

УДК 630\*228.12 + 681.13

**В.В. Фомин, Д.С. Капралов, А.С. Попов, В.И. Крюк**

Фомин Валерий Владимирович родился в 1971 г., окончил в 1995 г. Уральскую государственную лесотехническую академию, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры биофизики Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет около 30 научных работ в области дендрэкологии и экофизиологии растений.



Капралов Денис Сергеевич родился в 1981 г., окончил в 2003 г. Уральский государственный университет, аспирант кафедры биофизики Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет 5 научных работ в области дендрэкологии.



Попов Артем Сергеевич родился в 1979 г., окончил в 2003 г. Уральский государственный университет, аспирант кафедры биофизики Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет 6 научных работ в области дендрэкологии.



**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ  
ДЕРЕВЬЕВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ\***

Разработан автоматизированный метод оценки жизненного состояния дерева по фотографии кроны с использованием системы анализа изображений. Установлена высокая количественная и качественная адекватность оценок, полученных с использованием предлагаемого метода. Показаны его преимущества перед визуальным определением состояния деревьев.

*Ключевые слова:* состояние деревьев, анализ изображений, автоматизированный метод оценки.

Визуальная оценка состояния древостоев активно используется специалистами лесного хозяйства и экологами при санитарном обследовании лесов и оценке уровня воздействия естественных и антропогенных факторов [1–4]. Критериями при определении категории жизненного состояния слу-

---

\* Работа выполнена благодаря финансовой поддержке ИНТАС (грант 01-0052) и РФФИ (грант 04-04-48466), а также технической поддержке ООО “SIAMS” (Россия) и Smart Imaging Technologies Co (США) – производителей программного обеспечения SIMAGIS Research.

жат степень пожелтения и покраснения хвои или листьев, уровень дефолиации кроны, а также ее форма и протяженность.

Преимущества визуальной оценки перед инструментальными измерениями и комплексной морфофизиологической оценкой состояния древостоев [5] заключаются в скорости проведения работ и их относительной дешевизне. Недостатками данного подхода являются субъективность оценок и трудность определения промежуточных категорий ослабленности деревьев. Современный уровень развития технологий анализа изображений и программно-аппаратной базы позволяет в значительной степени избавиться от этих недостатков.

Цель нашего исследования – разработать автоматизированный метод оценки состояния деревьев по цифровым фотографиям с использованием компьютерной системы анализа изображений. Фотографии верхней части отдельных деревьев с разной степенью повреждения кроны служили эталонами при реализации научно-исследовательского проекта по визуальной оценке состояния лесов Европы SUNUSILVA [2]. В ходе выполнения проекта исследователи выделили четыре градации по степени дефолиации кроны (от 0 до 75 %). Учитывали также форму кроны и тип ветвей первого и более высоких порядков. При изготовлении фотографий должны быть соблюдены следующие условия: крона дерева не пересекается с другими; видна часть кроны от верхушки до нижних зеленых ветвей; фотосъемка производится в солнечную погоду в дневное время суток в июле – августе.

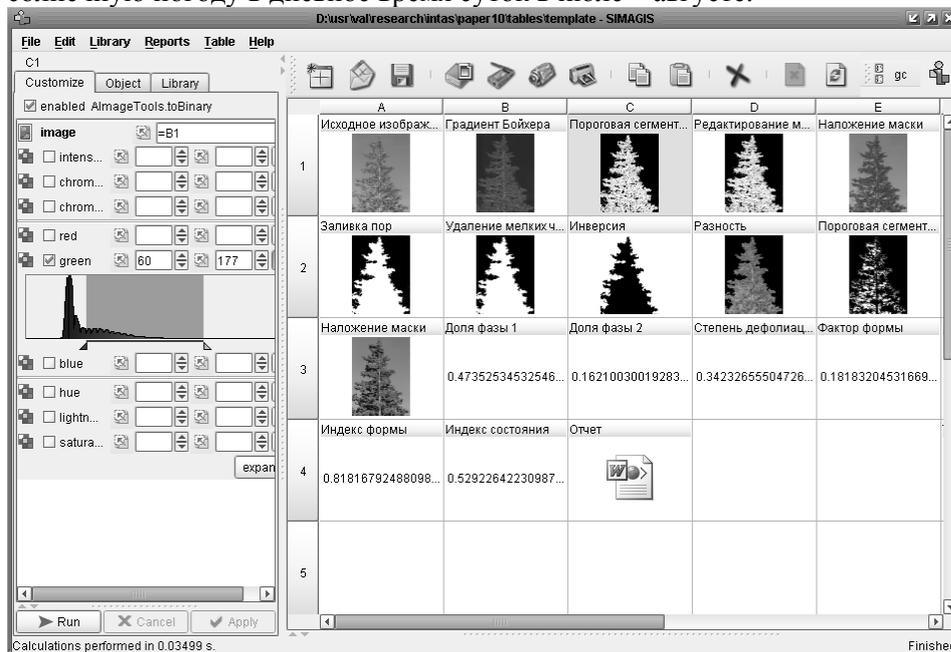


Рис. 1. Цепочка обработки изображения кроны дерева в электронной таблице компьютерной системы анализа изображений

На 32 эталонных фотографиях деревьев видов *Picea abies* Karst., *Abies alba* Mill., *Larix decidua* Mill. и *Pinus sylvestris* L. создан алгоритм обработки и выполнено тестирование автоматизированной методики оценки состояния дерева [2]. Методика реализована на программной платформе SIMAGIS Research (SIAMS (Россия) и Smart Imaging Technologies (США)). Данный программный продукт представляет собой систему анализа изображений, разработанную по технологии электронных таблиц. Ячейки такой таблицы могут обрабатывать изображения, числовые и текстовые данные. При обработке фотографии в цифровом виде строится цепочка взаимосвязанных ячеек, каждый этап анализа доступен для визуального контроля эксперта (рис. 1). Для обработки нового изображения достаточно просто поместить его в начальную ячейку цепочки обработки.

На рис. 2 приведены основные этапы анализа. К исходному изображению (рис. 2, а) применяли функцию «Градиент Бойхера» – расчет перепадов интенсивности. Использование данной функции позволяет отделить крону от окружающего его фона (рис. 2, б).

На следующем этапе производили бинаризацию, т. е. получали черно-белое изображение, с использованием функции «Пороговая сегментация» по значениям зеленой компоненты цветового пространства (рис. 2, в). На рис. 1 в левой части окна интерфейса изображена гистограмма распределения значений данной цветовой компоненты обрабатываемого изображения. Функция «Пороговая сегментация» расположена в ячейке С3. Нижний и верхний пороги бинаризации, которые используют для выделения кроны на изображении, приведенном на рис. 1, равны 60 и 177 единицам. Для каждой конкретной анализируемой фотографии пользователь имеет возможность изменить верхний и нижний пороги данной функции.

Следующие два этапа обработки предназначены для получения бинарного изображения силуэта кроны: «Заливка пор» и «Удаление мелких частиц». При помощи функции «Заливка пор» черные области внутри кроны закрашивают белым цветом. Применение второй функции позволяет удалить белые частицы, размеры которых меньше заданного пользователем размера. В результате применения данных этапов обработки получается бинарное изображение силуэта кроны белого цвета (рис. 2, г).

На рис. 2, д приведен результат вычитания инвертированного изображения силуэта кроны из исходного. Для выделения просветов в кроне на изображении используют функцию «Пороговая сегментация» (рис. 2, г). Значения порогов устанавливают по синей компоненте цветового пространства или по цветовому тону HUE. Если на фотографии кроны не видны участки ствола, пороговую сегментацию, как правило, лучше проводить по синей компоненте. Для ажурной кроны с хорошо освещенными участками ствола лучшие результаты дает использование сегментации по HUE.

Для визуального контроля результатов выделения силуэта кроны и просветов в ней используют функцию «Наложение маски», которую накладывают на исходное изображение силуэта кроны (ячейка Е1) и области просветов в кроне (ячейка А3), представленное на рис. 2, д.

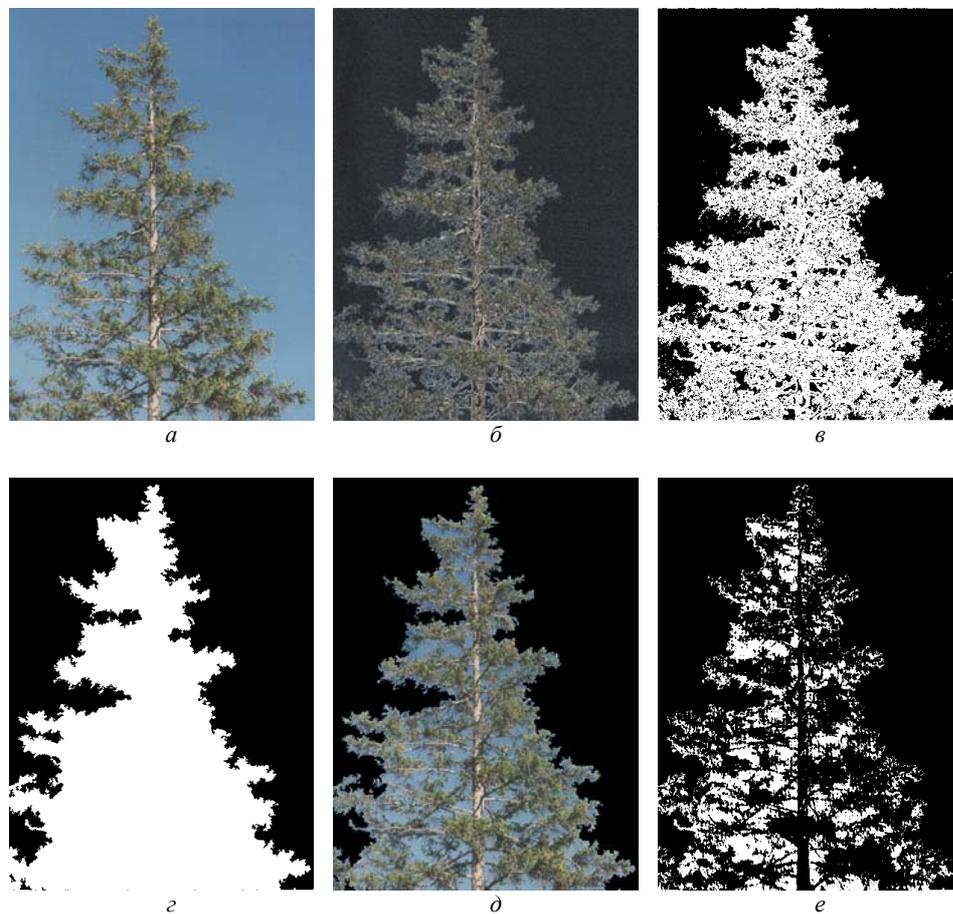


Рис. 2. Основные этапы обработки изображения дерева: *a* – исходное изображение; *б* – выделение области кроны на исходном изображении с использованием градиента Бойхера; *в* – бинарное изображение силуэта кроны дерева, полученное в результате проведения пороговой сегментации изображения 2, *б*; *г* – бинарное изображение области кроны дерева, полученное в результате удаления мелких частиц и заполнения пор (областей внутри кроны) на изображении 2, *в*; *д* – результат вычитания из исходного изображения (2, *a*) инвертированного изображения силуэта кроны (2, *в*); *е* – бинарное изображение просветов в кроне, полученное в результате проведения пороговой сегментации изображения 2, *д*

Отношение площади просветов в кроне ( $S_g$ ) к площади ее силуэта ( $S_c$ ) характеризует степень дефолиации ( $D_d$ ):

$$D_d = \frac{S_g}{S_c}.$$

Силуэт кроны угнетенного дерева обычно более изрезан, чем у дерева хорошего состояния. Степень изрезанности границ объекта характеризует фактор формы ( $f$ ), определяемый как отношение периметра круга, площадь которого равна площади выделенного объекта, к периметру объекта:

$$f = 2 \frac{\sqrt{\pi S}}{P},$$

где  $S$  – площадь круга, равная площади объекта;  
 $P$  – периметр объекта.

При увеличении степени изрезанности кроны значение круглого фактора формы снижается. Для того чтобы изменение степени дефолиации и параметра, определяющего форму кроны, носило однонаправленный характер, предлагается использовать параметр, условно названный нами индексом формы ( $I_f$ ):

$$I_f = 1 - f.$$

В качестве интегрального параметра, характеризующего состояние дерева, предлагается использовать среднее геометрическое от степени дефолиации и индекса формы ( $I_s$ ):

$$I_s = \sqrt{D_d I_f}.$$

Этот показатель более «чувствителен» к небольшим значениям входящих в него параметров. Он позволяет фиксировать более существенные отличия между значениями индекса состояния для деревьев с промежуточным жизненным состоянием, чем использование среднего арифметического.

Значения всех описанных параметров лежат в пределах от 0 до 1. Время обработки одного изображения с настройкой параметров функций не превышает нескольких секунд.

В таблице приведены результаты визуальной оценки состояния четырех видов деревьев по шестнадцати фотографиям, полученным в ходе выполнения проекта SUNASILVA, и автоматизированной оценки с использованием описанной методики. Данные таблицы свидетельствуют, что разработанный метод позволяет успешно определять категории жизненного состояния деревьев. Расхождения между категориями при автоматизированной оценке оказались ниже, чем при визуальной, следовательно, во втором случае степень угнетения деревьев завышается.

Установлено, что относительная погрешность определения индекса состояния лежит в пределах 0,7 ... 4,9 %. Для некоторых серий изображений разность между индексами для двух промежуточных категорий ослабленности может быть меньше относительной погрешности. Тогда выделение нескольких промежуточных градаций угнетения деревьев нецелесообразно.

Для оценки состояния дерева в рамках описанного подхода возможно использование цвета хвои или листвы. При этом лучше обрабатывать фотографии не всей кроны, а отдельных ветвей или хвои (листвы). В таком случае также вероятен автоматизированный подсчет количества некротов.

Достаточно высокая точность оценки, объективность определения степени угнетения дерева в сочетании с высокой скоростью обработки изображений позволяет утверждать, что разработанный автоматизирован-

## Результаты визуальной и автоматизированной оценки состояния деревьев

Вид	Визуальная оценка, %	Автоматизированная оценка, отн. ед.		
		Степень дефолиации	Индекс формы	Индекс состояния
<i>Abies alba</i> Mill.	0	0,15	0,54	0,28
	30	0,17	0,58	0,31
	50	0,37	0,73	0,52
	70	0,44	0,76	0,58
<i>Picea abies</i> Karst.	5	0,09	0,74	0,26
	30	0,18	0,73	0,37
	40	0,25	0,76	0,43
	60	0,40	0,82	0,60
<i>Larix decidua</i> Mill.	0	0,16	0,75	0,34
	25	0,29	0,82	0,49
	50	0,32	0,86	0,52
	75	0,46	0,87	0,64
<i>Pinus sylvestris</i> L.	5	0,18	0,67	0,35
	25	0,23	0,76	0,42
	45	0,30	0,78	0,48
	75	0,53	0,83	0,66

ный метод оценки его жизненного состояния превосходит метод визуальной оценки. Предлагаемая методика может быть использована при проведении экологического мониторинга, лесоустроительных работах и в лесном хозяйстве.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власенко, В.Э. Состояние и устойчивость хвойных лесов в условиях аэротехногенного загрязнения на Среднем Урале [Текст] / В.Э. Власенко, С.Л. Меншиков, А.К. Махнев // Экология. – 1995. – № 3. – С. 193–196.
2. Семенюк, Н.В. Опыт изучения хвои сосны для оценки состояния лесных экосистем [Текст] / Н.В. Семенюк, А.А. Рудакова // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – Л., 1988. – Т. 9. – С. 142–149.
3. Санитарные нормы и правила в лесах СССР [Текст]. – М.: ВНИИЦлесресурс, 1998. – С. 25.
4. Muller, E. Sunusilva.Tree Crown Photos [Text] / E. Muller, H.R. Stierlin. – Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, 1990. – 129 p.
5. Shavnin, S.A. Application of the Generalized State Index Determination to Ecological Monitoring of Forests in Polluted Areas. Measurement and Modeling in Environmental Pollution [Text] / S.A. Shavnin, V.V. Fomin, N.V. Marina. – Southampton, UK and Boston, USA: Computational Mechanics Publications. 1997 – P. 399–407.

Уральский государственный  
лесотехнический университет

Поступила 22.12.05

---

*V.V. Fomin, D.S. Kapralov, A.S. Popov, V.I. Kryuk*

**Automated Assessment of Trees State Based on Image Analysis System**

The automated method of tree life assessment is developed based on the crown picture using the image analysis system. High quantitative and qualitative adequacy of assessments received with the help of the proposed method is set. Its advantages in comparison with visual assessment of trees state are shown.

---