Научная статья

Original article

УДК 528.94

DOI 10.55186/25876740_2024_8_3_13

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО ИНДЕКСА NDVI ДЛЯ ОЦЕНКИ ГОТОВНОСТИ МЕЛИОРАТИВНОЙ СИСТЕМЫ К ВЕГЕТАЦИОННОМУ ПЕРИОДУ

THE POSSIBILITY ASSESSMENT OF USING THE NDVI SPECTRAL INDEX TO ASSESS THE READINESS OF THE RECLAMATION SYSTEM FOR THE GROWING SEASON

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

Смелова Светлана Станиславовна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт «Радуга» (пос. Радужный, д. 38, Коломна, Московская обл., Россия, 140483); доцент, Коломенский институт (филиал) Московского политехнического университета (ул. Октябрьской революции, д. 408, г. Коломна, Московская обл., Россия, 140402), ORCID: https://orcid.org/0009-0009-1717-0026, 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

Svetlana Stanislavovna Smelova, candidate of biological sciences, senior researcher, Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Scientific Research Institute «Raduga» (Raduzhny village, 38, Kolomna, Moscow region, Russia, 140483), associate professor, Kolomna Institute (branch) Moscow Polytechnic University (408 Oktyabrskaya revolyutsii str., Kolomna, Moscow Region, Russia, 140402), ORCID: https://orcid.org/0009-0009-1717-0026, rad_sc@bk.ru

Аннотация. Цель данной работы заключалась в анализе возможности использования спектрального индекса NDVI для оценки готовности к вегетационному периоду участка мелиоративной системы, расположенной в пойме реки Москвы на территории Коломенского городского округа Московской области. Одним из показателей готовности мелиоративной системы является отсутствие на поверхности почвы участков аккумуляции поверхностных вод (в том числе полых, поверхностного стока, наличия зон затопления и др.). В результате анализа установлено, что для NDVI за 28.05 значения в зонах затопления полыми водами составило 0,136…0,284, за 19.05 – 0,074…0,232, за 03.05 – 0,048…0,172, за 19.04 – 0,008…0,126. Необходимо отметить, что водная гладь (р. Москва) в указанный период имеет NDVI < –0,002. Это обстоятельство позволяет сделать вывод, что дешифрирование спектральных снимков NDVI для оценки готовности участка мелиоративной системы к вегетационному периоду по степени схождения поверхностных вод может быть выполнено с помощью дополнительных инструментов анализа, например, модели расчета «Terrain Analyses – Channels – Channel Network and Drainage Basins».

Abstract. The purpose of this work was to analyze the possibility of using the NDVI spectral index to assess the readiness of a section of the reclamation system for the growing season, located in the floodplain of the Moscow River in the Kolomensky urban district of the Moscow Region. One of the indicators of the readiness of the reclamation system is the absence of surface water accumulation areas on the soil surface (including hollow ones, surface runoff, the presence of flood zones, etc.). As a

result of the analysis, it was established that for NDVI for 28.05 the values in the zones of flooding with hollow waters were 0,136... 0,284, for 19.05 – 0,074... 0,232, for 03.05 – 0,048... 0,172, for 19.04 – 0,008... 0,126. It should be noted that water (Moscow River) during the specified period has NDVI < –0,002. This allows us to conclude that the interpretation of NDVI spectral images to assess the readiness of a section of the reclamation system for the growing season based on the degree of convergence of surface waters can be performed using additional analysis tools, for example, using «Terrain Analyses – Channels – Channel Network and Drainage Bases» calculation model.

Ключевые слова: *мелиорация, почва, NDVI, дистанционное зондирование, спутниковый снимок, Landsat, QGIS, SAGA GIS, Google Earth.*

Keywords: *reclamation, soil, NDVI, remote sensing, satellite image, Landsat, QGIS, SAGA GIS, Google Earth.*

Введение

Оценка готовности мелиоративной системы к эксплуатационному периоду регламентируется различными нормативными правовыми актами Российской Федерации [1, 2, 3]. В общем случае такая оценка проводится службами эксплуатации, которая для сбора данных использует инструментальные методы натурных обследований мелиоративных объектов, анализирует и принимает решения для коррекции их состояния. На практике такую функцию выполняют управления мелиорацией и водным хозяйством субъектов Российской Федерации (подведомственные Минсельхозу России учреждения). Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций (ФАО) [4], сотрудники научных организаций [5, 6], практики, руководители и специалисты Минсельхоза России активно используют термин «цифровое сельское хозяйство» [7] и применительно к мелиоративной отрасли — «цифровая мелиорация» [8]. Одним из компонентов цифровизации является сбор и анализ больших данных, в том числе с использованием современных технологий, например, дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) [5, 7]. Интерпретация данных ДЗЗ для оценки различных показателей состояния мелиоративных систем и

степени их готовности для эксплуатации в очередной вегетационный период является актуальной научной проблемой. Так, известны работы по описанию ретроспективы берегоукрепительных работ (Manjusree et al. [9]); при районировании почв по степени проявления эрозионных процессов [10]; при эксплуатации гидромелиоративных систем [5] и гидротехнических сооружений мелиоративного комплекса [11]; при анализе изменений и тенденций текущих процессов в речных бассейнах (Kaliraj et al. [12]); анализе трендов потоков суммарного испарения [13] и во многих других случаях. Традиционный подход предполагает натурные изыскания [14, 15, 16, 17], которые на практике вызывают трудности, в первую очередь из-за достаточно больших площадей мелиоративных систем.

Цель данной **работы** заключалась в анализе возможности использования спектрального индекса NDVI для оценки готовности к вегетационному периоду участка мелиоративной системы, расположенной в пойме реки Москвы на территории Коломенского городского округа Московской области. Одним из показателей готовности мелиоративной системы является отсутствие на поверхности почвы участков аккумуляции поверхностных вод (в том числе полых, поверхностного стока, наличия зон затопления и др.). **Научная новизна** заключается в том, что установлена связь между значениями индекса NDVI и зонами аккумуляции поверхностных вод за период половодья. **Практическая значимость** работы состоит в том, что приведенные методика исследования и результаты анализа данных дистанционного зондирования Земли могут быть использованы эксплуатирующими организациями для оценки готовности мелиоративной системы к вегетационному периоду.

Методы и методология проведения исследования

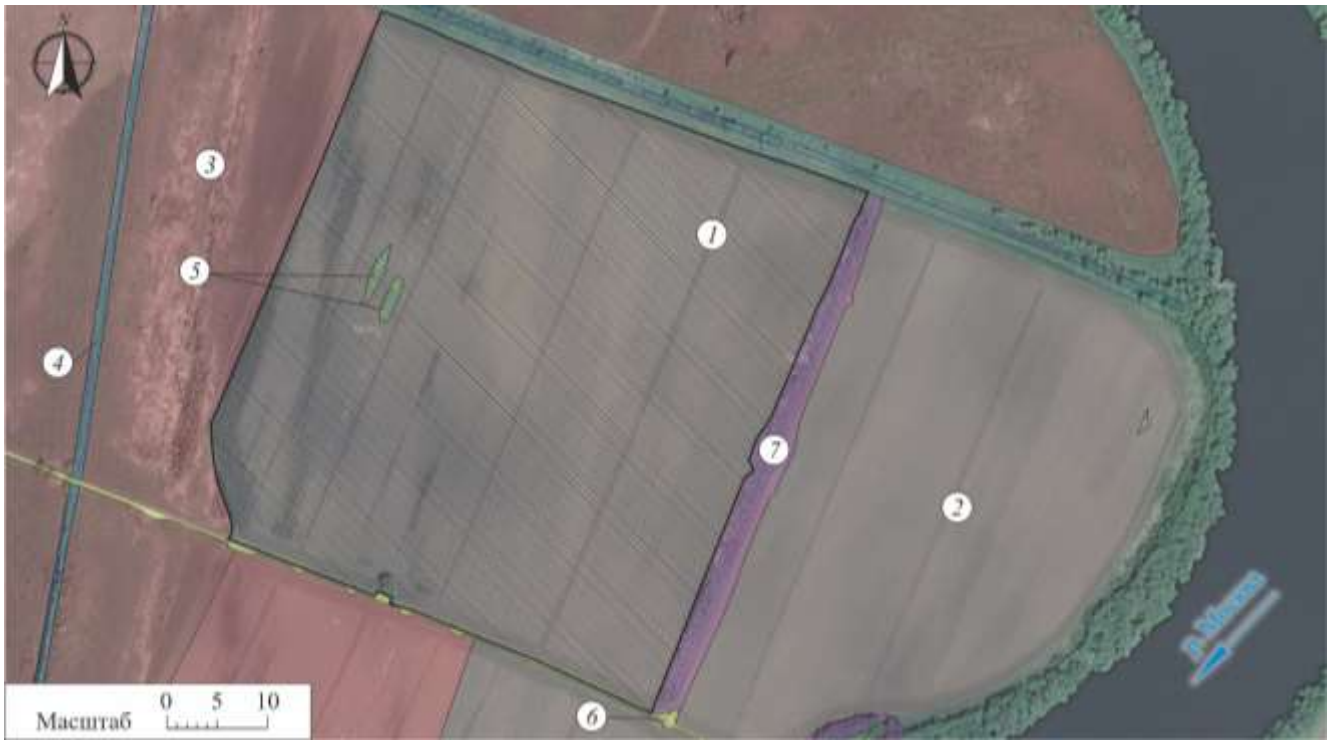
Картографирование участка гидромелиоративной системы выполнено в среде программы QGIS (ver. 3.28.1 «Firenze»). Исходная система координат- WGS 84 (Pseudo-Mercator, EPGS:3857) выбрана вследствие наилучшего совпадения спутниковых снимков семейства «Landsat/Copernicus» с исходными подложками используемых геоинформационных программных комплексов.

Участок закрытой оросительной системы на землях ФГУП ЭПХ ВНИИ «Радуга» расположен в пойме р. Москвы на территории Коломенского городского округа Московской области. Общая площадь системы 113,9 га, общая площадь изучаемого участка – 18,5 га. Общая оценка технического состояния по данным портала «РадугаИнформ» (режим доступа: https://inform-raduga.ru/) – «система работоспособная», фактический физический износ – 50%. Для моделирования процессов накопления влаги на поверхности почвы использована цифровая модель рельефа «Google Earth – Digital Elevation Model (DEM)» (рисунок 1).

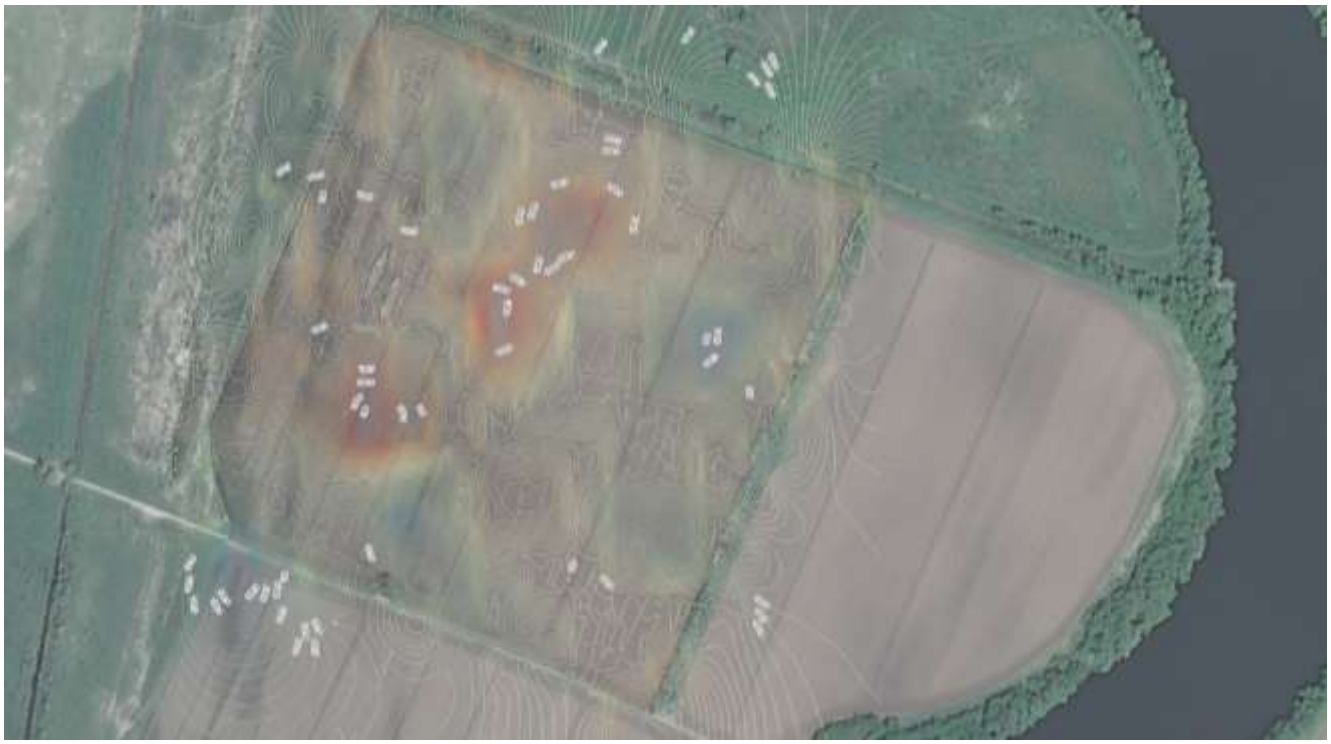
Для спектрального анализа выбраны безоблачные периоды 10 апреля, 4, 19 и 28 мая 2024 г. Использованы снимки спутника Landsat 9 (NASA / the United States Geological Survey) в спектральных каналах B5 (NIR – ближний инфракрасный диапазон длин волн, 865 нм) и B4 (Red – видимое излучение, красная зона, 665 нм) за указанные даты. По этим данным с помощь инструмента «Растровый калькулятор» в среде программы QGIS (ver. 3.28.1 «Firenze») вычислялись спектральные индексы NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – показатель отражения и поглощения растениями солнечной радиации, позволяющий выявлять проблемные участки поля. Например, аномально высокие значения индекса NDVI, вероятнее всего, свидетельствуют о сорной растительности, слишком низкие – о возможном повреждении растений вредителями или заболеваниях культур. С помощью данного индекса возможно выявить участки поля с низким почвенным плодородием, например, в результате эрозии или других деградационных процессов. Формула расчета индекса следующая:

$$\mathrm{NDVI} = \frac{\mathrm{NIR} - \mathrm{Red}}{\mathrm{NIR} + \mathrm{Red}}.$$

Вычисление площадей зон индекса NDVI выполнено для векторизованных данных с помощью функции $area для установленных в проекте эллипсоида и единиц площади.



А



Б

Рисунок 1 – Мелиоративная система: А – части системы; Б – изучаемый участок с цифровой моделью рельефа: *1* – контур изучаемого участка; *2* – мелиорируемая пашня; *3* – неиспользуемая пашня; *4* – канал; *5* – сооружения (сеть, гидранты); *6* – дорога; *7* – прочие земли

Геоинформационное моделирование выполнено в среде программы SAGA GIS 9.3.1. Использованы модели «Terrain Analyses – Channels – Watershed Basins» (WB) и «Terrain Analyses – Channels – Channel Network and Drainage Basins» (DB). Данные расчетов импортировались в программу QGIS (ver. 3.28.1 «Firenze»).

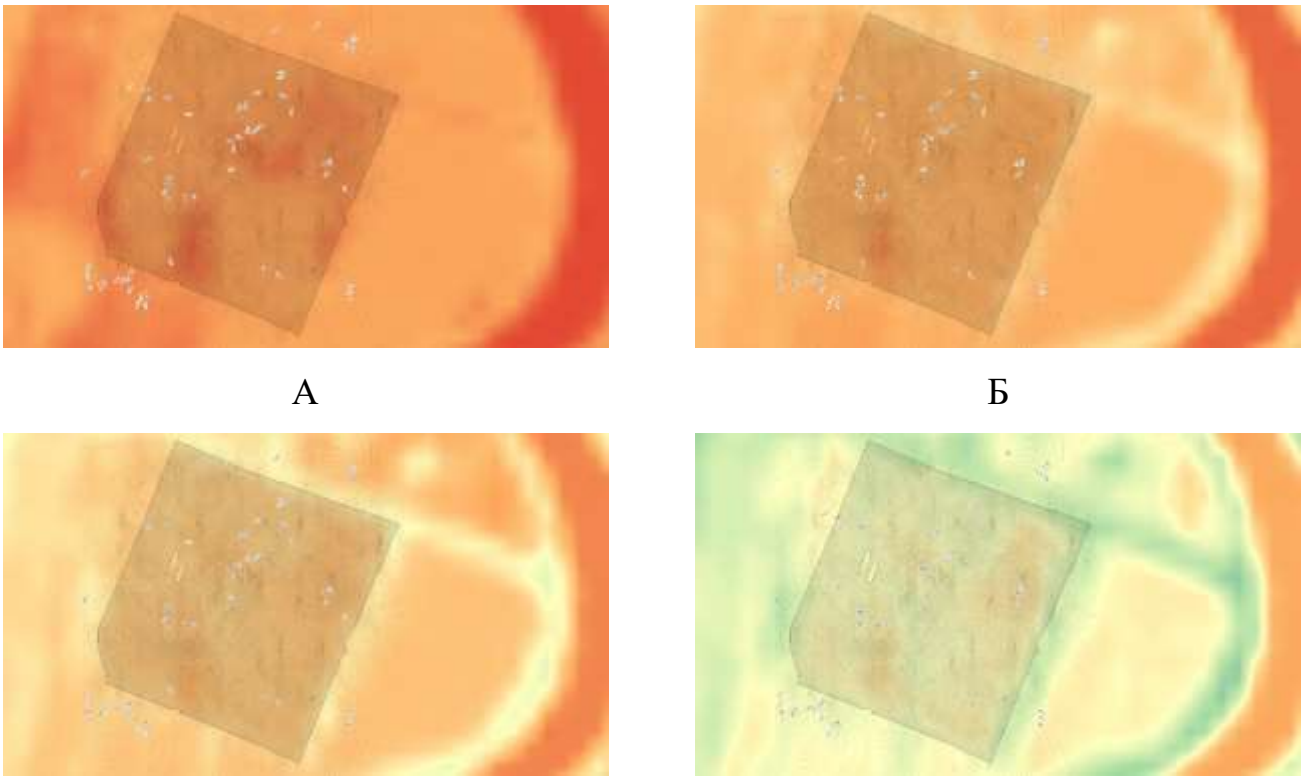
Значения NDVI, WB и DB группировались по диапазонам спектра, занимаемой ими на карте области (площади) и использовались для корреляционного анализа. Для спектральных индексов вычислены данные зональной статистики (средние *mean*, минимальные *min* и максимальные *max* значения).

В качестве дополнительной информации использовались данные расположенной на границе мелиоративной системы метеорологической станции Коломна (WMO 27625) за вышеуказанные даты, в том числе («срочные» данные) температура t (°C) и относительная влажность w (%) воздуха на высоте 2 м от поверхности земли, количество выпавших осадков, а также скорость ветра v (м/с) на высоте 10…12 м от поверхности земли и количество выпавших осадков P (мм). По значениям этих метеопараметров с помощью модифицированной формулы Н.Н. Иванова (формула Н.В. Данильченко) получен ряд данных испаряемости ET_0 (мм):

$$ET_0 = 0{,}0061(25 + t)2(1 – 0{,}01w)0{,}64(1 + 0{,}19v).$$

3. Результаты и обсуждение

На рисунке 2 приведены результаты расчета индекса NDVI, на рисунке 3 – данные зональной статистики. Обращает на себя внимание, с одной стороны, уменьшение максимальных (от 0,97 за 10 апреля до 0,60 за 28 мая) и минимальных (от –0,14 до –0,19) значений индекса NDVI, а с другой – увеличение средних значений от 0,12 до 0,32. Это может быть связано со увеличением доли площадей с возобновленной вегетацией.



А Б

В Г

Рисунок 2 – Растры индексов NDVI: А – за 10.04.2024 г.; Б – за 03.05.2024 г.; В – за 19.05.2024 г.; Г – за 28.05.2024 г.

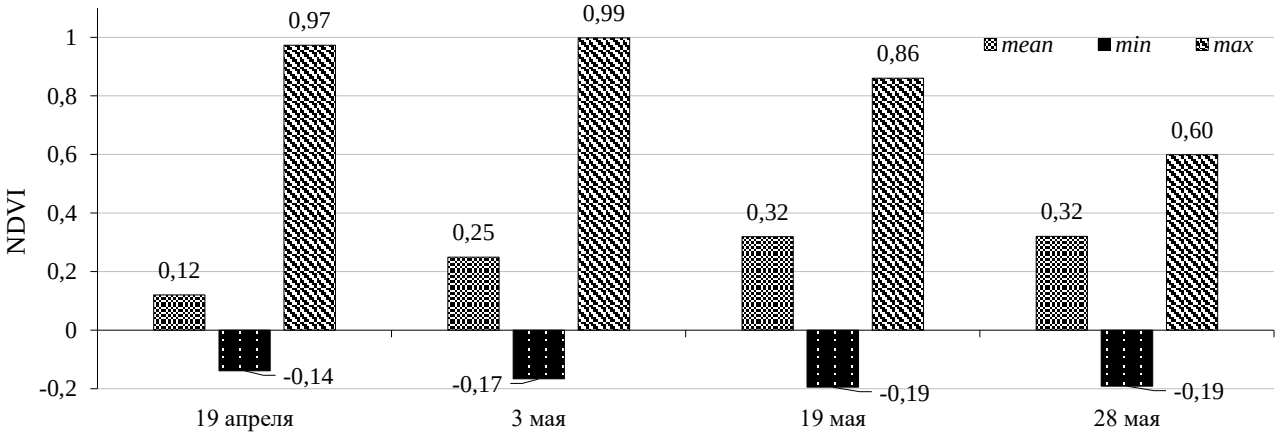
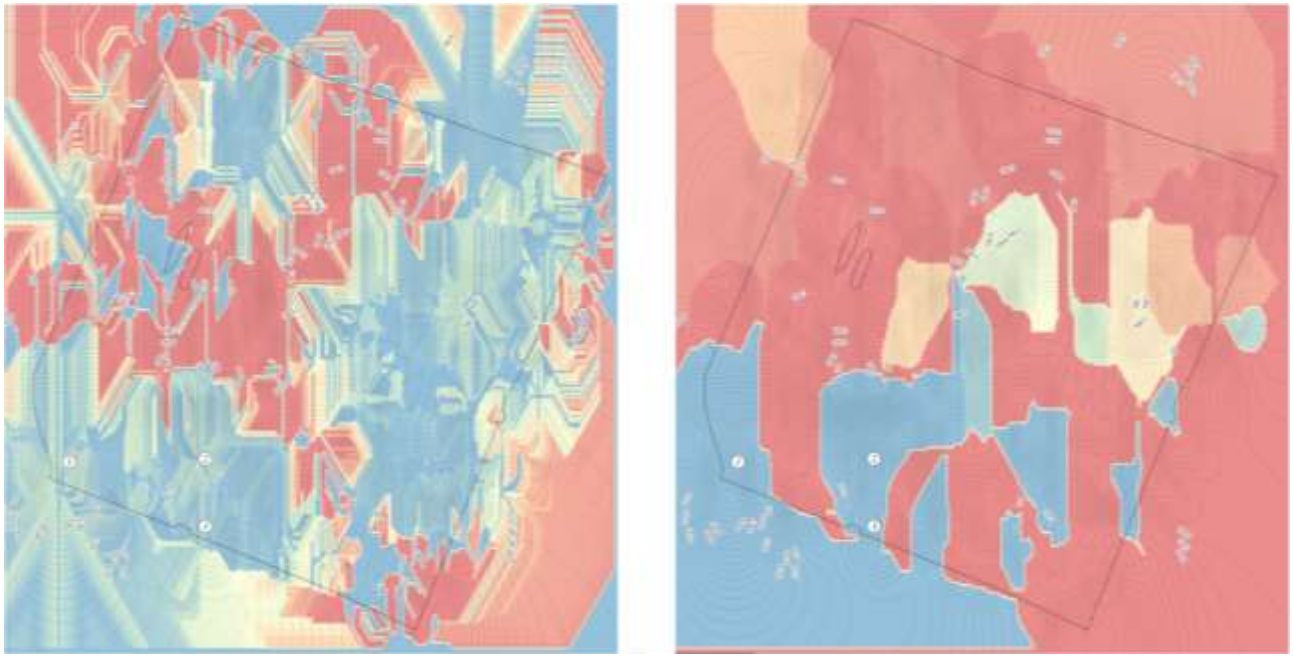


Рисунок 3 – Данные зональной статистики NDVI

На рисунке 4 приведены результаты геоинформационного моделирования по моделям «Terrain Analyses – Channels – Watershed Basins» (WB) и «Terrain Analyses – Channels – Channel Network and Drainage Basins» (DB). На растре WB красные зоны приурочены к командным точкам рельефа, откуда преимущественно формируется сток; синие зоны – области наименьшего влияния

на формирование стоковых потоков (точки рельефа с минимальными отметками). На растре DB отчетливо видны зоны вероятного накопления поверхностного стока. В результате натурного обследования мелиорируемого участка установлено, что зоны соответствуют местам накопления поверхностного стока.



А Б

Г Д Е

Рисунок 4 – Результаты геоинформационного моделирования: А – WB; Б – DB; В, Г, Д – фотографии состояния анализируемого участка 19.05.2024 г. и соответствующие им ракурсы *1*, *2*, *3*

Для проверки гипотезы о возможности использования данных NDVI при оценке готовности участка мелиоративной системы к вегетационному периоду выполнен статистический анализ по определению связи между площадями зон целевых спектров. В качестве целевых значений спектров установлены диапазоны

для NDVI, WB и DB – в зонах аккумуляции воды. В результате статистического анализа получена корреляционная матрица (см. таблицу).

Таблица – Корреляционная матрица

Параметры	NDVI 10.04	NDVI 03.05	NDVI 19.05	NDVI 28.05	WB	DB
NDVI 10.04	1,0	–0,28	–0,31	–0,21	–0,45	0,81
NDVI 03.05	–0,28	1,0	0,99	0,99	0,05	0,81
NDVI 19.05	–0,31	0,99	1,0	0,99	0,06	0,82
NDVI 28.05	–0,21	0,99	0,99	1,0	0,05	0,81
WB	–0,45	0,05	0,06	0,05	1,0	0,61
DB	–0,56	0,81	0,82	0,81	0,99	1,0

Связь между NDVI за 10.04 с данными за май обратная очень слабая (корреляция –0,21…–0,31), в то же время данные NDVI за май имеют между собой сильную прямую корреляционную связь (+0,99). Это может быть объяснено тем, что на NDVI за 10.04 могло повлиять практически повсеместное наличие полых вод на поле, а также низкое значение испаряемости ET_0 (суммарно 7,57…17,24 мм) и выпавшие осадки P = 3,7 мм накануне 9.04 (см. рисунок 5). В тоже время схождение полых вод и очаговое возобновление вегетации (в данном случае рудеральная растительность) в мае показывают высокую связь между данными NDVI за этот период. С 05.05 по 18.05 выпало 73,9 мм осадков, несмотря на высокую суммарную испаряемость за этот период (224,1 мм) , полые воды еще не сошли с поля (см. рисунки 4Г, 4Д, 4Е).

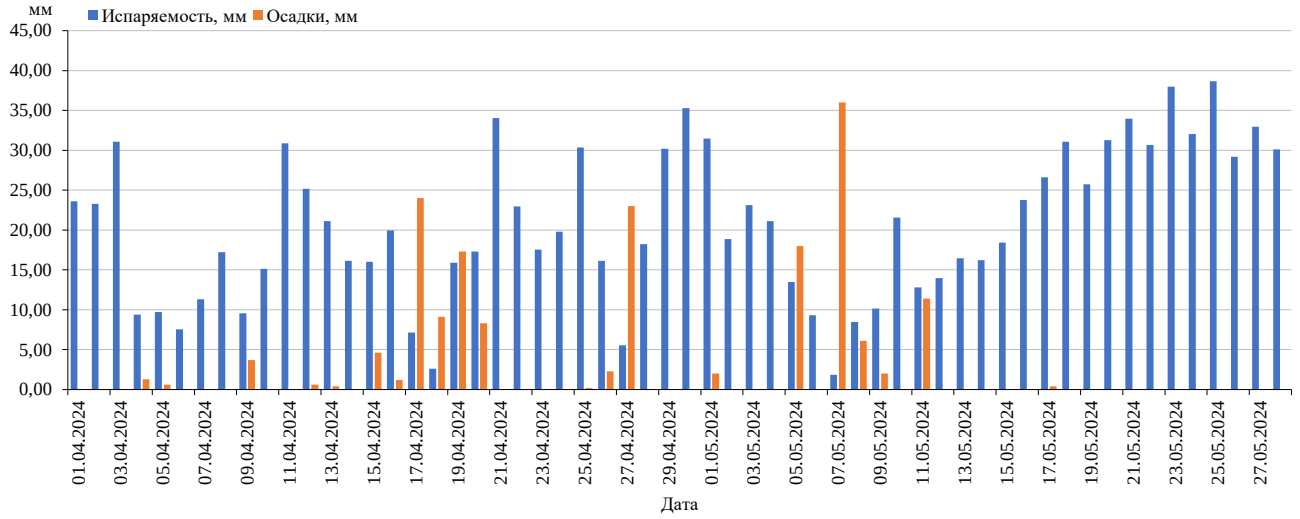


Рисунок 5 – Метеорологическая обстановка на участке обследования

Связь NDVI с WB слабая отрицательная (–0,45) только с данными за 10.04, а с данными за май отсутствует (корреляция 0,05…0,06). Это позволяет предположить, что модель «Terrain Analyses – Channels – Watershed Basins» (WB) и ее связь необходимо проверить на данных NDVI за более ранний период, когда наблюдается активное снеготаяние и «эффект» водосборной площади может иметь влияние на данные NDVI.

Установлена очевидная связь NDVI с DB (корреляция 0,81…0,82). Модель «Terrain Analyses – Channels – Channel Network and Drainage Basins» (DB) может быть использована для оценки готовности участка мелиоративной системы к вегетационному периоду по степени схождения поверхностных вод.

Выводы

В результате анализа установлено, что для NDVI за 28.05 значения в зонах затопления полыми водами составило 0,136…0,284, за 19.05 – 0,074…0,232, за 03.05 – 0,048…0,172, за 19.04 – 0,008…0,126. Необходимо отметить, что водная гладь (р. Москва) в указанный период имеет NDVI < –0,002. Это обстоятельство позволяет сделать вывод, что дешифрирование спектральных снимков NDVI для оценки готовности участка мелиоративной системы к вегетационному периоду по степени схождения поверхностных вод может быть выполнено с помощью дополнительных инструментов анализа, например, модели расчета «Terrain Analyses – Channels – Channel Network and Drainage Basins».

Литература

1. О мелиорации земель / Федеральный закон № 4-ФЗ от 10 января 1996 г. [Электронный ресурс]. URL: https://docs.cntd.ru/document/9015302 (Дата обращения 28.05.2024 г.).

2. Системы и сооружения мелиоративные. Правила обследования и мониторинга технического состояния / ГОСТ Р 70611-2022. М.: Росстандарт [Электронный ресурс]. URL: https://docs.cntd.ru/document/1300337598 (Дата обращения 28.05.2024 г.).

3. Мелиорация земель. Методика оценки дистанционными методами технического и экологического состояния / ГОСТ Р 70611-2022. М.: Росстандарт [Электронный ресурс]. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200195123 (Дата обращения 28.05.2024 г.).

4. Jin Leshan, Li He, Li Ying, Du Dan. E-Agriculture in action / Bangkok, FAO and ITU, 2017. 118 p.

5. Касьянов А. Е. Маркерные участки цифровой мелиорации сельскохозяйственных земель // Экология и строительство. 2020. № 3. С. 21–24. doi: 10.35688/2413-8452-2020-03-003.

6. K. Guravaiah and S. S. Raju, “e-Agriculture: Irrigation System based on Weather Forecasting,” 2020 IEEE 15th International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS), 2020, pp. 617-622, doi: 10.1109/ ICIIS51140.2020.9342739.

7. Ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство»: официальное издание. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. — 48 с.

8. Захарова О.А., Кучер Д.Е., Машкова Е.И., Евсенкин К.Н., Мусаев Ф.А. Мелиорация земель и возможность ее цифровизации // Природообустройство. 2021. № 4. С. 31-37. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-4-31-37.

9. Manjusree P, Satyanarayana P, CM Bhatt, Sharma SVSP, Srinivasa Rao G, 2013. Remote Sensing and GIS for river morphology studies / Researchgate, pp. 1-5. / URL: https://www.researchgate.net/publication/260317105_REMOTE_SENSING_AND_GIS_FOR_RIVER_MORPHOLOGY_STUDIES.

10. Гурбанов Э. А., Вердиев С. Б., Газиева П. Ч. Интенсивность овражной эрозии в аридных условиях на третичном плато Азербайджанской республики // Экология и строительство. 2017. № 4. С. 8–15.

11. Савушкин С. С., Гжибовский С. А. К вопросу эксплуатации гидротехнических сооружений мелиоративного комплекса // Экология и строительство. 2021. № 2. С. 22–28. doi: 10.35688/2413-8452-2021-02-002. 61.

12. Coastal land use and land cover change and transformations of Kanyakumari coast, India using remote sensing and GIS / S. Kaliraj, N. Chandrasekar, K.K. Ramachandran, Y. Srinivas, S. Saravanan // Egypt. J. Remote Sens. Space Sci., 20 (2) (2017), pp. 169-185.

13. Мониторинг водопроводящих сооружений мелиоративных систем методом дистанционного зондирования / Е. Э. Головинов, С. А. Киселев, К. С. Семенова // Основные результаты научных исследований института за 2017 год: Сб. науч. тр. – М.: ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, 2018. – С. 94-102.

14. Шадских В.А., Кижаева В.Е., Пешкова В.О. Эффективное управление водными ресурсами при орошении соевых агроценозов в Поволжье // Экология и строительство. 2022. № 2. С. 4–11. doi: 10.35688/2413-8452-2022-02-001.

15. Кижаева В.Е., Пешкова В.О. Комплекс мелиоративных изысканий при подготовке длительно неиспользуемого участка для введения в сельскохозяйственный оборот // Экология и строительство. 2022. № 1. С. 4–11. doi: 10.35688/2413- 8452-2022-01-001.

16. Ольгаренко Г.В. Гришаева О.Ю., Муравлева В.В. Исследование технологических процессов эксплуатации гидромелиоративных систем как единого производственно-технологического комплекса на основе ландшафтно-экологического подхода // Экология и строительство. 2023. № 4.

17. Мазурова И.С. Ретроспективный анализ технического состояния мелиоративных систем федеральной собственности в Республике Дагестан по данным информационной мониторинговой системы // Экология и строительство. 2023. № 3.

References

1. O melioratsii zemel' / Federal'nyi zakon № 4-FZ ot 10 yanvarya 1996 g. [Ehlektronnyi resurs]. URL: https://docs.cntd.ru/document/9015302 (Data obrashcheniya 28.05.2024 g.).

2. Sistemy i sooruzheniya meliorativnye. Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya / GOST R 70611-2022. M.: Rosstandart [Ehlektronnyi resurs]. URL: https://docs.cntd.ru/document/1300337598 (Data obrashcheniya 28.05.2024 g.).

3. Melioratsiya zemel'. Metodika otsenki distantsionnymi metodami tekhnicheskogo i ehkologicheskogo sostoyaniya / GOST R 70611-2022. M.: Rosstandart [Ehlektronnyi resurs]. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200195123 (Data obrashcheniya 28.05.2024 g.).

4. Jin Leshan, Li He, Li Ying, Du Dan. E-Agriculture in action / Bangkok, FAO and ITU, 2017. 118 p.

5. Kas'yanov A. E. Markernye uchastki tsifrovoi melioratsii sel'skokhozyaistvennykh zemel' // Ehkologiya i stroitel'stvo. 2020. № 3. C. 21–24. doi: 10.35688/2413-8452-2020-03-003.

6. K. Guravaiah and S. S. Raju, “e-Agriculture: Irrigation System based on Weather Forecasting,” 2020 IEEE 15th International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS), 2020, pp. 617-622, doi: 10.1109/ ICIIS51140.2020.9342739.

7. Vedomstvennyi proekt «Tsifrovoe sel'skoe khozyaistvO»: ofitsial'noe izdanie. – M.: FGBNU «RosinformagroteKH», 2019. — 48 s.

8. Zakharova O.A., Kucher D.E., Mashkova E.I., Evsenkin K.N., Musaev F.A. Melioratsiya zemel' i vozmozhnost' ee tsifrovizatsii // Prirodoobustroistvo. 2021. № 4. S. 31-37. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-4-31-37.

9. Manjusree P, Satyanarayana P, CM Bhatt, Sharma SVSP, Srinivasa Rao G, 2013. Remote Sensing and GIS for river morphology studies / Researchgate, pp. 1-5. / URL: https://www.researchgate.net/publication/260317105_REMOTE_SENSING_AND_GIS_FOR_RIVER_MORPHOLOGY_STUDIES.

10. Gurbanov EH. A., Verdiev S. B., Gazieva P. CH. Intensivnost' ovrazhnoi ehrozii v aridnykh usloviyakh na tretichnom plato Azerbaidzhanskoi respubliki // Ehkologiya i stroitel'stvo. 2017. № 4. S. 8–15.

11. Savushkin S. S., Gzhibovskii S. A. K voprosu ehkspluatatsii gidrotekhnicheskikh sooruzhenii meliorativnogo kompleksa // Ehkologiya i stroitel'stvo. 2021. № 2. C. 22–28. doi: 10.35688/2413-8452-2021-02-002. 61.

12. Coastal land use and land cover change and transformations of Kanyakumari coast, India using remote sensing and GIS / S. Kaliraj, N. Chandrasekar, K.K. Ramachandran, Y. Srinivas, S. Saravanan // Egypt. J. Remote Sens. Space Sci., 20 (2) (2017), pp. 169-185.

13. Monitoring vodoprovodyashchikh sooruzhenii meliorativnykh sistem metodom distantsionnogo zondirovaniya / E. EH. Golovinov, S. A. Kiselev, K. S. Semenova // Osnovnye rezul'taty nauchnykh issledovanii instituta za 2017 god: Sb. nauch. tr. – M.: VNIIGIM im. A.N. Kostyakova, 2018. – S. 94-102.

14. Shadskikh V.A., Kizhaeva V.E., Peshkova V.O. Ehffektivnoe upravlenie vodnymi resursami pri oroshenii soevykh agrotsenozov v Povolzh'e // Ehkologiya i stroitel'stvo. 2022. № 2. C. 4–11. doi: 10.35688/2413-8452-2022-02-001.

15. Kizhaeva V.E., Peshkova V.O. Kompleks meliorativnykh izyskanii pri podgotovke dlitel'no neispol'zuemogo uchastka dlya vvedeniya v sel'skokhozyaistvennyi oborot // Ehkologiya i stroitel'stvo. 2022. № 1. C. 4–11. doi: 10.35688/2413- 8452-2022-01-001.

16. Ol'garenko G.V. Grishaeva O.YU., Muravleva V.V. Issledovanie tekhnologicheskikh protsessov ehkspluatatsii gidromeliorativnykh sistem kak edinogo proizvodstvenno-tekhnologicheskogo kompleksa na osnove landshaftno-ehkologicheskogo podkhoda // Ehkologiya i stroitel'stvo. 2023. № 4.

17. Mazurova I.S. Retrospektivnyi analiz tekhnicheskogo sostoyaniya meliorativnykh sistem federal'noi sobstvennosti v Respublike Dagestan po dannym informatsionnoi monitoringovoi sistemy // Ehkologiya i stroitel'stvo. 2023. № 3.

© Зверьков М.С., Смелова СС., 2024. International agricultural journal, 2024, № 3, 921-935.
Для цитирования: Зверьков М.С., Смелова С.С. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО ИНДЕКСА NDVI ДЛЯ ОЦЕНКИ ГОТОВНОСТИ МЕЛИОРАТИВНОЙ СИСТЕМЫ К ВЕГЕТАЦИОННОМУ ПЕРИОДУ // International agricultural journal. 2024. № 3, 921-935.