# Космічні апарати, супутникові системи та методи обробки супутникової інформації

УДК 530.5

DOI: 10.15421/452021

## АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ЛЕСНЫХ РЕСУРСОВ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ЗЕМЛИ

А.Л. Закора, В.В. Сазонов

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, г. Москва*

**Аннотация. В статье представлен алгоритм оценки некоторых таксационных показателей лесных фондов по данным дистанционного мониторинга. Разработан программный модуль, выполняющий автоматическую оценку количественных характеристик лесных массивов. Предложенный метод использует особенности спектрально - отражательных характеристик лесной растительности, а применение фильтрации дает возможность учесть особенности рассматриваемых объектов. В качестве источников данных использовались результаты цветной и инфракрасной цифровой аэрофотосъемки с беспилотных летательных аппаратов. Анализировались данные RGB и NIR (ближнего инфракрасного диапазона) камер с высоким разрешением. Обработка аэрофотоснимков проведена с использованием градиентных методов, алгоритмов фильтрации и разделения снимков на зоны. Использование вегетационных индексов в качестве признаков распознавания, значение которых рассчитывалось на основе коэффициентов спектральной яркости красного и ближнего инфракрасного диапазонов, позволило сократить время на идентификацию объектов съемки. В работе рассмотрены как общие, так и специфические способы обработки ортофотопланов. Показана возможность непосредственной оценки некоторых количественных характеристик таксационных показателей путем использования скрытых закономерностей отражательных свойств крон деревьев, содержащихся в изображении. Разработанный алгоритм и программный модуль предоставляет возможность автоматизировать учет лесных ресурсов, проводить актуализацию таксационной базы данных , следить за изменениями характеристик лесов, для осуществления надзора над их состоянием, в кратчайшие сроки получать объективную информацию о состоянии лесных фондов. Программа написана с использованием среды разработки Pycharm. Программный блок реализована в виде отдельного модуля и интегрирован в открытую геоинформационную систему QGIS.**

**Ключевые слова: ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ЗЕМЛИ, ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ИНДЕКС, АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ УЧЕТ ЛЕСНЫХ РЕСУРСОВ**

## АЛГОРИТМ ОЦІНКИ ЛІСОВИХ РЕСУРСІВ ЗА ДАНИМИ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ЗЕМЛІ

О.Л. Закора, В.В. Сазонов

*Московський державний університет імені М. В. Ломоносова, м. Москва*

**Анотація. У статті представлений алгоритм оцінки деяких таксаційних показників лісових фондів за даними дистанційного моніторингу. Розроблено програмний модуль, що виконує автоматичну оцінку кількісних характеристик лісових масивів. Запропонований метод використовує особливості спектрально - відбивних характеристик лісової рослинності, а застосування фільтрації дає можливість врахувати особливості розглянутих об'єктів. Як джерела даних використовувалися результати кольоровий і інфрачервоної цифровий аерофотозйомки з безпілотних літальних апаратів. Аналізувалися дані RGB і NIR (ближнього інфрачервоного діапазону) камер з високою роздільною здатністю. Обробка аерофотознімків проведена з використанням градієнтних методів, алгоритмів фільтрації й поділу знімків на зони. Використання вегетаційних індексів в якості ознак розпізнавання, значення яких розраховувалося на основі коефіцієнтів спектральної яскравості червоного та ближнього інфрачервоного діапазонів,**

© А.Л. Закора, В.В. Сазонов

**дозволило скоротити час на ідентифікацію об'єктів зйомки. В роботі розглянуті як загальні, так і специфічні способи обробки ортофотопланів. Показана можливість безпосередньої оцінки деяких кількісних характеристик таксаційних показників шляхом використання прихованих закономірностей відбивних властивостей крон дерев, що містяться в зображенні. Розроблений алгоритм і програмний модуль надає можливість автоматизувати облік лісових ресурсів, проводити актуалізацію таксаційна бази даних, стежити за змінами характеристик лісів, для здійснення нагляду над їх станом, в найкоротші терміни отримувати об'єктивну інформацію про стан лісових фондів. Програма написана з використанням середовища розробки Pycharm. Програмний блок реалізована у вигляді окремого модуля і інтегрований в відкриту геоінформаційну систему QGIS.**
**Ключові слова: ДИСТАНЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ ЗЕМЛІ, ВЕГЕТАЦІЙНИЙ ІНДЕКС, АВТОМАТИЗОВАНЕ ОБЛІК ЛІСОВИХ РЕСУРСІВ**

# ALGORITHM FOR ASSESSMENT OF FOREST RESOURCES BY REMOTE MONITORING DATA

A. Zakora, V. Sazonov

*M. V .Lomonosov Moscow State University, Moscow*

**Abstract. The article presents an algorithm for assessing some taxation indicators of forest resources based on remote monitoring data. A software module has been developed that automatically evaluates the quantitative characteristics of forest areas. The proposed method uses the features of the spectral - reflective characteristics of forest vegetation, and the use of filtration makes it possible to take into account the features of the objects under consideration. As data sources, the results of color and infrared digital aerial photography from unmanned aerial vehicles were used. High resolution RGB and NIR (near infrared) camera data were analyzed. The processing of aerial photographs was carried out using gradient methods, filtering algorithms and division of images into zones. The use of vegetation indices as recognition signs, the value of which was calculated based on the spectral brightness coefficients of the red and near infrared ranges, made it possible to reduce the time for identifying the objects of photography. The paper considers both general and specific methods of orthomosaic processing. The possibility of direct assessment of some quantitative characteristics of taxation indicators by using the hidden regularities of the reflective properties of tree crowns contained in the image is shown. The developed algorithm and software module makes it possible to automate the accounting of forest resources, to update the taxation database, to monitor changes in the characteristics of forests, to monitor their condition, to receive objective information on the condition of forest funds as soon as possible. The program is written using the Pycharm development environment. The software block is implemented as a separate module and integrated into the open geographic information system QGIS.**
**Keywords: REMOTE EARTH MONITORING, VEGETATION INDEX, AUTOMATED ACCOUNTING OF FOREST RESOURCES**

## Введение

В настоящее время одними из источников информации о состоянии лесных ресурсов являются системы дистанционного зондирования Земли, а также данные с беспилотных летательных аппаратов.

Автоматизированными методами оценки лесных ресурсов занимаются, в первую очередь, в Институте космических исследований РАН [1]. Для классификации лесов применяются измерения спектральной яркости земной поверхности. В качестве признаков распознавания используются различные вегетационные индексы, значение которых рассчитывается на основе коэффициентов спектральной яркости видимого и ближнего инфракрасного диапазонов.

Один из часто используемых вегетационных индексов NDVI имеет несколько вариаций, предназначенных для уменьшения влияния различных помехообразующих факторов [2].

В работе [3] описаны подходы к определению таксационных показателей леса с использованием аэрокосмических снимков и лазерного сканирования.

В работе [4] описана методика сегментации мультиспектральных спутниковых изображений высокого пространственного разрешения.

В работе [5] описана методика распознавания объектов растительного

покрова с использованием изображений нескольких разносезонных космических изображений.

В представленной работе приведен алгоритм оценки количественных характеристик лесных массивов с использованием вегетационного индекса NDVI и триангуляционного индекса зеленой массы TGI.

**Постановка задачи исследований**

Цель исследования — построить алгоритм и создать программный продукт для автоматизированной инвентаризации лесного фонда, включающий автоматическую обработку ортофотопланов, полученных с беспилотных летательных аппаратов, используя скрытые закономерности отражательных свойств крон деревьев.

Решение поставленной задачи подразумевает создание графического интерфейса, обработку больших изображений и сохранение результатов в векторном формате для дальнейшего использования [6]. Важно отметить, что программа рассчитана на интеграцию в открытую геоинформационную систему QGIS [7] и должна иметь строгий формат ввода и вывода.

**Решение задачи**

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- получение и обработка данных;
- построение алгоритма и модуля, для интеграции в геоинформационную систему;
- модуль должен корректно обрабатывать ошибки и возвращать информацию, понятную пользователю.

В работе анализировались снимки RGB камеры с высоким разрешением и данные NIR (ближнего инфракрасного диапазона).

Применяемая аппаратура: камера Sony Cyber-shot DSC-RX1 (для получения RGB снимков) и Sony Alpha A5000 (для получения NIR).

Параметры АэроФотоСьёмки: H= 350 м, V= 70 км/ч, продольное перекрытие 80%, поперечное 70%.

Результаты АФС: снимки RGB разрешением 6 см/пиксель, снимки NIR разрешением 8 см/ пиксель.

Предварительная обработка изображения заключалась в определении вегетационного индекса NDVI с использованием каналов красной и ближней инфракрасной областей спектра. Индекс NDVI вычисляется по следующей формуле:

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

где $NIR$ — отражательная способность в ближней инфракрасной области спектра;

$R$ – отражательная способность в видимой красной области спектра.

На выходе получались значения, изменяющиеся от -1 до 1. Очень маленькие значения NDVI (<0.15) соответствуют пустым областям песка или снега. Умеренные значения (от 0.2 до 0.3) представляют кустарники и траву, в то время как большие значения (от 0.6 до 1.0) указывают на леса.

В случае отсутствия данных в ближней инфракрасной области спектра использовался триангуляционный индекс фитомассы TGI. Он служит для оценки количества хлорофилла в листьях и рассчитывается только по RGB данным. Значение индекса TGI характеризующего степень развития растительности, определяется как площадь треугольника, образованного точками на спектральной кривой с длинами волн λB = 480, λG = 550 и λR = 670 нм, по формуле [2]:

$$TGI = -0{,}5((\lambda R - \lambda B)(R - G) - (\lambda R - \lambda G)(R - B)), \quad (2)$$

где $B$ и $G$ – отражательная способность в голубой и зеленой областях спектра соответственно.

Для выделения растительности индекс можно рассчитывать с точностью до постоянного коэффициента, и формулу (2) можно упростить:

$$TGI = -0{,}61B + G - 0{,}39R, \quad (3)$$

Далее объекты с низким индексом, которые не являются растениями, исключаются из рассмотрения с помощью вегетативных индексов (1) и (3).

Оставшиеся зоны «размываются» с помощью фильтра Гаусса с большим ядром, в целях улучшения качества перед поиском объектов на изображении.

Гауссово «размытие» исходного изображения яркостью x(m, n), с радиусом r осуществлялось по следующей формуле:

$$y(m,n)=\frac{1}{2\pi r^2}\sum_{u,v}\ell^{\frac{-\left(u^2+v^2\right)}{2r^2}}x(m+u,n+v), \quad (4)$$

где *x (m, n)* - яркость сигнала, а пределы суммирования по *u* и *v* составляют несколько радиусов *r*(сигм),

Для оптимизации процесса вычислений, фильтрация (4) проводилась для каждой строки и каждого столбца матрицы яркости отдельно, что дало возможность проделать вычисления со сложностью порядка O(r) операций.

Далее отыскивались локальные максимумы яркости сигнала методом градиентного спуска.

Основная идея метода заключается в том, чтобы идти в направлении градиента, т.е. наибыстрейшего возрастания функции. Соотношение, с помощью которого реализуется метод, имеет следующий вид:

$$x^{k}=x^{k+1}-\lambda^{k}\nabla f\left(x^{k}\right),$$

где λ – величина шага;

*x* – обобщенная координата;

*vf(xk)* – градиент функции яркости.

Найденные локальные максимумы отождествлялись с вершинами деревьев.

Для выделения крон деревьев применялся алгоритм «водораздел», основанный на фильтре Собеля – дискретном дифференциальном операторе градиента яркости изображения. Он позволил разбить сплошные заросли деревьев на отдельные кроны, сумма площадей которых составляет площадь проекции полога леса. Результат поиска вершин и крон деревьев представлен на рис. 1.

**Рисунок 1 – Вершины и кроны деревьев**

Далее определялась сомкнутость полога, которая представляет собой отношение площади проекции всего полога к площади участка, занимаемого насаждением и густота древостоя, как число деревьев на единице площади. Между относительной полнотой и величинами густоты, сомкнутости полога и проекций крон существуют сложные взаимозависимости, которые представляют предмет изучения.

## Научная новизна

Таким образом, разработанный алгоритм с использованием вегетационных индексов растений предоставляет новые дополнительные возможности для актуализации таксационной базы данных лесных массивов.

## Выводы

Разработан алгоритм и программный модуль оценки количественных характеристик лесных массивов, предоставляющий дополнительные возможности для автоматизированного мониторинга лесной растительности, наблюдения за изменениями характеристик лесов с целью осуществления надзора за их состоянием. Построение алгоритма с учетом значений вегетационных индексов обеспечило более быструю и устойчивую работу модуля. Программа может использоваться в лесных хозяйствах для инвентаризации лесных массивов. Плагин написан с использованием среды разработки Pycharm и интегрирован в систему QGIS; https://plugins.qgis.org/plugins/geoscan_forest-master/.

## Библиографические ссылки


1. Барталев С.А., Егоров В.А., Жарко В.О., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Хвостиков С.А., Шабанов Н.В. Спутниковое картографирование растительного покрова России: М.ИКИРАН, 2016. 208с
2. Фисенко Е.В. Совершенствование методов автоматизации дешифрования почвенно-растительного покрова на основе расширения признакового пространства мультииндексной обработкой эталонных спектральных признаков объектов по данным синхронного наземного и космического дистанционного зондирования. Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка», МИИГАиК.2015. №6. С.81-86. ISSN: 0536-101X
3. РыльскийИ.А. Подходы к определению таксационных показателей леса с использованием аэрокосмических снимков и лазерного сканирования. Материалы Международной конференции «ИнтерКарто. ИнтерГИС». 2018; 24(2): С. 216–240.
4. Пестунов И.А., Мельников П.В., Рылов С.А., Синявский Ю.Н., Им С.Т. Ансамблевые алгоритмы сегментации мультиспектральных спутниковых изображений высокого пространственного разрешения и их практическое применение. XI Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»: Сборник тезисов докладов конференции. (Москва), Москва: ИКИ РАН – 2013.
5. Закора А.Л., Барталев С.А. Распознавание пахотных земель на основе измерения вегетационного индекса. Вісник Дніпропетровського університету. № 4. Т. 27. 2019. Серія: Ракетно-космічна техніка. Випуск 22. С. 3-8. ttps://doi.org/10.15421/451901
6. Max Kuhn, Kjelle Johnson. Applied Predictive Modeling: Springer, 2019.
7. QGIS [Эл. ресурс]: URL: https://plugins.qgis.org/plugins/geoscan_forest-master/.



*Надійшла до редколегії 15.10.2020р.*


## Сведения об авторах

Закора Александр Леонидович. Россия. Московский государственный университет, аспирант. Сфера интересов: дистанционное зондирование Земли, математическое моделирование.

Сазонов Василий Викторович. Россия. Московский государственный университет, канд. физ.-мат. наук, декан факультета космических исследований. Сфера интересов: математическое моделирование.