

## Оценка погрешности определения площадей ветровалов по космическим изображениям высокого пространственного разрешения Landsat-TM

Н.В. Королева, Д.В. Ершов

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН,  
117997 Москва, Профсоюзная 84/32  
E-mails: [Natalia@ifi.rssi.ru](mailto:Natalia@ifi.rssi.ru) ;

В работе представлены результаты исследования предельных возможностей съемочной системы Landsat-TM по выявлению ветровалов и определению их фактической площади, а также приведена оценка предельных возможностей методов выявления ветровалов по разновременным космическим изображениям Landsat-TM. Для оценки ошибки определения фактической площади ветровалов по снимкам Landsat-TM была построена зависимость относительной средней ошибки оценки площади ветровала от его реальной площади. Для оценки предельных возможностей методов обнаружения ветровалов представлены зависимости вегетационных индексов и главных компонент от площади ветровала. В работе приведены результаты и анализ полученных зависимостей.

**Ключевые слова:** предельные возможности съемочной системы, предельные возможности методов обнаружения ветровалов, космические снимки Landsat-TM, космические снимки GeoEye, разностное изображение, главные компоненты, нормализованный вегетационный индекс NDVI, коротковолновый вегетационный индекс SWVI.

### Введение

В работе проведены исследования по оценке погрешности определения площадей ветровалов и оценке предельных возможностей методов выявления ветровалов по космическим изображениям высокого пространственного разрешения Landsat-TM. В качестве данных для изучения использовались ветровалы, образовавшиеся в результате урагана в лесах Московской области в 2009 году.

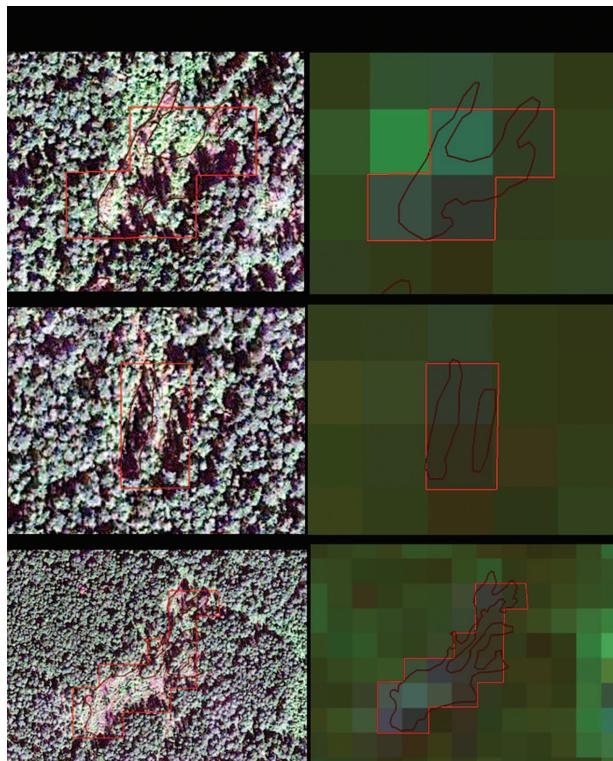
### Оценка погрешности определения площадей ветровалов по космическим изображениям высокого пространственного разрешения Landsat-TM

Для исследования предельных возможностей съемочной системы Landsat-TM по выявлению ветровалов и оценки их фактической площади проведен сравнительный анализ участков ветровалов, визуально дешифрированных на цифровых снимках Landsat-TM (30 м) и GeoEye (1,65 м).

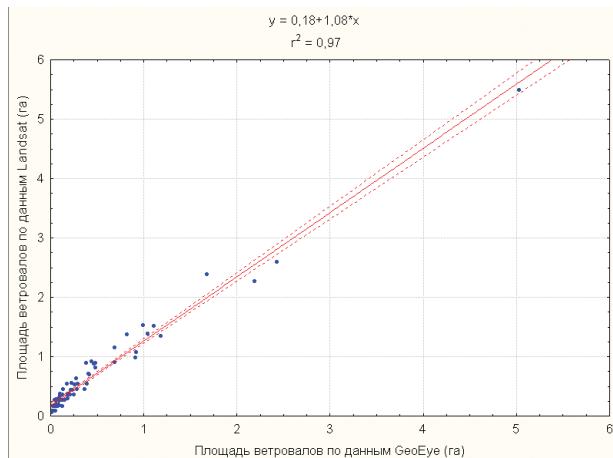
Для сравнительного анализа по спутниковым изображениям GeoEye, полученным в 2005–2010 годах, подготовлено 85 опорных участков ветровалов с общей площадью повреждений около 30,77 гектар.

На рис. 1 представлены примеры векторных изображений ветровалов. Бардовым цветом показаны границы, определенные по снимкам GeoEye, красным – по Landsat-TM. Ветровал на снимке Landsat-TM выделялся таким образом, чтобы покрывать полностью пиксель, в котором произошло нарушение.

Сопоставление площадей участков ветровалов, определенных по данным Landsat-TM и GeoEye, демонстрирует хороший уровень согласованности, что подтверждается наличием линейной связи между двумя наборами данных и высоким значением коэффициента детерминации ( $R^2=0,97$ ) (рис. 2).



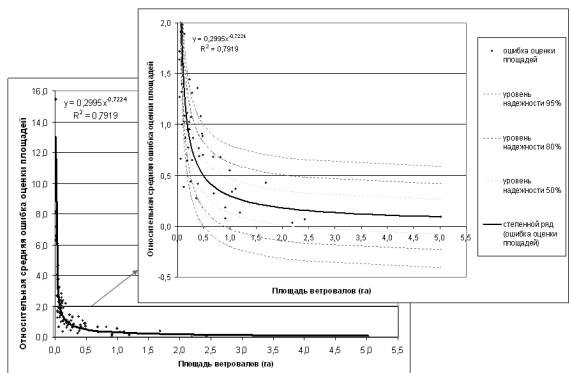
*Рис. 1. Примеры векторных изображений ветровалов, полученных по данным GeoEye (бордовый контур) и Landsat-TM (красный контур)*



*Рис. 2. Сравнение площадей поврежденных ветровалами по данным Landsat-TM и GeoEye. Пунктирной линией обозначен доверительный интервал с уровнем надежности 95%*

Кроме того, полученное уравнение регрессии позволяет оценить площадь погрешности съемочной системы, которая составляет 0,18 га (~ 2 пикселя).

Для того чтобы оценить уровень ошибки определения площади ветровала по снимкам Landsat была построена зависимость относительной средней ошибки оценки площади ветровала от его фактической площади (рис.3). Полученная зависимость показывает, что при малых значениях площадей ветровала, не превышающих площадные размеры пространственного разрешения Landsat-TM, а именно 0,09 га и меньше ошибка составляет 170% или превышение площади в 1,7 раз. Ветровал площадью 0,5 га (~ 6 пикселей) переоценивается на 49,4%, 1 га (~11 пикселей) – на 29,9%, 5 га (~56 пикселей) – 9,4%.



*Рис. 3. Зависимость средней относительной ошибки оценки ветровалов по данным Landsat-TM от размеров участков*

Ошибки в определении площади также зависят от формы ветровала. Для более компактных округлых ветровалов ошибки ниже, чем для вытянутых и узких ветровалов. Это связано с вкладом фактической площади ветровала в границы, определяемые по снимкам Landsat-TM.

Исходя из вышеуказанных значений погрешностей оценки площадей, можно сделать вывод о том, что оценивать площадь ветровалов с ошибкой не более 15% можно начиная с площади не менее 2,6 га.

### **Оценка предельных возможностей методов выявления ветровалов по космическим изображениям высокого пространственного разрешения Landsat-TM**

Для выявления ветровалов в автоматизированном режиме по данным Landsat-TM использовался метод оценки разностных изображений. Для этого определялась разница между изображениями до и после ветровала, глобальное среднее и среднее квадратическое отклонение (СКО) для разностного изображения в пределах маски леса. Факт нарушения устанавливался в случае, если значения в пикселе выходили за пределы 2x СКО относительно среднего значения.

В качестве признаков использовались изображения главных компонент, нормализованного вегетационного индекса NDVI и коротковолнового вегетационного индекса SWVI.

Для исследований применялись имеющиеся в наличии спутниковые снимки Landsat-TM за 2007 и 2010 годы до и после ветровала. Первоначально из изображений устранились пиксели, покрытые облачностью или тенями по алгоритму предварительной обработки изображений Landsat-5/7 (Белова, Ершов, 2011). Затем рассчитывались главные компоненты и индексы в пределах маски леса.

Главные компоненты представляют собой ортогональную систему координат, в которой дисперсии компонент характеризуют их статистические свойства. Первая компонента соответствует направлению, вдоль которого дисперсия векторов исходного набора максимальна. Направление второй компоненты выбрано таким образом, чтобы дисперсия исходных векторов вдоль него была максимальной при условии ортогональности первому вектору базиса. Аналогично определяются остальные векторы базиса. Получается, что основная изменчивость векторов исходного набора векторов представлена несколькими первыми компонентами, и появляется возможность, отбросив оставшиеся (менее существенные) компоненты, перейти к пространству меньшей размерности. Главные компоненты рассчитывались из стека наиболее чувствительных к изменениям каналов Landsat-TM: 3 (0,63 – 0,69 мкм), 4 (0,76 – 0,9 мкм), 5 (1,55 – 1,75 мкм) и 7 (2,08 – 2,35 мкм).

Индекс NDVI вычисляется по следующей формуле:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

где RED – отражение в красной области спектра, соответствующее 3 каналу Landsat-TM с диапазоном 0,63 – 0,69 мкм. NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра, соответствующее 4 каналу Landsat-TM с диапазоном 0,76 – 0,9 мкм.

Индекс SWVI вычисляется по аналогии с NDVI по формуле:

$$SWVI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра, соответствующее 4 каналу Landsat-TM с диапазоном 0,76 – 0,9 мкм. SWIR – отражение в средней инфракрасной области спектра, соответствующее 5 каналу Landsat-TM с диапазоном 1,55 – 1,75 мкм.

На опорные участки ветровалов, выявленные по данным GeoEye, была получена локальная статистическая информация о среднем и СКО для разностных изображений первых двух главных компонент и индексов NDVI и SWVI.

Проведенное сравнение данных локальных участков ветровалов с данными по общей глобальной статистике обнаружило отсутствие чувствительности индекса NDVI к факту ветровала (рис. 4 - 5).

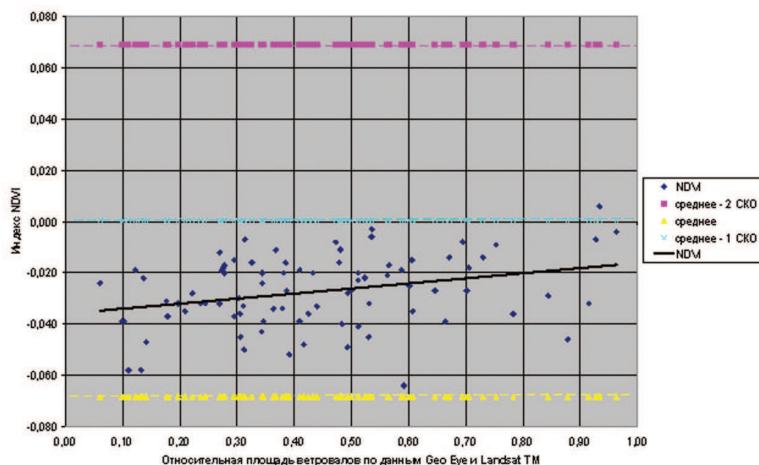


Рис. 4. Значение индекса NDVI в зависимости от относительной площади ветровала

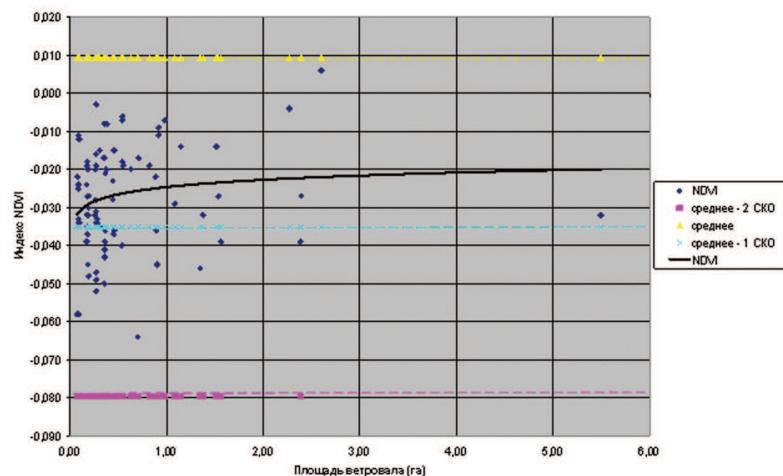


Рис. 5. Значение индекса NDVI в зависимости от абсолютной площади ветровала

В то же время индекс SWVI показал возможность выявления изменений в автоматизированном режиме с использованием глобального среднего и среднеквадратического отклонения. Порог выявления изменений, заданный на уровне 2,СКО, позволяет выделять ветровалы площадью свыше 2,4 га (рис. 6). Анализ главных компонент показывает, что выявление ветровалов при анализе 1-ой главной компоненты возможно с площади в 3,7 га (рис. 7). Вторая главная компонента не восприимчива к факту ветровала.

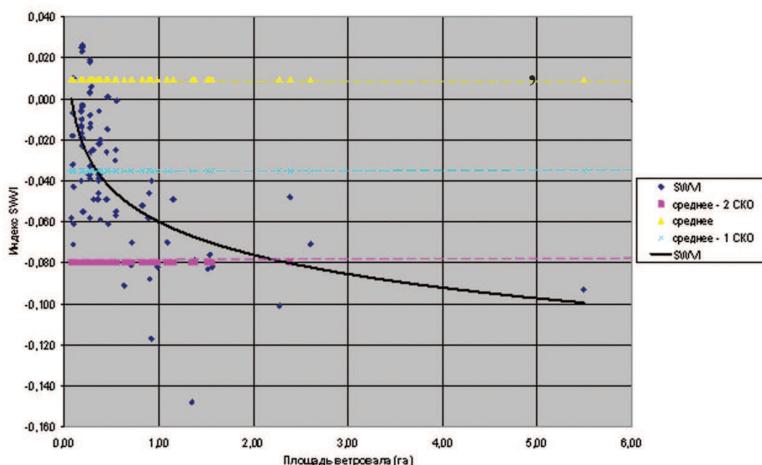


Рис. 6. Значение индекса SWVI в зависимости от абсолютной площади ветровала

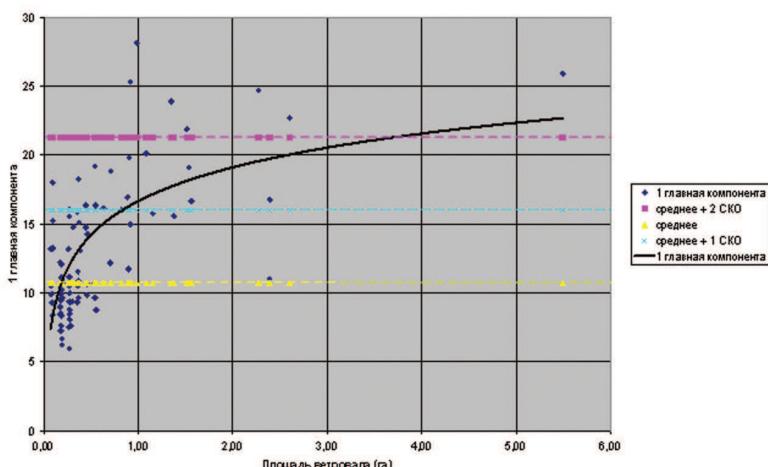


Рис. 7. Значение 1 главной компоненты в зависимости от абсолютной площади ветровала

На рис. 8 - 9 представлены зависимости индекса SWVI и 1-ой главной компоненты от относительной площади ветровала. Относительная площадь показывает, какую долю занимает ветровал, выявленный по данным GeoEye, относительно ветровала, определенного по данным Landsat-TM.

Если площадь ветровала по GeoEye занимает более чем 80% пикселя Landsat-TM, то применение метода выявления изменений с использованием глобального среднего и среднеквадратического отклонения является эффективным, как с применением индекса SWVI, так и с использованием 1ой главной компоненты (рис. 8 - 9).

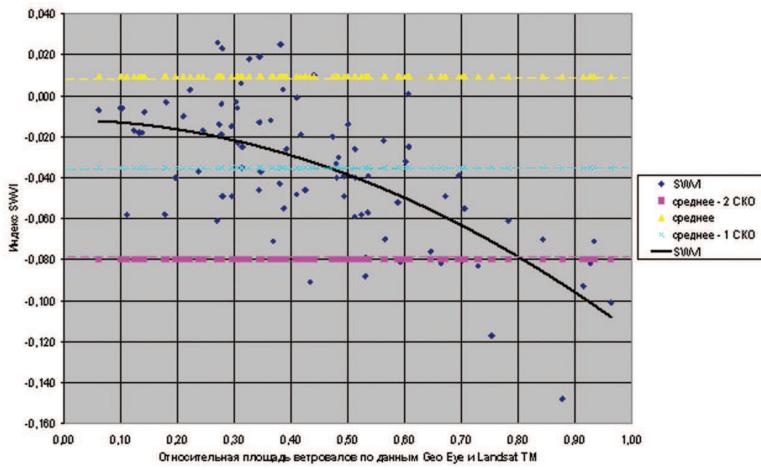


Рис. 8. Значение индекса SWVI в зависимости от относительной площади ветровала

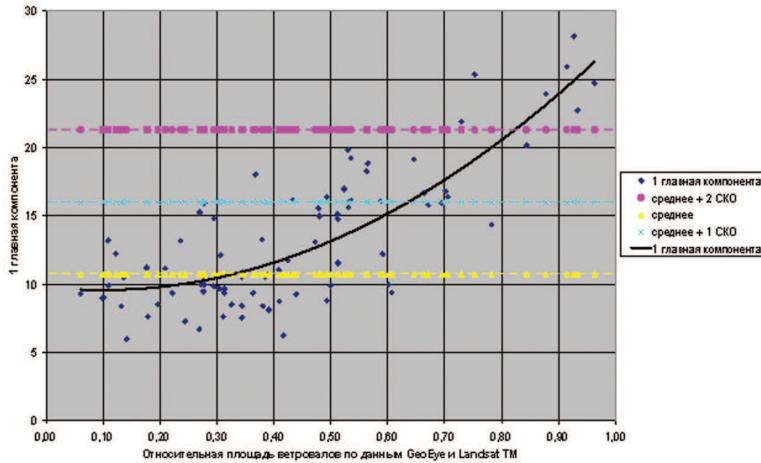


Рис. 9. Значение 1 главной компоненты в зависимости от относительной площади ветровала

## Заключение

Анализ полученных в работе зависимостей позволяет сделать следующие выводы:

- оценивать площадь ветровалов с ошибкой не более 15% по спутниковым изображениям Landsat-TM можно, начиная с площади не менее 2,6 га;
- применение индекса SWVI для разновременных изображений Landsat-TM с использованием глобального среднего и среднеквадратического отклонения, позволяет уверенно выделять ветровалы площадью более 2,4 га;
- выявление ветровалов при применении 1-ой главной компоненты с использованием глобального среднего и среднеквадратического отклонения происходит с площади в 3,7 га;
- вторая главная компонента и индекс NDVI не реагируют на изменения в лесном покрове, вызванные ураганными ветрами с последующим вывалом леса, для участков рассматриваемых размеров.

## **Литература**

1. Белова Е.И., Ериков Д.В. Предварительная обработка временных серий изображений Landsat-TM/ETM+ при создании безоблачных композитных изображений местности // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т.8. № 1. С. 73–82.

## **Assessment of an error of determination of areas of windfalls using space images of high spatial resolution of Landsat-TM**

**N.V. Koroleva, D.V. Ershov**

*Centre for Problems of Ecology and Productivity of Forests  
117997 Moscow, 84/32 Profsoyuznaya str.  
E-mails: Natasha@ifi.rssi.ru*

Results of research of limiting possibilities of system of Landsat-TM for identification of windfalls and determination of their actual area are presented. The assessment of limiting possibilities of methods of identification of windfalls using space images of Landsat-TM is given. The dependence of a relative average error of an assessment of the area of windfalls from its real area was constructed for an assessment of an error of determination of the actual area of windfalls on images of Landsat-TM. The dependences of vegetation indexes and the main components of the area of windfall are presented for an assessment of limiting possibilities of methods of detection of windfalls. Results and the analysis of the received dependences are given in work.

**Keywords:** limiting possibilities of system, limiting possibilities of methods of change detection, space imagery of Landsat-TM, space imagery of GeoEye, the main components, the normalized vegetation index of NDVI, a short-wave vegetation index of SWVI.