

# RECOGNITION OF THE INHOMOGENEOUS STRUCTURE OF AGRICULTURAL OBJECT FOR SOLVING AGROMONITORING TASKS

*Ruslan V. Brezhnev, Yury A. Maglinets*

The Institute of Space and Information Technology of Siberian Federal University,  
Krasnoyarsk, Russia

## **Abstract**

The work is devoted to the study of features of spatial objects of heterogeneous dynamically changing structure on the example of objects of the class «agricultural land» («AL») according to the Earth remote sensing data from space. The subject of the research are methods of information support for end users when solving problems of monitoring the temporal variability of spectral, spatial and geometric features characterizing the area with homogeneous vegetation (agricultural contour, AC), which during the growing season is subject to changes caused by the influence of natural and anthropogenic factors.

*Keywords: Earth remote sensing, agromonitoring, phenological phases, heterogeneities, agrotechnical measures, spatial object, agricultural land, end user*

# РАСПОЗНАВАНИЕ НЕОДНОРОДНОЙ СТРУКТУРЫ ОБЪЕКТА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ АГРОМОНИТОРИНГА

*Брежнев Р.В., Маглинец Ю.А.*

Институт космических и информационных технологий  
Сибирского федерального университета, Красноярск

Работа посвящена исследованию особенностей пространственных объектов неоднородной динамически изменяющейся структуры на примере объектов класса «земля сельскохозяйственного назначения» («ЗСХН») по данным дистанционного зондирования Земли из космоса. Предметом исследования являются методы информационной поддержки конечным пользователям при решении задач мониторинга временной изменчивости спектральных, пространственных и геометрических признаков, характеризующих участки с однородной растительностью (сельскохозяйственный контур, СК), который в течение вегетационного периода подвержен изменениям, вызванным влиянием природных и антропогенных факторов.

*Ключевые слова:* дистанционное зондирование Земли, агромониторинг, фенологические фазы, неоднородности, агротехнические мероприятия, пространственный объект, земля сельскохозяйственного назначения, конечный пользователь.

**Введение.** В сельскохозяйственной отрасли на основе методов дистанционного мониторинга решается целый ряд тематических задач: оценка состояния и использования полей севооборотов, параметров плодородия почв и их деградации, состояния растительного покрова на пашне, залежах, сенокосных и пастбищных угодьях, прогнозирование урожайности, определение границ полей и др.

Однако не нашли достаточного развития исследования, в которых объект «ЗСХН» рассматривался бы с точки зрения многообразия своей структуры и ее признаков, позволяющих одновременно фиксировать различные состояния и отслеживать отклонения от нормы отдельных структурных элементов объекта в целях оказания информационной поддержки конечным пользователям – лицам, принимающим решения, по управлению объектом с применением методов дистанционного зондирования Земли и привлечением дополнительной информации. Конечными пользователями являются лица, принимающие решения (агрономы, инженеры, агроэкологи), не являющиеся специалистами в методах работы с аэрокосмическими данными ДЗЗ и соответствующими программными пакетами. Конечные пользователи являются основными постановщиками задач мониторинга объектов и потребителями результатов их решения.

**Особенности исследуемого объекта.** В нормативном состоянии объект «ЗСХН» характеризуется равномерной однородной растительностью (сельскохозяйственной культурой) или открытой почвой. Отклонения проявляются в неравномерном и несвойственном заданному промежутку вегетационного периода развитии растительности, что на аэрокосмических снимках ДЗЗ можно рассматривать как неоднородную структуру объекта [1], которую возможно детектировать с использованием спектральных вегетационных признаков. При этом характер неоднородности обладает изменчивостью во времени, что значительно усложняет задачу мониторинга.

Неоднородности в рамках контура объекта возникают под влиянием естественных природно-климатических и антропогенных факторов. К природно-климатическим факторам относится естественная смена фенологических фаз развития сельскохозяйственной культуры, а к техногенным факторам относятся выполняемые по запланированному времени агротехнические мероприятия.

Одной из задач сельского хозяйства и, в частности, точного земледелия и агроэкологии является своевременное реагирование на нестандартные отклонения развития сельскохозяйственных культур, деградацию почв или неполное выполнение агротехнических работ, что повышает риск потери части урожая.

Кроме того, для обеспечения оперативности в принятии решений по управлению объектом «ЗСХН», требуется разработка методических и алгоритмических аспектов взаимодействия конечных пользователей с системами мониторинга [2, 3] для осуществления контроля состояния объекта с учетом его неоднородной структуры и повышения эффективности землепользования на основе точечной обработки земель с минимальным привлечением экспертов в области обработки и анализа данных ДЗЗ и геоинформационных технологий. Современный объем свободно распространяемых данных ДЗЗ, значительное улучшение их временного и пространственного разрешения в совокупности с использованием беспилотных летательных аппаратов и наземными исследованиями позволяет повысить оперативность проведения точечных агротехнических мероприятий и их контроля.

К таким мероприятиям относится, например, точечное внесение средств защиты посевов с применением сельскохозяйственной техники и оборудования для переменного дозирования или локальное обследование химического состава почвы.

**Алгоритм локализации неоднородной структуры объекта.** В условиях рассмотренных особенностей исследуемого объекта и направленности информационного процесса мониторинга на конечного пользователя, необходима разработка автоматического алгоритма, позволяющего конечному пользователю самостоятельно применять специализированные средства получения, обработки и анализа изображений для локализации неоднородной структуры объекта и интерпретации состояний его неоднородных областей, а результаты локализации представлять в виде разновременных карт неоднородности.

Результаты работы алгоритма носят рекомендательный характер возможного использования сельскохозяйственной техники для точечной обработки неоднородностей. При этом важно учитывать оптимальные факторы размера и формы неоднородных областей, при которых возможно оптимизировать траекторию движения техники. Для этого алгоритм должен учитывать минимальное ограничение площади, при которых неоднородные области со значением площади менее заданного порога не принимаются во внимание. Учет формы позволяет преобразовывать неоднородности вытянутой неправильной формы к выпуклой форме, что позволяет оптимизировать траекторию движения сельскохозяйственной техники. В качестве фактора формы используется толщина, измеряемая от 0 до 1. При этом значения толщины близкие к 0 характеризуют вытянутую форму, а близкие к 1 – округлую форму, близкую к выпуклой.

Разработанный алгоритм основывается на следующих основных этапах, которые рассмотрены далее.

*Получение данных ДЗЗ* [4, 5]. В работе использовался открытый источник данных ДЗЗ Геологической службы США (United States Ground Survey – USGS), на котором публикуются и регулярно обновляются данные программ Landsat, Aqua, Terra, Sentinel и некоторые другие. Поскольку структура объекта, вызываемая локальными проявлениями неравномерной растительности и проведением агротехнических мероприятий, детектируется с использованием спектральных признаков, то требуются данные с разрешением не хуже 30 метров на пиксель, поскольку использование данных низкого разрешения нивелирует различия отражательной способности значительных по площади областей изображения. Таким условиям удовлетворяют данные космических аппаратов Landsat-8 и Sentinel-2A.

Основным действием алгоритма на данном этапе является выполнение поискового запроса к сервису USGS с последующей автоматической загрузкой наиболее актуальных относительно текущего времени данных на заданную пользователем область мониторинга с учетом облачности не более 10 %.

*Подготовка данных ДЗЗ.* Публикуемые в USGS данные включают радиометрическую и геометрическую коррекцию, а также географическую привязку без использования наземных опорных точек. Подготовка включает распаковку полученного архива данных, проведение атмосферной коррекции, удаление облачных пикселей из используемых каналов – красного  $Band_{RED}$  и ближнего инфракрасного  $Band_{NIR}$ , обрезку изображения по векторной маске заданного объекта «ЗСХН» и расчет вегетационного индекса нормированной разницы (NDVI).

Для получения корректных значений индекса целесообразно произвести атмосферную коррекцию полученных данных. Суть атмосферной коррекции заключается в снижении влияния различных явлений атмосферы (водяной пар, кислород, углекислый газ, метан, озон, молекулы аэрозоли, частицы пыли) на снимок. Для проведения атмосферной коррекции использовался метод вычитания однопроцентно темного объекта (Dark Object Subtraction – DOS) [6].

Удаление облачных пикселей в случае данных Landsat-8 основывается на анализе канала качества изображения, а в случае с Sentinel-2A используется алгоритм детектирования облачности, описанный в работе [7].

Расчет спектрального индекса NDVI и получение канала  $Band_{NDVI}$  выполняется по формуле:

$$NDVI = NIR - RED / NIR + RED \quad (1)$$

**Локализация неоднородных областей объекта «ЗСХН»** и интерпретация их состояний по данным ДЗЗ рассматривается, как задача сегментации спутникового изображения по спектральным признакам с целью выделения пространственных неоднородностей в рамках контура объекта. Для изображения задана функция яркости  $f(x, y)$ , которая преобразуется оператором вида:

$$TH: f(x, y) \rightarrow s(x, y), \quad s(x, y) = \begin{cases} \lambda_i \text{ при } D_i \leq f(x, y) < D_{i+1}, \\ \lambda_0 \text{ при } f(x, y) \leq D_0, \\ \lambda_{m-1} \text{ при } f(x, y) > D_{m-1} \end{cases} \quad (2)$$

где  $s(x, y)$  – сегментированное изображение,  $M$  – число результирующих сегментов,  $\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_{m-1}$  – метки сегментов,  $D_0, D_1, \dots, D_{m-1}$  – величины порогов значений NDVI, характеризующие отдельные состояния объекта, упорядоченные так, что  $D_0 < D_1 < D_{m-1}$ .

Сегментация позволяет разбить конечное подмножество плоскости  $\theta_i$  (область изображения объекта) на  $M$  непустых непересекающихся подмножеств  $w_i, i = 1, 2, \dots, M$  в соответствии с заданными критериями однородности, которые построены на основе диапазонов значений спектрального признака NDVI, полученных на основе многолетних спутниковых и полевых измерений, характерных для исследуемой территории.

Сегментированное изображение приводится от иконического уровня к уровню геометрических и реляционных структур (рис. 1), что, с одной стороны, позволяет вычислять спектральные и метрические признаки неоднородностей и установить взаимосвязи между этими признаками в заданные диапазоны времени, а с другой стороны, представить результаты локализации в виде карты неоднородностей.

Для каждого сегмента  $w_i$ , характеризующего неоднородность, рассчитываются метрические признаки, к которым относятся следующие:

Площадь  $w_i$ :

$$NS = \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^{n-1} x_i y_{i+1} + x_n y_1 - \sum_{i=1}^{n-1} x_{i+1} y_i - x_1 y_n \right|, \quad (3)$$

где  $(x_i, y_i), i = 1, 2, \dots, n$  – последовательность координат соседних друг другу вершин многоугольника,  $(x_{i+1}, y_{i+1}) = (x_1, y_1)$ .

Периметр  $w_i$ :

$$NP = \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}, \quad (4)$$

где  $i = 1, 2, \dots, n$  – число вершин контура.

Толщина  $w_i$ :

$$T = 4\pi(NS/NP^2). \quad (5)$$

После расчета спектральных и метрических признаков выполняется определение актуального состояния  $F$  каждой неоднородной области  $w_i$  (рис. 1 б), которое рассматривается как функция зависимости от времени  $Tm$  и среднего значения вегетационного индекса  $\bar{N}$ :  $F_{w_i}(Tm, \bar{N})$ .

В процессе принятия решения об обследовании неоднородных областей не следует учитывать все полученные области, а требуется выделить только те области, состояние которых существенно отклонено от нормы. При этом возможны ситуации, при которых алгоритм определяет состояние  $w_i$  как несоответствующее норме, но на практике неоднородная область близка к нормативному состоянию, характерному текущему времени, а причиной незначительного отставания в развитии участка растительности связано с возможной ограниченной освещенностью или недостаточной влажностью почвы в силу локальных особенностей рельефа.

Для того, чтобы исключить неоднородности, состояния которых близко к нормативному необходимо рассчитать вероятность корректного определения состояния, которая основывается на расчете среднеквадратического отклонения  $\sigma$  значений вегетационного индекса от нормы и вероятности попадания в интервал дискретной случайной величины:

$$P(\alpha < \bar{N} \leq \beta) = \Phi_0\left(\frac{\beta - d}{\sigma}\right) - \Phi_0\left(\frac{\alpha - d}{\sigma}\right), \quad (6)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  – заданные пороговые значения интервалов индекса NDVI;  $d$  – математическое ожидание;  $\Phi_0$  – функция Лапласа.

При небольшом значении  $\sigma$  вероятность корректного определения текущего состояния близка к 100%. Исходя из этого, текущее состояние сравнивается с нормативным и в случае несоответствия конечному пользователю рекомендуется обследовать неоднородность.

При условии, что неоднородная область будет обрабатываться с использованием механических средств, то контур соответствующего сегмента подвергается анализу на соответствие заданным ограничениям размера и формы.

Для сегментов, значение площади которых менее заданной, выполняется объединение с соседним сегментом большей площади (рис. 1,а – красные контуры). Затем проверяется фактор формы сегмента, при этом для сегментов, значение толщины которых менее заданного, выполняется преобразование к выпуклой форме контура (рис. 1,а – желтые контуры).

Таким образом, на рисунке 1,б изображена результирующая карта неоднородности, полученная в результате формирования конечным пользователем информационного запроса в системе агромониторинга. Карта отображает неоднородные участки объекта «ЗСХН» с интерпретацией состояния каждого участка, а также набором атрибутов, к которым относятся: площадь, периметр, толщина, среднее значение NDVI, сельскохозяйственная культура, текущее время и соответствующая ему фенологическая фаза и выполняемое агротехническое мероприятие.

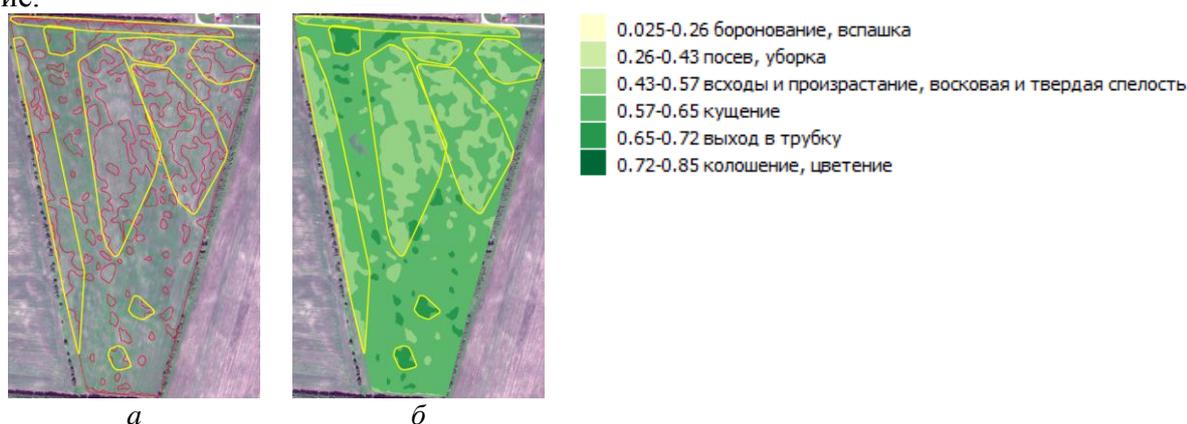


Рис. 1. Примеры карт неоднородности объекта «ЗСХН» при различных величинах порогов  $NS$  и  $T$ :  $a$  –  $NS \leq 0,1$  Га,  $T \leq 0,2$ ;  $b$  – интерпретация состояний неоднородностей.

**Заключение.** Разработанный алгоритм локализации неоднородной динамически изменяющейся структуры пространственного объекта рассчитан на использование конечными пользователями в системе агромониторинга (<http://activemap.ikit.sfu-kras.ru>). Алгоритм поз-

воляет конечному пользователю применять специализированные средства получения, обработки и анализа спутниковых изображений в целях решения задачи мониторинга объектов сельскохозяйственного назначения неоднородной динамически изменяющейся пространственной структуры.

Алгоритм является самоактивизирующимся в зависимости от заданных временных точек актуализации состояния объекта «ЗСХН», зависящих от фенологических фаз развития культуры и плана проведения агротехнических мероприятий. При этом конечный пользователь имеет возможность самостоятельно сформировать запрос для получения актуального состояния структуры объекта с указанием ограничений на признаки размера и формы.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Якушев, В. П. Информационное обеспечение точного земледелия [Текст] / В. П. Якушев, В. В. Якушев. – СПб.: ПИЯФ РАН, 2007. – 384 с.
- [2] Маглинец, Ю.А. Развитие средств автоматизации приёма и обработки спутниковой информации региональной системы ДЗЗ СФУ / Ю.А. Маглинец, Р.В. Брежнев // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – Москва, 2011. – Т.8, No.3. – С. 120-128.
- [3] Brezhnev, R.V. An Ontological Spatial Monitoring System for Agricultural Land Monitoring / R.V. Brezhnev, E.A. Maltsev // Pattern Recognition and Image Analysis. 2015. Vol. 25, N 2. P. 201-208.
- [4] Программно-технологическая инфраструктура представления и обработки геопро пространственной информации муниципального района / Ю. А. Маглинец, Е. А. Мальцев, Р. В. Брежнев, А. С. Соснин, Г. М. Цибульский, К. В. Шатрова // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – Москва, 2012. – Т.9, No.3. – С. 316-324.
- [5] Программно-технологическая инфраструктура информационной поддержки решения задач территориального управления / Р. В. Брежнев, Ю. А. Маглинец, Е. А. Мальцев, С. Е. Перфильев, А. Ю. Сидоров, Г. М. Цибульский, А. С. Шокол // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. – Красноярск, 2012. – Т. 5, № 3. – С. 340-352.
- [6] Pat S. Chavez Image-Based Atmospheric Corrections - Revisited and Improved // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – Vol. 62, No. 9. – September 1996. – P. 1025-1036.
- [7] Мальцев, Е. А. Extracting a Cluster of Clouds in the SPOT 4 Satellite Images/ Е. А. Мальцев, Д. А. Перфильев, Э. Е. Сиротин, Г. М. Цибульский // Pattern Recognition and Image Analysis (Advances in Mathematical Theory and Applications). 2011. Т. 21, № 2, P. 522–525.