

## Географические науки

УДК 528.88

**А.А. ВАСИЛЬЧЕНКО**

(Волгоград)

### **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ ВОЛГО-АХТУБИНСКОЙ ПОЙМЫ**

*Описаны методы идентификации орошаемых массивов в пределах Волго-Ахтубинской поймы. Исследованы методические особенности орошаемых полей на предмет использования, а также идентификации культур с помощью сезонной динамики NDVI.*

Ключевые слова: автоматическая классификация, кластеризация, NDVI, Sentinel, Landsat, ГИС-технологии.

---

**ALEXANDER VASILCHENKO**

(Volgograd)

### **PROSPECTS OF THE USE OF GEOINFORMATION TECHNOLOGIES FOR THE ANALYSIS OF THE STATE OF IRRIGATED LANDS OF THE VOLGA-AKHTUBA FLOODPLAIN**

*The article deals with the methods of the identification of the irrigated lands in the Volga-Akhtuba floodplain. There are described the methods of the analysis of the irrigated lands for the purpose of use and the identification of the cultures with the help of the seasonal dynamics NDVI.*

Key words: automatic classification, clustering, NDVI, Sentinel, Landsat, GIS-technology.

Анализ орошаемых массивов с помощью геоинформационных технологий в настоящее время является перспективной задачей. Отличительной особенностью орошаемых полей Волго-Ахтубинской поймы являются: маленькая площадь и размеры. В связи с этим большинство подходов, применяемых для анализа богарных полей, в условиях орошения не могут использоваться. К базовому геоинформационному анализу орошаемых массивов можно отнести анализ на используемость/не используемость, определение сельскохозяйственных культур, залежей и их предположительного возраста.

По данным топографических карт и планов, на территории Волго-Ахтубинской поймы и дельты Волги находятся 45 тысяч орошаемых полей, большинство из которых заброшены и не используется. Структура орошаемых массивов представляет собой мелкие поля, шириной и длиной до 150 метров, разделенные оросительными каналами центральной для массива системы, или искусственно созданными мелкими каналами – арыками, которые выполняют не только транспортную функцию для воды, но и также задерживают ее в пределах поля. В ходе предварительной разработки базы данных орошаемых земель Волго-Ахтубинской поймы на основе данных сверхвысокого пространственного разрешения и экспертного выделения орошаемых полей в рабочих масштабах 1:250–1:500, было определено, что на территории Волгоградской области, в пределах муниципальных районов, находящихся в пойме, сосредоточены 7 тыс. орошаемых полей. Средняя площадь составила всего 5 га. Самой крупной территориальной единицей является Светлоярская оросительная система, насчитывающая около 3 тысяч полей. Использование данных ДЗЗ среднего и низкого разрешения для анализа таких орошаемых массивов достаточно проблематично и требует использования различных методов анализа и источников данных.

К базовым способам анализа с помощью геоинформационных инструментов является определение используемых и неиспользуемых орошаемых полей. Это можно выполнить на основе данных ДЗЗ высокого пространственного разрешения Sentinel и Landsat с помощью алгоритмов классификации без обучения. При автоматической классификации создаются уникальные классы, которые при классификации с обучением могут быть не распознаны как отдельные и могут принадлежать к более общему классу, что приведет к снижению достоверности получаемых результатов [2]. На относительно небольших территориях, с заранее заданным количеством классов алгоритм выделит различные территории, схожие по спектральным характеристикам. Данный метод является не очень точным, т. к. пространство между орошаемыми полями слишком малое, и порой достигает размеров меньших, чем пространственное разрешение космических снимков. Однако в качестве предварительного анализа территории, с точки зрения временных затрат, использование алгоритмов автоматической классификации является целесообразным. К алгоритмам автоматической классификации в данном случае можно отнести наиболее распространенные K-means и ISODATA.

Классификация (кластеризация) методом K-средних (k-means) позволяет выделять необходимое количество кластеров в автоматическом режиме с учетом настроек пользователя. Метод K-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 при выделении не более 5 кластеров. Результат классификации представляется растровой поверхностью с заданным числом кластеров [1]. Дальнейшее преобразование необходимого кластера состоит в его калькуляции (например, значение 1 – необходимый кластер, значение 0 – остальные кластеры) и преобразовании в вектор, с последующей ручной обработкой артефактов [1].

Классификация (кластеризация) методом ISODATA – интерактивный самоорганизующийся метод анализа данных (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique) – более перспективный инструмент, т. к. является модификацией k-means. В основе ISODATA лежит многошаговая кластеризация, при которой каждая итерация подразумевает перемещение пикселей с одного кластера в другой, более ближний по значениям раstra, а также математическую проверку вновь созданных кластеров [2].

Основным и более точным способом определения обрабатываемых орошаемых массивов является использование вегетационного индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Нормализованный относительный индекс растительности – показатель активности биомассы, является отношением разности отражения в ближнем инфракрасном диапазоне и отражения в красном диапазоне к их сумме [4] (1)

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

NIR – ближний инфракрасный канал, RED – красный канал.

Биомасса присутствует на используемых и не используемых полях, поэтому использование NDVI как индикатора представляется сложным. В этом случае более рациональным способом будет являться анализ сезонной динамики NDVI. Сезонную динамику можно составлять с помощью данных ДЗЗ. Самым популярным и доступным инструментом для составления сезонной динамики NDVI являются данные со спутников Terra и Aqua съёмочной системы MODIS. Данные MODIS находятся в открытом доступе на различных ресурсах NASA [Там же]. Данные MODIS поставляются в виде множества готовых для работы продуктов. Это продукты с различным пространственным и временным охватом, а также с различной степенью обработки. Множество продуктов имеют специализированную обработку, к которой можно отнести: LST (Land surface temperature), VI (Vegetation indices), Thermal Anomalies and fire, LAI (Leaf area index), ET (Evapotranspiration), GPP (Gross primary productivity) и др. С точки зрения составления сезонной динамики NDVI наиболее интересны данные со спектральным отражением

поверхности (Surface reflectance), а также готовые данные с NDVI. Готовые данные с индексом растительности поставляются в виде разновременных композитов данных с средними значениями. Наиболее часто используемые композиты имеют временной масштаб в 16 дней. С помощью таких композитов можно быстро отследить начало вегетации тех или иных культур на сельскохозяйственных полях, а также обосновать выбор данных ДЗЗ более высокого пространственного разрешения для решения поставленных задач. Данные со спектральным отражением поверхности имеют периодичность в один день, а NDVI с помощью них рассчитывается непосредственно в ГИС и прикладных программах. Каждый продукт MODIS имеет свой код и версию. Готовый продукт MODIS по вегетационным индексам, шестнадцатидневный композит разрешением 250 м имеет код MOD13Q1 v006 и MOD13Q1 v061 соответственно. Разрешение 250 метров на обычных данных MODIS имеют только два канала: красный и ближний инфракрасный, которых достаточно для ручного или полуавтоматического расчета NDVI. Часты случаи, когда использование шестнадцатидневного композита недостаточно для поставленных задач из-за крупного временного промежутка и средних значений. В этом случае используют ежедневные данные. Главная проблема при использовании ежедневных данных – облачность. Специалисты института космических исследований (ИКИ РАН) разработали методику, в основе которой лежит использование значений ближайших просветов на снимках и интерполяция пропущенных данных. Таким образом, продукты MODIS являются самым оптимальным решением для составления сезонной динамики NDVI и, соответственно, наблюдением за сельскохозяйственными посевами. Однако из-за низкого пространственного разрешения эти данные не могут использоваться для орошаемого земледелия в Волго-Ахтубинской пойме. Данные MODIS могут использоваться для уточнения информации или получению данных на крупные орошаемые массивы, если они засеяны одними культурами и примерно в одно время. Данная проблема вынуждает использовать для более высокой точности спутниковые данные Sentinel и Landsat.

Спектрально-радиометрические данные со спутников Sentinel 2 и Landsat имеют высокое пространственное разрешение и, соответственно, могут использоваться для идентификации растительности на отдельных элементах орошаемых массивов. Красный и ближний инфракрасный канал в данных Sentinel 2A/2B имеют пространственное разрешение 10 метров, а периодичность съемки – 10 дней. Радиометрическая калибровка и коррекция атмосферных искажений данных производится с помощью программы SNAP. Данные Landsat 8 OLI-TIRS имеют разрешение 30 метров и периодичность съемки в 16 дней. Коррекция атмосферных искажений и радиометрическая калибровка производятся вручную, с помощью файла метаданных или же с помощью алгоритмов в геоинформационных системах. Таким образом, использование данных высокого разрешения является проблематичным при выстраивании графиков сезонного NDVI на орошаемых полях из-за крупного промежутка между съемками. Также следует понимать, что значительная часть данных будет не пригодна для использования из-за облачности. Так, для пополнения количества точек на графике можно использовать радарные данные спутника Sentinel 1, нечувствительного к облачности, пространственное разрешение которого зависит от способов обработки данных.

Периодичность съемки у Sentinel 1A составляет от 1 до 3 дней. Обработка радарных данных производится с помощью программы SNAP. Классификация культур с помощью радарных данных ДЗЗ возможна только с помощью двойной поляризации: VV (Vertical-Vertical) и VH (Vertical-Horizontal). Радарные данные отлично подходят для сельскохозяйственного мониторинга, т. к. частота съемки довольно высока, а облачность и плохая освещенность не влияют на качество данных. Проведенными ранее исследованиями было доказано, что на значения радарных данных серьезно влияет влажность почвы, однако на радарный NDVI влияние влажности выражено не столь резко [3].

Анализ сезонного NDVI позволит выявить используемые и неиспользуемые орошаемые угодья. В связи с тем, что фитомасса присутствует на всех полях, то сезонный ход NDVI у используемых и не используемых полей будет отличаться. На используемых полях на территории Волго-Ахтубинской поймы и сопредельных орошаемых массивах правобережья р. Волга и левобережья р. Ахтуба выращиваются различные овощные и бахчевые культуры.

В отличие от орошаемых сельскохозяйственных полей Волго-Ахтубинской поймы на богарной пашне можно использовать данные MODIS для построения сезонного хода NDVI. График сезонной динамики значений NDVI на обрабатываемых полях с озимой пшеницей начинает возрастать уже с 80 дня года, а резкий подъем (начало вегетации) наблюдается на 110–115 день года. Максимальные значения на фазе кущения наблюдаются с 120 по 180 день и находятся в промежутке 0,8–0,9. Значения NDVI начинают уменьшаться на 180 день года и спускаются на плато с 200 по 240 день после созревания пшеницы [4].

График сезонного хода значений NDVI на обрабатываемых полях с яровым ячменем начинает возрастать с 110 дня года и увеличивается в зависимости от количества осадков вплоть до 150–160 дня года со средними значениями NDVI 0,7–0,8. В дальнейшем значения NDVI постепенно снижаются, а небольшие изменения графика связаны с количеством осадков и развитием фитомассы после уборки урожая.

График сезонного хода значений NDVI на обрабатываемых полях с подсолнечником начинает возрастать с 110 дня года. Первое повышение значений NDVI наблюдается в период с 110 по 150 день. Далее значения NDVI уменьшаются, что связано с процессом цветения подсолнечника (отражение солнечной энергии увеличивается – NDVI уменьшается). С 160-го дня наблюдается повышение значений NDVI с максимумом в районе 200 дня года и средним значением в 0,7.

Исследуя графики сезонных значений радарного NDVI можно сделать вывод о том, что разделить культуры по данным радарной съемки достаточно проблематично. В отличие от спектрзональных снимков, на радарных данных отсутствует последовательный ход графиков и, соответственно, не прослеживаются различные фазы вегетации. Это говорит о том, что на рассеивание сигнала влияют иные факторы, не всегда обусловленные биофизическими параметрами растительности [3]. Использование радарных данных целесообразно для дополнения данных для орошаемых полей, а также устранения пропусков на те даты, где использование оптико-электронных снимков невозможно из-за погодных или иных условий.

Таким образом, исследование орошаемых земель Волго-Ахтубинской поймы на предмет использования является достаточно проблематичной задачей. Прежде всего, проблематика состоит в выделении границ полей. Многие орошаемые поля, являющиеся частью орошаемых массивов имеют площадь до 5 га. Определенные закономерности в распространении отдельно обрабатываемых полей в пределах массивов выявить достаточно сложно – высока доля человеческого фактора. Многие обрабатываемые массивы локализованы, в основном, по инфраструктурным причинам – там, где есть доступ к воде (ерики, протоки), функционирует сеть оросительных каналов, или же развита сеть поливочного оборудования. Определение таких полей на предмет использования с помощью геоинформационных технологий в автоматическом режиме практически невозможно. На первичном этапе исследования важным этапом обязательно должно быть экспертное дешифрирование. В некоторых случаях необходимо полевое эталонирование. После определения основных «очагов» орошаемого земледелия, с помощью основных геоинформационных инструментов возможно исследование на используемость поля, а также выявление посеянной культуры. Для выделения используемых и неиспользуемых полей отлично подходят алгоритмы неконтролируемой классификации k-means и ISODATA, для которых важным является определение количества классов. Определение культуры и разделение залежей в весенний и осенний период возможно только при исследовании сезонной динамики NDVI. С помощью различных продуктов среднего разрешения MODIS (MOD13Q1 v006 и MOD13Q1 v061) можно составлять сезонные графики значений NDVI для крупных орошаемых массивов. Для исследования более мелких полей требуется использование данных ДЗЗ высокого и сверхвысокого пространственного разрешения. Данные Sentinel 2 и Landsat можно использовать для построения сезонных графиков NDVI, но, зачастую, данные не будут иметь непрерывный характер, поэтому для заполнения пропусков можно использовать радарные данные Sentinel 1, обработка которых намного сложнее, чем у оптико-электронных данных.

### Литература

1. Васильченко А.А. Анализ основных методов выделения водного зеркала с помощью спектрональных данных ДЗЗ // Электрон. науч.-образоват. журнал «Грани познания». 2021. № 2(73). С. 4–8. [Электронный ресурс]. URL: <http://grani.vspu.ru/files/publics/1620212248.pdf> (дата обращения: 10.05.2021).
2. Горохова И.Н., Филиппов Д.В. Применение геоинформационных технологий и материалов космической съемки для мониторинга орошаемых земель Светлоярской оросительной системы (Волгоградская область) // Исследование Земли из космоса. 2017. № 4. С. 79–87.
3. Мышляков С.Г. Возможности радарных снимков Sentinel-1 для решения задач сельского хозяйства // Геоматика. 2016. № 2. С. 16–24.
4. Шинкаренко С.С., Бодрова В.Н., Сидорова Н.В. Влияние экспозиции склонов на сезонную динамику вегетационного индекса NDVI посевных площадей // Изв. Нижневолж. агроуниверситет. комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 1(53). С. 96–105.
5. EarthDATA: [сайт]. URL: <https://search.earthdata.nasa.gov/search> (дата обращения: 15.05.2021).