

Научная статья

Original article

УДК 631.6 : 528.88

doi: https://doi.org/10.55186/25880209_2026_10_3_26

edn: LRTOIG

**ОЦЕНКА КОРРЕЛЯЦИОННОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ ИНДЕКСАМИ
ВЕГЕТАЦИИ NDVI И ВЛАЖНОСТИ NDMI ПО ДАННЫМ
СПУТНИКА SENTINEL-2**

**EVALUATION OF CORRELATION BETWEEN NDVI VEGETATION
INDEX AND NDMI HUMIDITY INDEX ACCORDING TO SENTINEL-2
SATELLITE**



Зверьков Михаил Сергеевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт «Радуга» (пос. Радужный, д. 38, Коломна, Московская обл., Россия, 140483), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8348-4391>, rad_sc@bk.ru

Zverkov Mikhail Sergeevich, candidate of technical sciences, leading researcher, Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Scientific Research Institute «Raduga» (Raduzhny village, 38, Kolomna, Moscow region, Russia, 140483), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8348-4391>, rad_sc@bk.ru

Аннотация. Показан результат оценки корреляционной связи между спектральными индексами вегетации NDVI и влажности NDMI, рассчитанным по данным дистанционного зондирования Земли, полученным с помощью спутника Sentinel-2.

Объект исследования расположен в Волгоградской области и представляет собой массив системы капельного орошения общей площадью примерно 120 га, состоящий из 11 участков. На этой территории в 2024 году выращивали культуру столовой моркови (*Daucus carota*). Отмечается, что характер распределения случайных величин NDVI и NDMI не соответствует нормальному закону. W -критерий Шапиро-Уилки для всех наблюдаемых значений вегетационного индекса NDVI находится в диапазоне 0,748...0,871, для индекса влажности NDMI – 0,748...0,884, что статистически значимо ($p = 0,01$) указывает на негауссово распределение. Значения U -критерия Манни-Уитни составляют 212...360, что указывает на статистически значимые различия ($p = 0,01$) между выборками вегетационного индекса NDVI и индекса влажности NDMI. Значения NDVI и NDMI статистически достоверно коррелируют (ранговый коэффициент Спирмена r_s от 0,41 до 0,95) с уровнем значимости $p = 0,01$. Парные коэффициенты корреляции Спирмена r_s между NDVI и NDMI для одного поля находятся в диапазоне 0,85...0,95 при более высоком уровне значимости $p = 0,001$.

Abstract. The result of evaluation of correlation relationship between spectral indices of NDVI vegetation and NDMI humidity calculated on the basis of Earth remote sensing data obtained using Sentinel-2 satellite is shown.

The research object is located in the Volgograd region and is an array of drip irrigation system with a total area of approximately 120 hectares, consisting of 11 sites. In 2024, a table carrot culture (*Daucus carota*) was grown on this territory. The nature of the distribution of random variables NDVI and NDMI does not correspond to the normal (non-Gaussian distribution) law is noted. The Shapiro-Wilkie W -test for all observed values of the NDVI vegetation index is in the range of 0.748... 0.871, for the NDMI humidity index – 0.748... 0.884. This indicates a non-Gaussian distribution with statistical significance ($p = 0.01$). The Munney-Whitney U -test values are 212... 360. This indicates statistically significant differences ($p = 0.01$) between the NDVI vegetation index and NDMI humidity index samples. NDVI and NDMI values correlate statistically significantly

(Spearman rank coefficient $r_s = 0.41 \dots 0.95$) with significance level $p = 0.01$. The paired Spearman correlation coefficients r_s between NDVI and NDMI for one field are in the range of $0.85 \dots 0.95$ with a higher significance level $p = 0.001$.

Ключевые слова: индекс влажности, вегетационный индекс, NDMI, NDVI, SAGA GIS, корреляция, коэффициент Спирмена

Keywords: humidity index, vegetation index, NDMI, NDVI, SAGA GIS, correlation, Spearman's ratio

Введение

При решении частных практических задач в мониторинге состояния посевов, а также земель сельскохозяйственного назначения в последнее время часто возникает необходимость оценки кроме вегетационного индекса NDVI еще и индекса влажности NDMI. В связи с развитием отраслевых информационных систем в мелиорации настоящее время разрабатываются цифровые инструменты анализа состояния мелиоративных систем и дешифровочных признаков факта орошения. Это определяет **актуальность настоящей работы**.

Цель исследования заключалась в оценке корреляционной связи между спектральными индексами вегетации NDVI и влажности NDMI, рассчитанным по данным дистанционного зондирования Земли, полученным с помощью спутника Sentinel-2.

Научно-практическая значимость результатов исследования заключается в том, что приведенный в настоящем исследовании пример оценки корреляционной связи может быть использован для разработки отечественных инструкций и методик интерпретации значений индекса влажности NDMI. В настоящее время в связи с отсутствием аналогов наиболее распространенной является шкала, описанная в методике EOS Data Analytics¹. Необходимо отметить, что информационно-советующая система EOS Data Analytics одновременно с NDMI анализирует значения других

¹ NDMI: Нормализованный Разностный Индекс Влажности [Электронный ресурс]. URL: <https://eos.com/ru/make-an-analysis/ndmi/> (Дата обращения 20.03.2026 г.).

вегетационных индексов (в том числе NDVI) и на основе AI-аналитики позволяет выявлять маркеры дефицита влагосодержания в растительном покрове. Однако прямое использование этой шкалы без соответствующей оценки других показателей состояния посевов связано с рисками неверной интерпретации данных. Так, например, одному и тому же значению индекса NDMI в диапазоне 0...0,2 может соответствовать одновременно как высокий, так и низкий уровень водного стресса в растительном покрове. Очевидно, что оптимизация целевой интерпретации данных связана с оценкой дополнительных маркеров дистанционного зондирования.

О высоком уровне корреляционной связи между индексами вегетации NDVI и влажности NDMI отмечено, например, в работах [1, 2]. В [3], в частности, отмечается, что в настоящее время в научных работах мало освещен вопрос о взаимосвязи между индексами вегетации NDVI и влажности NDMI. Необходимо отметить, что в работах, в которых указывается наличие корреляционной связи между этими данными используется в основном коэффициент корреляции Пирсона r . Основным замечанием к возможности использования r стоит отнести необходимость, чтобы исходные данные соответствовали нормальному распределению. Возникает необходимость предварительной проверки соответствия распределения случайных величин NDVI и NDMI нормальному закону. Характер кривой этих спектральных индексов только в частном случае соответствует нормальному распределению, необходимому для большинства параметрических статистических тестов. Однако в большинстве работ авторами делается допущение, что спектральный индекс распределен по нормальному закону.

В более строгих с математической точки зрения анализах, например, в [4, 5, 6], делается акцент на том, что в действительности значения NDVI и NDMI распределены ненормально. Этот момент достаточно важен, так как для оценки связи необходима или нормализация эмпирического распределения или использование других коэффициентов корреляции. В этой

связи большинство работ по оценке корреляционной связи между NDVI и NDMI имеют частные выводы, которые не могут быть убедительно распространены на характеристику общих физических свойств этих спектральных индексов. В целом спектральные индексы и методы дистанционного зондирования Земли находят широкое применение в мелиоративной практике [7, 8].

Методы и методология проведения исследования

Объект исследования расположен в Городищенском районе Новоnadeждинского сельского поселения Волгоградской области. Представляет собой массив системы капельного орошения общей площадью примерно 120 га, состоящий из 11 участков (рисунок 1), на которых в 2024 году выращивали культуру столовой моркови (*Daucus carota*). Насосной станцией по магистральному трубопроводу (МТ) подается оросительная вода из Городищенского канала. На трубопроводе расположены 13 гидрантов в поливные участки. Общий период наблюдений покрывает даты с 1 апреля по 22 ноября 2024 года.

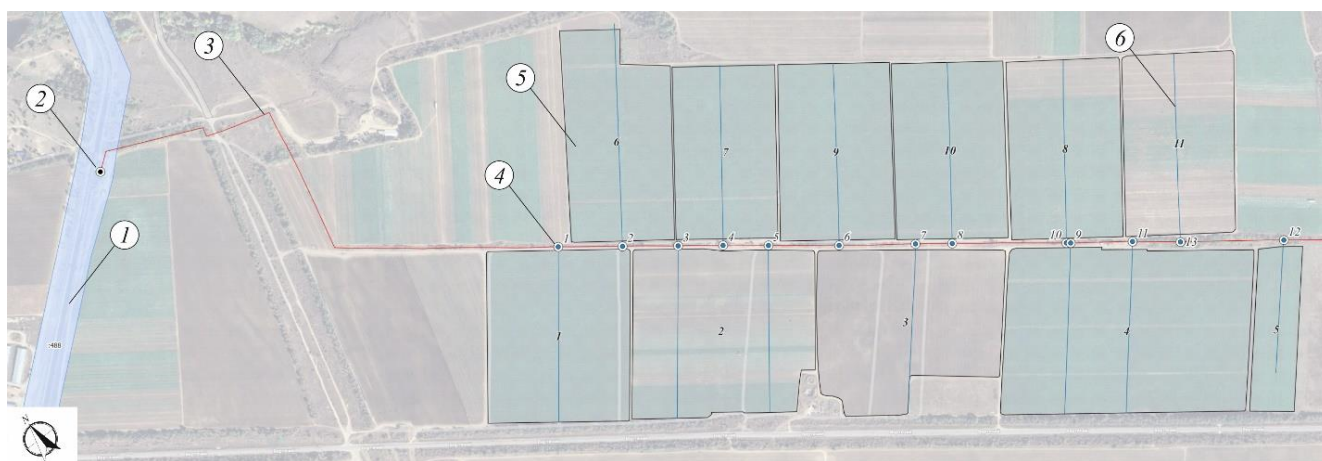


Рисунок 1 – Объект исследования: 1 – Городищенский канал; 2 – насосная станция; 3 – магистральный трубопровод; 4 – гидрант; 5 – орошаемый участок; 6 – участковый поливной трубопровод

За анализируемый период были подготовлены исходные спектральные спутниковые снимки в красном, ближнем и коротковолновом инфракрасном

каналах, а также в диапазоне «true color». По признаку отсутствующей облачности, мешающей исследованию, выбраны 39 дат. В геоинформационной системе SAGA GIS выполнены растровые расчеты спектральных нормализованных разностных вегетационных NDVI и влажностных NDMI индексов с последующей векторизацией. Для расчетов использовался инструмент «Grid Calculator». Границами полигонов являются границы участков, сами полигоны состоят из субполигонов, размер которых определяется размером пикселя исходного растрового слоя спектрального индекса. Среднее число субполигонов внутри полигона составляет около 40 тыс. единиц.

Индекс влажности рассчитывается по известной зависимости по данным спутника Sentinel-2. Для этого используются каналы коротковолнового SWIR и ближнего NIR инфракрасного спектров. Формула для расчета имеет вид:

$$\text{NDMI} = (\text{NIR} - \text{SWIR}) / (\text{NIR} + \text{SWIR}).$$

В аналогичной относительной зависимости для оценки вегетационного индекса вместо коротковолнового SWIR-излучения используется видимая зона красного спектра Red:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red}).$$

Таким образом получены две хронологические дата-группы искомым спектральных индексов (рисунок 2). Для статистического анализа этих данных подготовлены 78 математических выборок атрибутивной информации, каждая из которых в среднем состоит из 40 тыс. значений NDVI и NDMI, получены сводные статические параметры, в том числе медианы и ее ошибки при уровне надежности 95%.

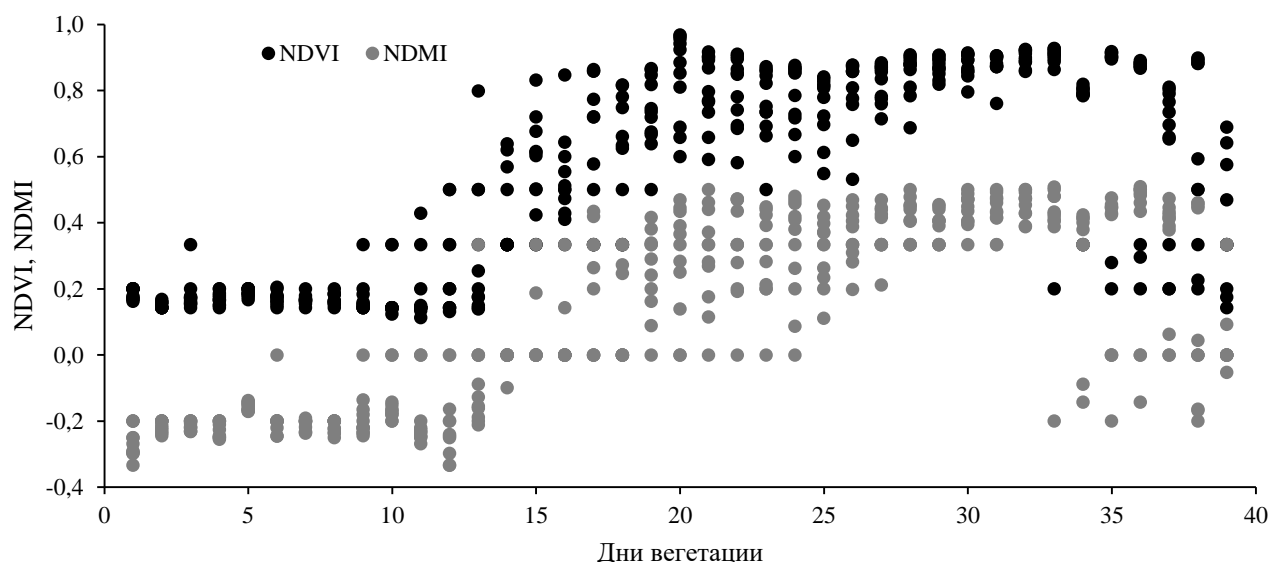


Рисунок 2 – Хронологические дата-группы медианных значений спектральных индексов NDVI и NDMI

На рисунке 3 приведены выборочные снимки «true color» и спектральных нормализованных разностных вегетационных NDVI и влажностных NDMI индексов за отдельные даты наблюдений. Необходимо отметить, что скроки вегетации столовой моркови (*Daucus carota*) на полях отличались. Однако в среднем начало вегетации пришлось на 1 декаду июня, а продолжилось до конца октября. Общий период составил около 140 дней, что соответствует позднеспелым сортам моркови.

Для оценки корреляционной связи между индексами NDVI и NDMI проверялась гипотеза об отсутствии статистических признаков нормального распределения случайных величин. Для этого оценивался W -критерий Шапиро-Уилки, U -критерий Манни-Уитни, коэффициенты асимметрии C_s , эксцесса C_k и вариации C_v , а также сравнивались дисперсии выборок s^2 . Для исследования корреляционной связи между данными использовался r_s – ранговый коэффициент Спирмена. Статистически значимыми считались различия при уровне $p = 0,01$.

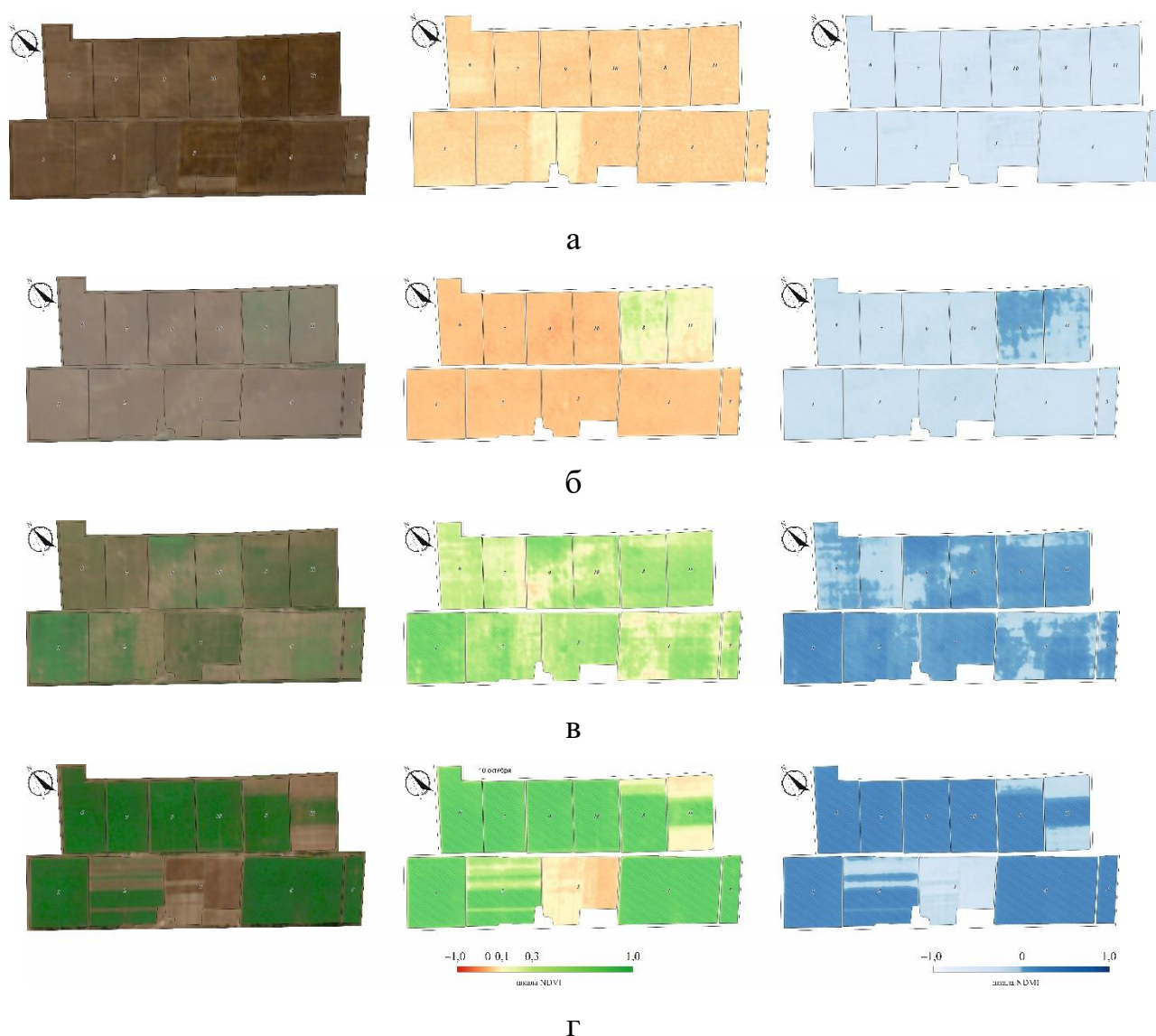


Рисунок 3 – Хронологические снимки «true color» и карты распределения спектральных индексов NDVI и NDMI: а – 1 апреля; б – 5 июня; в – 15 июля; г – 10 октября

Результаты и обсуждение

Оценка соответствия выборок медианных значений NDVI и NDMI нормальному распределению выполнена с помощью W -критерия Шапиро-Уилки. Для этого проверялась гипотеза о превышении расчетной величины критерия W над критическим значением $W_{cr} = 0,917$ для соответствующего уровня значимости $p = 0,01$. Для всех наблюдаемых значений вегетационного индекса NDVI расчетный критерий W находится в диапазоне 0,748...0,871, для индекса влажности NDMI – 0,748...0,884. То есть рассматриваемые

выборки статистически достоверно не являются нормально распределенными.

Указанная особенность объясняется следующими параметрами. Выборки NDVI имеют преимущественно левостороннюю асимметрию, значения коэффициента асимметрии C_s преимущественно отрицательные и находятся в диапазоне $-0,5...0,2$. Эксцесс выборок NDVI платикуртический (отрицательный) с коэффициентами $C_k \in [-1,9; -1,4]$, что хорошо заметно на хронологическом графике (см. рисунок 2) из-за отсутствия характерных для нормального распределения перегибов в окрестности максимума. Коэффициенты асимметрии выборок NDMI находятся в диапазоне $-0,4...0,2$, что может указывать на слабое симметричное распределение. Однако коэффициенты $C_k \in [-1,8; -1,5]$ указывают на отрицательный эксцесс. Обращает на себя внимание близкие по значению диапазоны C_s и C_k , что может указывать на один и тот же тип распределения случайной величины. Однако данный вопрос в настоящем исследовании не рассматривался.

Также сравнивались дисперсии выборок: $s^2(\text{NDVI}_i)$ и $s^2(\text{NDMI}_i)$, где i – номер одного и того же поля. Для всех исследуемых участков в период наблюдений $s^2(\text{NDVI}_i) \in [0,084; 0,114]$ и $s^2(\text{NDMI}_i) \in [0,063; 0,097]$. При этом среднеквадратическое отклонение s указывает на то, что среднее значение выборок вегетационного индекса за период наблюдений колеблется примерно на $\pm(0,290...0,337)$, а для индекса влажности – на $\pm(0,250...0,312)$. Коэффициенты вариации C_v выборок медианных значений NDVI и NDMI за весь период вегетации крайне высокие и составляют $0,474...0,681$ и $1,552...3,625$ соответственно. Это типично при рассмотрении генерализованных выборок, коэффициенты вариации C_v за отдельные даты наблюдений обычно не превышают $0,2$.

Тест Манни-Уитни показал статистически значимые различия между выборками вегетационного индекса NDVI и индекса влажности NDMI. Расчетные значения критерия Манни-Уитни составляют $U \in [212; 360]$ и меньше критического значения $U_{cr} = 527$ (уровень значимости $p = 0,01$).

Однако это также не указывает на статистическую значимость в различии типа распределения. Данный вопрос является предметом дальнейших исследований автора.

Поскольку анализируемые значения NDVI и NDMI распределены не по нормальному закону, то применение коэффициента Пирсона невозможно. Для исследования корреляционной связи между данными использовался r_s – ранговый коэффициент Спирмена (таблица 1). Статистическая значимость результатов оценена по коэффициенту Стьюдента (таблица 2). Конкурирующая гипотеза об отсутствии связи проверялась при уровне значимости $p = 0,01$ для критического значения $t_{кр} = 2,708$. В таблицах цветами выполнена классификация силы корреляционной связи и ее статистической значимости.

Таблица 1 – Значения коэффициента r_s ранговой корреляции Спирмена между NDVI и NDMI

Индексы	NDMI											
	№ поля	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
NDVI	1	0,94	0,64	0,41	0,81	0,83	0,77	0,82	0,67	0,87	0,87	0,43
	2	0,67	0,91	0,68	0,82	0,82	0,79	0,77	0,74	0,70	0,68	0,73
	3	0,46	0,75	0,88	0,58	0,61	0,66	0,61	0,70	0,45	0,45	0,86
	4	0,80	0,84	0,62	0,93	0,93	0,90	0,88	0,84	0,84	0,85	0,69
	5	0,83	0,83	0,64	0,88	0,95	0,89	0,90	0,81	0,85	0,84	0,68
	6	0,80	0,79	0,61	0,85	0,87	0,88	0,90	0,82	0,82	0,84	0,72
	7	0,79	0,78	0,62	0,84	0,87	0,90	0,91	0,81	0,83	0,84	0,74
	8	0,72	0,82	0,68	0,84	0,86	0,86	0,84	0,85	0,71	0,75	0,84
	9	0,91	0,73	0,48	0,87	0,91	0,86	0,91	0,76	0,94	0,92	0,54
	10	0,86	0,68	0,45	0,83	0,84	0,83	0,90	0,75	0,88	0,91	0,58
	11	0,42	0,77	0,82	0,58	0,62	0,68	0,64	0,75	0,41	0,44	0,93

Таблица 2 – Эмпирические значения критических точек $p-t_{кр}$ коэффициента Стьюдента при уровне значимости $p = 0,01$

Индексы	NDMI											
	№ поля	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
NDVI	1	16,97	5,01	2,76	8,44	9,16	7,24	8,73	5,43	10,98	10,65	2,93
	2	5,45	13,17	5,67	8,70	8,86	7,89	7,34	6,78	5,99	5,66	6,55
	3	3,12	6,95	11,08	4,31	4,65	5,37	4,72	6,00	3,06	3,05	10,18
	4	8,20	9,56	4,76	15,00	15,17	12,68	11,26	9,60	9,53	9,73	5,88
	5	8,98	8,91	5,06	11,35	19,45	12,10	12,31	8,34	9,83	9,45	5,68
	6	8,04	7,71	4,72	9,86	10,53	11,20	12,49	8,77	8,78	9,35	6,39
	7	7,76	7,65	4,80	9,53	10,71	12,22	13,33	8,34	8,94	9,55	6,68
	8	6,27	8,56	5,59	9,49	10,09	10,39	9,57	9,70	6,06	6,95	9,49

9	13,79	6,46	3,36	10,67	13,76	10,12	13,22	7,13	16,31	14,10	3,87
10	10,07	5,59	3,04	8,93	9,36	8,88	12,30	6,93	11,17	13,37	4,33
11	2,78	7,38	8,70	4,34	4,76	5,61	5,12	6,80	2,71	2,98	15,94

Из приведенных данных видно, что значения NDVI и NDMI статистически достоверно коррелируют с уровнем значимости $p = 0,01$. Коэффициенты r_s ранговой корреляции Спирмена находятся в диапазоне $0,41 \dots 0,95$, то есть в зонах умеренной и сильной корреляционной связи. При этом парные значения NDVI и NDMI одного поля достоверно коррелируют с коэффициентами $r_s \in [0,85; 0,95]$ при более высоком уровне значимости $p = 0,001$ для критических значений коэффициента Стьюдента $p-t_{кр} \in [9,70; 19,45]$. Главная диагональ корреляционной матрицы (таблица 1) показывает, что при повышении значений индекса NDMI (и снижения дефицита влаги в посевах) достоверно улучшается состояние растений столовой моркови (*Daucus carota*), которое оценивают по значению вегетационного индекса NDVI.

Выводы

В исследовании показано, что между значениями спектральных индексов NDVI и NDMI существует сильная положительная корреляционная связь. С практической точки зрения эти результаты показывают важность использования значений обоих показателей при интерпретации данных дистанционного зондирования. При решении частных задач мониторинга, например, при оценке спектральных маркеров или эффективности орошения, это является ключевым аспектом в анализе данных. Дальнейшие исследования автора связаны с оценкой видов распределения спектральных индексов NDVI и NDMI.

Литература

1. An inclusive approach to crop soil moisture estimation: Leveraging satellite thermal infrared bands and vegetation indices on Google Earth engine / Imtiaz, F., Farooque, A. A., Randhawa, G. S., Wang, X., Esau, T. J., Acharya, B., & Hashemi

- Garmdareh, S. E. // *Agricultural Water Management*, 2024, Vol. 306. DOI: 10.1016/j.agwat.2024.109172.
2. Evaluation and Correlation of Sentinel-2 NDVI and NDMI in Kyiv (2017-2021) / Strashok, O., Ziemiańska, M., & Strashok, V. // *Journal of Ecological Engineering*, 2022. Vol. 23(9), P. 212–218. DOI: 10.12911/22998993/151884.
3. Агроэкологическая оценка зависимости вегетационной активности посевов / Н. Г. Курмашева, Ф. Ф. Авсахов, Р. Ш. Иргалина, Р. Г. Ягафаров // *АгроЭкоИнфо*. 2024. № 5(65). EDN: UGQIDW.
4. Дмитриев П. А., Козловский Б. Л., Дмитриева А. А., Вардуни Т. В., Влияние компоновки побегов сосны при гиперспектральной съемке в лабораторных условиях на статистические характеристики вегетационных индексов // *Живые и биокосные системы*. 2023. № 4. DOI: 10.18522/2308-9709-2023-46-3.
5. Detecting climate change effects on forest ecosystems in Southwestern Romania using Landsat TM NDVI data / Pravalie, R., Sîrodov, I., & Peptenatu, D. // *Journal of Geographical Sciences*. 2014. Vol. 24(5), P. 815–832. DOI: 10.1007/s11442-014-1122-2.
6. Анализ трендов временных рядов вегетационного индекса NDVI / М. Ю. Катаев, А. А. Бекеров, П. В. Шалда // *Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники*. 2017. Т. 20, № 1. С. 81–84. DOI: 10.21293/1818-0442-2017-20-1-81-84. EDN: ZATNAH.
7. К вопросу о ретроспективном картографировании прибрежно-водной растительности мелиоративных водоемов / С. С. Смелова // *Экология и строительство*. 2025. № 2. С. 14–23. DOI: 10.35688/2413-8452-2025-02-002. EDN: OZOUSQ.
8. Спектральная отражательная способность почв Мильской степи Азербайджана в зависимости от их химических и физических свойств / С. А. Кочарли, М. Г. Мустафаев, Э. М. Ахмедзаде [и др.] // *Экология и строительство*. 2025. № 1. С. 4–11. DOI: 10.35688/2413-8452-2025-01-001. EDN: VWMAIW.

9. Кочарли С.А., Мустафаев М.Г., Велиева З.М., Ахмедзаде Э.М. Взаимосвязь между агрофизическими свойствами и спектрофотометрическими показателями почв Кура-Аразской низменности Азербайджана // Экология и строительство. 2026. No 1. С. 4–10. DOI: 10.35688/2413-8452-2026-01-001.

References

1. An inclusive approach to crop soil moisture estimation: Leveraging satellite thermal infrared bands and vegetation indices on Google Earth engine / Imtiaz, F., Farooque, A. A., Randhawa, G. S., Wang, X., Esau, T. J., Acharya, B., & Hashemi Garmdareh, S. E. // Agricultural Water Management, 2024, Vol. 306. DOI: 10.1016/j.agwat.2024.109172.
2. Evaluation and Correlation of Sentinel-2 NDVI and NDMI in Kyiv (2017-2021) / Strashok, O., Ziemiańska, M., & Strashok, V. // Journal of Ecological Engineering, 2022. Vol. 23(9), P. 212–218. DOI: 10.12911/22998993/151884.
3. Agroekologicheskaya otsenka zavisimosti vegetatsionnoi aktivnosti posevov / N. G. Kurmasheva, F. F. Avsakhov, R. Sh. Irgalina, R. G. Yagafarov // AgroEhkoInfo. 2024. № 5(65). EDN: UGQIDW.
4. Dmitriev P. A., Kozlovskii B. L., Dmitrieva A. A., Varduni T. V., Vliyanie komponovki pobegov sosny pri giperspektral'noi s'emke v laboratornykh usloviyakh na statisticheskie kharakteristiki vegetatsionnykh indeksov // Zhivye i biokosnye sistemy. 2023. № 4. DOI: 10.18522/2308-9709-2023-46-3.
5. Detecting climate change effects on forest ecosystems in Southwestern Romania using Landsat TM NDVI data / Pravalie, R., Sîrodov, I., & Peptenatu, D. // Journal of Geographical Sciences. 2014. Vol. 24(5), P. 815–832. DOI: 10.1007/s11442-014-1122-2.
6. Analiz trendov vremennykh ryadov vegetatsionnogo indeksa NDVI / M. Yu. Kataev, A. A. Bekerov, P. V. Shalda // Doklady Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravleniya i radioelektroniki. 2017. T. 20, № 1. S. 81-84. DOI: 10.21293/1818-0442-2017-20-1-81-84. EDN: ZATNAH.

7. K voprosu o retrospektivnom kartografirovanii pribrezhno-vodnoi rastitel'nosti meliorativnykh vodoemov / S. S. Smelova // *Ehkologiya i stroitel'stvo*. 2025. № 2. S. 14-23. DOI: 10.35688/2413-8452-2025-02-002. EDN: OZOUSQ.
8. Spektral'naya otrazhatel'naya sposobnost' pochv Mil'skoi stepi Azerbaidzhana v zavisimosti ot ikh khimicheskikh i fizicheskikh svoistv / S. A. Kocharli, M. G. Mustafaev, Eh. M. Akhmedzade [i dr.] // *Ehkologiya i stroitel'stvo*. 2025. № 1. S. 4-11. DOI: 10.35688/2413-8452-2025-01-001. EDN: VWMAYW.
9. Kocharli S.A., Mustafaev M.G., Velieva Z.M., Akhmedzade Eh.M. Vzaimosvyaz' mezhdru agrofizicheskimi svoistvami i spektrofotometricheskimi pokazatelyami pochv Kura-Arazskoi nizmennosti Azerbaidzhana // *Ehkologiya i stroitel'stvo*. 2026. No 1. C. 4–10. DOI: 10.35688/2413-8452-2026-01-001.

© Зверьков М.С., 2026. *International agricultural journal*, 2026, № 3, 110- 123.