

# УПРАВЛЕНИЕ ЛЕСАМИ, ЛЕСОУСТРОЙСТВО И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

---

УДК 630\*524.4

**Н. Я. Сидельник, А. А. Пушкин, С. В. Ковалевский**  
Белорусский государственный технологический университет

## **КАРТИРОВАНИЕ ПОВРЕЖДЕННЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ И ОБЪЕКТОВ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕРИАЛОВ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ И ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ**

В статье показана возможность использования материалов космической съемки Sentinel-2 для картирования поврежденных лесных насаждений и объектов лесохозяйственных мероприятий. В качестве программной платформы для оценки поврежденных лесных насаждений применялись геоинформационные системы с рядом дополнительных программных модулей. Выполнен подбор космических снимков на территорию объекта исследования и их предварительная обработка. Проанализирована классификация вегетационных индексов и осуществлен их предварительный подбор. Рассчитаны спектральные индексы и выбраны оптимальные – EVI, WDRVI, RENDVI, NDWI, PSRI, DMCI, NBR. Проведено дешифрирование многозональных космических снимков Sentinel-2. Растровые изображения спектральных индексов были классифицированы с использованием кластерного метода автоматической классификации Isocluster. Полученные растры векторизовались и выполнялось картирование территории поврежденных лесных насаждений ГЛХУ «Смолевичский лесхоз». Осуществлены анализ и проверка точности картирования, полученной на основе обработки данных векторных слоев индексов в сравнении с полевыми данными – векторным слоем поврежденных лесных насаждений, определены наиболее подходящие спектральные индексы для целей картирования.

**Ключевые слова:** космическая съемка, Sentinel-2, вегетационный индекс, картирование, поврежденные насаждения, геоинформационная система, кластерный метод.

**N. Ya. Sidel'nik, A. A. Pushkin, S. V. Kovalevskiy**  
Belarusian State Technological University

## **MAPPING OF DAMAGED FOREST STANDS AND OBJECTS OF FORESTRY MEASURES USING SATELLITE IMAGERY AND GIS-TECHNOLOGIES**

In the article are given the possibility of using satellite imagery of Sentinel-2 for mapping damaged forest stands and forestry measures. The software platform for assessing damaged forest stands were geographic information systems with additional software plugins. The selection Space images on the territory of the research object are selected and their preliminary processing is made. The classification of vegetative indices is analyzed and their preliminary selection is carried out. The spectral indices are calculated and the optimal ones are chosen – EVI, WDRVI, RENDVI, NDWI, PSRI, DMCI, NBR. The deciphering of multi-zone space images of Sentinel-2 has been made. Raster images of spectral indices were classified using the Isocluster automatic classification method. Resulting rasters were vectorized and the mapping of the damaged forest stands of the Smolevichi Forestry was carried out. The analysis and verification of the accuracy of the mapping are made on the basis of the received vector index layers data in comparison with the field data – a vector layer of damaged forest stands. The most suitable spectral indices for mapping purposes are identified.

**Key words:** satellite imagery, Sentinel-2, vegetation index mapping, damaged forest stands, geographic information system, cluster method.

**Введение.** В настоящее время новым этапом в развитии методов дешифрирования лесных ландшафтов, обнаружения произошедших

биотических и абиотических изменений являются методы, основанные на цифровой обработке космических изображений, которые уменьшают тру-

доемкость и увеличивают степень объективности дешифрирования по сравнению с визуальными методами. Многие из них позволяют выявить особенности изменений не только на качественном, но и количественном уровне [1].

В связи с этим важна оценка применимости при картировании поврежденных лесных насаждений метода вегетационных (спектральных) индексов, который получает все большее распространение. Данные индексы, предназначенные для характеристики того или иного фактора влияния на экологическую обстановку в расстроенных лесных насаждениях, можно использовать как по отдельности, так и в совокупности рассчитанных индексов, что дает дополнительную информацию, недоступную при использовании каждого из данных индексов по отдельности.

Летом в 2016 г. на территории ГЛХУ «Смолевичский лесхоз» произошли масштабные изменения в лесном фонде, связанные с ветровалами, для оценки которых могут использоваться снимки, полученные с космического аппарата Sentinel-2. Их можно применить для решения множества задач лесного хозяйства. Известно, что после ветровалов на данных участках уменьшается количество хлорофилла, что позволяет использовать «зеленые» вегетационные индексы; увеличивается количество отмершей древесины, что дает возможность применять индексы, связанные с наличием лигнина, а также образуются территории, сходные по структуре с вырубками и гарями. С учетом этих факторов основное внимание при расчете спектральных индексов делалось на индексы, характеризующие зеленую биомассу и наличие отмершей древесины и не покрытой лесом площади.

**Основная часть.** Для картирования поврежденных насаждений и объектов лесохозяйственных мероприятий в ГЛХУ «Смолевичский лесхоз» использовались данные дистанционного зондирования космического аппарата Sentinel-2, первого мультиспектрального спутника, включающего 3 спектральных канала на «красной границе», которые открывают большие возможности для изучения растительности, так как данные каналы очень чувствительны к наличию хлорофилла в растениях. Съёмочная аппаратура спутника Sentinel-2 позволяет получать мультиспектральные изображения в 13 каналах, от видимого до коротковолнового инфракрасного излучения, с разрешением от 10 до 60 м и шириной полосы съёмки 290 км [2]. Данное разрешение на основных каналах превышает разрешение спутника Landsat-8 до 3 раз, что позволяет более точно оценить наличие измене-

ний в лесном фонде и решать множество других задач лесного хозяйства по мониторингу окружающей среды.

Уникальность Sentinel-2 связана с сочетанием большого территориального охвата, частых повторных съёмок (2–3 дня) и, как следствие, систематическим получением полного покрытия всей республики мультиспектральной съёмкой высокого разрешения [2].

Методика картирования поврежденных лесных насаждений на основе использования спектральных вегетационных индексов включает в себя следующие этапы:

- подбор космических снимков на территорию объекта исследования и их предварительная обработка;
- анализ фактических данных по произошедшим изменениям, предварительный выбор индексов;
- расчет спектральных индексов и выбор оптимальных;
- дешифрирование многозональных космических снимков Sentinel-2 и их предварительная классификация;
- векторизация полученной классификации;
- картирование территории поврежденных лесных насаждений;
- анализ и проверка точности картирования, полученной на основе обработки данных слоев индексов.

В представленной работе использовался снимок высокого разрешения Sentinel-2 от 22.08.16, полученный на большую часть территории ГЛХУ «Смолевичский лесхоз». Вся обработка данных проводилась с применением ГИС-технологий.

На начальном этапе необходимо определить те спектральные вегетационные индексы, которые наиболее оптимально подходят для дешифрирования поврежденных лесных насаждений. Спектральные индексы группируют в категории по свойству растительности, которое они характеризуют [1, 3–14]:

1. Broadband Greenness – индексы «зелености», которые отражают общее количество растительности и используются для оценки ее состояния. Они суммируют и отражают влияние содержания хлорофилла в растениях, площадь листовой поверхности, сомкнутость и структуру растительного покрова и хорошо коррелируют с индексом фотосинтетически активной радиации и индексом листовой поверхности (LAI) [1, 3, 4].

Основное назначение этих индексов – картирование растительного покрова, выявление площадей покрытых и не покрытых растительностью участков, оценка и мониторинг состояния растительного покрова, оценка продуктивности и урожайности [1, 3, 4].

2. Narrowband Greenness – индексы «зелености», которые также отражают общее количество и состояние растительности, как и индексы Broadband Greenness. Отличие в том, что для расчетов этих индексов используется область ближнего инфракрасного канала (красная граница «red edge»), что позволяет фиксировать даже небольшие изменения состояния растительности [1, 4].

3. Light Use Efficiency – индексы, учитывающие соотношение между различными типами пигментов для оценки общей эффективности использования света, с которой растительность способна использовать поступающий свет для фотосинтеза. Они хорошо коррелируют с эффективностью усвоения углерода и активностью роста, а также тесно связаны с поглощением фотосинтетически активной радиации [1, 4].

4. Canopy Nitrogen – индексы содержания и концентрации азота в растительном покрове, который входит в состав белков, хлорофилла и многих других органических соединений. При азотном голодании листья приобретают бледно-зеленую окраску, мельчают, уменьшается ветвление побегов. При избытке азота усиливается рост, ткани образуются рыхлые, цветение задерживается [1, 4].

5. Dryor Senescent Carbon – индексы, учитывающие содержание «сухого» углерода в виде лигнина и целлюлозы. Такой углерод в больших количествах присутствует в древесине и мертвых или сухих растительных тканях, увеличение этих показателей может отражать процесс «старения» или отмирания растений [1, 4].

6. Leaf Pigments – индексы содержания пигментов каротиноидов и антоцианина, которые характерны для растений в стрессовом состоянии и наблюдаются в значительных количествах у угнетенной растительности. Применяются для мониторинга состояния и оценки урожайности. Часто индексы могут показать стрессовое состояние растительности еще до того, как оно будет заметно «невооруженным глазом» [1].

7. Canopy Water Content – индексы для оценки содержания влаги в растениях и оценки сухости [1], так как высокое содержание влаги характерно для здоровой растительности, которая быстрее растет и более устойчива к отмиранию.

Для картирования поврежденных лесных насаждений были выбраны спектральные индексы, включающие все группы, за исключением Leaf Pigments, поскольку рассчитывались индексы «зелености» и Light Use Efficiency.

Расчет большей части вегетационных индексов базируется на двух наиболее стабильных (не зависящих от прочих факторов) участках кривой спектральной отражательной спо-

собности растений – на красную зону спектра приходится максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом, а на ближнюю инфракрасную зону максимальное отражение энергии клеточной структурой листа. Хорошо известно, что отношение этих показателей друг к другу позволяет четко отделять растительность от прочих природных объектов.

Для анализа наличия и картирования поврежденных лесных насаждений чаще всего применяется нормализованный дифференциальный вегетационный индекс (NDVI) [1, 4], который широко используется для мониторинга фенологии, количества и активности растительности. Как отмечено в работах многих авторов, чувствительность NDVI к фоновому отражению, а также склонность к насыщению в широколиственных насаждениях ограничивает использование этого индекса для изучения породного разнообразия. Поэтому в качестве альтернативы применялся для расчетов усиленный вегетационный индекс (EVI), который менее чувствителен к ограничениям, но требует наличия синего диапазона длин волн. При этом он позволяет выделить больше градиентов в районах с высокой зеленой биомассой, что дает преимущества для мониторинга растительности, поскольку влияние почвы и атмосферы в значениях данного индекса минимизировано [1, 4]:

$$EVI = 2,5 \cdot \frac{B_{NIR} - B_{RED}}{B_{NIR} + 6 \cdot B_{RED} - 7,5 \cdot B_{BLUE} + 1}, \quad (1)$$

где  $B_{NIR}$ ,  $B_{RED}$ ,  $B_{BLUE}$  – цифровые значения пикселей инфракрасного, красного и синего каналов космического снимка.

Космические снимки Sentinel-2 включают каналы на «красной границе», которые очень чувствительны к наличию хлорофилла в растительности, поэтому были рассчитаны индексы, учитывающие данную особенность: модернизированный спектральный индекс RENDVI и для повышения точности – расширенный индекс WDRVI, который является модификацией индекса NDVI [1]:

$$RENDVI = \frac{B_{NIR} - B_{RE}}{B_{NIR} + B_{RE}}; \quad (2)$$

$$WDRVI = \frac{0,1 \cdot B_{NIR} - B_{RED}}{0,1 \cdot B_{NIR} + B_{RED}}, \quad (3)$$

где  $B_{RE}$  – цифровые значения пикселей ближнего красного канала «red edge» космического снимка.

При стихийных бедствиях чаще всего происходит полная гибель растения, оно резко теряет влагу и вянет, поэтому целесообразно использовать спектральный индекс, учитывающий влажность растений, – нормализованный разностный

водный индекс NDWI, определяется как отношение разности и суммы коэффициентов поглощения  $B_{NIR}$  и  $B_{SWIR}$  каналов:

$$NDWI = \frac{B_{NIR} - B_{SWIR}}{B_{NIR} + B_{SWIR}}. \quad (4)$$

При ветровалах появляется большое количество отмерших и отмирающих частей, а следовательно, увеличивается количество огрубевшего углерода, которое может быть учтено индексом PSRI:

$$PSRI = \frac{B_{RED} - B_{GREEN}}{B_{NIR}}, \quad (5)$$

где  $B_{GREEN}$  – цифровые значения пикселей зеленого канала космического снимка.

При наличии поврежденных лесных насаждений возможно нарушение водного режима и образование сухих участков, особенно в солнечную погоду. Для анализа данных условий и определения стрессового состояния насаждений был использован индекс сухости DMCI:

$$DMCI = \frac{B_{SWIR_3} - B_{SWIR_2}}{B_{SWIR_3} + B_{SWIR_2}}, \quad (6)$$

где  $B_{SWIR_3}$  и  $B_{SWIR_2}$  – цифровые значения пикселей в диапазоне отражения в средней инфракрасной области спектра.

Существуют также спектральные индексы, которые используются в процессе определения границ потенциальных лесных гарей, вырубок и потенциально – ветровалов. Биофизической предпосылкой для применения индекса при оценке поврежденных насаждений является сопоставление отражений от неповрежденной и поврежденной растительности.

В связи с этим выполнен расчет нормализованного разностного индекса гарей (NBR), так как его использование основывается на максимальном отражении неповрежденной растительности:

$$NBR = \frac{B_{NIR} - B_{SWIR_3}}{B_{NIR} + B_{SWIR_3}}. \quad (7)$$

Также при проведении исследований по поиску наиболее оптимальных спектральных индексов для дешифрирования поврежденных лесных насаждений рассчитывались и другие спектральные индексы. Однако при первичной визуальной обработке они показали большой разброс данных при сравнении их с векторизованными специалистами РУП «Белгослес» границами участков ветровалов в ГЛХУ «Смолевичский лесхоз».

После создания растровых изображений спектральных индексов и проведения визуаль-

ного анализа – сопоставления с данными полевых обследований поврежденных насаждений были выбраны те индексные изображения, на которых даже визуально хорошо видны ветровальные повреждения и вырубки в лесном фонде лесхоза – EVI, WDRVI, RENDVI, NDWI, PSRI, DMCI, NBR.

Для автоматизации дальнейшего выделения поврежденных лесных насаждений на созданных растровых индексных изображениях выполняется неконтролируемая автоматическая классификация (так как поврежденные лесные насаждения хорошо видны на полученных растровых изображениях) на основе кластерного анализа Isocuster с разделением спектральных значений растровых изображений индексов на 5 классов с использованием ГИС-технологий.

Кластерный анализ относится к цифровым автоматизированным методам обработки космических изображений и позволяет выделять контуры с неконтрастной по спектральной яркости структурой. Это могут быть как непосредственно выделяемые растительность, открытые почвы, вода и т. д., так и некоторые особенности территории, выделяемые по косвенным признакам, например увлажнение, породный состав и т. д. [15].

Алгоритм кластеризации производит спектральный анализ исходного многозонального растрового изображения и пересчитывает его в однозональное, распределяя все пиксели в кластеры по их яркостным характеристикам. Вычисления продолжают до тех пор, пока все пиксели с 95%-ной вероятностью не попадут в какой-либо кластер [15].

Результатом кластеризации методом Isocuster является тематический растровый слой индекса, в котором в зависимости от индекса поврежденными насаждениями являлись 1-й и 2-й (или только 1-й) классы (рис. 1).

Как видно из кластеризованного тематического раstra спектрального индекса WDRVI, к поврежденным лесным насаждениям относятся пиксели изображения 1-го класса. Однако в данный класс также включаются и вырубки, и другие нелесные земли.

С целью определения наиболее оптимальных спектральных индексов для выделения поврежденных лесных насаждений выполнялось сопоставление классифицированных и кластеризованных изображений с векторным слоем повреждений, полученным на основе полевых обследований.

Данная операция предполагает векторизацию полученных классификационных изображений, вычисление площади, занимаемой тематическим классом поврежденных насаждений, и сравнение с эталонным векторным слоем поврежденных лесных насаждений, которые произошли на территории ГЛХУ «Смолевичский лесхоз».

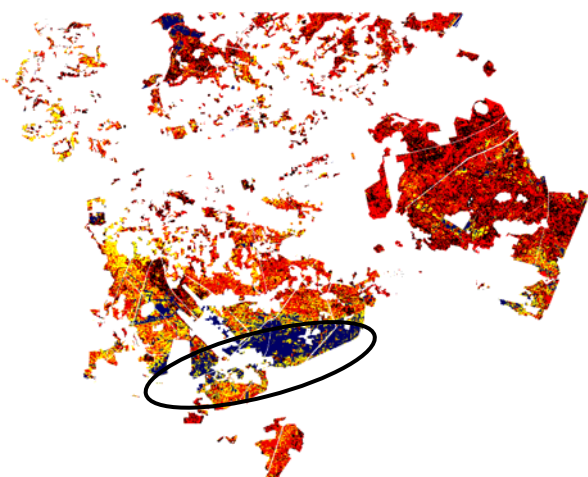


Рис. 1. Тематическое растровое изображение спектрального индекса WDRVI после классификации Isocluster на территорию ГЛХУ «Смолевичский лесхоз»

Сравнивая результаты расчетов слоев индексов со слоем полевых данных, можно затем выбрать индекс, максимально точно отражающий изменения в лесном фонде (рис. 2).

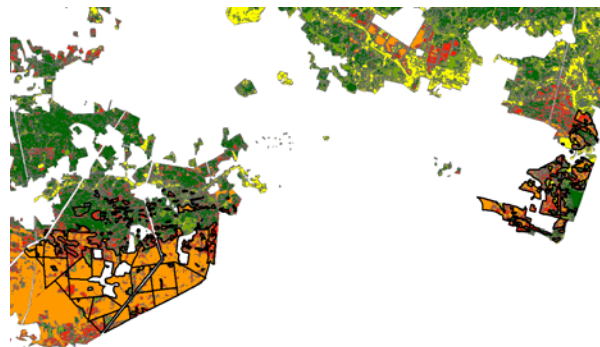


Рис. 2. Векторизованный слой спектрального индекса WDRVI и оцифрованные границы ветровала 2016 г. в ГЛХУ «Смолевичский лесхоз» (фрагмент)

В результате вышеописанных действий создаются векторные слои спектральных индексов на территорию ГЛХУ «Смолевичский лесхоз», в атрибутивной базе которых содержатся данные классов классификации (1–5-й классы) и площади данных классов (рис. 3). Полученные таким образом векторные слои сравнивались с векторным слоем поврежденных лесных насаждений на основе функций оверлейного анализа ГИС.

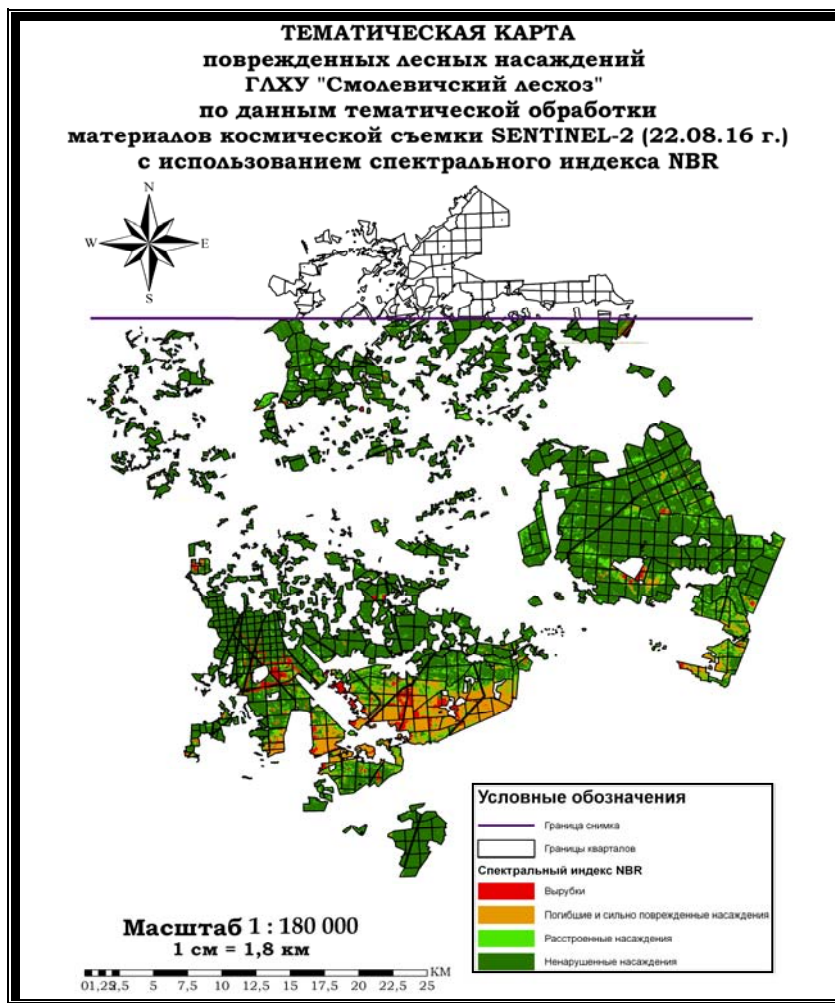


Рис. 3. Карта поврежденных лесных насаждений ГЛХУ «Смолевичский лесхоз» по спектральному индексу NBR

Для этого были вычислены площади классов спектральных индексов, приходящиеся на территорию поврежденных лесных насаждений, составляющую 2405 га (табл. 1).

Таблица 1  
**Классы спектральных индексов, приходящиеся на территорию поврежденных лесных насаждений**

| Класс        | Наименование индекса и его площадь, га |        |        |        |        |        |        |
|--------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|              | WDRVI                                  | PSRI   | EVI    | RENDVI | NBR    | DMCI   | NDWI   |
| 1            | 1490,1                                 | 170,7  | 117,5  | 37,8   | 190,4  | 28,9   | 1525,2 |
| 2            | 660,1                                  | 1515,2 | 1714,9 | 1823,9 | 1628,5 | 1879,6 | 724,3  |
| 3            | 164,5                                  | 604,5  | 418,6  | 415,7  | 479,0  | 418,9  | 137,4  |
| 4            | 69,9                                   | 114,5  | 112,3  | 106,3  | 96,6   | 72,2   | 17,8   |
| 5            | 20,3                                   | 0,2    | 41,8   | 21,5   | 10,6   | 5,5    | 0,2    |
| <i>Итого</i> | 2404,9                                 | 2405,1 | 2405,1 | 2405,1 | 2405,0 | 2405,2 | 2404,9 |

Полученные результаты имеют довольно высокую точность, особенно с учетом того, что классификация выполнена в автоматическом режиме без дополнительных расчетов. Некоторое несоответствие площадей связано с процедурой векторизации растровых изображений индексов, составленных из комбинаций каналов снимка.

При этом требуется оценить общую территорию, приходящуюся на каждый класс спектрального индекса для всего лесхоза, ведь чем больше площадей приходится на 1-й и 2-й классы классифицированных спектральных индексов, тем выше вероятность ложных обнаружений, что резко снижает точность картирования границ поврежденных насаждений (табл. 2).

Таблица 2  
**Классы спектральных индексов, приходящиеся на часть территории ГЛХУ «Смолевичский лесхоз»**

| Класс        | Наименование индекса и его доля, % |       |       |        |       |       |       |
|--------------|------------------------------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
|              | WDRVI                              | PSRI  | EVI   | RENDVI | NBR   | DMCI  | NDWI  |
| 1            | 10,9                               | 2,4   | 2,8   | 2,0    | 3,0   | 1,9   | 10,6  |
| 2            | 17,4                               | 8,7   | 11,4  | 12,3   | 9,9   | 12,9  | 13,9  |
| 3            | 34,8                               | 45,0  | 30,8  | 25,1   | 13,5  | 18,4  | 33,0  |
| 4            | 21,9                               | 43,1  | 31,8  | 37,5   | 31,5  | 40,0  | 42,4  |
| 5            | 15,0                               | 0,8   | 23,2  | 23,1   | 42,1  | 26,8  | 0,1   |
| <i>Итого</i> | 100,0                              | 100,0 | 100,0 | 100,0  | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

**Заключение.** В результате рассчитанные и векторизованные спектральные индексы довольно точно обеспечивают картирование границ ветровалов при сравнении их с полевыми данными: если учитывать только 1-й класс спектральных индексов, то наибольший процент обнаружения наблюдается у индексов NDWI и WDRVI (1525,2 и 1490,1 га, или 63,4 и 62,0% соответственно). Такие же результаты прослеживаются при одновременном учете двух классов, при этом наилучшие данные по дешифрированию повреждений приходится на индекс NDWI, который позволяет идентифицировать 93,5% поврежденной лесной территории. Однако, стоит также учитывать то, что перечисленные индексы не всегда позволяют выделить среди данных повреждений вырубку (так как часть ветровалов уже возможно разработана), которые наиболее точно выделяет спектральный индекс NBR (1-й класс – 7,9%).

Оценивая структуру распределения классов спектральных индексов по части территории лесхоза в относительных единицах, видим, что высоким потенциалом картирования поврежденных насаждений обладают индексы NDWI и WDRVI (10,6 и 10,9% соответственно). Ведь если вся часть территории лесхоза приходится на первые классы, то это приведет к высокому проценту обнаружения для всей территории лесхоза (так называемых ложных срабатываний), что увеличит погрешности при картировании.

Однако, если необходимо определить вырубку или гари, то здесь стоит использовать спектральные индексы, которые имеют разделение поврежденных насаждений на 1-й и 2-й классы (табл. 2). Следует учитывать, что это гипотетический процент, поскольку он, возможно, включает в себя не только поврежденные лесные насаждения и насаждения, пройденные лесохозяйственными мероприятиями, но и нелесные земли (прогалины, воды, пашни, сенокосы и т. д.). В этой связи для более достоверного выделения поврежденных лесных насаждений и объектов лесохозяйственных мероприятий целесообразно проводить оверлейный ГИС-анализ – сопоставление дешифрированных по космическому снимку лесных насаждений с векторной картой покрытых лесом земель, полученной по данным базового лесоустройства. Разность двух данных карт покажет поврежденные лесные насаждения и участки сплошнолесосечных рубок.

Стоит уточнить, что автоматическая классификация пусть и дает очень хорошие результаты, но использование иных способов дешифрирования и классификации растровых слоев индексов может еще больше повысить точность картирования границ поврежденных насаждений.

### Литература

1. Черепанов А. С., Дружинина Е. Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы // *Геоматика*. 2009. № 3. С. 28–32.
2. Дворкин Б. А., Дудкин С. А. Новейшие и перспективные спутники дистанционного зондирования Земли // *Геоматика*. 2013. № 2. С. 16–36.
3. Черепанов А. С. Вегетационные индексы // *Геоматика*. 2011. № 2. С. 98–102.
4. Пушкин А. А., Сидельник Н. Я., Ковалевский С. В. Использование материалов космической съемки для оценки пожарной опасности в лесах // *Труды БГТУ*. 2015. № 1 (174): Лесное хоз-во. С. 36–40.
5. Информационная система космического мониторинга санитарного состояния лесов ВЕГА-лесопатолог / С. А. Барталев [и др.] // *Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)*. Сборник научных статей. 2012. Т. 9. № 5. С. 171–180.
6. Полуавтоматическое выявление вырубок леса на мультитременных радарных и радарно-оптических цветных композитах / Е. В. Бахтинова [и др.] // *Геоматика*. 2012. № 1. С. 52–55.
7. Девятова Н. В., Ершов Д. В. Съемка MODIS/TERRA в мониторинге вспышек массового размножения очагов насекомых-вредителей // *Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)*. Сборник научных статей. 2005. Т. 1. № 2. С. 262–266.
8. Зенкевич Ю. Э., Глушков И. В., Антонова Т. А. Мониторинг лесохозяйственной деятельности: опыт применения данных космической съемки высокого и сверхвысокого разрешения // *Земля из космоса*. 2009. № 1. С. 17–21.
9. Особенности организации спутникового мониторинга массового размножения вредных насекомых в лесах Сибири / А. С. Исаев [и др.] // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2004. Т. 1. № 1. С. 164–174.
10. Маркс А., Грисбах Р. Лесопатологический космический мониторинг: возможности группировки RapidEye // *Геоматика*. 2012. № 4. С. 46–51.
11. Шумаков Ф. Т., Азимов А. Т. Об использовании данных дистанционного зондирования Земли для геоинформационных подсистем ситуационных центров экологического мониторинга // *ArcReview* [Электронный ресурс]. 2013. № 2 (65). Режим доступа: [https://www.dataplus.ru/news/arcreview/detail.php?ID=10559&SECTION\\_ID=285](https://www.dataplus.ru/news/arcreview/detail.php?ID=10559&SECTION_ID=285). Дата доступа: 10.10.2017.
12. Крылов А. М., Малахова Е. Г., Владимирова Н. А. Выявление и оценка площадей катастрофических ветровалов 2009–2010 гг. по данным космической съемки // *Изв. С.-Петербур. гос. лесотехн. акад.* 2012. Вып. 200. С. 197–207.
13. ImageSVM classification. Application Manual: imageSVM version 2.0. [Электронный ресурс] / Sebastian van der Linden, Andreas Rabe, Akpona Okujeni, Patrick Hostert // Humboldt-Universität zu Berlin, Geomatics Lab, 2009. Режим доступа: <http://www.hu-geomatics.de>. Дата доступа 10.10.2017.
14. Eisfelder C., Kraus T., Bock M., Werner M., Buchroithner M. F., Strunz G. Towards automated forest-type mapping – a service within GSE forest monitoring based on SPOT-5 and Ikonos data // *International Journal of Remote Sensing*. 2009. Vol. 30, no. 19. P. 5015–5038.
15. Скрипачев В. О., Зубков И. А. Применение алгоритмов неконтролируемой классификации при обработке данных ДЗЗ // 4-я Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»: сб. тезисов конференции. Москва, ИКИ РАН, 13–17 ноября 2006 г. С. 57–62.

### References

1. Cherepanov A. S., Druzhinina E. G. Spectral properties of vegetation and vegetative indices. *Geomatika* [Geomatics], 2009, no. 3, pp. 28–32 (In Russian).
2. Dvorkin B. A., Dudkin S. A. The newest and most promising satellites of Earth remote sensing. *Geomatika* [Geomatics], 2013, no. 2, pp. 16–36 (In Russian).
3. Cherepanov A. S. Vegetational indices. *Geomatika* [Geomatics], 2011, no. 2, pp. 98–102 (In Russian).
4. Pushkin A. A., Sidel'nik N. Ya., Kovalevskiy S. V. Use of space survey materials to assess fire danger in forest. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 1 (174): Forestry, pp. 36–40 (In Russian).
5. Bartalev S. A., Ershov D. V., Lupyan E. A., Krylov A. M., Uvarov I. A. Information system of space monitoring of forest health status VEGA-forest pathologist. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya zemli iz kosmosa (Fizicheskiye osnovy, metody i tekhnologii monitoringa okruzhayushchey sredy, potentsial'no opasnykh yavleniy i ob'ektov)* [Modern problems of remote sensing of the earth from space (Physical bases, methods and technologies of monitoring the environment, potentially dangerous phenomena and objects)], 2012, vol. 9, no. 5, pp. 171–180 (In Russian).

6. Bakhtinova E. V., Sokolov A. Yu., Nikolskiy D. B., Kantemirov Yu. I. Semi-automatic detection of deforestation on multi-radar and radar-optical colored composites. *Geomatika* [Geomatics], 2012, no. 1, pp. 52–55 (In Russian).

7. Devyatova N. V., Ershov D. V. MODIS / TERRA photography in monitoring outbreaks of mass breeding of pest outbreaks. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya zemli iz kosmosa (Fizicheskiye osnovy, metody i tekhnologii monitoringa okruzhayushchey sredy, potentsial'no opasnykh yavleniy i ob'yektov)* [Modern problems of remote sensing of the earth from space (Physical bases, methods and technologies of monitoring the environment, potentially dangerous phenomena and objects)], 2005, vol. 1, no. 2, pp. 262–266 (In Russian).

8. Zenkevich Yu. E., Glushkov I. V., Antonova T. A. Monitoring of forestry activities: experience in the application of high-resolution and high-resolution space imagery data. *Zemlya iz kosmosa* [Earth from Space], 2009, no. 1, pp. 17–21 (In Russian).

9. Isaev A. S., Ershov D. V., Lupyayev A. A., Kobel'kov M. E. Features of the organization of satellite monitoring of mass reproduction of harmful insects in Siberian forests. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the earth from space], 2004, vol. 1, no. 1, pp. 164–174 (In Russian).

10. Marks A., Grisbakh R. Forest pathological space monitoring: the possibilities of the RapidEye grouping. *Geomatika* [Geomatics], 2012, no. 4, pp. 46–51 (In Russian).

11. Shumakov F. T., Azimov A. T. On the use of Earth remote sensing data for geo-information subsystems of situational centers of environmental monitoring. Available at: [https://www.dataplus.ru/news/arcreview/detail.php?ID=10559&SECTION\\_ID=285](https://www.dataplus.ru/news/arcreview/detail.php?ID=10559&SECTION_ID=285) (accessed 10.10.2017).

12. Krylov A. M., Malakhova E. G., Vladimirova N. A. Identification and assessment of catastrophic windfall areas 2009–2010. according to space survey. *Izv. S.-Peterb. gos. lesotekh. akad.* [News St. Petersburg state timber college], 2012, vol. 200, pp. 197–207 (In Russian).

13. ImageSVM classification. Application Manual: imageSVM version 2.0. Available at: <http://www.hu-geomatics.de> (accessed 10.10.2017).

14. Eisfelder C., Kraus T., Bock, M., Werner, M., Buchroithner, M. F., Strunz, G. Towards automated forest-type mapping—a service within GSE forest monitoring based on SPOT-5 and Ikonos data. *International Journal of Remote Sensing*. 2009, vol. 30, no. 19, pp. 5015–5038.

15. Skripachev V. O., Zubkov I. A. [Application of algorithms of uncontrolled classification in the processing remote sensing data]. *4ya Vserossiyskaya otkrytaya konferentsiya («Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya zemli iz kosmosa»)* [4 All-Russian Open Conference (“Modern problems of remote sensing of the the earth from space”)]. Moscow, 2006, pp. 57–62 (In Russian).

#### Информация об авторах

**Сидельник Николай Ярославович** – кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: [sidelnik@belstu.by](mailto:sidelnik@belstu.by)

**Пушкин Андрей Александрович** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: [pushkin@belstu.by](mailto:pushkin@belstu.by)

**Ковалевский Сергей Владимирович** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: [kovalevsky@belstu.by](mailto:kovalevsky@belstu.by)

#### Information about the authors

**Sidel'nik Nikolay Yaroslavovich** – PhD (Agriculture), Senior Lecturer, the Department of the Forest Inventory. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [sidelnik@belstu.by](mailto:sidelnik@belstu.by)

**Pushkin Andrey Aleksandrovich** – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of the Forest Inventory. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [pushkin@belstu.by](mailto:pushkin@belstu.by)

**Kovalevskiy Sergey Vladimirovich** – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of the Forest Inventory. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [kovalevsky@belstu.by](mailto:kovalevsky@belstu.by)

Поступила 30.10.2017