

Научная статья
УДК 630*57

**ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО ИНДЕКСА
ВЛАЖНОСТИ EWDI К СОСТОЯНИЮ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ
В ЗОНЕ АЭРОПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

Антон Александрович Николаев¹, Ирина Олеговна Николаева²

^{1,2} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ nikolaevaa@m.usfeu.ru

² nikolaevaio@m.usfeu.ru

Аннотация. В рамках исследования была проведена работа по определению взаимосвязи между спектральной отражательной способностью сосновых насаждений и негативным воздействием промышленных загрязнений, вызванных деятельностью медеплавильного производства. Для этой цели был использован усовершенствованный индекс влажности EWDI на 1996 г., полученный на основе данных Landsat TM, и значения обобщенного показателя состояния (ОПС), который основывается на морфо-метрических характеристиках древостоев за период 1995–1996 гг.

Ключевые слова: состояние лесных насаждений, аэропромышленные загрязнения, усовершенствованный индекс влажности, Средний Урал

Original article

**SENSITIVITY OF ENHANCED WETNESS EWDI INDEX
TO THE STATE OF FOREST PLANTATIONS IN THE ZONE
OF AIR POLLUTION**

Anton A. Nikolaev¹, Irina O. Nikolaeva²

^{1,2} Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ nikolaevaa@m.usfeu.ru

² nikolaevaio@m.usfeu.ru

Abstract. As part of the study, work was carried out to determine the relationship between the spectral reflectivity of pine plantations and the negative impact of industrial pollution caused by copper smelting activities. For this purpose, the improved EWDI moisture index in 1996 was used, obtained from Landsat TM data and the value of the generalized condition index (GCI), which is based on the morphometric characteristics of forest stands for the period of 1995–1996.

Keywords: forest state, air pollution, enhanced wetness difference index, Middle Urals

Усовершенствованный индекс влажности (EWDI) представляет собой широко применяемый инструмент для анализа и оценки изменений растительного покрова. Он основан на анализе основных компонентов преобразования изображения Каута-Томаса с использованием алгоритма Tasseled Cap [1]. Преобразование изображения Каута-Томаса направлено на получение согласованных переменных, которые позволяют сопоставлять данные, полученные в разное время и с помощью разных сенсоров (TM и ETM+) [2]. Применение преобразованного изображения обеспечивает более высокую точность при дешифрировании границ и структуры лесных насаждений [3].

Индекс EWDI является чувствительным инструментом для отслеживания изменений в спектральной отражательной способности лесных насаждений. Благодаря этому, возможно использование данного индекса для картирования породного состава, возраста и структуры лесов [4], обнаруживать изменения в лесных экосистемах [5]. При этом необходимо отметить, что данная чувствительность обусловлена использованием всех каналов съемки, а не только радиометрических характеристик одной полосы. Это позволяет получить более точные и надежные данные при исследовании лесных ресурсов, оценки их состояния, в том числе испытывающих комплексное негативное воздействие [6].

В рамках исследования был проведен анализ чувствительности усовершенствованного индекса влажности EWDI, рассчитанного на 1996 г., и значений обобщенного показателя состояния лесных насаждений в 1995–1996 гг. на пробных площадях, заложенных на территории района исследований, расположенных на различном удалении от источника загрязнений [7].

При расчете значений усовершенствованного индекса влажности EWDI была использована серия спутниковых снимков Landsat TM за период 1988 и 1996 гг. [8]. Для снимка 1988 г. (дата съемки 7 июня 1988 г.), а координаты снимка были определены как колонна – 164 и ряд – 020. Снимок 1996 г. (29 июня 1996 г.) с аналогичными координатами – колонка 164 и ряд 020.

Для определения значений индекса EWDI на 1996 г. используется разность значений индекса влажности KT_3 (Компонента Трансформации Изображения) для каждого пикселя двух космических снимков одного и того же участка местности за 1988 и 1996 гг.

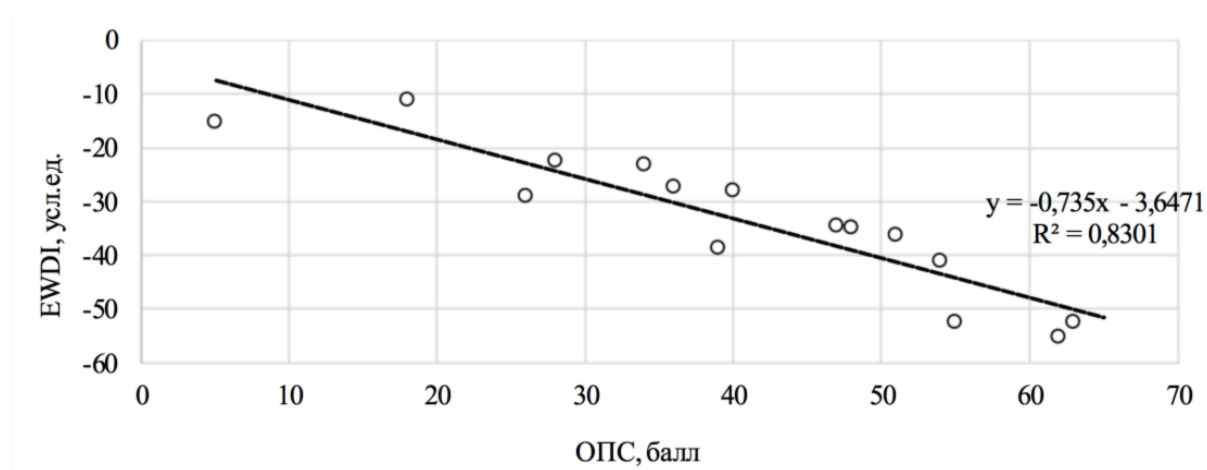
Индекс EWDI является важным показателем, который отражает изменение в компоненте влажности KT_3 . Этот индекс фиксирует изменения в среднем инфракрасном диапазоне и является индикатором состояния лесных насаждений [9].

В табл. ниже представлены значения усовершенствованного индекса влажности EWDI на 1996 г. и обобщенного показателя состояния (ОПС) на 1995–1996 гг. Также на рис. ниже представлен график, демонстрирующий зависимость балла состояния древостоев на пробных площадях от значений индекса EWDI.

Значения обобщенного показателя состояния (ОПС), индекса EWDI (отн. ед.) лесных насаждений на пробных площадях

№ п/п	ОПС 1995–1996 гг.	EWDI 1996 г.
1	28	-22,23
2	47	-34,33
3	36	-27,13
4	62	-55,33
5	51	-36,04
6	18	-10,96
7	40	-27,96
8	54	-41,17
9	5	-15,09
10	39	-38,68
11	26	-28,86
12	34	-23,06
13	55	-52,27
14	63	-52,29
15	48	-34,68

Примечание. Жирным шрифтом выделены контрольная пробная площадь (ПП4) и пробная площадь в импактной зоне вблизи СУМЗа (ПП9).



Зависимость значений индекса EWDI (1996 г.) от величин обобщенного показателя состояния сосновых древостоев на пробных площадях в 1995–1996 гг.

Анализ представленных данных свидетельствует о сильной отрицательной линейной зависимости ($R^2 = 0,83$) между значениями обобщенного показателя состояния (ОПС) и индекса EWDI. Коэффициент корреляции Пирсона минус 0,911 при уровне значимости менее 0,05 подтверждает данную зависимость.

Отрицательное значение коэффициента корреляции указывает на обратную связь между этими двумя показателями. Это означает, что улучшение состояния (повышение ОПС) сопровождается уменьшением значений индекса EWDI, что является хорошим индикатором оценки состояния древостоев.

Уравнение линейной зависимости, полученное в ходе исследований, позволяет количественно оценить значения EWDI для конкретного балла состояния лесных насаждений (ОПС).

В целом, изменения состояния лесных насаждений, в том числе изменения сомкнутости лесного полога вызванного усыханием и частичным отпадом единичных деревьев или частичным уничтожением, а также длительным воздействием агропромышленными загрязнениями, выражающиеся в дефолиации и дехромации хвои или листьев, должны сопровождаться изменением значений спектральных характеристик полога, что и объясняет факт высокой зависимости.

Использование усовершенствованного индекса влажности EWDI, полученного по материалам цифровой космической съемки Landsat TM, позволяет оценить состояние лесных насаждений в зоне промышленного загрязнения медеплавильного производства на Среднем Урале. Благодаря высокой корреляционной зависимости между значениями обобщенного показателя состояния (ОПС), рассчитанного на основе значений морфометрических характеристик древостоев, и индекса EWDI, мы можем описать эту зависимость линейным уравнением. Таким образом, использование усовершенствованного индекса влажности EWDI позволяет минимизировать затраты при оценке состояния лесных насаждений и помогает определить необходимые меры сохранения и улучшения наших лесов [10]. Также, анализируя изменения значений EWDI, мы можем предсказать возможные проблемы и принять меры для их предотвращения или минимизации воздействия на природную среду.

Список источников

1. Kauth R. J., Thomas G. S. The Tasseled Cap – a graphical description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat. In: Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data. Purdue University, West Lafayette, Indiana, 1976. P. 4B41–4B51.

2. Jensen, J. R. Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective, 3rd Edition // Keith C. Clarke, ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall. 2005. 526 p.

3. Николаев А. А., Николаева И. О. Преобразование цифровых данных космической съемки алгоритмом Tasseled Cap при определении структуры лесных насаждений // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 9 (123). DOI 10.23670/IRJ.2022.123.77

4. Cohen W. B., Spies T. A. & Fiorella M. Estimating the age and structure of forests in a multi-ownership landscape of western Oregon, U.S.A. // International Journal of Remote Sensing. 1995. № 16. P. 721–746.

5. Interpretation of Forest Harvest Conditions in New Brunswick Using Landsat TM Enhanced Wetness Difference Imagery (EWDI) / S. E. Franklin, M. B. Lavigne, L. M. Moskal [et al.] // Canadian Journal of Remote Sensing. 2001. 27. P. 118–128.

6. Николаев А. А., Николаева И. О. Оценка состояния экосистем промышленных территорий на основе данных снегомерных исследований // Естественные и технические науки. 2021. № 2 (153). С. 49–56.

7. Фомин В. В., Шавнин С. А. Экологическое зонирование состояния лесов в районах действия атмосферных промышленных загрязнений // Экология. 2001. № 2. С. 103–107.

8. United States Geological Survey (USGS) : official website. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (date of access: 01.10.2020).

9. Collins J. B., Woodcock C. E. An assessment of several linear change detection techniques for mapping forest mortality using multi-temporal Landsat TM data. Remote Sensing of Environment, 1996. № 26. P. 66–77.

10. Николаев А. А., Фомин В. В. Состояния лесных насаждений и их динамика в зоне агропромышленного загрязнения // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. 2023. № 3 (72). С. 95–103. DOI 10.34655/bgsha.2023.72.3.011