

лесообразным установкой 4 земснарядов на Таловской и Дзержинской системах, применение 10 передвижных НС для перекачки воды из коллекторов в рисовые системы и подпитки межхозяйственных каналов, а также восстановление двух водохранилищ на Старо-Теречной системе со строительством 4 стационарных насосных станций для регулирования объемов воды и подпитки рисовых систем в период затопления и сезонного маловодья с ориентировочной стоимостью 1,54 млрд руб.

**Проблема 4.** Рациональное использование водных ресурсов, направленных на создание оптимального водного, воздушного, теплового и питательного режимов почв на мелиорированных землях и налаживание правильного учета забора воды и распределение ее между системами, каналами и потребителями. Особенно это важно в бассейне реки Терек, в зоне действия Каргалинского гидроузла, где проектный дефицит воды в источнике в период посева и затопления риса (май-июнь) более 121 млн м<sup>3</sup>/с. Для решения этой проблемы надо ввести на системах водооборот, применить ресурсосберегающие способы орошения (периодическое, дождевание), использовать совершенные средства водочета, содержать гидрометрические посты и водомерные устройства в нормальном рабочем состоянии и строго выполнять планы водопользования.

В целом, интенсивное сельскохозяйственное производство на базе орошаемого земледелия, создание прочной кормовой базы для животноводства, обеспечение высоких урожаев зерновых культур, защита и сохранение сельскохозяйственных угодий от ветровой эрозии и опустынивания за счет проведения мелиоративных мероприятий должно стать основными направлениями развития АПК в Республике Дагестан.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айдамиров Д.С. Совершенствование эксплуатации оросительных систем. Махачкала: Изд-во «Юпитер», 2007. 521 с.
2. Гаркуша С.В. Адаптивная стратегия рисоводства в условиях меняющегося климата // Современное состояние и инновационные пути

развития мелиорации и орошаемого земледелия: материалы Межд. науч.-практ. конф. 22–23 ноября 2024 г. Махачкала, 2024. С. 19–24.

3. Курбанов З.М. Мелиорация земель в Дагестане — основа развития сельского хозяйства // Мелиорация и водное хозяйство. 2016. № 3. С. 4–7.
4. Курбанов С.А. Проблемы орошаемого земледелия Республики Дагестан // Орошаемое земледелие. 2021. № 1. С. 29–32.
5. Шарипов Ш.И. Мелиорация земель и развитие земледелия в Республике Дагестан // Современное состояние и инновационные пути развития мелиорации и орошаемого земледелия: материалы Межд. науч.-практ. конф. 22–23 ноября 2024 г. Махачкала, 2024. С. 12–19.
6. Шевченко В.А. Мелиорация земель — стратегический фактор устойчивости развития сельского хозяйства в решении продовольственной безопасности России // Орошаемое земледелие. 2025. № 2. С. 5–6.
7. Custodio M.C., Demont M., Laborte A., Ynion J. Improving food security in Asia through consumer-focused rice breeding (Review) // Global Food Security. Vol. 9, 1 June 2016, P. 19–28. DOI: 10.1016/j.gfs.2016.05.005.

REFERENCES

1. Aydamirov D.S. Improvement of Irrigation Systems Operation. Makhachkala: Jupiter Publishing House, 2007. 521 p.
2. Garkusha S.V. Adaptive Rice Production Strategy in a Changing Climate // Current State and Innovative Ways of Land Reclamation and Irrigated Agriculture Development. Materials of the International Scientific and Practical Conference, November 22–23, 2024. Makhachkala, 2024. Pp. 19–24.
3. Kurbanov Z.M. Land Reclamation in Dagestan: The Basis for Agricultural Development // Land Reclamation and Water Management. 2016. No. 3. Pp. 4–7.
4. Kurbanov, S.A. Problems of Irrigated Agriculture in the Republic of Dagestan // Irrigated Agriculture. 2021. No. 1. Pp. 29–32.
5. Sharipov Sh.I. Land reclamation and development of agriculture in the Republic of Dagestan // Modern state and innovative ways of development of reclamation and irrigated agriculture. Materials of the international scientific and practical conference on November 22–23, 2024. Makhachkala, 2024. Pp. 12–19.
6. Shevchenko V.A. Land Reclamation as a Strategic Factor in Sustainable Agricultural Development and Russia's Food Security // Irrigated Agriculture. 2025. No. 2. Pp. 5–6.
7. Custodio M.C., Demont M., Laborte A., Ynion J. Improving food security in Asia through consumer-focused rice breeding (Review) // Global Food Security. Vol. 9, 1 June 2016, P. 19–28. DOI: 10.1016/j.gfs.2016.05.005.

**Юсупов Магомед Маирбекович**, директор, [minmeleord@mail.ru](mailto:minmeleord@mail.ru) (ФГБУ «Управление «Дагмелиоводхоз», Российская Федерация, г. Махачкала); **Курбанов Серажутдин Аминович**, доктор с.-х. наук, профессор, зав. кафедрой земледелия, почвоведения и мелиорации, [kurbanovsa@mail.ru](mailto:kurbanovsa@mail.ru) (ФГБОУ ВО Дагестанский государственный аграрный университет имени М.М. Джамбулатова, Российская Федерация, г. Махачкала).

УДК 631.6:528/8

DOI: 10.32962/0235-2524-2025-3-33-36

## АНАЛИЗ ИНДЕКСА NDMI ПРИ ДЕШИФРИРОВАНИИ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ

М.С. ЗВЕРЬКОВ, С.С. СМЕЛОВА, С.В. БРЫЛЬ, Т.Г. СТЕПАНОВА, Т.Г. БУЛГАКОВА

**Ключевые слова:** мелиорация, орошение, влажность почвы, дистанционное зондирование Земли, NDMI, эрозия почв.

**Keywords:** land reclamation, irrigation, soil moisture, remote sensing, NDMI, soil erosion.

**Аннотация.** В статье рассматривается опыт использования нормализованного разностного индекса влажности (NDMI) при дешифрировании спутниковых снимков орошаемых земель. Отмечается, что функция распределения NDMI имеет куполообразную форму графика, идентичную функции распределения вегетационного индекса NDVI. Показано, что на ранних стадиях развития культур, различия в значениях NDMI не имеют статистической значимости. Почва без растительности, в том числе орошаемая, имеет отрицательные значения NDMI (–0,05 ± 0,01), в то время как орошаемые культуры могут иметь NDMI около 0,4. Это позволяет сделать предположение, что NDMI предпочтительнее использовать для анализа не влажности почвы, а уровня водного стресса культуры с целью оценки потребности в орошении.

**Abstract.** The experience of using the normalized difference humidity index (NDMI) when deciphering satellite images of irrigated land is covered in this article. It is noted that the NDMI distribution function has a domed graph shape similar to the NDVI vegetation index distribution function. It has been shown that in the early stages of culture development, differences in NDMI values do not have statistical significance. Soil without vegetation, including irrigated, has negative NDMI values (–0.05 ± 0.01), while irrigated crops can have an NDMI of about 0.4. This makes it possible to make the assumption that NDVI is more preferable to use crops for the analysis of not soil moisture, but the level of water stress in order to assess the need for irrigation.

**Введение.** Сельское хозяйство является самым крупным потребителем воды, на долю которого по данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (FAO) приходится 70 % от всего мирового водозабора [1, 2]. Несмотря на то, что

орошаемые угодья составляют не более 24% от всех пахотных земель, на них выращивают около 40% продовольствия [3, 4]. Поэтому развитие технологий оперативной оценки качества орошения, уровня влажности почвы для повышения рационального расхода воды является приоритетной задачей мелиоративного земледелия. Все чаще исследователи в своей работе активно используют данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), в том числе для оценки водного стресса растений, прогноза водопотребления сельскохозяйственных культур и др. [5–7]. Так, например, недавние исследования показывают возможность использования данных ДЗЗ для прогноза влажности почвы [8, 9]. Однако, несмотря на растущую доступность данных ДЗЗ с высоким разрешением, оценка влажности почвы с высокой точностью остается сложной задачей из-за пространственно-временной изменчивости и сложных взаимодействий между свойствами почвы, растительностью и климатическими факторами [10, 11].

Одним из способов оценки уровня влажности является расчет спектральных индексов. Нормализованный разностный индекс влажности (NDMI) – это спутниковый индекс, рассчитанный на основе микширования данных ближнего (NIR) и коротковолнового (SWIR) инфракрасных каналов. По данным Европейского космического агентства, отражательная способность канала SWIR характеризует изменения содержания воды в растительности, а канал NIR также характеризует состояние рас-

тительности, но в большей степени зависит от состояния листьев и содержания сухого вещества в них [15, 16]. Сочетание NIR и SWIR повышает точность измерения уровня водного стресса в растениях. Количество воды, содержащейся в зеленой массе листьев, в значительной степени регулирует спектральную отражательную способность в SWIR-интервале электромагнитного спектра. Поэтому отражательная способность SWIR отрицательно связана с содержанием воды в листьях. NDMI рассчитывается:

$$NDMI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR).$$

Как и другие индексы имеет диапазон [-1; +1]. Отрицательные и низкие значения NDMI указывают на недостаток влаги. Положительные и высокие значения NDMI указывают на значительное содержание влаги. Визуализация карты NDMI позволяет проанализировать пространственное распределение влаги в растительности и выявить участки водного стресса или избыточной влажности.

В то же время исследователи [11, 17] отмечают, что NDMI является одним из наименее изученных индексов для оценки влажности почвы. В [18, 19] отмечают положительные результаты использования индекса для прогнозирования влажности почвы при орошении таких культур как пшеница, картофель и виноград.

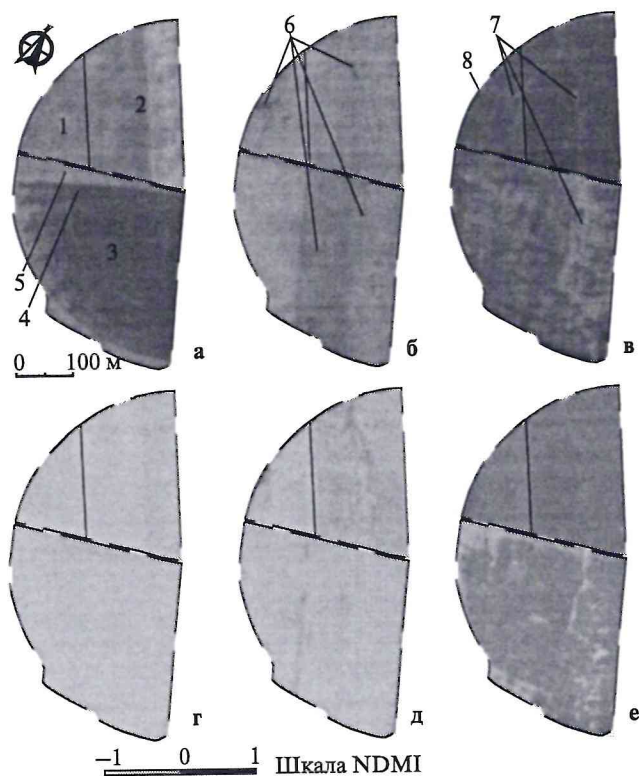
Цель работы заключалась в использовании индекса NDMI для идентификации орошаемых участков.

**Материалы и методы исследования.** Опытные участки расположены на землях АО «Северка» в Коломенском городском округе Московской области в с. Шкинью. В соответствии со схемой севооборота, в 2024 г. на опытных участках 1 и 2 площадью 6,34 га и 18,15 га соответственно выращивали картофель (*Solanum tuberosum* L. сорта Прайм и Ньютон), на участке 3 – свеклу (*Beta vulgaris* L. сорт Кестрел F1) на площади 34,3 га. Полив осуществляли дождевальными машинами кругового действия Т-Л. Схема опытных участков приведена на рис. 1а.

Расчет NDMI выполнен по методу микширования исходных геопривязанных растровых изображений ближнего (NIR, B08) и коротковолнового (SWIR, B11) инфракрасных областей спектра снимков Sentinel-2 с использованием программы QGIS (ver. 3.36.3 «Münster»). Исходные растры имеют метаданные драйвера GDAL – GeoTIFF, тип данных – Byte (8-битное беззнаковое целое), система координат EPSG:4326 – WGS 84. Векторизация итогового растра NDVI выполнена в среде геоинформационной системы SAGA GIS 9.7.1. Оценка площадей выполнена с помощью функции геометрии полигонального объекта \$area.

Зональная статистика NDMI (медиана *median*, минимальные *min* и максимальные *max* значения) рассчитывалась в среде программы QGIS (ver. 3.36.3 «Münster»). Обработка данных по методу группировки интервалов, расчета частот (с графиком накопления частот – интегральным %), и графическое оформление результатов исследования выполнены в электронных таблицах Microsoft Office Excel (ver. 16.10 Build 180124 (2018)). Уровень статистической значимости принят 0,05, рассчитывалось стандартное отклонение *s*, доверительный интервал медианы и коэффициент вариации *C<sub>v</sub>*.

Посев свеклы произведен в период с 20.05.2024 по 27.05.2024. Первые всходы появились 01.06.2024,



**Рис. 1. Схема опытных участков 1–3:**  
а–в – снимки Sentinel-2 в естественных цветах); г–е – соответствующие им спектральные индексы NDMI за 30.05.2024 (б), 12.06.2024 (в), 19.06.2024 (г); 4 и 5 – политые и неполитые зоны; 6 – сорная растительность; 7 – эрозия; 8 – границы участков

массовые – 05.06.2024. Посадка картофеля на 1-м участке произведена 18.05.2024 и 19.05.2024, массовые всходы появились 08.06.2024. Посадка картофеля на 2-м участке произведена 06.05.2024 и 16.05.2024, массовые всходы наблюдались 02.06.2024.

Для анализа выбраны наборы спектральных данных в даты, когда проводили поливы (30.05.2024 и 19.06.2024) и в промежуточную дату (12.06.2024). Условие выбора – безоблачные снимки. Также выбирались снимки в естественных цветах «true color», на которых текстура соотносится с поливом (мастовая (одно-рядная) или волокнистая (радиальные или лучистые полосы)). Дополнительно для участков 1 и 2 анализировались даты в период от начала вегетации до уборки (соответственно до 01.10.2024 и 18.08.2024).

**Результаты исследования и их обсуждение.** На рис. 2 приведены графики изменения значений спектрального индекса NDMI на рассматриваемых участках. В связи с тем, что до середины второй декады мая среднесуточная температура была в среднем +6 °С при нижней границе амплитуды колебаний в сторону отрицательных значений в ночные часы, этот период характеризовался как экстремальный для посевов. Такие метеорологические условия вызвали задержку всходов картофеля на участке 2, в связи с чем всходы на участках 1 и 2 появились практически одновременно. Поэтому расчет индекса NDMI для участков 1 и 2 в данном исследовании выполнен совместно.

При анализе графиков на рис. 2 выявлены следующие закономерности. В первую дату наблюдений (30.05.2024) для пашни без растительного покрова статистические различия отсутствовали, медианные значения median для свеклы составили  $-0,05 \pm 0,01$  ( $\min = -0,24$ ;  $\max = 0$ ;  $s = 0,04$ ; распределение NDMI неравномерное –  $C_v = -0,59$ ) и для картофеля  $-0,05 \pm 0,01$  ( $\min = -0,17$ ;  $\max = 0$ ;  $s = 0,03$ ; распределение неравномерное –  $C_v = -0,59$ ). В этот день проводили полив посевов свеклы, что видно на спутниковом снимке true color по более темному тону почвы. В целом такие значения индекса NDMI характерны для оголенной почвы.

На 12.06.2024 растения свеклы и картофеля еще не были достаточно развитыми. Для посевов *Beta vulgaris* L. индекс влажности составил  $median = -0,04 \pm 0,01$  ( $\min = -0,18$ ;  $\max = 0,12$ ;  $s = 0,03$ ; распределение неравномерное –  $C_v = -0,63$ ) и для *Solanum tuberosum* L. значения  $median = -0,02 \pm 0,01$  ( $\min = -0,15$ ;  $\max = 0,13$ ;  $s = 0,02$ ; распределение неравномерное –  $C_v = -0,85$ ). Отметим, что на ранних стадиях развития культур практически отсутствуют различия. Изменения на снимке true color также незначительные, однако сорная растительность (см. рис. 1б, поз. б) в виде зеленых пятен в зонах появления эрозионных процессов визуализируются достаточно отчетливо.

19.06.2024 полив проводили на поле картофеля, NDMI которого составил  $median = 0,08 \pm 0,02$  ( $\min = -0,04$ ;  $\max = 0,35$ ;  $s = 0,06$ , распределение неравномерное –  $C_v = 0,66$ ). На посевах свеклы полив не проводился, индекс влажности составил  $median = 0,02 \pm 0,02$  ( $\min = -0,04$ ;  $\max = 0,35$ ;  $s = 0,06$ ; распределение крайне неравномерное –  $C_v = 1,14$ , вероятно связано с пятнистой текстурой спутникового снимка (см. рис. 1в). На политой культуре индекс влажности больше на 0,06,

что, в типичных условиях указывает на водный стресс или ранние фенологические фазы. На снимке true color визуализируется характерный для эродированной почвы дендритный рисунок. Эта особенность начала проявляется уже в соседнюю дату (12.06.2024): на рис. 1д более влажные эродированные участки имеют наиболее выраженный цвет индекса. На рис. 1е эродированные участки имеют более бледную окраску, что связано с отсутствием на них растительности, что свойственно для значений NDMI оголенной почвы.

На рис. 3 приведены графики хронологических изменений NDMI для *Solanum tuberosum* L. Обращает на себя внимание форма функции распределения NDMI, совпадающая по характеру с функцией распре-

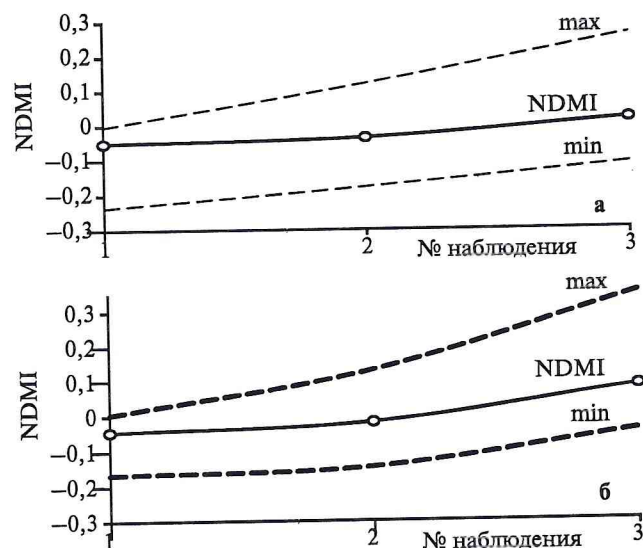


Рис. 2. Изменения индекса NDMI для участков картофеля (а) и свеклы (б): 1 – 30.05.2024; 2 – 12.06.2024; 3 – 19.06.2024

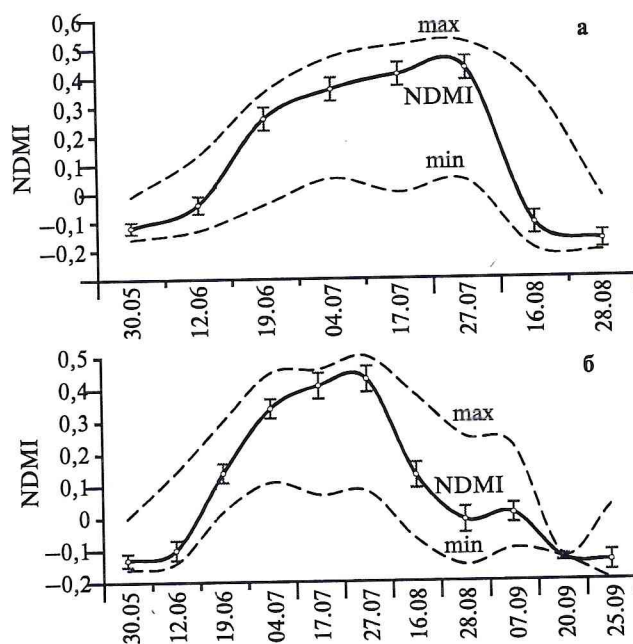


Рис. 3. Хронологические изменения NDMI для *Solanum tuberosum* L. на участках 1 (а) и 2 (б)

деления вегетационного индекса NDVI (куполообразная форма графика). В то же время отрицательные и низкие положительные значения NDMI фиксируются не только в начале вегетационного периода, как это характерно для NDVI, но и в период активной вегетации культуры. В ходе исследования обнаружена следующая закономерность в визуализации NDMI. Голая почва имеет низкие значения индекса (-0,08), а неубранная культура 16.08.2024 имеет характерный плотный цвет и более высокие значения индекса влажности (0,2...0,22).

**Заключение.** В рассмотренном примере видно, что на ранних стадиях развития культур различия в значениях NDMI не имеют статистической значимости. Орошаемая почва без растительности, имеет отрицательные значения NDMI (-0,05 ± 0,01), в то время как орошаемые культуры могут иметь NDMI около 0,4. Это позволяет сделать предположение о том, что NDMI более предпочтительнее использовать для анализа не влажности почвы, а уровня водного стресса культуры с целью оценки потребности в орошении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Решение проблем с водой с сельском хозяйстве // Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). URL: <http://www.fao.org/3/cb1447ru/online/cb1447ru.html#> (Дата обращения: 11.07.2023).
2. Аналитический обзор проблемы взимания платы за воду в орошаемом земледелии / С.В. Брыль // Экология и строительство. 2023. № 4. С. 16–21. DOI: 10.35688/2413-8452-2023-04-003.
3. Portmann F.T., Siebert S., Döll P. MIRCA2000 – global monthly irrigated and rainfed crop areas around the year 2000: a new high-resolution data set for agricultural and hydrological modeling // Global Biogeochem. Cycles. 2010. Vol. 24, GB1011. DOI: 10.1029/2008GB003435.
4. Half of twenty-first century global irrigation expansion has been in water-stressed regions // Mehta P., Siebert S., Kummu M. [et al.] // Nat Water. 2024. Vol. 2. P. 254–261. DOI: 10.1038/s44221-024-00206-9.
5. UAV-based remote sensing in plant stress imagine using high-resolution thermal sensor for digital agriculture practices: A meta-review / Awais M. [et al.] // Int. J. Environ. Sci. Technol. 2022. DOI: 10.1007/s13762-021-03801-5.
6. Remote sensing for agriculture and resource management / Kumar S. [et al.] // In Natural Resources Conservation and Advances for Sustainability. 2022. P. 91–135. DOI: 10.1016/B978-0-12-822976-7.00012-0.
7. Бубер А.А., Брыль С.В. Анализ методических подходов к обоснованию режимов орошения сельскохозяйственных культур // Экология и строительство. 2024. № 4. С. 52–58. DOI: 10.35688/2413-8452-2024-04-007.
8. Soil moisture measuring techniques and factors affecting the moisture dynamics: A comprehensive review / Rasheed M.W., Tang J., Sarwar A. [et al.] // Sustainability. 2022. Vol. 14. 11538. DOI: 10.3390/su141811538.
9. Celik M.F., Isik M.S., Yuzugullu O., Fajraoui N., Erten E. Soil moisture prediction from remote sensing images coupled with climate, soil texture and topography via deep learning // Remote Sens. 2022. Vol. 14. 5584. DOI: 10.3390/rs14215584.
10. Bwambale E., Abagale F.K., Anornu G.K. Smart irrigation monitoring and control strategies for improving water use efficiency in precision agriculture: A review // Agric. Water Manag. 2022. Vol. 260, 107324. DOI: 10.1016/j.agwat.2021.107324.
11. Koohikeradeh E., Jose Gumiere S., Bonakdari H. NDMI-Derived Field-Scale Soil Moisture Prediction Using ERA5 and LSTM for Precision Agriculture // Sustainability. 2025. Vol. 17. 2399. DOI: 10.3390/su17062399.
15. Wang L., Qu J.J., Hao X., Hunt J.E.R. Estimating dry matter content from spectral reflectance for green leaves of different species // Int. J. Remote Sen. 2011. Vol. 32. P. 7097–7109. DOI: 10.1080/01431161.2010.494641.
16. Strashok O., Ziemiańska M., Strashok V. Evaluation and Correlation of Normalized Vegetation Index and Moisture Index in Kyiv (2017–2021) // Journal of Ecological Engineering. 2022. Vol. 23(9). P. 212–218. DOI: 10.12911/22998993/151884.
17. Lykhovyd P.V., Sharii V.O. Normalised difference moisture index in water stress assessment of maize crops // Agrology. 2024. Vol. 7. P. 21–26. DOI: 10.32819/202403.

18. Hosseini Chamani F., AFirouzi F., Amerykxah H. Pedotransfer Function (PTF) for Estimation Soil moisture using NDVI, land surface temperature (LST) and normalized moisture (NDMI) indices // J. Water Soil Conserv. 2019. Vol. 26. P. 239–254. DOI: 10.22069/jwsc.2019.15306.3053.
19. Safi A.R., Karimi P., Mul M., Chukalla A., de Fraiture C. Translating open-source remote sensing data to crop water productivity improvement actions // Agric. Water Manag. 2022. Vol. 261. 107373. DOI: 10.1016/j.agwat.2021.107373.

REFERENCES

1. Reshenie problem s vodoi s sel'skom khozyaistve // Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). URL: <http://www.fao.org/3/cb1447ru/online/cb1447ru.html#> (Data obrashcheniya: 11.07.2023).
2. Analiticheskiy obzor problemy vzimaniya platy za vodu v oroshayemom zemledelii / S.V. Bryl' // Ekologiya i stroitel'stvo. 2023. № 4. S. 16–21. DOI: 10.35688/2413-8452-2023-04-003.
3. Portmann F.T., Siebert S., Döll P. MIRCA2000 – global monthly irrigated and rainfed crop areas around the year 2000: a new high-resolution data set for agricultural and hydrological modeling // Global Biogeochem. Cycles. 2010. Vol. 24, GB1011. DOI: 10.1029/2008GB003435.
4. Half of twenty-first century global irrigation expansion has been in water-stressed regions // Mehta P., Siebert S., Kummu M. [et al.] // Nat Water. 2024. Vol. 2. P. 254–261. DOI: 10.1038/s44221-024-00206-9.
5. UAV-based remote sensing in plant stress imagine using high-resolution thermal sensor for digital agriculture practices: A meta-review / Awais M. [et al.] // Int. J. Environ. Sci. Technol. 2022. DOI: 10.1007/s13762-021-03801-5.
6. Remote sensing for agriculture and resource management / Kumar S. [et al.] // In Natural Resources Conservation and Advances for Sustainability. 2022. P. 91–135. DOI: 10.1016/B978-0-12-822976-7.00012-0.
7. Buber A.A., Bryl' S.V. Analiz metodicheskikh podkhodov k obosnovaniyu rezhimov orosheniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur // Ekologiya i stroitel'stvo. 2024. № 4. S. 52–58. DOI: 10.35688/2413-8452-2024-04-007.
8. Soil moisture measuring techniques and factors affecting the moisture dynamics: A comprehensive review / Rasheed M.W., Tang J., Sarwar A. [et al.] // Sustainability. 2022. Vol. 14. 11538. DOI: 10.3390/su141811538.
9. Celik M.F., Isik M.S., Yuzugullu O., Fajraoui N., Erten E. Soil moisture prediction from remote sensing images coupled with climate, soil texture and topography via deep learning // Remote Sens. 2022. Vol. 14. 5584. DOI: 10.3390/rs14215584.
10. Bwambale E., Abagale F.K., Anornu G.K. Smart irrigation monitoring and control strategies for improving water use efficiency in precision agriculture: A review // Agric. Water Manag. 2022. Vol. 260, 107324. DOI: 10.1016/j.agwat.2021.107324.
11. Koohikeradeh E., Jose Gumiere S., Bonakdari H. NDMI-Derived Field-Scale Soil Moisture Prediction Using ERA5 and LSTM for Precision Agriculture // Sustainability. 2025. Vol. 17. 2399. DOI: 10.3390/su17062399.
15. Wang L., Qu J.J., Hao X., Hunt J.E.R. Estimating dry matter content from spectral reflectance for green leaves of different species // Int. J. Remote Sen. 2011. Vol. 32. P. 7097–7109. DOI: 10.1080/01431161.2010.494641.
16. Strashok O., Ziemiańska M., Strashok V. Evaluation and Correlation of Normalized Vegetation Index and Moisture Index in Kyiv (2017–2021) // Journal of Ecological Engineering. 2022. Vol. 23(9). P. 212–218. DOI: 10.12911/22998993/151884.
17. Lykhovyd P.V., Sharii V.O. Normalised difference moisture index in water stress assessment of maize crops // Agrology. 2024. Vol. 7. P. 21–26. DOI: 10.32819/202403.
18. Hosseini Chamani F., AFirouzi F., Amerykxah H. Pedotransfer Function (PTF) for Estimation Soil moisture using NDVI, land surface temperature (LST) and normalized moisture (NDMI) indices // J. Water Soil Conserv. 2019. Vol. 26. P. 239–254. DOI: 10.22069/jwsc.2019.15306.3053.
19. Safi A.R., Karimi P., Mul M., Chukalla A., de Fraiture C. Translating open-source remote sensing data to crop water productivity improvement actions // Agric. Water Manag. 2022. Vol. 261. 107373. DOI: 10.1016/j.agwat.2021.107373.

**Зверьков Михаил Сергеевич**, канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник, ORCID: 0000000283484391, Scopus 57221661750, РИНЦ AuthorID: 751258; **Смелова Светлана Станиславовна**, канд. биол. наук, доцент, ст. науч. сотрудник, ORCID: 0009000917170026, Scopus 6504283625, РИНЦ AuthorID: 651060; **Брыль Сергей Валерьевич**, канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник, РИНЦ AuthorID: 649079; **Степанова Татьяна Георгиевна**, канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник; **Булгакова Татьяна Геннадьевна**, мл. науч. сотрудник, РИНЦ AuthorID: 1254680 (Всеобщий научный НИИ систем орошения и сельскохозяйственного водоснабжения «Радуга», Московская обл., г. Коломна).