

использовать клен как породу для формирования подпологового яруса в низкополнотных насаждениях ценных пород, в частности, дуба черешчатого. При этом возможна осенняя посадка культур клена.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юркевич, И. Д. Лесотипологические таблицы / И. Д. Юркевич. – Минск : Наука и техника. – 1968. – 46 с.
2. Клыш, А. С. Сравнительная продуктивность искусственных и естественных кленовых насаждений / А. С. Клыш, Н. И. Якимов // Сб. науч. тр. / Ин-т леса НАН Беларуси. – Гомель, 2012. – Вып. 727 : Проблемы лесоведения и лесоводства. – С. 194-202.
3. Герасименко, М. В. / М. В. Герасименко, И. В. Соколовский // Труды БГТУ. Сер I, Лесн. хоз-во. – 2009. – Вып. XVII. – С. 147-149.

УДК 630\*587.2

## ОЦЕНКА ЗАПАСА СУХОСТОЙНЫХ ДЕРЕВЬЕВ ПО СНИМКАМ СВЕРХВЫСОКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ

**И. В. Толкач**

*УО «Белорусский государственный технологический университет», Минск, Беларусь  
e-mail: i.tolkach@belstu.by*

*В статье приводятся методика и результаты автоматизированного дешифрирования снимков сверхвысокого пространственного разрешения со сканера ADS-100 для оценки текущего санитарного состояния насаждения и запаса сухостойных деревьев на выделе. Выполнена оценка точности различных алгоритмов контролируемой классификации.*

**Введение.** В последние годы в связи с осложнившейся лесопатологической ситуацией в лесах республики, массовым размножением вредителей, расширением их ареала распространения и видового состава наблюдается значительное увеличение площадей усыхания еловых и сосновых древостоев. Внешним визуальным проявлением очагов поражения и усыхания являются отдельные деревья, их группы или куртины с порыжевшими кронами. У некоторых, как правило, крупных деревьев может наблюдаться усыхание части кроны или отдельных ветвей. Как показывают наблюдения, массовому размножению вредителей предшествует этап накопления их численности [1], поэтому мониторинг динамики усыхания, своевременное выявление появляющихся отдельных сухостойных деревьев, планирование и проведение комплекса мероприятий по борьбе с вредителями является задачей

первостепенной важности. Еще одной, не менее значимой задачей является предварительная оценка объемов усыхания и нанесенного ущерба.

Поврежденные деревья с порыжевшими кронами имеют характерные спектральные сигнатуры и хорошо заметны на фоне здоровых, что позволяет успешно выполнять их визуальное и автоматизированное дешифрирование по снимкам сверхвысокого пространственного разрешения, получаемых с применяемого в Беларуси воздушного цифрового сканера ADS-100 [2]. В этой связи изучение особенностей спектральных сигнатур сухостойных и усыхающих деревьев, разработка на их основе методов автоматизированного дешифрирования и оценки объемов усыхания является актуальной задачей.

**Основная часть.** Целью исследования стала автоматизированная классификация сухостойных деревьев по снимкам сканера ADS-100 и оценка объемов усыхания. Для реализации цели исследования необходимо решение следующих задач:

- цветовые и яркостные преобразования снимков, улучшение визуального восприятия и дешифровочных свойств;
- визуальное дешифрирование материалов съемки, выбор объектов исследования;
- неконтролируемая классификация снимков, формирование обучающих выборок;
- анализ спектральных сигнатур крон сухостойных деревьев;
- контролируемая классификация снимков различными методами;
- картирование сухостойных деревьев;
- оценка объемов усыхания по результатам классификации.

При проведении исследования использовались свободно распространяемые геоинформационная система SAGA (System for Automated GeoScientific Analysis) [3].

Опытные материалы представлены мультиспектральными (синий – B, зеленый – G, красный – R, ближний инфракрасный – NIR) снимками лесного фонда ГЛХУ «Червенский лесхоз» 2015 г. с пространственным разрешением 0,3 м. Для анализа отобраны выделы с сухостойными деревьями, расположенными равномерно по площади или куртинами. На выделах автоматизированным методом выполнялось контурное дешифрирование и векторизация границ крон каждого дерева (рисунок 1) с последующим визуальным дешифрированием крон сосны, ели и сухостойных деревьев, которые затем использовались в качестве эталонов при классификации с обучением (контролируемой классификации). Визуальное дешифрирование выполнялось на композитных снимках R – NIR, G – G, B – R, где кроны сухостоя имеют голубой цвет и отчетливо выделяются на фоне крон здоровых деревьев.

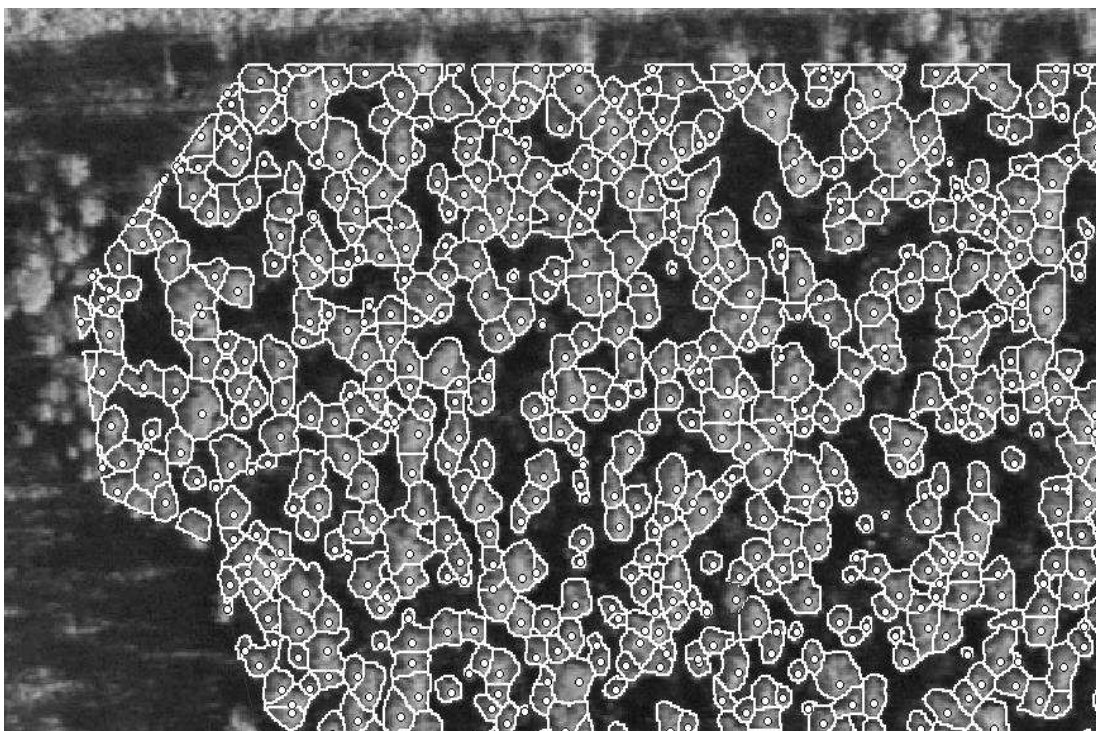


Рисунок 1 – Выдел 33 кв. 13 Волжского лесничества ГЛХУ «Червенский лесхоз» с наложенным векторным слоем распознанных границ крон деревьев

Для повышения надежности классификации в качестве дополнительного использовался слой с вычисленным усовершенствованным вегетационным индексом EVI (Enhanced Vegetation Index), позволяющий оценивать состояние растений, как в условиях густого растительного покрова, так и в условиях разреженной растительности. Так как величины спектральных яркостей каналов и вегетационного индекса EVI значительно различаются, была выполнена их нормализация в пределах 0-1.

Анализ полученных нормализованных средних значений спектральных яркостей и вегетационного индекса EVI у крон сосны, ели и сухостойных деревьев показал, что форма спектральных кривых здоровых и сухостойных деревьев значительно различается. Так у сухостойных деревьев нормализованные значения спектральных яркостей в синем, зеленом и красном каналах выше, а в ближнем инфракрасном канале ниже чем у здоровых. Так же значительно ниже нормализованные значения индекса EVI (рисунок 2).

Различия в показателях спектральных яркостей и форме спектральных кривых позволяют выполнять достаточно точную управляемую классификацию крон сухостойных деревьев [4].

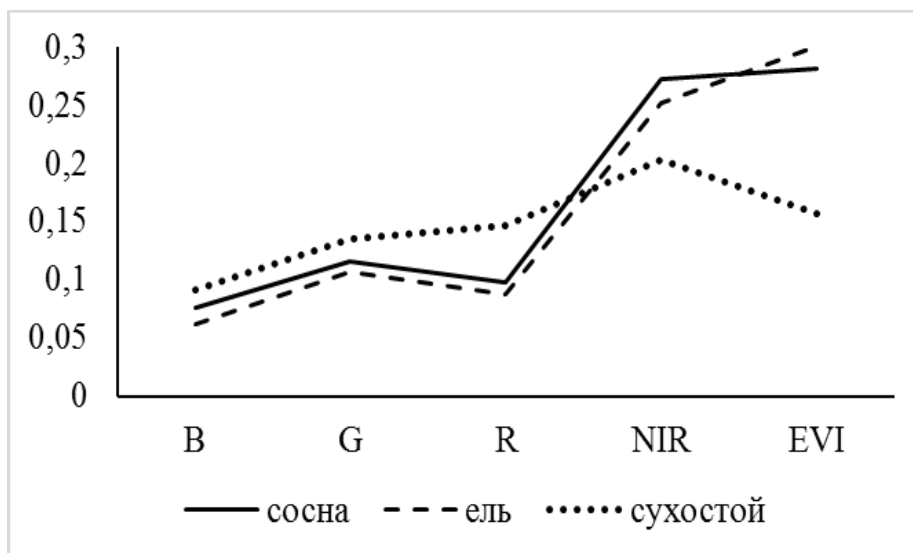


Рисунок 2 – Нормализованные кривые спектральных яркостей крон сосны, ели и сухостойных деревьев

В ходе исследования были апробированы все алгоритмы контролируемой классификации ГИС SAGA: двоичного кодирования (Binary Encoding); параллелепипеда (Parallelepiped); минимального расстояния (Minimum Distance); расстояния Махаланобиса (Mahalanobis Distance); максимальной вероятности (Maximum Likelihood); спектрального угла (Spectral Angle Mapping).

Оценка точности использованных алгоритмов классификации выполнялась визуально, путем подсчета числа крон правильно классифицированных сухостойных деревьев. Лучшие результаты показали алгоритмы минимального расстояния и спектрального угла, правильно классифицировавшие 93% и 96% крон сухостойных деревьев соответственно. Точность классификации с применением других алгоритмов (двоичного кодирования, параллелепипеда, расстояния Махаланобиса, максимальной вероятности) была значительно ниже и не превышала 70%.

По результатам классификации составлены векторные тематические карты сухостойных деревьев, где крона каждого дерева выделена в виде отдельного полигона (рисунок 3). Нужно отметить, что, хотя ни один алгоритм не обеспечивает абсолютного результата, точность классификации методами минимального расстояния и спектрального угла приемлема для их практического применения.

На завершающем этапе интерпретации выполнена оценка запаса сухостойных деревьев [5]. В качестве исходных данных использованы таксационные характеристики древостоя последнего лесоустройства и полученные тематические карты, на основе которых вычислялось количество сухостойных деревьев. Для оценки запаса применялся метод среднего дерева и формула:

$$M_c = V_{cp} \times N,$$



где  $V_{\text{ср}}$  – объем среднего дерева;  
 $N$  – количество сухостойных деревьев, полученных в результате классификации;  
 $M_{\text{с}}$  – запас сухостойных деревьев на выделе.

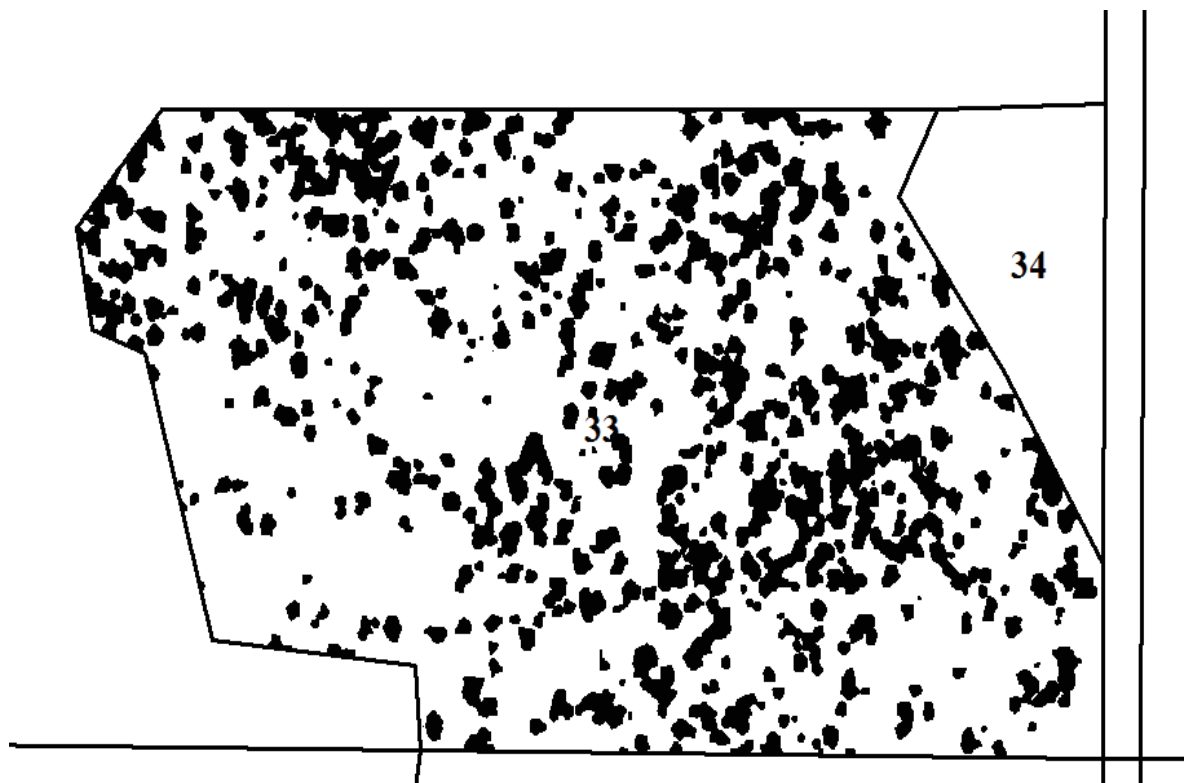


Рисунок 3 – Тематическая карта сухостойных деревьев (выдел 33 кв. 13 Волмянского лесничества ГЛХУ «Червенский лесхоз»)

Актуализация средних таксационных показателей древостоя не проводилась, так как после лесоустройства прошел небольшой период (один год), однако для более точной оценки можно использовать актуализированные данные. Объем среднего дерева определялся по таблице объемов по средним диаметру и высоте древостоя.

**Выводы.** На основании проведенных исследований можно заключить, что мультиспектральные снимки сканера ADS-100 могут успешно применяться при автоматизированном дешифрировании сухостойных деревьев и предварительной оценке запаса сухостоя на выделе. Наибольшую точность обеспечивают алгоритмы контролируемой классификации минимальной дистанции и спектрального угла, позволяющие распознать до 96% сухостойных деревьев. Полученные в ходе исследования результаты можно использовать как составную часть системы мониторинга текущего санитарного состояния лесного фонда, включающую различные уровни и предусматривающую автоматизированную обработку и анализ разновременных материалов ДЗ различного пространственного разрешения.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сазонов, А. «Биологический пожар» соснового леса / А. Сазонов, В. Звягинцев // Лесное и охотничье хозяйство. – 2016. – №6, июнь 2016. – С. 9-13.
2. Leica ADS100 Airborne Digital Sensor / Leica Geosystems AG - Part of Hexagon [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <http://leica-geosystems.com/products/airborne-systems/imaging-sensors/leica-ads100-airborne-digital-sensor>. – Дата доступа: 10.09.2018.
3. SAGA System for Automated Geoscientific Analyses [Электронный ресурс]. – 2018. Режим доступа: <http://www.saga-gis.org/en/index.html> Дата доступа: 10.09.2018.
4. Кравцов, С. Л. Обработка изображений дистанционного зондирования Земли (анализ методов) / С. Л. Кравцов. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2008. – 256 с.
5. Жири́н, В. М. Результаты машинного определения запасов насаждений лиственницы по аэрофотоснимкам / В. М. Жири́н, Р. И. Эльман, В. Н. Агеев // Лесоустройство, таксация и аэрометоды. – Л., 1978. – С. 128–132.

УДК 630\*28:582.28

### ОСОБЕННОСТИ ИНТЕНСИВНОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ СЪЕДОБНЫХ И ЛЕКАРСТВЕННЫХ БАЗИДИАЛЬНЫХ ГРИБОВ НА ДРЕВЕСНЫХ СУБСТРАТАХ

**В. В. Трухоновец<sup>1</sup>, Н. А. Бисько<sup>2</sup>, Т. А. Колодий<sup>1</sup>, П. В. Колодий<sup>1</sup>, Н. В. Митин<sup>1</sup>, В. В. Савченко<sup>1</sup>, С. Ф. Родионов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>УО «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины», Гомель, Беларусь

<sup>2</sup>Институт ботаники им. Н.Г. Холодного НАН Украины, Киев, Украина

e-mail: [trukhanavets@tut.by](mailto:trukhanavets@tut.by)

*В статье показаны видовые и штаммовые особенности вегетативного роста и плодообразования базидиальных грибов на стерильной древесине в регулируемых условиях. Урожай карпофоров *Ganoderma lucidum* GSU 142 составил 3,3-7,0 % от массы древесного субстрата, *L. edodes* GSU 117 – 12,3 % от массы субстрата, *Pleurotus ostreatus* НК 35 – 10,8 % от массы субстрата. Общий урожай плодовых тел *Hericiium erinaceus* за весь период выращивания, в зависимости от штамма, составил от 5,2 % до 9,7 % от массы древесного субстрата. Наиболее высокий урожай карпофоров *Pleurotus pulmonarius* GSU 1117 формировался на березовой (8,6 %) и осиновой древесине (9,4 % от массы субстрата). Выход плодовых *Flammulina velutipes* GSU 148 с одного отрубка колебался от 9 до 50 г. Наиболее низкий выход плодовых тел при культивировании изучаемых базидиомицетов выявлен у *Schizophyllum commune* – 2 % от массы субстрата.*