

Географические науки

УДК 528.88

А.А. ВАСИЛЬЧЕНКО

(Волгоград)

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ ВЫДЕЛЕНИЯ ВОДНОГО ЗЕРКАЛА С ПОМОЩЬЮ СПЕКТРОЗОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ ДЗЗ

Описаны методы выделения водного зеркала на основе спектрозональных данных ДЗЗ: автоматическая и полуавтоматическая классификация, экспертное дешифрирование, водные индексы. На эталонном участке произведен анализ точности методов выделения.

Ключевые слова: автоматическая классификация, кластеризация, коэффициент спектральной яркости (КСЯ), водные индексы, ГИС-технологии.

ALEKSANDR VASILCHENKO

(Volgograd)

ANALYSIS OF BASIC METHODS OF DIFFERENTIATION OF THE WATER LINE WITH THE HELP OF THE SPECTROZONAL FACTS OF EARTH REMOTE PROBING

The article deals with the methods of the differentiation of the water line based on the spectrozonal facts of the Earth remote probing: automatic and semi-automatic classification, expert decoding, water indexes. There is conducted the analysis of the accuracy of the differentiation method at the standard zone.

Key words: automated classification, clusterization, index of spectral brightness, water ratio index, GIS-technology.

В настоящее время на юге Российской Федерации наблюдается тенденция увеличения количества водохозяйственных проблем. Засуха и маловодье 2020 г. внесли свои корректировки в схемы водопользования на многих водохранилищах юга России. Наиболее остро проблемы наблюдались на Волгоградском, Цимлянском и Краснодарском водохранилищах [4], а критическая ситуация сложилась на водохранилищах полуострова Крым [Там же]. Вследствие возникновения таких ситуаций требуется оперативный мониторинг площадей и объемов водохранилищ. Данные по отметкам уровня воды на гидрологических постах отражены на сайтах, входящих в группу государственного гидрологического мониторинга (примеры сайтов). Периодичность обновления данных – ежедневно. Однако, например, на территории полуострова Крым данные по гидропостам получить проблематично [Там же]. Данные по площадям в оперативном порядке получить можно с помощью данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) высокого и сверхвысокого пространственного разрешения. Сопоставление данных об уровнях воды и площадях водохранилищ позволит производить оперативный мониторинг любых ситуаций, связанных с переизбытком/недостатком воды. В данной статье рассмотрены и проанализированы основные методы выделения (классификации) водной поверхности по данным ДЗЗ с помощью ГИС технологий. Идентификация водного зеркала также важна для ландшафтно-экологических исследований в речных поймах при определении заливаемых в половодья земель. Эти данные используются для оценки гидрологических изменений в ландшафтах [2, 3].

Наиболее рациональным методом выделения водного зеркала на данных ДЗЗ является использование инструментов автоматической и полуавтоматической классификации изображений.

Классификация (кластеризация) методом К-средних (k-means) позволяет выделять необходимое количество кластеров в автоматическом режиме с учетом настроек пользователя. Метод К-средних основывается на вычислении центра масс (значений раstra) для каждого кластера с последующим циклическим расчетом новых кластеров, на основе данных, полученных на предыдущих этапах. Количество циклов управляемо, или же заканчивается, когда вычисление новых кластеров не дает нового результата. В ГИС-среде данный алгоритм можно использовать как с одноканальным, так и многоканальным изображением. Алгоритм хорошо себя зарекомендовал при использовании на небольших площадях исследования (до 100 тыс. га) при выделении не более 3 кластеров. Результат классификации представляется растровой поверхностью с заданным числом кластеров. Дальнейшее преобразование необходимого кластера состоит в его калькуляции (например, значение 1 – необходимый кластер, значение 0 – остальные кластеры) и преобразовании в векторный формат, с последующей ручной обработкой артефактов.

Другим быстрым методом выделения водной поверхности на данных ДЗЗ можно считать использование полуавтоматической классификации на основе коэффициента спектральной яркости [5]. Для этого используют спектрально-зональные космические снимки высокого разрешения. В качестве основы следует использовать каналы ближнего, среднего или коротковолнового инфракрасного диапазона (NIR, MIR, SWIR).

Наиболее доступными в этом плане считаются снимки со спутников Sentinel 2 и Landsat. В архивах данных ДЗЗ со спутника Sentinel 2A/2B (временной промежуток 2015 – н. в.) используют канал (band) № 8 (NIR – ближний инфракрасный), а также № 11 (SWIR – коротковолновый инфракрасный). В архивах данных ДЗЗ со спутника Landsat 1-3 (сканер MSS, временной промежуток 1973–1983 гг., пространственное разрешение 80 м.) используется околоинфракрасный канал № 4 (0,8–1,1 мкм). Данные Landsat 5 (сканер TM, временной промежуток 1984–2013 гг., пространственное разрешение 30 м.) – канал № 5 (MIR) – средний инфракрасный диапазон (1,55–1,75 мкм). Данные Landsat 7 (сканер ETM+, временной промежуток 1999 – н. в., артефакты сканера с 2003 г., пространственное разрешение 30 м.) – канал № 5 (MIR) – средний инфракрасный диапазон (1,55–1,75 мкм). Данные Landsat 8 (сканер OLI/TIRS, временной промежуток 2014 – н. в., пространственное разрешение 30 м.) – канал № 7 (SWIR 2) – коротковолновой инфракрасный диапазон (2,11–2,29 мкм).

Перед проведением классификаций необходимо проводить операции по атмосферной коррекции и радиометрической калибровке. Такие операции для данных Landsat могут производиться вручную на основе метаданных, поставляемых вместе со спектрально-зональными данными, или же в автоматическом режиме, используя инструменты в ГИС. Данные Sentinel 2 поставляются уже с радиометрической калибровкой и требуют только атмосферной коррекции, которая выполняется в специальном программном обеспечении SNAP.

Для выделения водной поверхности вручную задают стиль для одноканального псевдоцветного изображения. Для этого определяется диапазон значений раstra водной поверхности и задается единый цвет. Значения, не являющиеся водной поверхностью, устанавливаются прозрачными. Опыт использования такого метода показал, что для спектрально-зональных данных диапазон коэффициента спектральной яркости варьируется значениями раstra менее 0,05. Данные значения являются универсальными в большинстве случаев, но все же требуют контроля и уточнения. Далее производится экспорт только изображения с примененным стилем (создается новый растр). Необходимые данные переводятся в векторный формат с помощью функций «растр в вектор» для дальнейшего анализа. При больших массивах данных этапы обрезки снимков и векторизации можно проводить в пакетном режиме, это максимально ускорит процесс обработки. После векторизации следует удалить лишние объекты и проверить топологию получившихся слоев (ошибки геометрии).

Кроме инструментов автоматической и полуавтоматической классификации космических снимков, существует ряд водных индексов, в основу расчета которых также входят спектрально-зональные данные. Кроме функций по выделению водного зеркала, они позволяют анализировать различные характеристики. Каждый алгоритм расчета имеет свои достоинства и недостатки, которые будут рассмотрены далее.

Водный индекс (Water Ratio Index – WRI) – один из самых быстрых способов расчета и вычленения водных объектов с помощью спектрально-зональных данных [1]. Является отношением суммы зеленого

и красного каналов и суммы ближнего и коротковолнового инфракрасного канала с наибольшей длиной волны (1). Результатом расчета является растровая поверхность, со значениями от 0 и выше. Водными считаются объекты со значениями выше 1.

$$WRI = \frac{RED+GREEN}{NIR+SWIR(2)} \quad (1)$$

Нормализованный разностный водный индекс (Normalized difference water index – NDWI) – один из алгоритмов расчета качественных показателей содержания влаги [1]. Данный индекс хорошо определяет водные объекты на поросших растительностью площадях, однако чувствителен к однородным площадям (водному зеркалу), поэтому для выделения водной поверхности требуется точная классификация значений выходного растра, что занимает достаточно времени. NDWI является отношением разности ближнего и коротковолнового инфракрасного канала (с наибольшей длиной волны) и их суммы (2).

$$NDWI = \frac{NIR - SWIR(2)}{NIR + SWIR(2)} \quad (2)$$

Модифицированный нормализованный разностный водный индекс (Modified normalized difference water index – MNDWI) – алгоритм выделения водной поверхности, отлично определяющий разницу значений вдоль береговой линии [Там же]. Выходной растр имеет значения в промежутке [-1; 1], значения воды принимаются больше 1. При выделении водных объектов этот алгоритм более эффективен, чем расчет NDWI, т. к. он отлично определяет однородные площади (водное зеркало). MNDWI является отношением разности зеленого и коротковолнового инфракрасного канала с наибольшей длиной волны и их суммы (3).

$$MNDWI = \frac{GREEN - SWIR(2)}{GREEN + SWIR(2)} \quad (3)$$

Нормализованный индекс мутности (Normalized difference turbidity index – NDTI) – алгоритм расчета влажности в объектах на космоснимке [Там же]. При выделении водной поверхности может выдавать погрешности на недавно осушенные территории. В пределах водного зеркала различия индекса показывают наличие примесей, а также наличие растительности и планктона. NDTI является отношением разности красного и зеленого каналов и их суммы (4).

$$NDTI = \frac{RED - GREEN}{RED + GREEN} \quad (4)$$

Стандартизованный индекс различий увлажненности (Normalized difference moisture index – NDMI) – индекс, аналогичный NDWI [1], использующий меньшую длину волны в коротковолновом канале (5). Тонкая настройка результатов расчета позволит идеально выделить береговую линию из-за четкой границы разности увлажнения. Может использоваться для уточнения результатов расчета других индексов при выделении водного зеркала.

$$NDMI = \frac{NIR - SWIR(1)}{NIR + SWIR(1)} \quad (5)$$

Эталонным участком для сравнения методов выделения водной поверхности было выбрано Симферопольское водохранилище. В качестве основных данных ДЗЗ использовался снимок Sentinel 2A от 11.05.2020 г. Спектрональные данные прошли процесс атмосферной коррекции и радиометрической калибровки. С помощью инструментов, встроенных в QuantumGIS версии 3.14, был произведен расчет индексов, а также проведение алгоритмов классификации и экспертного дешифрирования. Карта-схема полученных данных отражена на рис. на с. 7. Полученные результаты выделения водной поверхности водохранилища были переведены в векторный формат, и, соответственно, подсчитаны площади (см. табл. на с. 7). За эталон принят метод экспертного выделения (ручного дешифрирования) с масштабом картографирования 1:500.

Таблица

Результаты выделения водной поверхности на эталонном участке

Метод выделения	Площадь водного зеркала, га
Экспертное дешифрирование	117,10
Полуавтоматическая классификация	118,92
Кластеризация (k-means)	120,44
MNDWI	116,79
NTDI	121,64
NDWI	116,85
NDMI	113,5
WRI	119,4

При картографировании таких объектов обычно закладывается погрешность выделения, равная 5%. Все индексы и методы выделения, отталкиваясь от экспертного дешифрирования попадают в разброс 5%.

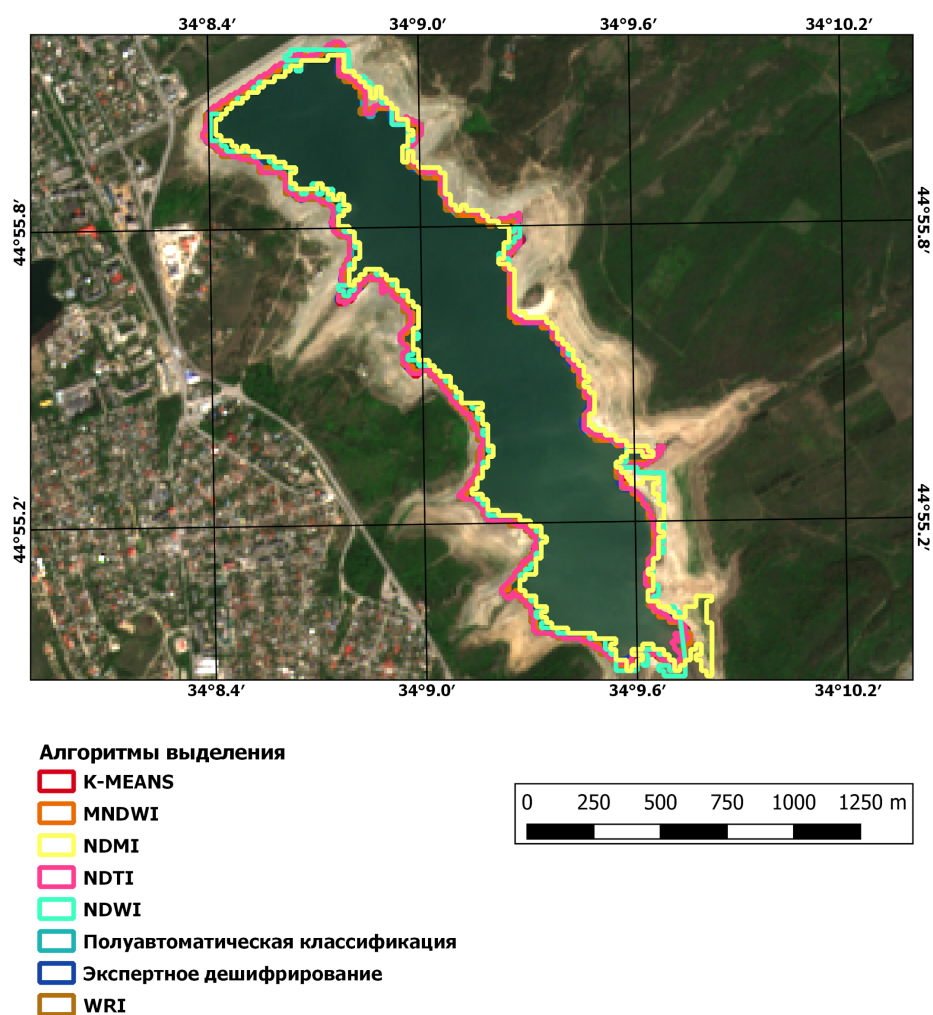


Рис. Результаты выделения водной поверхности на эталонном участке

Таким образом, все методы выделения показали себя достаточно точными в процессе выделения водного зеркала. Наиболее быстрыми методами для обработки больших массивов данных ДЗЗ можно считать полуавтоматическую классификацию и индекс WRI. В связи с сильными различиями в границах, которые выделены по индексам влажности (NDWI, NDMI), их не рекомендуется использовать при выделении водного зеркала. Данные индексы отлично подходят для выделения береговой линии из-за четкой наблюдаемой разницей значений.

Литература

1. Морозова В.А. Расчет индексов для выявления и анализа характеристик водных объектов с помощью данных дистанционного зондирования // Современные проблемы территориального развития. 2019. № 2. С. 9.
2. Рулев А.С., Шинкаренко С.С., Кошелева О.Ю. Оценка влияния гидрологического режима Волги на динамику затопления острова Сарпинский // Ученые записки Казанского ун-та. Сер.: Естественные науки. 2017. Т. 159. Кн. 1. С. 139–151.
3. Шинкаренко С.С., Солодовников Д.А. Формирование новой дельты Сырдарьи // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 2. С. 267–271.
4. Шинкаренко С.С., Солодовников Д.А., Барталев С.А. Гидрологическая ситуация на водохранилищах юга европейской части России в 2020 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 18. № 1. С. 248–254.
5. Solodovnikov D.A., Shinkarenko S.S. Present-Day Hydrological and Hydrogeological Regularities in the Formation of River Floodplains in the Middle Don Basin // Water Resources. 2020. V. 47. No. 6. P. 719–728.