

УДК 528.87; 528.854

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ СТРУКТУРНЫХ ПРИЗНАКОВ
ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ
ВЫСОКОГО И СРЕДНЕГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ**

**Л.Г. ЕВСТРАТОВА, кандидат технических наук, доцент
(Государственный университет по землеустройству, Москва, Россия)
lge_21@mail.ru**

В работе изложено одно из решений проблемы поиска устойчивой системы дешифровочных признаков для выявления изменений по разновременным космическим снимкам на примере определения зарастания древесно-кустарниковой растительностью залежных земель при мониторинге земель. В работе приведены результаты исследований информативности структурных признаков, которые построены с использованием вейвлет-анализа. Вейвлет-преобразование объединяет два подхода – пространственное спектральное разложение и кратномасштабный анализ. Совместный анализ коэффициентов на различных уровнях может служить самостоятельным дешифровочным признаком, позволяющим выделять границы однородных участков. Выявлено, что информативность признаков, получаемых с помощью вейвлет-функций Добеши, позволяет определить структурные изменения изображения объекта на определенном масштабе. Используя это свойство, можно определить участки снимка, на которых изображено зарастание залежных земель древесно-кустарниковой растительностью. На основании выполненных исследований предложена методика автоматизированного выявления зарастания залежных земель древесно-кустарниковой растительностью по космическим снимкам на основе вейвлет-анализа.

Ключевые слова: дешифрирование, структурные и текстурные признаки, обработка разновременных многоспектральных космических изображений

**THE STRUCTURAL FEATURES EFFECTIVENESS
FOR DETECTING CHANGES IN SATELLITE IMAGES
OF HIGH AND MEDIUM SPATIAL RESOLUTION**

**L.G. EVSTRATOVA, candidate of Technical Sciences, docent
(State University of Land Use Planning, Moscow)**

The paper presents one of the problem solutions of searching for stable system of detecting changes decoding features in multi-temporal satellite images by the example of determining the fallow lands overgrowth with tree

and shrub vegetation when land monitoring. The results of structural features informativeness studies based on the wavelet analysis is presented in the paper. The wavelet transform combines two approaches – spatial spectral decomposition and multiscale analysis. The joint analysis of coefficients at different levels can serve as an independent decoding feature that allows you to distinguish the boundaries of homogeneous sections. The features informativeness obtained with the help of the Daubeshi wavelet functions makes it possible to determine the structural changes in the object image at a certain scale is revealed. Using this property, it is possible to determine the areas of the image that depict the fallow lands overgrowth with tree and shrub vegetation. Based on the performed studies, a method of fallow lands overgrowth automated detection with tree and shrub vegetation based on satellite images wavelet analysis is proposed.

Keywords: *decoding, structural and textural features, processing of multi-time multispectral space image*

Введение. Современные автоматизированные методы распознавания образов по изображениям позволяют с достаточной достоверностью дешифровать различные объекты. При решении задачи выявления изменений необходимо наличие разновременных данных: космических снимков, архивных и актуальных картографических материалов об объекте исследования и т. п. На практике, часто обрабатываются только разновременные космические снимки, другие данные по различным причинам не могут быть использованы. Другая проблема состоит в том, что временная глубина исследования требует обрабатывать многоспектральные космические снимки, полученные разными съемочными системами. Значительная часть алгоритмов выявления изменений по многоспектральным снимкам использует в качестве основного дешифровочного признака спектральную яркость изображения, что не позволяет достигать высокой достоверности [1, 2], т. е. получаемые результаты автоматизированного выявления изменений малопригодны для дальнейшего анализа, например, составления тематических карт выявленных нарушений по использованию земель.

Структурный подход описания текстуры изображения объектов на снимках высокого и среднего пространственного разрешения на местности позволяет повысить достоверность выявления изменений, так как более устойчив к изменениям спектральных яркостей изображения объектов на разновременных космических снимках [1, 2]. Разработаны различные методы описания текстуры изображения объектов местности [2 – 6]. Однако универсального метода, позволяющего описать все разнообразие текстур объектов и выполнить на их основе автоматизированное выявление изменений,

не существует [1, 2, 3]. Поэтому совершенствование и разработка новых методов автоматизированного анализа разновременных снимков высокого и среднего пространственного разрешения на местности, обеспечивающих высокую достоверность выявления изменений, является актуальной задачей.

Основная часть. Выявление изменений по разновременным снимкам – востребованная задача при проведении дистанционного мониторинга земель различного уровня. В настоящее время в Российской Федерации реализуется государственная программа вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения. Таким образом, стоит задача выявления неиспользуемых сельскохозяйственных земель и зарастания залежных земель.

1. Краткое описание используемого метода

Поскольку структурные свойства изображений объектов на космических снимках обладают большей устойчивостью к влиянию внешних факторов, то очевидно, что алгоритмы, которые основываются на этих свойствах, будут обладать большей эффективностью, чем те, которые основаны на спектральных свойствах изображений. К таким методам относятся Фурье- и вейвлет-анализ.

Вейвлет-преобразование основано на функциях, которые локализованы по частоте и по времени, что обеспечивает возможность анализа результата, как в частотном, так и в физическом пространстве [7, 8]. В основе вейвлет-анализа лежит идея выделения информации при различных уровнях детализации.

Для выполнения двумерного вейвлет-преобразования необходимо наличие двумерной масштабирующей функции и трех двумерных вейвлет-функций, которые соответствуют изменениям яркости на изображении в разных направлениях: вертикальном, горизонтальном и диагональном [8, 11].

2. Исходные данные и методика исследования

Были исследованы структурные признаки разновременных космических снимков QuickBird, WorldView, Spot 5 и IRS-P6. Пространственное разрешение на местности этих снимков соответствует требованиям к точности определения координат характерных точек границ земельного участка, отнесенного к землям сельскохозяйственного назначения (Приказ Росреестра от 23.10.2020 N П/0393 (ред. от 29.10.2021)). На космических снимках изображены классы земного покрытия – редкие и густые лиственные леса, сельскохозяйственные угодья и территории садоводческих обществ.

В данной работе стоит задача оперативного выявления изменений на исследуемом участке и получения пространственного расположения выявленных изменений.

Для решения задачи определения зарастания древесно-кустарниковой растительностью участков сельскохозяйственных угодий необходимо правильно выбрать исходный материнский вейвлет, так как с помощью правильно выбранной вейвлет-функции можно локализовать изменение частот сигнала [8 – 14], а в случае анализа космического изображения данным изменением частот будет являться переходная граница между древесной растительностью и не заросшими территориями залежных земель.

Число возможных вейвлет-функций множество. В настоящей работе исследуется несколько вейвлет-функций: Добеши, симлет и биортогональный. Выбор был сделан на основе теоретического анализа работ [7 – 14], из которых сделан вывод, что выбранные вейвлет-функции могут быть применены для обработки разновременных изображений с целью определения изменений. На рисунке 1 показаны фрагмент снимка и вейвлет-образы (подготовил А. А. Антошкин).

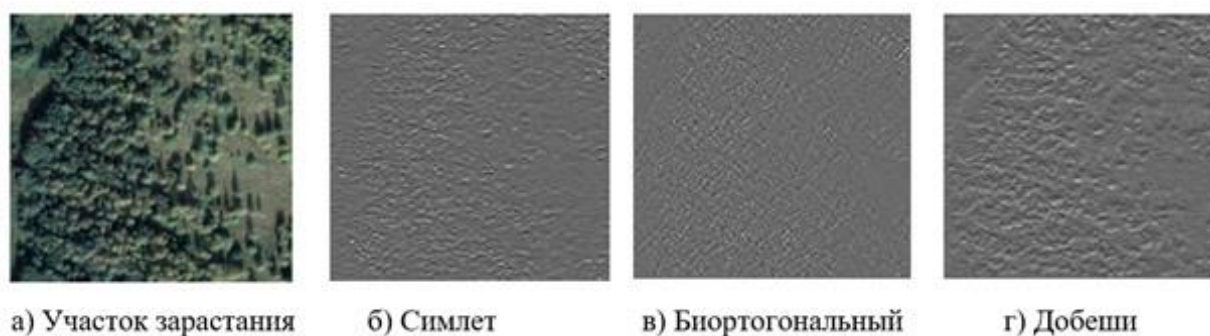


Рисунок 1. – Пример вейвлет-образов

Для каждого фрагмента изображения выполнялось вейвлет-разложение до 16 уровня по выбранным вейвлет-функциям. Далее вычисляли и выполняли анализ коэффициентов корреляции между вторым и последующими уровнями вейвлет-преобразования (таб. 1).

Таблица 1. – Средние значения коэффициентов корреляции между соответствующими уровнями вейвлет-разложения

Вейвлет	Добеши	Биортогональный	Симлет
Уровни вейвлет-разложения	2	2	2
2	1	1	1
4	0.907	0.856	0.862
6	0.834	0.764	0.794
8	0.748	0.561	0.563
16	0.675	0.512	0.393

Из таблицы 1 видно, что разница между значениями коэффициентов корреляции между вторым и четвертым уровнями для определения участка изображения, содержащего зарастание, при использовании вейвлет-функций биортогонального и симлета вида между собой составляет сотые доли, а по сравнению с вейвлет-функцией Добеши составляет десятые доли, а так как пороговое значение было определено в десятых долях, данное расхождение можно считать существенным. Значит, для решения задач выявления зарастания предпочтительнее вейвлет Добеши, так как он является наиболее подходящим для выделения особенности изображения, поэтому исследование выполнялось по вейвлет-функциям Добеши.

Разработанная система структурных признаков изображений объектов, основанная на вейвлет-преобразовании, была применена при решении задачи обнаружения зарастаний участков залежных земель древесно-кустарниковой растительностью.

Для определения зарастания участков залежных земель древесно-кустарниковой растительностью по разновременным снимкам вычислялся коэффициент корреляции между соответствующими уровнями вейвлет-разложения. Анализ полученных результатов показал, что пороговое значение коэффициента корреляции 0,820 между вторым и четвертым уровнями вейвлет-разложения является индикатором определения изменения. Таким образом, из всего снимка выбирают только участки, на которых произошли изменения, что сокращает время обработки. Далее для определения местоположения и площади участка зарастания производится вычитание разновременных фрагментов снимков с последующей автоматической векторизацией изменений.

3. Результаты экспериментальных исследований

В ходе исследований было установлено, что информативность признаков, получаемых с помощью вейвлет-функции Добеши второго порядка, зависит от числа уровней вейвлет-разложения. Набор признаков, полученный при четвертом уровне вейвлет-разложения, обеспечивал высокую достоверность выявления изменений, а именно зарастаний угодий (залежи) древесно-кустарниковой растительностью. Таким образом, совместный анализ коэффициентов вейвлет-разложения на различных уровнях может служить самостоятельным дешифровочным признаком, позволяющим выделять границы однородных участков.

На основании выполненных исследований предложена методика автоматизированного выявления зарастания залежных земель древесно-кустарниковой растительностью по космическим снимкам на основе вейвлет-анализа [15].

Заключение. Выполнены исследования дешифровочных признаков, основанных на вейвлет-преобразовании космических снимков высокого и среднего пространственного разрешения на местности, обладающих такими параметрами, как вид вейвлет-функции и уровень преобразования, наилучшие значения которых определено для решения задачи выявления зарастания древесно-кустарниковой растительностью участков залежных земель.

В результате проведенных исследований установлено, что предложенная методика выявления изменений показала высокую достоверность (97 %) и может быть использована на этапе предварительной обработки космических снимков. Предложенный подход позволяет повысить оперативность и качество ведения государственного земельного надзора на землях сельскохозяйственного назначения и понизить капиталовложения и расходы на выполнение работ, направленных на установление границ неиспользуемых сельскохозяйственных угодий и введение земель в оборот.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Синявский Ю. Н., Пестунов И. А., Дубровская О. А., Рылов С. А., Мельников П. В., Ермаков Н. Б., Полякова М. А. Методы и технология сегментации мультиспектральных изображений высокого разрешения для исследования природных и антропогенных объектов // Вычислительные технологии. – 2016. – Том 21. – № 1. – С. 127 – 140.
2. Харалик Р. М. Статистический и структурный подходы к описанию текстур // ТИИЭР. – 1979. – Т. 67. – № 5 – С. 98 – 120.
3. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений / под науч. ред. перевода П. А. Чочия. – 3-е изд. – М.: Техносфера, 2012. – 1104 с.
4. Пантюшин В. А. Оценка информативности текстуры и структуры цифровых изображений // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2020. – № 6. – С. 48 – 53.
5. Кольцов П. П. Сравнительное изучение алгоритмов выделения и классификации текстур // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2011. – Т. 51. – № 8. – С. 1561 – 1568.
6. N. K. Abbadji, N. S. Dahir, Z. A. Alkareem. Skin texture recognition using neural networks // Proc. Int'l Arab Conf. on Information Technology. – 2008. – P. 1 – 4.
7. Гук А. П., Евстратова Л. Г., Гордиенко А. С. Использование структурных признаков изображений типовых участков местности для выявления изменений состояния территорий по космическим снимкам высокого разрешения // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2009. – № 6. – С. 52 – 56.
8. Дремин И. М., Иванов О. В., Нечитайло В. А. Вейвлеты и их использование // Успехи физических наук. – 2001. – Том 171. – №5. – С. 465 – 501.
9. Гордиенко А. С. Использование вейвлет-анализа при обработке аэрокосмических снимков // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2010. – № 2. – С. 68 – 71.
10. Прэтт У. К., Фожра О. Д., Гагалович А. Применение моделей стохастических текстур для обработки изображений. – ТИИЭР 5 – 1981 – С. 54 – 64.
11. Яковлев А. Н. Введение в вейвлет-преобразования // Новосибирск: НГТУ, 2003. – 104 с.

12. Айфичер Э. С. Джервис Б. У. Цифровая обработка сигналов – М.: Вильямс, 2004. – 992 с.
13. Steven L. B. Data Driven Science & Engineering, Machine Learning, Dynamical Systems and Control, 2017.
14. Lee G. R., Gommers R., Wasilewski F., Wohlfahrt K., O’Leary A. Pywavelets: A python package for wavelet analysis // Vol. 4 (36). – 2019. – PP. 1237.
15. Евстратова Л. Г., Антошкин А. А. Выявление зарастания пахотных земель по космическим снимкам на основе структурных признаков // Материалы VIII международной науч. конференции «Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли» / Науч. редактор Е. А. Ваганов, отв. ред. Г. М. Цибульский. – Красноярск, 2021. С. 73 – 76.