

Материалы ДЗЗ предполагается получать от открытых съемочных систем:

- для мониторинга состояния крон в районах ППН и ППП и оценки физических характеристик поверхности, требующих мультиспектральной съемки в оптическом и ближнем ИК диапазонах с высоким пространственным разрешением – Sentinel-2, Landsat-8, БКА, Канопус-В;
- для определения продукционных и фенологических характеристик лесов, требующих мультиспектральной съемки в оптическом и ближнем ИК диапазонах со средним пространственным разрешением – Terra/Aqua-MODIS;
- для определения биофизических характеристик растительности, требующей радиолокационной съемки – Sentinel-1 (RVI).

Пушкин А.А.<sup>1</sup>, Машковский В.П.<sup>1</sup>, Коцан В.В.<sup>1</sup>, Ильючик М.А.<sup>2</sup>

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ИНДЕКСОВ ДЛЯ ДЕШИФРИРОВАНИЯ УСЫХАЮЩИХ ЕЛОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ ПО МАТЕРИАЛАМ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

<sup>1</sup> УО «Белорусский государственный технологический университет»,  
г. Минск, Республика Беларусь, [aa\\_pushkin@mail.ru](mailto:aa_pushkin@mail.ru), [mashkovsky@tut.by](mailto:mashkovsky@tut.by), [wolodia250@belstu.by](mailto:wolodia250@belstu.by)  
<sup>2</sup> РУП «Белгослес», г. Минск, Республика Беларусь, [michail555@rambler.ru](mailto:michail555@rambler.ru)

*The algorithm and main results of deciphering of shrinking spruce stands on the basis of the use of the spectral indices EVI, NDWI, DMCI, PSRI, NBR are present in this work. The works were performed using the materials space remote sensing of the Sentinel-2 for the territory of the Orshan forest enterprise.*

Участившиеся в настоящее время случаи массовых усыханий лесных насаждений ставят перед лесным хозяйством республики задачу своевременной диагностики и ресурсной оценки таких древостоев. Одним из наиболее эффективных путей решения данной задачи является использование данных дистанционного зондирования Земли – материалов аэро- и космических съемок. При этом использование материалов космической съемки является наиболее простым и наименее затратным вариантом оценки усыхающих лесных насаждений, поскольку данные съемки ряда систем космического зондирования находятся в открытом доступе (Landsat, Sentinel-2). Кроме того, данные системы космической съемки являются мультиспектральными, имеют значительное количество спектральных диапазонов, что позволяет решать задачи диагностики усыханий лесных насаждений на ранних стадиях.

В представленной работе выполнена оценка возможностей диагностики усыхающих еловых насаждений на территории ГЛХУ «Оршанский лесхоз» на основе использования ряда специализированных спектральных индексов, определяемых по материалам космической съемки системы Sentinel-2.

Методика проведения работ включала следующие основные этапы:

- полевые обследования усыхающих еловых насаждений Оршанского лесхоза;
- подбор и предварительная обработка материалов космической съемки;
- расчет специализированных спектральных индексов;
- статистическая оценка спектральных индексов и дешифрирование космического снимка.

Полевые обследования усыхающих еловых насаждений выполнялись с целью создания достоверной обучающей выборки, используемой в дальнейшем при дешифрировании. На данном этапе также создан эталонный векторный слой усыхающих еловых насаждений по материалам визуального дешифрирования материалов аэрофотосъемки и космической съемки сверхвысокого пространственного разрешения.

Обработка материалов космической съемки, расчет спектральных индексов и дальнейший анализ результатов проводился с использованием программных функций геоинформационной системы Quantum GIS.

На территорию Оршанского лесхоза подобран космический снимок системы Sentinel-2 на дату усыхания еловых насаждений – 06.05.2017 г. Предварительная обработка космического снимка включала проведение процедуры атмосферной коррекции изображения, а также его обрезку в пределах территории мониторинга – еловой формации Оршанского лесхоза.

На основе анализа существующих методик расчета и литературных источников подобран комплекс спектральных (вегетационных) индексов, характеризующих состояние растительности:

- EVI (Enhanced Vegetation Index) – улучшенный вегетационный индекс;
- NBR (Normalized Burn Ratio) – нормализованный разностный индекс гарей;
- NDWI (Difference Water Index) – нормализованный разностный водный индекс;
- DMCI (Dry Matter Content Index Romeroetal) – индекс сухости;
- PSRI (Plant Senescence Reflectance Index) – индекс отражения света среднего инфракрасного диапазона огрубевшим углеродом растительных тканей.

Расчет данных спектральных показателей производился для каждого пикселя изображения в соответствии с установленными формулами. Полученные значения заносились в базу данных.

Проведенный статистический анализ спектральных индексов показывает, что в целом их среднеарифметические значения для усыхающих и здоровых еловых насаждений различаются достоверно (таблица 1).

Распознавание усыхающих еловых насаждений на космическом снимке выполнялось на основе средних арифметических значений спектральных индексов. При этом средние арифметические значения рассматривались как координаты центров тяжести облаков точек обеих групп в гиперпространстве, координатные оси которого соответствуют используемым спектральным индексам. Алгоритм распознавания предусматривает вычисление для каждой точки (пикселя) декартовых расстояний до центров тяжести облаков точек здоровых и погибших насаждений, измеряемых в соответствующих стандартных отклонениях по следующим формулам:

$$L^{3Д} = \frac{\sqrt{\sum_i (\bar{x}_i^{3Д} - x_i)^2}}{\sigma_i^{3Д}} \quad (1)$$

$$L^{ПОГ} = \frac{\sqrt{\sum_i (\bar{x}_i^{ПОГ} - x_i)^2}}{\sigma_i^{ПОГ}} \quad (2),$$

где  $L^{3Д}$  и  $L^{ПОГ}$  – расстояния от точки до центров тяжести облаков точек здоровых и погибших насаждений соответственно;  $\bar{x}_i^{3Д}$  и  $\bar{x}_i^{ПОГ}$  – средние арифметические значения  $i$ -го вегетационного индекса для групп здоровых и погибших насаждений соответственно;  $x_i$  – величина  $i$ -го вегетационного индекса для точки;  $\sigma_i^{3Д}$  и  $\sigma_i^{ПОГ}$  – среднеквадратические отклонения  $i$ -го вегетационного индекса для групп здоровых и погибших насаждений соответственно.

Решение о том, что пиксель соответствует погибшему насаждению, принимается в том случае, если величина  $L^{3Д}$  оказывалась больше, чем значение  $L^{ПОГ}$ .

Таблица 1 – Статистические показатели спектральных индексов еловых насаждений по данным Sentinel-2 (ГЛХУ «Оршанский лесхоз»)

Спектральный индекс	Здоровые насаждения		Усыхающие насаждения		t-критерий
	среднее значение	СКО	среднее значение	СКО	
EVI	0,2279	0,0541	0,1830	0,0512	57,08
NBR	0,3346	0,1403	0,2471	0,1348	-32,58
NDWI	-0,5826	0,0882	-0,5469	0,0752	-39,48
DMCI	-0,2595	0,0417	-0,2390	0,0372	-10,61
PSRI	0,1120	0,0926	0,1243	0,0860	49,93

Примечание: Среднее значение – среднеарифметическое значение индекса; СКО – среднеквадратическое отклонение.

Проверка работоспособности алгоритма показала, что при использовании одного вегетационного индекса доля пикселей, которые правильно отнесены к соответствующей группе насаждений, доходит до 73,2% (при использовании спектрального индекса NDWI). Максимальная доля пикселей, которые правильно отнесены к здоровым насаждениям, также имеет место при использовании индекса NDWI и составляет 73,7%. Классификация по вегетационному индексу EVI позволяет правильно классифицировать максимальное количество пикселей, соответствующих поврежденным насаждениям – 67,3%.

Использование всех пяти вегетационных индексов EVI, NDWI, DMCI, PSRI и NBR одновременно позволяет 75,5% общего количества пикселей правильно распределить по группам (здоровые и поврежденные). Доля правильно распределенных пикселей, относящихся к здоровым насаждениям, составила 76,0%, а относящихся к поврежденным – 62,4%.

Наилучший результат классификации получен при использовании четырех вегетационных индексов: EVI, NDWI, DMCI и PSRI. Из общего количества пикселей при данном варианте правильно распределены 76,4%. Из пикселей, относящихся к здоровым насаждениям, 77,0% попали в свою группу, а среди пикселей, представляющих погибшие насаждения – 62,3%.

Дальнейшее повышение точности дешифрирования усыхающих еловых насаждений требует использования разновременных данных космической съемки и увеличение объема обучающей выборки.

Рыбакова Н.А.

## МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ПАРЦЕЛЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ ЛЕСНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ В ПРОЦЕССЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОПУЛЯЦИИ ЕЛИ В ЮЖНОТАЕЖНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ БЕРЕЗНЯКАХ И НА ВЫРУБКАХ

ФГБУН «Институт лесоведения РАН»,  
с. Успенское, Московская обл., Российская Федерация, 1986620@gmail.com

*Abstract. According to the data of 20-year observations (Yaroslavl region, the Northern Forest Experimental Station of the Institute of Forest Science RAS), studied regularities in the dynamics of the parcel structure of birch forests (Betula pendula Roth.) with natural restoration under their canopy of spruce (Picea abies L.) and on felling of birch forests with preservation of the young growth and the second layer of preliminary generation of spruce.*