rscf.ru/project/24-27-00251/>) с использованием ресурсов Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2019).

## Литература

1. Бекмухамедов Н. Э., Малахов Д. В., Цычуева Н. Ю. Метод космического мониторинга орошаемых территорий по спутниковым данным среднего пространственного разрешения в условиях Южного Казахстана // Proc. Intern. scientific review of the technical sciences, mathematics and computer science. 2020. P. 29–44. EDN: MCVGVK.
2. Демин А. П. Развитие орошения и производство продовольствия в Республике Крым (2014–2020 гг.) // Орошаемое земледелие. 2022. № 3(38). С. 30–34. DOI: 10.35809/2618-8279-2022-3-5.
3. Дунаева Е. А., Плотников Д. Е., Хвостиков С. А. и др. Использование данных дистанционного зондирования для ранней диагностики наступления засушливых условий // Таврический вестн. аграр. науки. 2019. № 4(20). С. 28–45. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-4-20-28-45.
4. Лупян Е. А., Прошин А. А., Бурцев М. А. и др. Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 151–170. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170.
5. Плотников Д. Е., Ёлкина Е. С., Дунаева Е. А. и др. Развитие метода автоматического распознавания озимых культур на основе спутниковых данных для оценки их состояния на территории Республики Крым // Таврический вестн. аграр. науки. 2020. № 1(21). С. 64–82. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-1-21-64-83.
6. Плотников Д. Е., Бойматов Ю. Ш., Ёлкина Е. С. et al. Оценка эффективности мультисезонных моделей машинного обучения для оперативного распознавания озимых культур на больших территориях // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21. № 5. С. 116–129. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-5-116-129.
7. Середя И. И., Денисов П. В., Трошко К. А. и др. Уникальные условия развития озимых культур, наблюдаемые по данным спутникового мониторинга на европейской территории России в октябре 2020 года // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 5. С. 304–310. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-304-310.
8. Шабанов Н. В., Барталев С. А., Ерошенко Ф. В. и др. Развитие возможностей дистанционной оценки индекса листовой поверхности по данным MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 4. С. 166–178. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-4-166-178.
9. Юрченко И. Ф. Использование орошаемых земель Республики Крым в условиях дефицита водных ресурсов // Природообустройство. 2023. № 1. С. 13–20. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-13-20.
10. Breiman L. Random forests // Machine learning. 2001. V. 45(1). P. 5–32.

11. *Duan S., Ru C., Li Z. et al.* Reviews of methods for land surface temperature retrieval from Landsat thermal infrared data // *National Remote Sensing Bull.* 2021. V. 25. P. 1591–1617. DOI: 10.11834/jrs.20211296.
12. *McAllister A., Whitfield D., Abuzar M.* Mapping Irrigated farmlands using vegetation and thermal thresholds derived from Landsat and ASTER data in an irrigation district of Australia // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.* 2015. V. 81. Iss. 3. P. 229–238. DOI: 10.14358/PERS.81.3.229.
13. *Ozdogan M., Gutman G.A.* New methodology to map irrigated areas using multi-temporal MODIS and ancillary data: An application example in the continental US // *Remote Sensing of Environment.* 2008. V. 112. Iss. 9. P. 3520–3537. DOI: 10.1016/j.rse.2008.04.010.
14. *Pervez M. S., Brown J. F.* Mapping irrigated lands at 250-m scale by merging MODIS data and National Agricultural Statistics // *Remote Sensing.* 2010. V. 2. Iss. 10. P. 2388–2412. DOI: 10.3390/rs2102388.
15. *Plotnikov D. E., Kolbudaev P. A., Matveev A. M., et al.* Daily surface reflectance reconstruction using LOWESS on the example of various satellite systems // 2022 8<sup>th</sup> Intern. Conf. Information Technology and Nanotechnology (ITNT). 2022. P. 1–5. DOI: 10.1109/ITNT55410.2022.9848630.
16. *Salmon J. M., Friedl M. A., Frohling S. et al.* Global rain-fed, irrigated, and paddy croplands: A new high resolution map derived from remote sensing, crop inventories and climate data // *Intern. J. Applied Earth Observation and Geoinformation.* 2015. V. 38. Iss. 9. P. 321–334. DOI: 10.1016/j.jag.2015.01.014.
17. *Tan M. B., Ran Y. H., Feng M. et al.* Long-term monitoring of the annual irrigated cropland extent in fragmented and heterogeneous arid landscapes using machine learning and Landsat imagery // *Water Resources Research.* 2024. V. 60. P. 1–20. DOI: 10.1029/2023WR036945.
18. *Thenkabail P. S., Biradar C. M., Noojipady P. et al.* Global Irrigated Area Map (GIAM) for the end of the last millennium derived from remote sensing // *Intern. J. Remote Sensing.* 2008. V. 30. Iss. 14. P. 3679–3733. DOI: 10.1080/01431160802698919.
19. *Xu T., Deines J. M., Kendall A. D. et al.* Addressing challenges for mapping irrigated fields in subhumid temperate regions by integrating remote sensing and hydroclimatic data // *Remote Sensing.* 2019. V. 11. Iss. 3. Article 370. 16 p. DOI: 10.3390/rs11030370.
20. *Waldner F., Schucknecht A., Lesiv M. et al.* Conflation of expert and crowd reference data to validate global binary thematic maps // *Remote Sensing of Environment.* 2019. V. 221. P. 235–246. DOI: 10.1016/j.rse.2018.10.039.
21. *Zhang C., Dong J., Xie Y. et al.* Mapping irrigated croplands in China using a synergetic training sample generating method, machine learning classifier, and Google Earth Engine // *Intern. J. Applied Earth Observation and Geoinformation.* 2022. V. 112. Iss. 3. 30 p. DOI: 10.1016/j.jag.2022.102888.

## Discovering the possibility for irrigated lands identification with remote sensing data over Republic of Crimea based on spectral-temporal and thermal features

E. S. Elkina<sup>1</sup>, D. E. Plotnikov<sup>1</sup>, E. A. Dunaeva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Space Research Institute RAS, Moscow 117997, Russia*  
*E-mail: elkina@d902.iki.rssi.ru*

<sup>2</sup> *Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol 295043, Russia*  
*E-mail: dunaeva\_e@niishk.site*

The study underlines the results of discovering of new spectral-temporal and thermal features derived from Landsat-8 optical and thermal bands in order to map irrigated land over Republic of Crimea in 2023. High importance was shown by average-weighted date of NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) maximum, maximum seasonal surface temperature and the median value of seasonal GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) value. The evaluation of the irrigated land mapping model demonstrated an overall accuracy of 98.5 %, with an F-score of 98.7 % for the “irrigated” class on the test dataset. These results indicate the potential for further irrigated land identification in the historical timeframes. Further extension of the training set will enable reliable remote mapping of irrigated lands of the study area. It is worth noting that the dependence of land productivity on climatic conditions in the Republic of Crimea determines the need to use irrigation for sustainable yields, therefore, discovering the possibility of recognizing irrigated lands helps retrieve

up-to-date spatial information about the irrigated lands necessary for sustainable agricultural management and enhancing food security in the region. The versatility and portability of the described features suggests the possibility of their use for irrigated lands mapping over the Republic of Crimea for other growing seasons.

**Keywords:** irrigated lands, Landsat, Sentinel-2, Random Forest, vegetation indices, sustainable agriculture

Accepted: 12.10.2024

DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-5-379-386

## References

1. Bekmuhamedov N. E., Malakhov D. V., Tsyhuyeva N. Yu., The method of space monitoring of irrigated areas in South Kazakhstan with moderate resolution satellite data, *Proc. Intern. Scientific Review of the Technical Sciences, Mathematics and Computer Science*, 2020, pp. 29–44 (in Russian), EDN: MCVGVK.
2. Demin A. P., Development of irrigation and food production in the Republic of Crimea (2014–2020), *Irrigated Agriculture*, 2022, No. 3(38), pp. 30–34 (in Russian), DOI: 10.35809/2618-8279-2022-3-5.
3. Dunaeva E. A., Plotnikov D. E., Khvostikov S. A. et al., Use of remote sensing data for early diagnostics of the dry conditions action, *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*, 2019, No. 4(20), pp. 28–45 (in Russian), DOI: 10.33952/2542-0720-2019-4-20-28-45.
4. Loupian E. A., Proshin A. A., Burtsev M. A. et al., Experience of development and operation of the IKI-Monitoring center for collective use of systems for archiving, processing and analyzing satellite data, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 3, pp. 151–170 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170.
5. Plotnikov D. E., Elkina E. S., Dunaeva E. A. et al., Development of the method for automatic winter crops mapping by means of remote sensing aimed at crops state assessment over the Republic of Crimea, *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*, 2020, No. (21), pp. 64–82 (in Russian), DOI 10.33952/2542-0720-2020-1-21-64-83.
6. Plotnikov D. E., Boymatov Yu. Sh., Elkina E. S. et al., Performance assessment of multiseasonal machine learning models for large-scale in-season winter crops mapping, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2024, Vol. 21, No. 5, pp. 116–129 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-5-116-129.
7. Sereda I. I., Denisov P. V., Troshko K. A. et al., The unique situation of winter crops development observed from remote sensing data in the European territory of Russia in October 2020, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020, Vol. 17, No. 5, pp. 304–310 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-304-310.
8. Shabanov N. V., Bartalev S. A., Eroshenko F. V. et al., Development of capabilities for remote sensing estimate of Leaf Area Index from MODIS data, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, Vol. 15, No. 4, pp. 166–178 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-4-166-178.
9. Yurchenko I. F., Use of irrigated lands of the Republic of Crimea in the conditions of water resources deficit, *Prirodoobustrojstvo*, 2023, No. 1, pp. 13–20 (in Russian), DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-13-20.
10. Breiman L., Random forests, *Machine learning*, 2001, Vol. 45(1), pp. 5–32.
11. Duan S., Ru C., Li Z. et al., Reviews of methods for land surface temperature retrieval from Landsat thermal infrared data, *National Remote Sensing Bull.*, 2021, Vol. 25, pp. 1591–1617, DOI: 10.11834/jrs.20211296.
12. McAllister A., Whitfield D., Abuzar M., Mapping irrigated farmlands using vegetation and thermal thresholds derived from Landsat and ASTER data in an irrigation district of Australia, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2015, Vol. 81, Issue 3, pp. 229–238, DOI: 10.14358/PERS.81.3.229.
13. Ozdogan M., Gutman G. A., New methodology to map irrigated areas using multi-temporal MODIS and ancillary data: An application example in the continental US, *Remote Sensing of Environment*, 2008, Vol. 112, Issue 9, pp. 3520–3537, DOI: 10.1016/j.rse.2008.04.010.
14. Pervez M. S., Brown J. F., Mapping irrigated lands at 250-m scale by merging MODIS data and National Agricultural Statistics, *Remote Sensing*, 2010, Vol. 2, Issue 10, pp. 2388–2412, DOI: 10.3390/rs2102388.
15. Plotnikov D. E., Kolbudaev P. A., Matveev A. M. et al., Daily surface reflectance reconstruction using LOWESS on the example of various satellite systems, *2022 8<sup>th</sup> Intern. Conf. Information Technology and Nanotechnology (ITNT)*, 2022, pp. 1–5, DOI: 10.1109/ITNT55410.2022.9848630.
16. Salmon J. et al., Global rain-fed, irrigated, and paddy croplands: A new high resolution map derived from remote sensing, crop inventories and climate data, *Intern. J. Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2015, Vol. 38, Issue 9, pp. 321–334, DOI: 10.1016/j.jag.2015.01.014.

17. Tan M. B., Ran Y. H., Feng M. et al., Long-term monitoring of the annual irrigated cropland extent in fragmented and heterogeneous arid landscapes using machine learning and Landsat imagery, *Water Resources Research*, 2024, Vol. 60, Issue 6, pp. 1–20, DOI: 10.1029/2023WR036945.
18. Thenkabail P. S., Biradar C. M., Noojipady P. et al., Global Irrigated Area Map (GIAM) for the end of the last millennium derived from remote sensing, *Intern. J. Remote Sensing*, 2008, Vol. 30, Issue 14, pp. 3679–3733, DOI: 10.1080/01431160802698919.
19. Xu T., Deines J. M., Kendall A. D. et al., Addressing challenges for mapping irrigated fields in subhumid temperate regions by integrating remote sensing and hydroclimatic data, *Remote Sensing*, 2019, Vol. 11, Issue 3, Article 370, 16 p., DOI: 10.3390/rs11030370.
20. Waldner F., Schucknecht A., Lesiv M. et al., Conflation of expert and crowd reference data to validate global binary thematic maps, *Remote Sensing of Environment*, 2019, Vol. 221, pp. 235–246, DOI: 10.1016/j.rse.2018.10.039.
21. Zhang C., Dong J., Xie Y. et al., Mapping irrigated croplands in China using a synergetic training sample generating method, machine learning classifier, and Google Earth Engine, *Intern. J. Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2022, Vol. 112, Issue 3, Article 102888, 30 p., DOI: 10.1016/j.jag.2022.102888.