

зоне волновых чисел  $1\,050\text{--}1\,230\text{ см}^{-1}$ , обусловленной валентными колебаниями С–О связей, в частности, в феноксильной группе (С–ОН), при облучении снижается. Соотношение максимумов этой полосы изменяется. Такое поведение полос НПВО в диапазоне волновых чисел  $1\,050\text{--}1\,230\text{ см}^{-1}$  может свидетельствовать об образовании сложноэфирных сшивок с ОН-группами фенольного типа. Такие сшивки наблюдались ранее при имплантации  $\text{Sb}^+$  в пленки резиста ФП9120, что приводило к увеличению их микротвердости [2]. С другой стороны, аналогичный эффект может давать также окисление фенолов до хинонметинов, в результате которого феноксильная С–ОН группа превращается в С=О.

Таким образом, выявленные в работе закономерности свидетельствуют о том, что облучение  $\gamma$ -квантами пленок ДХН-резиста на подложке монокристаллического кремния приводит к радиационно-индуцированным реакциям с участием боковых заместителей в составе фенолформальдегидной смолы (феноксильных, гидроксиметильных, метильных и метиленовых групп), а также фоточувствительного компонента – *о*-нафтохинондиазиды.

## Литература

1. Моро У. Микролитография. Принципы, методы, материалы. В 2-х ч. Ч.2. / У Моро. – М: Мир, 1990. – 632 с.
2. Бринкевич Д.И. Ионная имплантация позитивных фоторезистов / Д.И. Бринкевич [и др.] // Микроэлектроника. – 2014. – Т. 43, № 3. – С. 193–199.
3. Roy D. DNQ-novolac photoresists revisited:  $^1\text{H}$  and  $^{13}\text{C}$  NMR evidence for a novel photoreaction mechanism / D. Roy [et al.] // Magnetic resonance in chemistry. – 2003. – V. 41. – P. 84–90.
4. Вабищевич С.А. Прочностные свойства структур фоторезист-кремний,  $\gamma$ -облученных и имплантированных ионами  $\text{B}^+$  и  $\text{P}^+$  / С.А. Вабищевич [и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета. – 2016. – № 12. – С. 30–36.
5. Преч Э. Определение строения органических соединений. Таблицы спектральных данных / Э. Преч, Ф. Бюльманн, К. Аффольтер. – М.: Мир, Бином, 2006. – 438 с.
6. Вабищевич С.А. Адгезия к монокристаллическому кремнию пленок диазохинон-новолачного фоторезиста, имплантированных ионами бора и фосфора / С.А.Вабищевич [и др.] // Химия высоких энергий. – 2020. – Т. 54, № 1. – С. 54–59.
7. Бринкевич С.Д. Взаимодействие циклопентанона,  $\gamma$ -бутиролактона и их производных с  $\alpha$ -гидроксиэтильными радикалами / С.Д. Бринкевич, И.А. Резцов, О.И. Шадыро // Химия высоких энергий. – 2014. – Т. 48, № 5. – С. 350–357.

УДК 528.85; 629.78

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЫХАЮЩИХ ЕЛЬНИКОВ ПО ИЗОБРАЖЕНИЯМ АППАРАТУРЫ «МУЛЬТИСКАН»

Беляев Ю.В., Чумаков А.В., Попков А.П.

*Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко БГУ  
Минск, Республика Беларусь*

Мониторинг хвойных лесов с помощью спутникового дистанционного зондирования важен из-за большого экологического и экономическо-го значения этих лесов. Работа выполнялась с целью разработки новой методики экспресс-обработки данных, поступающих с аппаратуры «Мультискан», работавшей на борту авиа-носителя, для решения задачи обнаружения патологий хвойных лесных насаждений по данным оптических измерений. Метрологическая калибровка аппаратуры «Мультискан» проводилась в аккредитованной лаборатории оптико-физических измерений НИИ ПФП БГУ им. А.Н. Севченко.

Для оценки патологий лесных массивов использовались данные, полученные с помощью цифровых камер видимого и инфракрасного теплового диапазонов аппаратуры «Мультискан» [1, 2] с борта самолета «Даймонд» 05.08.2020 и 06.08.2020 в районе аэродрома «Зябровка» в Гомельской области. Наличие в аппаратуре системы пространственного позиционирования и записи

координат съемки данных позволило осуществить пространственную привязку видео-данных.

По полученным изображениям в результате съёмки тепловизионной камеры «FLIR» аппаратуры «Мультискан» была разработана методика выявления уровня заболеваемости леса.

Обработка тепловых ИК-кадров осуществлялась ПО обработки изображений «Monteverdi 2-0.8». Метод классификации «Fusion Clustering» позволяет объединить несколько методов классификации в один, более достоверный. Слияние выполняется либо посредством «голосования большинством», либо с помощью метода комбинирования «dempster shafer». Результат обработки представлен на рисунке 1. В результате классификации выделяются сухие кроны (окрашены белым) среди зелёного леса (оттенки серого, вплоть до чёрного). Далее методика предполагает преобразование классифицированного кадра к бинарному изображению (рисунки 2, 3), подсчёт «белых» пикселей (сухие кроны), «чёрных» пик-

селей («здоровый» лес) и расчёт отношения  $P$ , как «индекса здоровья леса» в текущий момент. Расчет  $P$  – «индекса здоровья леса» проводится путем подсчета пикселей определенной яркости. «Белые пиксели в бинарном изображении соответствуют областям дефолиации хвойных иголок, «черные пиксели» – здоровым насаждениям с наличием хвои.

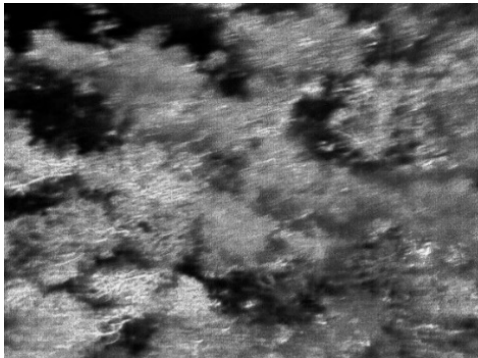


Рисунок 1 – Результат классификации

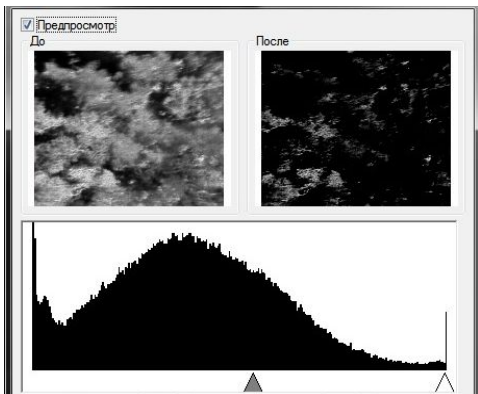


Рисунок 2 – Преобразование классифицированного изображения к бинарному с порогом 0,5 диапазона яркости бинарного кадра

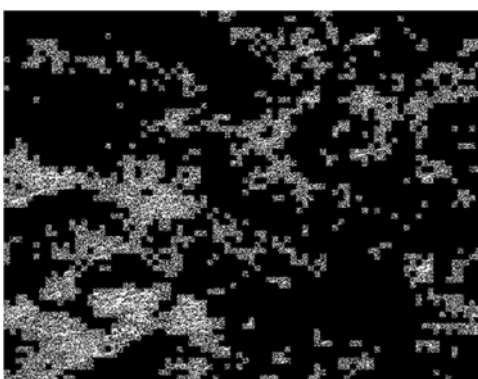


Рисунок 3 – Бинарное изображение

Отношения количества пикселей, соответствующих сухим кронам –  $N_c$ , к сумме пикселей сухих и здоровых крон в кадре  $N_\Sigma$  в данном кадре участка леса будет:

$$P = N_c / N_\Sigma = 45038 / 327680 = 0,137. \quad (1)$$

Нанесение вычисленных по формуле (1) количественных индексов на карту, составленную из множества отдельных кадров согласно геопривязки, позволяет получить тематическую обзорную карту с распределением «индекса здоровья леса» на исследованной с борта носителя площади лесного массива.

При классификации тем же методом обычных кадров RGB в видимом диапазоне сухие кроны не контрастируются с той же эффективностью, и картину искажает наличие подобных хвойных и лиственных пород леса, а также кустарника [3].



Рисунок 4 – Попытка классификации изображения видимого диапазона

В качестве примера на рисунке 4 показана попытка «классификации» кадра видеопривязки (камера видимого диапазона аппаратуры «Мультискан») соответствующего рисунку 1 тепловому ИК-кадру. Как видим, контрасты неясны и неоднозначны с точки зрения состояния лесного покрова и зависят от условий съемок, освещения, вида растительности и ее плотности.

Даже при попытках принудительного контрастирования кадра, представленного на рисунке 5, однозначного определения усохшей растительности по кадрам видимого диапазона спектра не наблюдается.

Прочие алгоритмы (например, К-средних), применённые к изображению в видимом диапазоне (рисунок 6), контрастируют лишь растительность с различным уровнем освещённости, различного типа (хвойные, лиственные, кустарники) и с различной структурой лиственного покрова.



Рисунок 5 – Контрастирование классифицированного изображения видимого диапазона

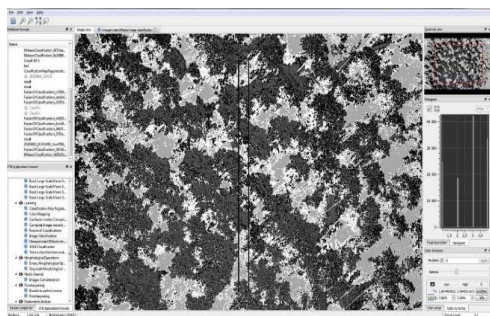


Рисунок 6 – Классификация по методу К-средних изображения видимого диапазона

**Выводы.** Работа в тепловом диапазоне для классификации и распознавания состояния леса эффективнее видимых диапазонов видеосъемки, которые более пригодны для выделения типов поверхности и видов растительности, а также весьма зависимы от условий освещения и погоды.

Проведение, помимо пространственных, временных и сезонных измерений состояния лесного массива (в одинаковых стадиях вегетации), позволяет определять динамику развития его

негативных либо позитивных изменений, а также эффективность предпринимаемых природоохранных мер. Особенно наглядно и практически целесообразно составление ежегодных карт по описанным «индексам усыхания леса».

#### Литература

1. Беляев Б.И. Авиационный модульный комплекс мультиспектральной съемки земной поверхности «Мультискан» / Б.И. Беляев, А.В. Домарацкий, П.В. Ивуть, П.В. Кучинский, Э.И. Нестерович, А.Д. Хомицевич, А.В. Чумаков // Приборостроение–2019. Материалы 12-й Международной научно-технической конференции, 13–15 ноября 2019 г. – Минск, БНТУ–С. 452–453.
2. Решение о выдаче патента по заявке № 20200157, МПК G01N 21/01. Устройство для авиакосмической мультиспектральной съемки / А.В. Чумаков и др. – Дата подачи заявки – 18.06.2020 г.
3. Давидович Ю.С. Распознавание усыханий древесной растительности на аэрокосмических снимках / Ю.С. Давидович, Л.В. Катковский // Материалы республиканского научно-практического семинара студентов и молодых ученых, 13 ноября 2019. – Минск, БГУ. – 2019.

УДК 620.179.14

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАГНИТОДИНАМИЧЕСКОГО И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ПРОЦЕССОВ ДЕФОРМАЦИИ СТАЛИ 12X18N10T

Шарандо В.И., Чернышёв А.В., Кременькова Н.В.

*Институт прикладной физики НАН Беларуси  
Минск, Республика Беларусь*

В настоящее время во многих отраслях машиностроения находят применение высоколегированные нержавеющие аустенитные стали. В исходном состоянии после закалки от температур 1 000–1 050 °С они имеют преобладающую парамагнитную  $\gamma$ -структуру, дополненную некоторым количеством ферромагнитной фазы, представленной  $\delta$ -ферритом. Механико-термическая обработка таких сталей приводит к формированию в структуре новой ферромагнитной  $\alpha$ -фазы – мартенсита [1–3]. При этом могут существенно изменяться эксплуатационные свойства изготовленных из этих материалов изделий, их контроль требует разработки и применения новых неразрушающих физических методов и методик.

В настоящей работе рассмотрена возможность применения для целей контроля структурных изменений в сталях аустенитного класса при их пластической деформации разработанных в Институте прикладной физики НАН Беларуси магнитодинамического толщиномера МТЦ-3, измерителя остаточной намагниченности ИОН-4 и прибора контроля твердости ПКТ-2. В качестве объекта контроля рассмотрена широко применяемая в промышленности сталь 12X18N10T.

Из стального листа толщиной 10 мм, находившегося в состоянии поставки (закалка от высоких температур), вырезаны плитки размером 21×21 мм<sup>2</sup>. Затем путём многократной прокатки при комнатной температуре во взаимно перпендикулярных направлениях обеспечены различные величины их пластической деформации.

В исследованиях использован толщиномер МТЦ-3 [4, 5], основанный на регистрации изменения магнитного потока в индукционной катушке, охватывающей стержневой магнит, при его контакте и затем удалении от ферромагнетика. Энергия магнита, выполненного из  $NdFeB$ , составляет 45 мДж. С помощью измерителя остаточной намагниченности ИОН-4 [5], использующего устанавливаемую на поверхность ферромагнетика и затем удаляемую от него катушку без магнита, определялся поток индукции от магнитного пятна, оставленного магнитным наконечником преобразователя толщиномера МТЦ-3 после его удаления от контролируемой поверхности. При этом величина измеряемого сигнала характеризует остаточную намагниченность контролируемой структуры. Исследования при переменном магнитном поле возбуждения производились с помощью