

УДК 528.92:631.11

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

С. В. ДАВТЯН^{1,2*}, Г. М. ЕГИАЗАРЯН^{1**}, В. Г. МАРГАРЯН^{3***}

¹ *Армянский национальный аграрный университет (НААУ), Армения*

² *Департамент сельскохозяйственного консультирования
и инноваций Министерства экономики РА, Армения*

³ *Кафедра общей географии ЕГУ, Армения*

Существующие вызовы и проблемы в сельском хозяйстве Республики Армения создают значительные трудности в разработке мероприятий, направленных на повышение эффективности использования земельных и водных ресурсов. Увеличивающиеся с каждым годом масштабы неиспользуемых земель, фрагментация мелких земельных участков, а также недостаток информации о пространственной организации земельных наделов замедляют развитие сельского хозяйства, препятствуют активизации производства и привлечению инвестиций.

Эффективное использование сельскохозяйственных земель имеет важное значение для сельского хозяйства, и в настоящее время цифровые технологии создают широкие возможности для их изучения. Особенно в условиях фрагментированных, неиспользуемых земельных участков и изменения климата разрабатываемые меры часто требуют всестороннего научного обоснования. В конечном итоге это позволит предложить такие мероприятия по повышению эффективности их использования, как объединение земельных участков, консолидация, создание крупных землепользователей, а также обеспечение условий для устойчивого, развивающегося и жизнеспособного сельского хозяйства.

Для оценки показателей эффективности использования сельскохозяйственных земель в настоящее время широко применяются Нормализованный Разностный Индекс Растительности (NDVI) и Нормализованный Разностный Индекс Влажности (NDMI). Их цифровые значения получаются в результате соответствующего анализа и оценки спутниковых снимков. Индекс NDVI является важным инструментом для долгосрочной оценки изменений растительного покрова, тогда как изменения NDMI свидетельствуют об изменениях уровня влажности растительности.

<https://doi.org/10.46991/PYSUC.2026.60.1.041>

Keywords: agricultural land, efficient land use, NDVI, NDMI, correlation dependence.

* E-mail: stepan.davtyan@yahoo.com

** E-mail: yeghiazaryangurgen@gmail.com

*** E-mail: vmargaryan@ysu.am

Введение. Низкая производительность сельского хозяйства в Армении, а также несоответствие качественных и количественных показателей продукции в условиях рыночной экономики являются значительным препятствием для быстрого и динамичного развития отрасли. Существующие вызовы и проблемы в сельском хозяйстве Республики Армения не позволяют эффективно использовать ресурсы сектора для достижения поставленных целей. Об этом свидетельствует тот факт, что лишь около 54,5% пахотных земель используется по назначению. Земли сельскохозяйственного назначения не обрабатываются из-за недоступности или недостаточного обеспечения оросительной водой, ограниченного доступа к сельскохозяйственной технике, низкого плодородия почв, низкой доходности и других причин. Из земель сельскохозяйственного назначения орошается 154,9 тыс. га, что составляет всего 7,6% от общей площади таких земель. Масштабы необрабатываемых земель и раздробленность участков замедляют развитие сельского хозяйства и препятствуют активизации производства и привлечению инвестиций [1, 2].

В новых условиях хозяйствования, когда земельные отношения коренным образом изменились, обрабатываемые земельные участки были раздроблены на более чем 1,2 миллиона наделов. В республике функционирует около 335 000 мелких крестьянских хозяйств, которые производят более 98% валовой сельскохозяйственной продукции. В этих условиях особую важность приобрела модернизация оросительной системы, включая внутрихозяйственные сети.

Низкая покупательская способность населения республики и ограниченные возможности торгово-сбытовых путей привели к снижению товарности крестьянских хозяйств и их воспроизводственного потенциала, а также к экстенсивному развитию производства. Возникли серьезные трудности с реализацией сельскохозяйственной и агроперерабатывающей продукции, а также с материально-техническим обеспечением.

Эффективной организации сельскохозяйственного производства также серьезно препятствуют малые размеры крестьянских хозяйств. В настоящее время на одно крестьянское хозяйство в среднем приходится 1,4 га сельскохозяйственных угодий, в том числе 1,1 га пахотных земель, что не позволяет осуществлять эффективное ведение хозяйства и применять интенсивные технологии. Одновременно, по данным Национальной статистической службы РА, более 40% пахотных земель не используются по целевому назначению, значительно сократились посевные площади сельскохозяйственных культур, площади виноградников и плодовых садов.

Для обеспечения стабильно высоких и устойчивых урожаев озимой пшеницы в условиях богарного земледелия обработка почвы должна проводиться путем рыхления на глубину 10–12 см. Этот метод улучшает структуру почвы и распределение питательных веществ по сравнению с традиционной вспашкой, способствуя росту озимой пшеницы и повышая ее зимостойкость. Питательные вещества при этом располагаются оптимально для развития растений, что обеспечивает более высокий урожай по сравнению с боронованием и вспашкой [3]. Для получения высокой урожайности экологически чистых овощных культур необходимо использовать биогумус в количестве 8 т/га или комбинацию 6 т/га биогумуса и N35P35K40. Такая обработка позволяет получить урожай картофеля 420–440 ц/га, моркови

223–240 ц/га, капусты 500–520 ц/га, не превышая при этом максимально допустимую концентрацию (МДК) нитратов [4].

Для комплексного и эффективного решения обозначенных проблем необходимо провести оценку эффективности использования сельскохозяйственных земель посредством анализа пространственных данных о фактическом землепользовании и состоянии вегетации растений, используя дешифровку спутниковых снимков и изучение индексов NDVI и NDMI [5–8].

Материалы и методы исследования. Объектом исследования является проблема эффективного и целевого использования земель сельскохозяйственного назначения. Из-за недостаточности и неполноты пространственных данных решения, разработанные и реализуемые различными ведомствами, имеют ограниченную эффективность, в результате чего целевое использование земель отходит на второй план в системе землепользования. Развитию сельского хозяйства также препятствует низкий уровень внедрения инновационных решений в отрасли, что часто создает технические препятствия для формирования и развития эффективных систем сельскохозяйственного землепользования. В частности, низкий уровень управления процессами в системе “почва–растение–воздух” в сельском хозяйстве напрямую тормозит реализацию обоснованных решений и мероприятий [9–11].

Результаты представленного исследования направлены на исправление текущей ситуации в сфере сельскохозяйственного землепользования, разработку технологических решений и поддержку стратегических целей государственной аграрной политики. Исследование основано на современных цифровых технологиях, а также на фундаментальных принципах, методах и технологиях точного и эффективного ведения сельского хозяйства [12–14].

Объектом исследования являлись орошаемые пахотные земли села Аршалуйс Армавирской области площадью 13,29 га, расположенные на высоте 850–860 м над уровнем моря (рис. 1). Исследования проводились в течение вегетационного периода в следующие сроки: 01.05, 15.05, 01.06, 15.06, 01.07, 15.07 и 01.08 2025 года. Исследуемая территория была занята озимыми зерновыми (4,79 га), капустой (4 га) и чесноком (4,5 га), всего – 13,29 га.



Рис. 1. Расположение исследуемого пахотного участка с учетом координат мониторинговых точек.

Исследования показывают, что обеспечение полной и точной информации о землях сельскохозяйственного назначения позволяет разрабатывать и внедрять целевые мероприятия, в результате которых повышается продуктивность сельскохозяйственных земель, землепользование становится более привлекательным и представляет собой эффективный вариант ведения бизнеса для фермеров [15–18].

Результаты исследования и их обсуждение. Для характеристики вегетационного процесса на землях, занятых сельскохозяйственными культурами, были использованы изменения индексов NDVI и NDMI для точек, приведенных на рис. 1. Изучались изменения указанных индексов в соответствии с фазами развития растений. Вегетационный период лука-репки составил с 25.03 по 25.09 – 183 дня, зерновых культур – с 25.10 по 15.07, арбуза – с 15.04 по 15.10, также 183 дня. Для всех трех сельскохозяйственных культур вегетация в период с 01.05 по 15.08 составила 107 дней. Была также изучена сумма атмосферных осадков, которая в исследуемый период составила 103 мм, при расчетной эвапотранспирации – 525,3 мм. Дефицит влаги в почве составил 422,3 мм.

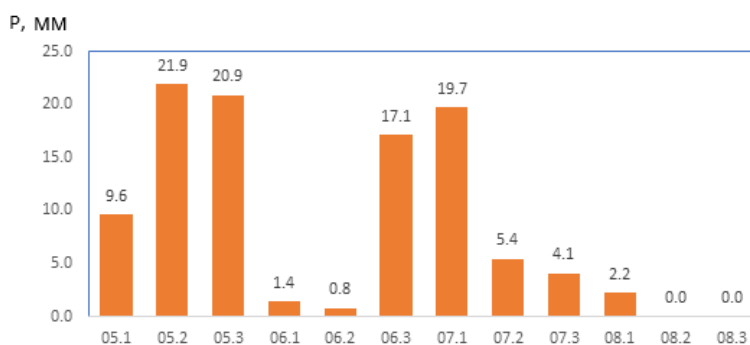


Рис. 2. Распределение атмосферных осадков по декадам.

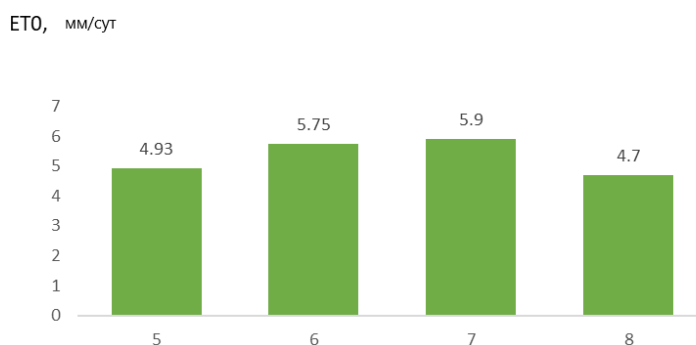


Рис. 3. Эвапотранспирация за месяцы с мая по август.

В результате дешифровки спутниковых снимков для 203 точек наблюдаемого периода были рассчитаны значения NDVI и NDMI, изменения которых представлены на рис. 4, а)–е).

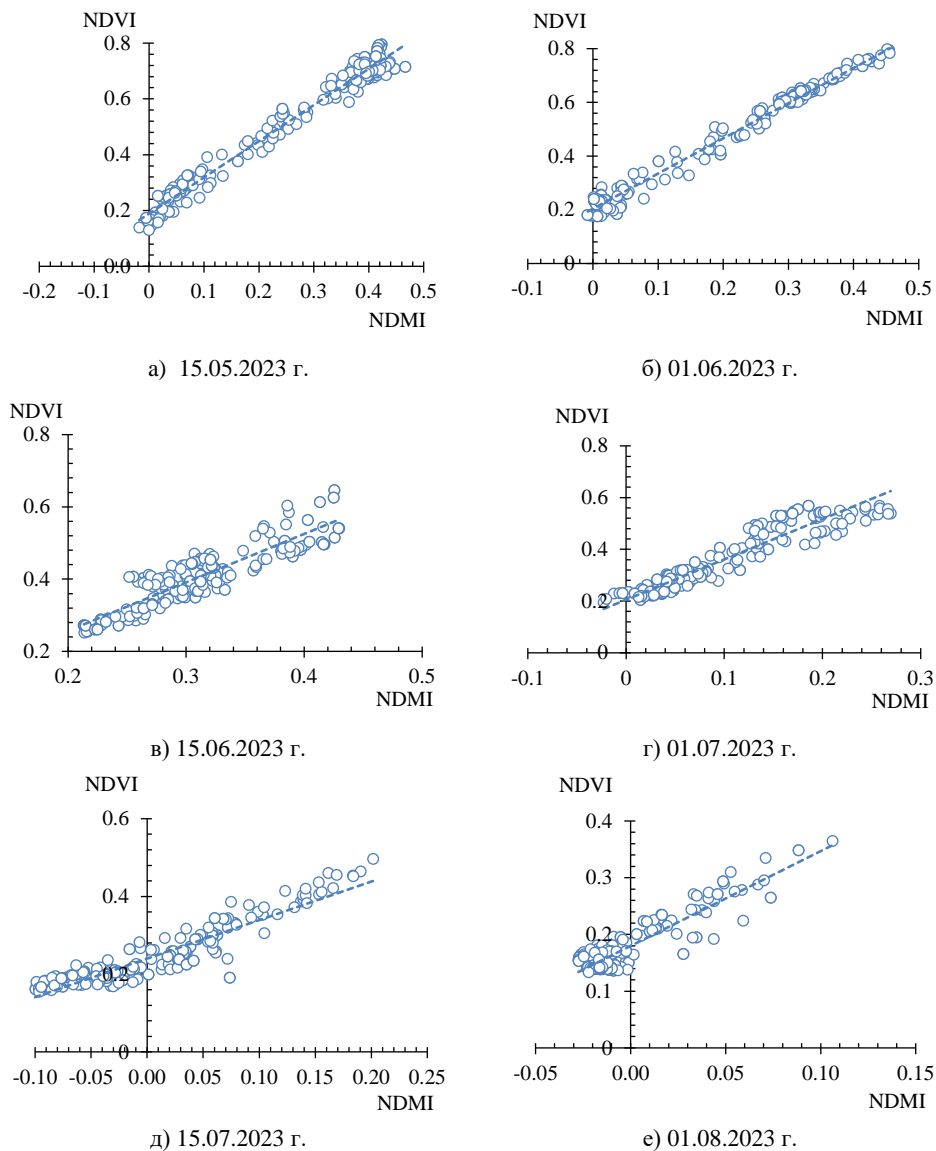


Рис. 4. Зависимость NDVI от изменения значений NDMI в различные периоды.

Из полученных результатов ясно видно, что в течение вегетационного периода существует корреляционная зависимость между влажностью почвы и вегетационным индексом. Эта зависимость в наибольшей степени аппроксимируется линейной зависимостью, которая в общем виде имеет следующий вид.

$$NDVI = \beta \cdot NDMI + \delta. \quad (1)$$

Очевидно, что на третьем и четвертом этапах развития вегетации влияние изменения индекса влажности почвы на рост и развитие растений замедляется. Наиболее интенсивно эта зависимость проявляется на начальной стадии вегетации.

Для 15 июня она имеет следующий вид:

$$\text{NDVI} = 1,2974 \cdot \text{NDMI} + 0,1888, \quad R^2 = 0,9756. \quad (2)$$

Для 1 июня эта зависимость имеет следующий вид:

$$\text{NDVI} = 1,3104 \cdot \text{NDMI} + 0,2039, \quad R^2 = 0,9881. \quad (3)$$

Для 15 июня эта зависимость имеет следующий вид:

$$\text{NDVI} = 1,341 \cdot \text{NDMI} - 0,0113, \quad R^2 = 0,8089. \quad (4)$$

Для 1 июля эта зависимость имеет следующий вид:

$$\text{NDVI} = 1,5592 \cdot \text{NDMI} - 0,2052, \quad R^2 = 0,8872. \quad (5)$$

Для 15 июля эта зависимость имеет следующий вид:

$$\text{NDVI} = 0,991 \cdot \text{NDMI} + 0,24, \quad R^2 = 0,8588. \quad (6)$$

В качестве удельного показателя важно выявить зависимость вида

$$\frac{\text{NDVI}}{\text{NDMI}} = f(\text{NDVI})$$

Результаты исследования показывают, что данное соотношение в течение вегетационного периода изменяется в пределах от 0,15 до 0,25 и в общем виде выражается следующим образом (рис. 5):

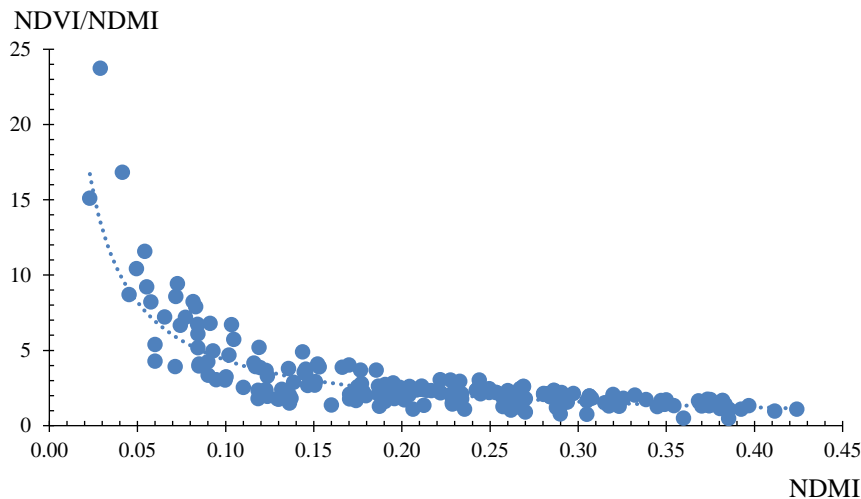


Рис. 5. Зависимость относительной величины $\frac{\text{NDVI}}{\text{NDMI}}$ от изменения значений NDMI 01.05.2023 г.

Корреляционная зависимость достаточно достоверно выражается следующей закономерностью:

$$\frac{\text{NDVI}}{\text{NDMI}} = 0,5261 \text{NDMI}^{-0,917}. \quad (7)$$

что позволяет использовать ее для оценки эффективности использования земель.

Заключение. В условиях орошаемых пахотных земель выявление закономерностей изменения индексов NDVI, NDMI и NDVI/NDMI для различных периодов вегетации полевых сельскохозяйственных культур (лук-репка, зерновые, арбуз) позволяет эффективно применять современные цифровые технологии для оценки эффективности использования земель. Установлено, что для условий возделывания полевых культур зависимость $NDVI = f(NDMI)$ в основном имеет линейный характер и сохраняется практически на протяжении всего вегетационного периода. На начальной стадии вегетации она характеризуется небольшой амплитудой по отношению к среднему значению, при этом среднее значение остается стабильным, но наблюдается высокая дисперсия. По мере развития растений эта закономерность изменяется и принимает форму уравнения (1).

Поступила 04.04.2025

Получена с рецензии 06.02.2026

Утверждена 20.04.2026

ЛИТЕРАТУРА

1. Gandhi G.M.S. Parthiban, Thummalu N., Christy A. NDVI: Vegetation Change Detection Using Remote Sensing and Gis – A Case Study of Vellore District. *Procedia Computer Science* **57** (2015), 1199–1210.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.415>
2. Vopravil J., Janeček M., Tipl M. Revised Soil Erodibility K-factor for Soils in the Czech Republic. *Soil and Water Research* **2** (2007), 1–9.
<https://doi.org/10.17221/2100-swr>
3. Gharakhanyan K.A., Melikyan A.Sh., et al. Assessment of Soil Agrophysical and Agrochemical Changes under Different Tillage Methods. *Sustainable Development of Mountain Territories* **17** (2025), 920–928.
<https://doi.org/10.21177/1998-4502-2025-17-2-920-928>
4. Larionov M.V., Sargsyan K.S., et al. The Influence of Cultivation, Storage and Processing Technology on the Nitrate Content in Potato Tubers and Vegetable Crops as the Example of Ecologically and Hygienically Oriented Organic Agricultural Nature Management. *Journal of Ecohumanism* **3** (2024), 292–302.
<https://doi.org/10.62754/joe.v3i8.4731>
5. Anand A., Singh S.K., Kanga S. Estimating the Change in Forest Cover Density and Predicting NDVI for West Singhbhum using Linear Regression. *Int. J. Environ. Rehabil. Conserv.* **9** (2018), 193–203.
6. Gao B.C. NDWI – A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water from Space. *Remote Sensing of Environment* **58** (1996), 257–266.
7. Nuthammachot N., Phairuang W., et al. Estimating Aboveground Biomass on Private Forest using Sentinel-2 Imagery. *Journal of Sensors* **2018** (2018), 1–11.
8. Rouse J.W., Haas R.H., et al. *Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS*. In Third ERTS-1 Symposium; National Aeronautics and Space Administration: Washington DC, USA (1974), 309–317.
9. Cheval S. The Standardized Precipitation Index. An Overview. *Rom. J. Meteorol.* (2015).
10. David M.G., Amy T. Evaluation of Five Methods to Measure Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in Apple and Citrus. *Int. J. Fruit Sci.* **19** (2019), 191–210.
<https://doi.org/10.1080/15538362.2018.1502720>
11. Guttman N.B. Accepting the Standardized Precipitation Index: A Calculation Algorithm. *Journal of the American Water Resources Association* **35** (1999), 311–322.

12. Pettorelli N., Ryan S., et al. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): Unforeseen Successes in Animal Ecology. *Climate Research* **46** (2011), 15–27.
<https://doi.org/10.3354/cr00936>
13. Sobrino J.A., Raissouni N. Toward Remote Sensing Methods for Land Cover Dynamic Monitoring: Application to Morocco. *Int. J. Remote Sensing* **21** (2000), 353–366.
14. Taloor A.K., Singh M.D., Kothyari G.C. Retrieval of Land Surface Temperature, Normalized Difference Moisture Index, Normalized Difference Water Index of the Ravi Basin using Landsat Data. *Applied Computing and Geosciences* **9** (2021), 100051.
<https://doi.org/10.1016/j.acags.2020.100051>
15. Neigh Christopher S.R. Tucker Compton j.2008. *North American Vegetation Dynamics Observed with Multi-Resolution Satellite Data* **112** (2008), 1749–1772.
16. Ozyavuz M., Bilgili C., Salıcı A. Determination of Vegetation Changes with NDVI Method. *Journal of Environmental Protection and Ecology* **16** (2015), 264–273.
17. Weng Q., Lu D., Schubring J. Estimation of Land Surface Temperature–vegetation Abundance Relationship for Urban Heat Island Studies. *Remote Sensing of Environment* **89** (2004), 467–483.
18. Xu H. Modification of Normalised Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery. *Int. J. Remote Sensing* **27** (2006), 3025–3033.

Ս. Վ. ԴԱՎԹՅԱՆ, Գ. Մ. ԵՂԻԱԶԱՐՅԱՆ, Վ. Գ. ՄԱՐԳԱՐՅԱՆ

ԳՅՈՒՂԱՏՆՏԵՍԱԿԱՆ ՀՈՂԵՐԻ ՕԳՏԱԳՈՐԾՄԱՆ
ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄ
ԹՎԱՅԻՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՆԵՐԻ ԿԻՐԱՌՄԱՄԲ

Ա մ փ ո փ ու մ

Հայաստանի Հանրապետության գյուղատնտեսության ոլորտում առկա մարտահրավերներն ու խնդիրները զգալի դժվարություններ են ստեղծում հողային և ջրային ռեսուրսների օգտագործման արդյունավետության բարձրացմանն ուղղված միջոցառումների մշակման գործում: Չօգտագործվող հողերի անող մասշտաբները, փոքր հողամասերի մասնատվածությունը, ինչպես նաև հողամասերի տարածական կազմակերպման վերաբերյալ տեղեկատվության պակասը դանդաղեցնում են գյուղատնտեսության զարգացումը, խոչընդոտում արտադրության ակտիվացմանն ու ներդրումների ներգրավմանը:

Գյուղատնտեսական հողերի արդյունավետ օգտագործումը կարևոր է գյուղատնտեսության համար, և թվային տեխնոլոգիաները ներկայումս լայն հնարավորություններ են ստեղծում դրանց ուսումնասիրության համար: Հատկապես մասնատված, չօգտագործվող հողամասերի և կլիմայի փոփոխության համատեքստում մշակվող միջոցառումները հաճախ պահանջում են համապարփակ գիտական հիմնավորում: Վերջին հաշվով, սա թույլ կտա առաջարկել այնպիսի միջոցառումներ, որոնք կբարձրացնեն դրանց օգտագործման արդյունավետությունը, ինչպիսիք են հողերի միավորումը, կոնսոլիդացիան, խոշոր հողօգտագործողների ստեղծումը, ինչպես նաև կայուն, զարգացող և կենսունակ գյուղատնտեսության համար պայմանների ապահովումը:

Բուսականության նորմալացված տարբերության ինդեքսը (NDVI) և խոնավության նորմալացված տարբերության ինդեքսը (NDMI) ներկայումս լայնորեն կիրառվում են գյուղատնտեսական հողերի օգտագործման արդյունավետության ցուցանիշները գնահատելու համար: Դրանց թվային արժեքները ստացվում են արբանյակային պատկերների համապատասխան վերլուծության և գնահատման արդյունքում: NDVI ինդեքսը կարևոր գործիք է բուսական ծածկույթի փոփոխությունների երկարաժամկետ գնահատման համար, մինչդեռ NDMI փոփոխությունները ցույց են տալիս բուսականության խոնավության մակարդակի փոփոխությունները:

S. V. DAVTYAN, G. M. YEGHIAZARYAN, V. G. MARGARYAN

ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF AGRICULTURAL LAND USE USING DIGITAL TECHNOLOGIES

Summary

The current challenges and problems in the agriculture of the Republic of Armenia create significant difficulties in developing measures aimed at increasing the efficiency of land and water resource use. The increasing scale of unused lands, fragmentation of small land plots, as well as the lack of information on the spatial organization of land plots slow down the development of agriculture, hinder the activation of production and attraction of investments.

Efficient use of agricultural lands is important for agriculture, and digital technologies currently create ample opportunities for their study. Especially in the context of fragmented, unused land plots and climate change, the measures developed often require comprehensive scientific justification. Ultimately, this will allow proposing such measures to increase the efficiency of their use as land amalgamation, consolidation, creation of large land users, as well as ensuring conditions for sustainable, developing and viable agriculture.

The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the Normalized Difference Humidity Index (NDMI) are currently widely used to assess the efficiency indicators of agricultural land use. Their numerical values are obtained as a result of appropriate analysis and evaluation of satellite images. The NDVI index is an important tool for long-term assessment of vegetation cover changes, while NDMI changes indicate changes in the moisture level of vegetation.