

## Применение аэрокосмических снимков для мониторинга геоморфологической структуры дельты реки Дон

*А. И. Евтеева, И. С. Шемет, А.Р. Накацев, Д. Р. Черняков*

*<sup>1</sup>Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону*

**Аннотация:** В данной работе рассматривается использование дистанционного зондирования Земли в качестве метода мониторинга устьевой части реки Дон. Особое внимание уделяется рассмотрению динамики растительного покрова и ландшафтных изменений в период с 2015 по 2023 год на основе спутниковых снимков и нормализованного вегетационного индекса. По результатам наблюдения выявлено, что в 2023 году фиксируется наибольшая площадь с высокой вегетационной активностью (нормализованный разностный вегетационный индекс  $> 0,5$ ), что почти в 1,5 раза больше по сравнению с 2015 годом. В первую очередь это связано с различиями в гидрометеорологических условиях. В тоже время фиксируется рост антропогенной нагрузки на территорию. Работа подчеркивает эффективность аэрокосмических методов для комплексного изучения труднодоступных дельтовых систем.

**Ключевые слова:** дистанционного зондирования земли, дельта реки Дон, нормализованный разностный вегетационный индекс, ландшафтная динамика, антропогенное воздействие, аэрокосмическая съемка, устойчивое природопользование.

### Введение

В последнее время применение дистанционного зондирования земли играет важную роль в изучении окружающей среды и мониторинге хозяйственной деятельности [1]. Аэрокосмическая съемка предоставляет уникальные возможности для изучения и анализа различных труднодоступных территорий планеты. Благодаря высокой точности оптических приборов на спутниках и беспилотных летательных аппаратах современное научное общество способно детально изучать все географические оболочки [1-3]. Одними из таких территорий планеты являются устьевые области крупных рек, в частности, дельта реки Дон [4]. Они представляют собой уникальный эталонный природный объект, включающий в себя как части суши, так и акватории рек и примыкающих водоёмов. Проблема изучения участков устьевых зон рек является весьма актуальной на данный момент.

---

Основная причина затрудненности в их изучении – это труднодоступность и удаленность. [1,3] Для комплексного изучения применяются знания в области гидрологии, геоморфологии, ландшафтоведения и смежных наук. Однако в данный момент для изучения дельт используются не только классические методы изучения, но и внедряют новые технологий, связанные с методами дистанционного зондирования и обработкой аэрокосмических снимков с помощью геоинформационных технологий [2]. Благодаря новым космическим технологиям и возможности обработки данных с помощью космических снимков изучение процессов, происходящих в дельте, значительно упростилось. Геоинформационные технологии позволяют сравнивать разновременные изображения непосредственно на экране компьютера с использованием ряда многочисленных операций [2,3].

#### **Методы исследования**

С помощью методики визуального описания местности возможно изучать пространственные характеристики объектов. Рекомендуется использовать снимки летнего периода года, когда наблюдается межень. Использование водных индексов способствует изучению содержания воды в растениях и почве. Среди индексов выделяют нормализованный вегетационный индекс, который позволяет наглядно распознать водные объекты, а также отследить заболоченность территории на аэрокосмических снимках [2, 5]. Нормализованный вегетационный индекс рассчитывается по формуле:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}, \quad (1)$$

где *RED* – видимый красный спектральный канал, *NIR* – ближний инфракрасный спектральный канал. Данный индекс основан на разнице между поглощенным инфракрасным спектром и видимым зеленым спектром. При обработке спутниковых снимков, на основе расчета данного индекса можно сделать вывод, что водные объекты будут иметь отрицательные значения, тогда как участки суши – положительные. При показателе индекса  $> 0,5$  можно говорить об произрастании активной растительности. Индекс  $< 0,5$  показывает наименее активно развивающуюся растительность [5]. Тем не менее, на точность полученных результатов могут оказывать влияние внешние факторы, такие как облачность, угол съемки атмосферные и сезонные условия. При подготовке к работе были выбраны два разновозрастных снимка с одинаковым временным промежутком: июнь 2015 года и июнь 2023 года. На основе данных материалов были проведены визуальный анализ территории и рассчитан нормализованный вегетационный индекс.

### Результаты и обсуждения

Были определены схожие черты формирования растительных ассоциаций и характерные отличия в некоторых зонах. Основные схожести были зафиксированы в распределении растительных ассоциаций по территории дельты. Отличием являлись очаговые участки с малой вегетационной активностью или отсутствием таковой. С течением времени наблюдается увеличение хозяйственной деятельности в районе дельты. За 8 лет увеличилась доля жилой застройки на 15 %. Выросла площадь хуторов Рогожкино, Колузаево, Обухова. Все больше земель отвелось на посевные поля, искусственные водоемы, на добывающие отрасли промышленности (17 %). Также наглядно видны результаты прокладки водопровода в рамках проекта «Большая Вода» для оснащения новых территорий Российской

---

Федерации на карте 2023 году. Данные изменения привели к деградации почвы и сокращению эталонных ландшафтов в дельте реки Дон. Уменьшилась площадь луговых ландшафтов (~10 %), околоводных растительных ландшафтов (~5%). При этом влияние климатических условий увеличивает скорость изменения ландшафтных структур, что влечет за собой экологические изменения.

Влияние климатических особенностей формирует водный баланс в почве, который влияет на вегетативную активность растений. При анализе снимков за 2015 и 2023 год был рассчитан нормализованный вегетационный индекс, на основе которого были составлены картосхемы вегетативной активности растений в дельте реки Дон (рис.1). При анализе снимков 2015 года, наблюдалась закономерность скудного развития околоводной растительности у периферии Таганрогского залива, а также вдоль крупных водотоков. Данный тип растительности отсутствовал вдоль мелких рукавов. В западной, юго-западной и северо-западной частях дельты фиксировались большие ареалы активно произрастающей растительности, представленные луговыми и степными видами [7]. Площадь территории с активными вегетационными процессами, где нормализованный вегетационный индекс  $> 0,5$  в 2015 году составила 39624 км<sup>2</sup> с учетом прилегающих территорий. Большая часть территории дельты находилась в диапазоне мало активной растительности (нормализованный вегетационный индекс  $< 0,5$ ). Отсутствие растительности приходилось на воды Таганрогского залива и постоянные водотоки.

По снимкам 2023 года видно, что гидрофильная растительность обширно произрастала вдоль реки Мертвый Донец, по левому берегу реки Дон и на периферии Таганрогского залива. При этом в северной части дельты влаголюбивая растительность произрастала в более обширном масштабе, чем в южной [5,6]. Также данный тип растительности распространялась в

---

центральных участках дельты, образуя разряженную сеть, сопровождающуюся мелкими водотоками (ериками и каналами) [6,8]. Площадь территории с активными вегетационными процессами, где индекс > 0,5 в 2023 г. составила 54 826,7 км<sup>2</sup>, что в свою очередь в почти в 1,5 раза больше, чем в 2015 г.

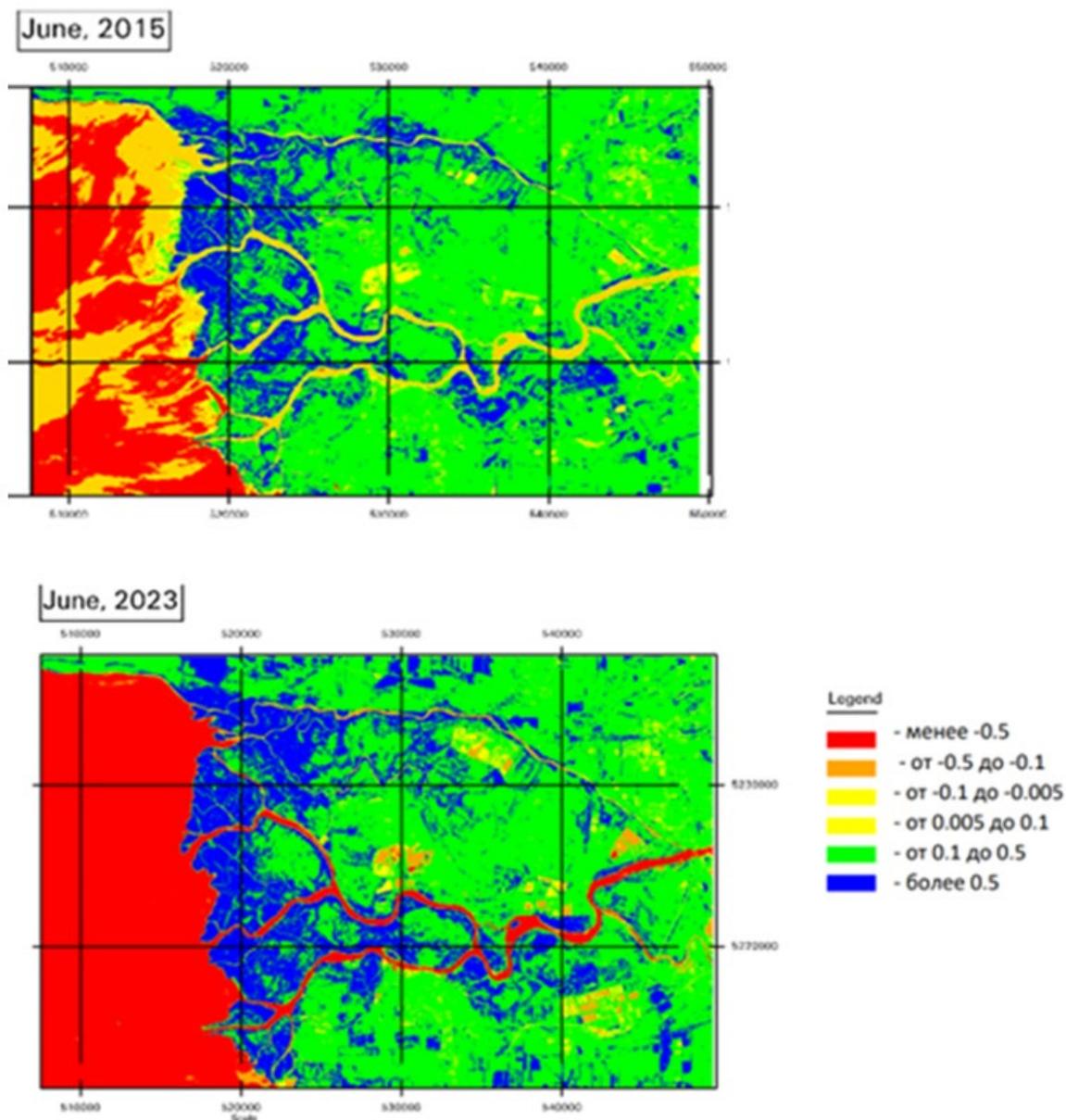


Рис. 1. – Карта вегетационной активности растительности в дельте реки Дон, 2015 и 2023

Большая часть территории дельты также находится в диапазоне индекса менее 0,5. Она представлена, в частности, степными, луговыми и посевными ландшафтами.

Постоянная хозяйственная деятельности и изменение погодный показателей провоцирует изменение ландшафтной структуры. На рисунке 2 показаны зоны с различной интенсивностью вегетационных процессов в области дельты реки Дон при сравнении двух снимков.

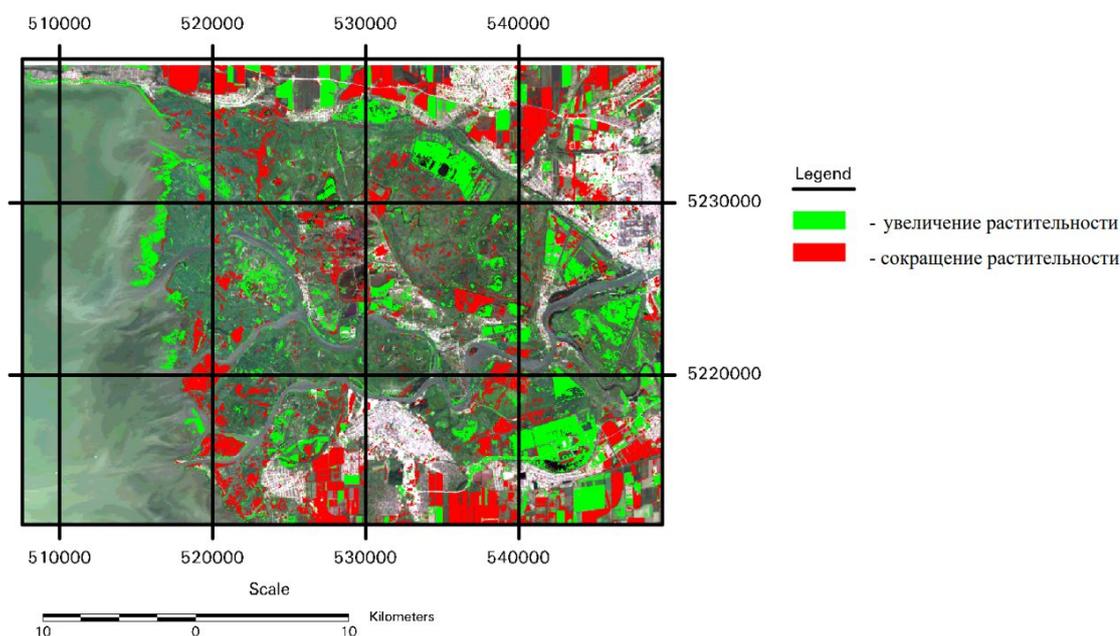


Рис. 2. – Карта разницы показателей NDVI за 2015 и 2023 гг. (выполнено автором)

При количественном подсчете разностей показателей нормализованного вегетационного индекса за 2015 и 2023 гг. обнаружено, что площадь с активно развивающейся растительностью составляет 27468,7 км<sup>2</sup> (с учетом прилегающих территорий). Площадь с малым распространением растительности составляет 20781 км<sup>2</sup> (с учетом прилегающих территорий). Как и было сказано ранее, увеличение хозяйственной деятельности на территории естественных ландшафтов приводит к деградации земель и уничтожению растительных ассоциаций. Как видно из рисунка 2, в центральной части дельты, за последние 10 лет увеличилась площадь

территорий с малым количеством растительных сообществ. Данные процессы происходят, в частности, из-за увеличений посевных территорий, сельских поселений, рыбохозяйственных предприятий. Прокладка новых водопроводов, дорог и систем электроснабжения также нарушает целостность ландшафта дельты.

### **Выводы**

Аэрокосмическая съемка является незаменимым инструментом в современной географии, предоставляя уникальные возможности для изучения и анализа различных географических объектов. Она играет ключевую роль в картографии, экологии, урбанистике, климатологии и археологии, предоставляя точные и детализированные данные для принятия обоснованных решений и управления природными ресурсами [9]. Мониторинг дельты с помощью аэрокосмических методов позволяет изучать динамику изменений в морфологическом строении и гидрографической сети данного природного объекта [10,11]. Также разновременные космические снимки позволят отразить динамику хозяйственной деятельности на территории дельты. Изменение площади растительного покрова в дельте реки Дон может быть обусловлено вариациями погодных условий и хозяйственной деятельностью.

### **Литература**

1. Айбулатов Д., Зотов Л., Фролова Н., Чалов С. Современные возможности использования методов дистанционного зондирования для получения информации о водных объектах // ДЗЗ для будущей Земли. Земля из космоса. 2015. №Спецвыпуск. с. 34-37.
2. Балдина Е.А., Лабутина И.А. Аэрокосмические исследования и картографирование в дельте Волги // Вестник Московского университета серия 5. География. 2011. - №2. с. 78-84.

3. Лабутина И.А. Дешифрирование аэрокосмических снимков. М.: аспектпресс, 2004. с. - 184.
4. Демина О.Н. Экологическая модель растительного покрова степей бассейна Дона // Инженерный вестник Дона. 2014. №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2308](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2308)
5. Лебедева Т.Д. Взаимосвязь значений индекса NDVI и температуры подстилающей поверхности на примере г. Тверь // География, экология, туризм: научный поиск студентов и аспирантов Материалы XII Всероссийской научно-практической конференции. Тверь: Тверской государственный университет, 2024. с. 32-35.
6. Михайленко А. В. Оценка содержания ртути в почвах и донных отложениях дельты реки Дон // Инженерный вестник Дона. 2015.№3 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3198](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3198).
7. Табелинова А.С. Оценка устойчивости ландшафтов северо-восточного прикаспия к загрязнению техногенными углеводородами с помощью геоинформационного картографирования и ддз. // наука, образование и духовность в контексте концепции устойчивого развития материалы всероссийской научно-практической конференции. В 4-х частях. Том часть II. 2017. с. 184-189.
8. Робашева Т.И., Кленкин А.А., Пелипенко Л.В., Редрикова О.Д., Каструбина Г.И. Мониторинг загрязнений рек Темерник и Дон в пределах Ростова-на-дону // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: естественные науки. 2003. №85-87.
9. Mikhaïlenko A.V., Fedorov Yu.A., Mikhaïlevich A.I., Kostenko D.F. Mercury in the landscape components of the Don river delta // E3S WEB OF CONFERENCES. 2024. №555. с. 01006.

10. Obata K., Taniguchi K., Matsuoka M., Yoshioka H. Development and demonstration of a method for geo-to-geo NDVI transformation // remote sensing. 2021. №20. p. 4085.

11. Starchikova E.S. Modern features of surface water quality by hydrochemical indicators in river waters of the Don and Kuban deltas // Science prospects. 2022. №11. p. 66-68.

### References

1. Aibulatov D., Zotov L., Frolova N., Chalov S. DZZ dlya budushchey Zemli. Zemlya iz kosmosa. 2015. No. Spetsvypusk. pp. 34–37.

2. Baldina E.A., Labutina I.A. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya. 2011. No. 2. pp. 78–84.

3. Labutina I.A. M.: Aspekt-Press, 2004. p.184

4. Demina O.N. Inzhenernyj vestnik Dona. 2014. No. 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2308](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2308)

5. Lebedeva T.D. Geografiya, ekologiya, turizm: nauchnyy poisk studentov i aspirantov. Materialy XII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Tver': Tverskoy gosudarstvennyy universitet, 2024. pp. 32–35.

6. Mikhaylenko A.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2015. No. 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3198](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3198)

7. Tabelinova A.S. Nauka, obrazovanie i dukhovnost' v kontekste kontseptsii ustoychivogo razvitiya. Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. V 4-kh chastyakh. Tom chast' II. 2017. p. 184-189.

8. Robasheva T.I., Klenkin A.A., Pelipenko L.V., Redrikova O.D., Kastrupina G.I. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Estestvennye nauki. 2003. pp. 85–87.

9. Mikhailenko A.V., Fedorov Yu.A., Mikhailevich A.I., Kostenko D.F. E3S WEB OF CONFERENCES. 2024. №555. c. 01006.



10. Obata K., Taniguchi K., Matsuoka M., Yoshioka H. Remote sensing. 2021. №20. p. 4085.

11. Starchikova E.S. Science prospects. 2022. №11. p. 66-68.

**Авторы согласны на обработку и хранение персональных данных.**

**Дата поступления: 17.01.2026**

**Дата публикации: 28.02.2026**