



Современные проблемы территориального развития. 2019. № 2. ID 85  
ISSN: 2542-2103

Свидетельство о регистрации СМИ: ЭЛ № ФС 77 — 68371 от 30.12.2016

**Морозова Валерия Андреевна**  
*ассистент, кафедра геоморфологии и геоэкологии, Саратовский  
Государственный Национальный Исследовательский университет им. Н. Г.  
Чернышевского, г. Саратов*  
riukarin@gmail.com

УДК 528.88:622.868.45

## **РАСЧЕТ ИНДЕКСОВ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ И АНАЛИЗА ХАРАКТЕРИСТИК ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

*В статье рассматриваются основные расчетные индексы, используемые для выделения водных объектов по данным дистанционного зондирования. В результате работы были выявлены основные входные и выходные данные расчета индексов, были даны главные параметры спектральных характеристик на примере спутника Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+).*

*Ключевые слова: landsat, затопление, водный объект, гидрография, индекс, WRI, NDWI, MNDWI, NDTI, NDMI, NDSI.*

На сегодняшний день все более частым становится вопрос мониторинга затопления различных территорий. Актуальность данной тематики обуславливается в первую очередь тем, что климат нашей страны диктует определенный гидрологический режим, в том числе ежегодное возникновение половодья и паводков на реках. Уровень воды может достигать и превышать критические отметки, в результате чего в зоны затопления попадают хозяйственные объекты, населенные пункты, расположенные в прибрежных зонах и прочие объекты инфраструктуры, что несет за собой существенный социально-экономический ущерб.

Для предупреждения разливов водных объектов и предотвращения чрезвычайных ситуаций, необходим постоянный мониторинг ключевых объектов риска в период половодья и паводков. Данные дистанционного зондирования (ДДЗ) позволяют не только наблюдать за развитием чрезвычайных



Современные проблемы территориального развития. 2019. № 2. ID 85  
ISSN: 2542-2103

Свидетельство о регистрации СМИ: ЭЛ № ФС 77 — 68371 от 30.12.2016

ситуаций на воде, но и определять масштаб ущерба, выявлять участки, которые будут затоплены и т. д. При мониторинге водных объектов, наиболее информативными являются материалы съемки радарных спутников (для обеспечения гарантированной всепогодной съемки среднего разрешения), аппаратов высокодетаальной оптической съемки. Особое место занимает выявление на реках участков с ледовыми заторами [1].

Учитывая сложную дифференцированную и разветвленную гидрологическую сеть, включающую тысячи водных объектов, наблюдаются определенные трудности с определением их точных границ. Инженерные изыскания требуют значительных ресурсов, времени и денежных затрат. За время половодья или паводков довольно сложно исследовать все уязвимые территории, подверженные затоплению. Аэросъемка также требовательна к ресурсам, более того – сильно зависит от погодных условий. В отличие от первых двух методов, космическая съемка Земли позволяет получить большинство необходимых прямых и косвенных характеристик водных объектов, без привязки к погодным условиям и времени суток.

ДДЗ, в рамках задачи детектирования водных объектов или объектов разной степени увлажнения, применяют для:

- определения границ водных объектов, водосборных бассейнов;
- подсчета и оценки испарения/количества осадков;
- мониторинга половодий и паводков;
- выявления качества водных объектов, типов загрязнения;
- расчета влагозапаса снежного покрова, увлажнения растительного покрова и многих других задач.

Рассмотрим основные каналы космических снимков, используемые для выявления гидрологических параметров на примере гиперспектральных снимков Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) [2,3], представленные в сводной таблице 1:



Современные проблемы территориального развития. 2019. № 2. ID 85  
ISSN: 2542-2103

Свидетельство о регистрации СМИ: ЭЛ № ФС 77 — 68371 от 30.12.2016

Таблица 1. Оптический диапазон электромагнитных волн, мкм для снимков Landsat 7

Канал Длина волны	С (blue) Band1	З (green) Band2	Панхроматический (Panchromatic) Band8	К (red) Band3	БИК (NIR) Band4	КИК1 (СИК1) (SWIR1) Band5	КИК2 (СИК2) (SWIR2) Band7	ТИФ (Длинноволновый) (Thermal) Band6
Диапазон нижнее значение, мкм	0.45	0.52	0.52	0.63	0.77	1.55	2.09	10.4
Диапазон верхнее значение, мкм	0.52	0.60	0.90	0.69	0.90	1.75	2.35	12.5

**Красный (К), зеленый (З), синий (С)** – видимое излучение. Это электромагнитные волны, которые воспринимаются человеческим глазом. Чувствительность органов зрения к электромагнитному излучению зависит от длины волны (частоты) излучения, при этом максимум чувствительности приходится на 0.555 мкм, в зелёной части спектра.

**Красный** – спектр, полезный для оконтуривания снежного покрова.

**Зеленый** – спектр, который охватывает пик отражательной способности поверхностей лиственного покрова, используется для выделения обширных классов растительности, включая подводную.

**Синий** – спектр, который хорошо отделяет облака от снега и горных пород; голые почвы от участков с растительностью.

**Ближний инфракрасный (БИК), коротковолновый инфракрасный (КИК) (средний инфракрасный (СИК), тепловой инфракрасный (ТИФ) (длинноволновый)** – электромагнитное излучение, занимающее спектральную область между красным концом видимого света и микроволновым радиоизлучением.

Инфракрасное излучение также называют «тепловым излучением», так как инфракрасное излучение от нагретых предметов воспринимается как ощущение тепла. При этом длины волн, излучаемые телом, зависят от температуры нагревания: чем выше температура, тем короче длина волны и выше интенсивность излучения. Поглощение электромагнитного излучения водой значительно возрастает при длине волны 1,45 мкм.

Инфракрасный диапазон может быть использован для:



Современные проблемы территориального развития. 2019. № 2. ID 85  
ISSN: 2542-2103

Свидетельство о регистрации СМИ: ЭЛ № ФС 77 — 68371 от 30.12.2016

- выделения контуров водных объектов и разделения сухих и влажных почв, т.к. вода имеет свойство поглощать ближние инфракрасные волны;
- выявления изменений содержания воды в тканях листьев;
- выявления динамики влагозапаса растительного и почвенного покрова (отражательная способность уменьшается при возрастании содержания воды);
- отделения слоев льда и снега (светлый тон) от слоя облаков (темный тон).

**Панхроматический** – спектр, используемый в дистанционном зондировании для анализа зерновых культур, растительного покрова, выделения водно-болотных угодий и типов землепользования и [3,4].

В качестве объекта исследования был взят ключевой участок в пределах Саратовской области, для которого был получен мультиспектральный снимок landsat 7 за 2019 год. Вычисления индексов проводились в программном комплексе ESRI ArcGIS. Используя инструментарий «Калькулятор Растра», были построены следующие растровые поверхности: растр WRI, NDWI, MNDWI, NDTI, NDMI, NDSI. В качестве входных данных были использованы каналы снимков, соответствующие формуле расчетного индекса; на выходе формировались растры с закодированной информацией (чаще всего от -1 до 1). Рассмотрим характеристики каждого индекса (для удобства в квадратных скобках после спектров будет указан номер соответствующего канала landsat 7) [5].

**Водный индекс (WRI).** Индекс «Water Ratio Index» (WRI) используется для оценки содержания влаги в растительном покрове. Индекс WRI рассчитывается по формуле (1):

$$WRI = (GREEN[2] + RED[3]) / (NIR[4] + SWIR2[7]) \quad (1)$$



Современные проблемы территориального развития. 2019. № 2. ID 85  
ISSN: 2542-2103

Свидетельство о регистрации СМИ: ЭЛ № ФС 77 — 68371 от 30.12.2016

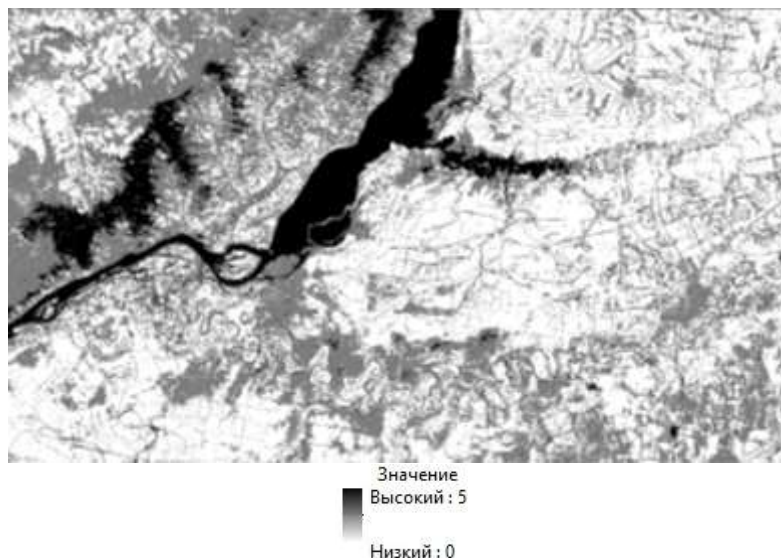


Рис. 1. Расчетный растр WRI на ключевой участок (ESRI ARCGIS): *чем темнее цвет, тем выше показатель*

На выходе получаем растр водной поверхности, со значениями пикселей от 0 и более; значения от 1 и выше представляют собой водные объекты или объекты, содержащие влагу [6]. Данный метод позволяет вычлениить водные объекты в пределах изучаемой территории.

**Нормализованный разностный водный индекс (NDWI).** Данный показатель является относительным и определяет количество влагозапаса в растительном покрове, которое взаимодействует с поступающим солнечным излучением. Алгоритм позволяет выявить качественный признак увлажненности растительного покрова. Показатель NDWI чувствителен к изменениям влажности. Однако он менее чувствителен к атмосферным воздействиям, чем Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Индекс NDWI вычисляется по формуле (2) [2,4–7]:

$$NDWI = (NIR[4] - SWIR2[7]) / (NIR[4] + SWIR2[7]) \quad (2)$$



Современные проблемы территориального развития. 2019. № 2. ID 85  
ISSN: 2542-2103

Свидетельство о регистрации СМИ: ЭЛ № ФС 77 — 68371 от 30.12.2016

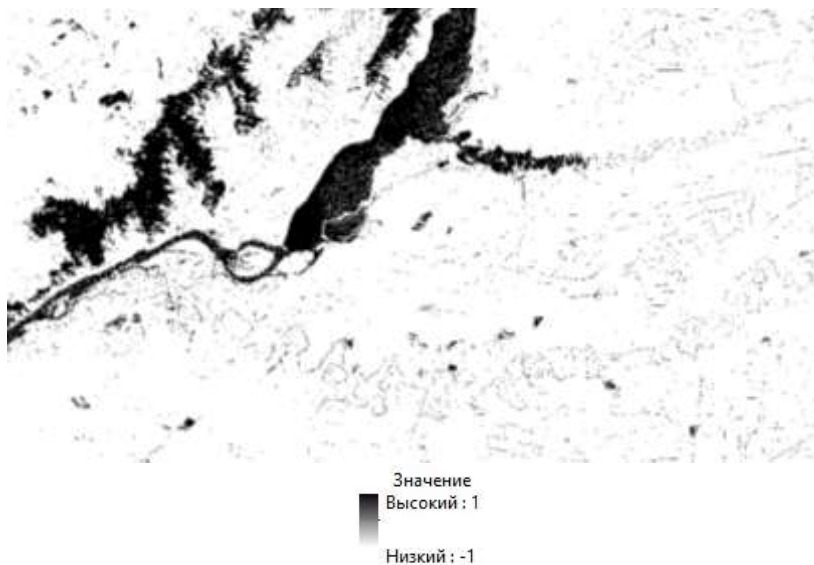


Рис. 2. Расчетный растр NDWI на ключевой участок (ESRI ARCGIS)  
(вода имеет значение больше 0)

Данный индекс необходим для того, чтобы обнаруживать поверхностные воды среди заболоченной местности; измеряет степень покрытия поверхностными водами.

Для зеленой растительности в большинстве случаев соответствует значения показателя от  $-0,1$  до  $0,4$  [8]. Данный индекс полезен в случаях, когда нет среднего инфракрасного канала, также он используется для построения оперативных карт, в частности для выявления влажности лесных горючих материалов (как на картах пожароопасности).

**Модифицированный нормализованный разностный водный индекс (MNDWI).** Алгоритм позволяет эффективно подавлять и даже удалять шумовые эффекты с поверхности, с почвы и растительности. Индекс более эффективен по сравнению с NDWI, если исследуемая береговая линия находится рядом с каким-либо строением. В этом случае результат выделения водного объекта будет более точен; все отрицательные показатели не учитываются. Индекс MNDWI рассчитывается по формуле (3) [2,4–7]:

$$MNDWI = (Green[2] - SWIR2[7]) / (Green[2] + SWIR2[7]) \quad (3)$$



Современные проблемы территориального развития. 2019. № 2. ID 85  
ISSN: 2542-2103

Свидетельство о регистрации СМИ: ЭЛ № ФС 77 — 68371 от 30.12.2016

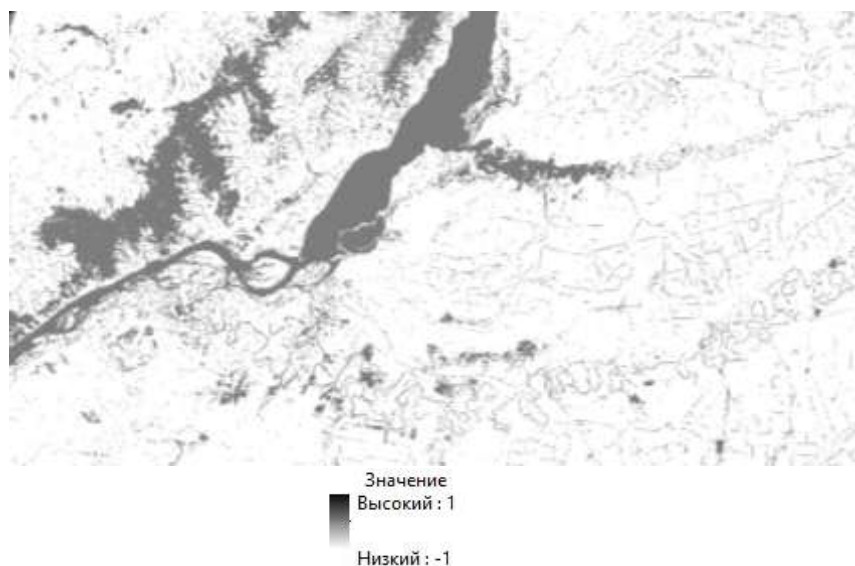


Рис. 3. Расчетный растр MNDWI на ключевой участок (ESRI ARCGIS)  
(индекс выводит значения между -1,0 и 1,0. Вода имеет значение больше 0)

**Нормализованный алгоритм — индекс мутности (NDTI).** Показатель мутности воды характеризует уменьшение прозрачности воды в связи с наличием неорганических и органических примесей, взвесей, а также развитием планктона в водном объекте. Алгоритм индекса выявляет показатель мутности воды. Индекс NDTI рассчитывается по формуле (4) [2,4–7]:

$$NDTI = (RED[3]-GREEN[2])/(RED[3]+GREEN[2]) \quad (4)$$



Современные проблемы территориального развития. 2019. № 2. ID 85  
ISSN: 2542-2103

Свидетельство о регистрации СМИ: ЭЛ № ФС 77 — 68371 от 30.12.2016

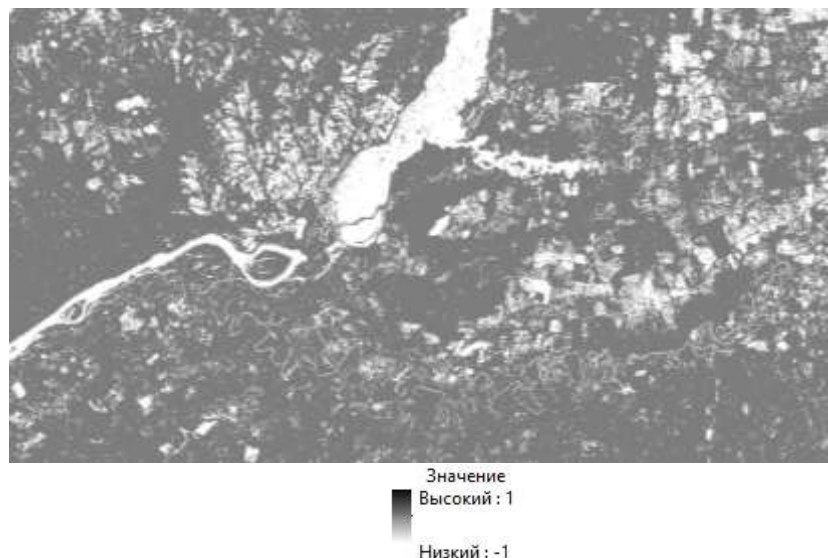


Рис. 4. Расчетный растр NDTI на ключевой участок (ESRI ARCGIS)  
(индекс выводит значения между -1,0 и 1,0)

Индекс довольно четко отделяет объекты с реальной влажностью. Если сравнивать индекс NDVI и NDTI можно проследить прямую закономерность: чем выше NDVI, тем выше NDTI, что очевидно, учитывая, что оба индекса характеризуют качественный признак растительного покрова. Данный индекс несет, однако, более глобальный показатель - более чувствителен к изменению влагозапаса в растениях. Полезен для прогнозирования засухи.

**Стандартизованный индекс различий увлажненности (NDMI)** также чувствителен к уровню влажности в растительности. Используется для отслеживания засух, также может быть использован для выявления уровня горючих материалов в пожароопасных зонах (как и NDWI, он является более чувствительным к влаге). Использует каналы NIR и SWIR для создания коэффициента, предназначенного для приглушения освещения и атмосферных эффектов [7]. Рассчитывается по формуле (5):

$$NDMI = (NIR[4] - SWIR1[5]) / (NIR[4] + SWIR1[5]) \quad (5)$$





Современные проблемы территориального развития. 2019. № 2. ID 85  
ISSN: 2542-2103

Свидетельство о регистрации СМИ: ЭЛ № ФС 77 — 68371 от 30.12.2016

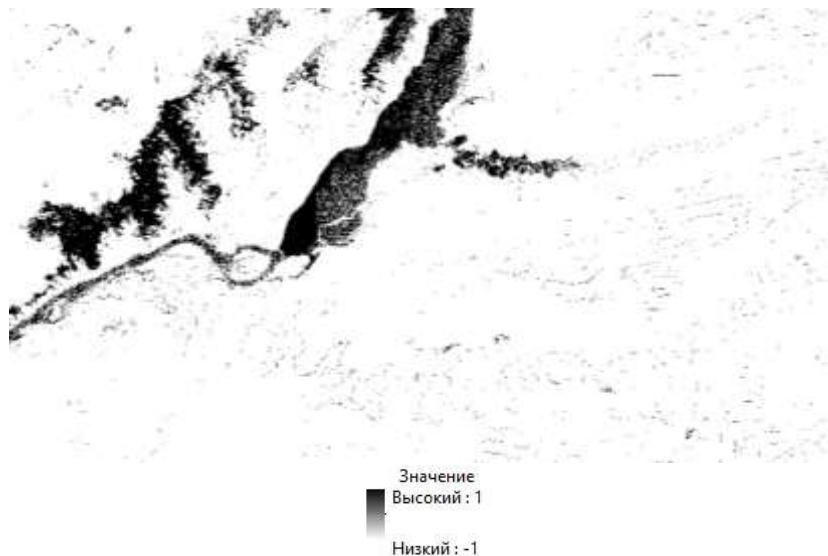


Рис. 5. Расчетный растр NDMI на ключевой участок (ESRI ARCGIS)  
(индекс выводит значения между  $-1,0$  и  $1,0$ . Вода имеет значение больше 0)

**Стандартизованный индекс различий снежного покрова (NDSI)** разработан для использования данных MODIS (каналы 4 и 6) и Landsat TM (каналы 2 и 5) с целью идентификации снежного покрова при игнорировании облачного покрова. Данный индекс также уменьшает влияние атмосферных эффектов. Используется для выделения территорий, покрытых снегом. Для снега NDSI чаще всего принимает значение 0,4 и выше. Рассчитывается по формуле (6):

$$NDSI = (GREEN[2] - SWIR1[5]) / (GREEN[2] + SWIR1[5]) \quad (6)$$

Снежный покров имеет яркость, сравнимую с яркостью облачного покрова, что затрудняет задачу выделения его на снимках. Несмотря на данный факт, при длине волны 1,6 мкм, снежный покров способен поглощать солнечное излучение и в таком случае будет выглядеть как слой, темнее облачного покрова. NDSI является мерой относительной величины разности отражательной способности в зеленом и коротковолновом инфракрасном спектрах. Снег обладает не только высокой отражающей способностью в видимых частях электромагнитного спектра, но также и высокой поглощающей способностью в ближней инфракрасной, коротковолновой инфракрасной части спектра. В то же время отражательная способность облаков остается высокой в тех же частях спектра, что является главным фактором, позволяющим отделить облачный покров от снежного. Индекс полезен для прогнозирования половодья.



Современные проблемы территориального развития. 2019. № 2. ID 85  
ISSN: 2542-2103

Свидетельство о регистрации СМИ: ЭЛ № ФС 77 — 68371 от 30.12.2016

Подведем итоги исследования: имея гиперспектральный или мультиспектральный снимок, обладая самым простым функционалом ГИС, можно провести классификацию снимка по увлажненности территории, запасу снежного покрова, а также получить коррекцию погодных условий в полуавтоматическом режиме. Несомненно, для целей выявления водных объектов подойдут все вышеперечисленные индексы, но конечный выбор метода вычисления остается за исследователем: в зависимости от целей и поставленных гидрометеорологических задач. Вычисление таких индексов как NDVI, NDWI и NDSI следует выполнять на предварительном этапе обработки для обеспечения более качественного дешифрирования на последующих этапах работы. В результате проделанной работы, были проанализированы и проверены расчетные водные индексы, которые в дальнейшем можно применять в качестве вспомогательных элементов для выделения зон затопления, построения карт пожароопасности, определения возможных сельскохозяйственных рисков и т.п.

#### *Список использованных источников*

1. Использование данных ДЗЗ для мониторинга паводков и наводнений [Электронный ресурс]: Весеннее половодье - Этапы комплексного оперативного спутникового мониторинга весенних половодий. URL:[http://mapexpert.com.ua/index\\_ru.php?id=15&table=news](http://mapexpert.com.ua/index_ru.php?id=15&table=news) (дата обращения: 05.04.2019). сайт о геодезии и картографии

2. Преснякова Алёна Николаевна, Писарев Андрей Владимирович, Храпов Сергей Сергеевич Исследование динамики затопления территории волго-ахтубинской поймы по данным космического мониторинга // Вестник ВолГУ. Серия 1: Математика. Физика. 2017. №1 (38). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-dinamiki-zatopleniya-territorii-volgo-ahhtubinskoj-poymy-po-dannym-kosmicheskogo-monitoringa> (дата обращения: 26.03.2019).



Современные проблемы территориального развития. 2019. № 2. ID 85  
ISSN: 2542-2103

Свидетельство о регистрации СМИ: ЭЛ № ФС 77 — 68371 от 30.12.2016

3. USGS [Электронный ресурс]: Band designations for the Landsat satellites. URL: <https://landsat.usgs.gov/what-are-band-designations-landsat-satellites> (дата обращения: 26.03.2019). сайт об экологии и природопользовании

4. Горшков М.В. Экологический мониторинг. Учеб. пособие. 2-е изд. испр. и доп. – Владивосток: Изд-во ТГЭУ, 2010. 300 с.

5. Катаев Михаил Юрьевич, Бекеров Артур Александрович Методика обнаружения водных объектов по многоспектральным спутниковым измерениям // Доклады ТУСУРа. 2017. Т. 20, № 4. С. 105–108.

6. ArcGIS Pro [Электронный ресурс]: Галерея индексов. URL: <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/help/data/imagery/indices-gallery.htm> (дата обращения: 26.03.2019).

7. Жолобов Д.А., Баев А.В. Уточнение значений нормализованного вегетативного индекса (NDVI), методом наложения транспирационной маски // Инновации в науке: сб. Ст. По матер. XLV междунар. Науч.-практ. Конф. № 5(42). – Новосибирск: сибак, 2015. <https://sibac.info/conf/innovation/xlv/42254>

8. Черепанов А.С., Дружинина Е.Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы // Геоматика, 2009. № 3. С. 28–32

### **Morozova Valeriya**

*teaching assistant, Department of Geomorphology and Geoecology, Saratov State University, Saratov*

## **CALCULATION OF INDICES FOR THE ANALYSIS OF WATER OBJECTS ACCORDING TO REMOTE SENSING DATA**

*The article analyzes the main indices of water object identification according to remote sensing data. The computational rasters for each of the indices (WRI, NDWI, MNDWI, NDTI, NDMI and NDSI) were created, the main targets for each case were considered.*



Современные проблемы территориального развития. 2019. № 2. ID 85  
ISSN: 2542-2103

Свидетельство о регистрации СМИ: ЭЛ № ФС 77 — 68371 от 30.12.2016

*As a result, the main input and output data were obtained to get information about the objects, their main parameters of the spectral characteristics were given by the example of the Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus satellite (ETM+).*

*Key words: landsat, flood, water object, hydrography, index, WRI, NDWI, MNDWI, NDTI, NDMI, NDSI.*

© АНО СНОЛД «Партнёр», 2019  
© Морозова В. А., 2019

#### Учредитель и издатель журнала:

Автономная некоммерческая организация содействие научно-образовательной и литературной деятельности «Партнёр»  
ОГРН 1161300050130 ИНН/КПП 1328012707/132801001

Адрес редакции: 430027, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Ульянова, д.22 Д, пом.1  
тел./факс: (8342) 32-47-56; тел. общ.: +79271931888;  
E-mail: [redactor@anopartner.ru](mailto:redactor@anopartner.ru)



#### О журнале

- ✓ Журнал имеет государственную регистрацию СМИ и ему присвоен международный стандартный серийный номер ISSN.
- ✓ Материалы журнала включаются в библиографическую базу данных научных публикаций российских учёных Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).
- ✓ Журнал является официальным изданием. Ссылки на него учитываются так же, как и на печатный труд.
- ✓ Редакция осуществляет рецензирование всех поступающих материалов, соответствующих тематике издания, с целью их экспертной оценки.
- ✓ Журнал выходит на компакт-дисках. Обязательный экземпляр каждого выпуска проходит регистрацию в Научно-техническом центре «Информрегистр».
- ✓ Журнал находится в свободном доступе в сети Интернет по адресу: [www.terjournal.ru](http://www.terjournal.ru). Пользователи могут бесплатно читать, загружать, копировать, распространять, использовать в образовательном процессе все статьи.

Прием заявок на публикацию статей и текстов статей, оплата статей осуществляется через функционал Личного кабинета сайта издательства "Партнёр" ([www.anopartner.ru](http://www.anopartner.ru)) и не требует посещения офиса.