

## REFERENCES

1. Matveev L.T. Kurs obshchej meteorologii. Fizika atmosfery [Course of general meteorology. Atmospheric Physics], Leningrad: Hydrometeoizdat, 1976, 640 p. (in Russian).
2. Mishon V.M. Gidrofizika [Hydrophysics], Voronezh: VGU, 1979, 308 p. (in Russian).
3. Nelepo B.A., Korotaev G.K. Suetin V.S., Terehin Ju.V. Issledovanie okeana iz kosmosa [The study of the ocean from space], Kiev: Naukova dumka, 1985, 168 p. (in Russian).
4. Sizova L.N., Kuimova L.N., Shimaraev M.N. Vlijanie cirkuljacji atmosfery na ledovotermicheskie processy na Bajkale v 1950–2010 gody [The Influence of atmospheric circulation on ice-thermal processes in Lake Baikal in 1950–2010 years], Geografija i prirodnye resursy, 2013, No. 2, pp. 74–82 (in Russian).
5. Sutyryna E.N. Izuchenie vnutrennikh vodoemov i vodosborov s primeneniem dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli [The study of inland water bodies and watersheds using remote sensing data of the Earth], Irkutsk: Izd-vo IGU, 2014, 133 p. (in Russian).
6. Arst H., Sipelgas L. In situ and satellite investigations of optical properties of the ice cover in the Baltic Sea region, Proc. Estonian Acad. Sci. Biol. Ecol., 2004, Vol. 53 (1), pp. 25–36.
7. Barton I.J. Satellite-derived sea surface temperatures: Current status, J. Geoph. Res., 1995, Vol. 100, pp. 8777–8790.
8. Petrov M., Zdorovenov R., Palshin N., Terzhevik A. Solar radiation and albedo regime in ice-covered lakes: Early spring. Proc. 8th Workshop on Physical Processes in Natural Waters, Lund, 2004, pp. 31–38.
9. Singh P., Singh V.P. Snow and Glacier Hydrology, Dordrecht, Boston, London, Kluwer academic publishers, 2001, 756 p.
10. Troitskaya E., Blinov V., Ivanov V., Zhdanov A., Gnatovsky R., Sutyryna E., Shimaraev M. Cyclonic circulation and upwelling in Lake Baikal, Aquatic Sciences, 2015, Vol. 77, Issue 2, pp. 171–182.

УДК 630\*583

DOI: 10.24057/2414-9179-2017-3-23-62-70

А.В. Каверин<sup>1</sup>, Е.С. Вдовин<sup>2</sup>

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ LANDSAT ДЛЯ ОЦЕНКИ  
ЭКОНОМИЧЕСКОГО УЩЕРБА ЛЕСНОМУ ХОЗЯЙСТВУ ВСЛЕДСТВИЕ  
ВЕТРОВАЛА (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ МОРДОВИЯ)**

**АННОТАЦИЯ**

*Ущерб от опасных метеорологических явлений в отдельные годы превышает объём заготовки леса даже в районах интенсивного лесопользования. Так, на примере изучаемого объекта, на территории которого образовался ветровал вследствие шквалистого ветра, показано, как оперативное выявление и оценка состояния повреждённых участков леса позволяют провести эффективные мероприятия по защите лесов и/или их восстановлению. В свою очередь несвоевременное получение информации о негативных изменениях в лесах может привести к снижению эффективности санитарно-оздоровительных мероприятий*

<sup>1</sup> Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарёва, географический факультет, кафедра экологии и природопользования; Саранск, ул. Большевикская, 68б 430005, Россия; e-mail: kaverinav@yandex.ru

<sup>2</sup> Государственное казённое учреждение Республики Мордовия «Саранское территориальное лесничество»; Саранск, пер. Чернышевского, 10, 430005, Россия; e-mail: vdovin\_evgenii@inbox.ru

в виде последующей вспышки нашествия насекомых – вредителей леса и повышенной пожарной опасности.

Целью нашей работы является картографирование пространственного распределения лесных участков, подвергшихся ветровалу на территории Старошайговского участкового лесничества Саранского территориального лесничества. В качестве исходной информации использованы не только данные дистанционного зондирования, но и результаты наземных лесопатологических обследований повреждённых участков. При классификации (дешифрировании) изображений без обучения использовался способ IsoData.

Всего на исследуемой территории выявлены почти 300 га насаждений, полностью погибших в результате ветровалов, что составляет 1,5 % площади участкового лесничества. Проанализированы особенности пространственного распределения ветровалов на исследуемой территории, а также на основе актуальных исходных данных построена карта распространения ветровала, образовавшегося на землях лесного фонда вследствие шквалистого ветра на территории Республики Мордовия 21 июня 2015 года и рассчитан экономический ущерб лесному хозяйству изучаемого объекта. Проведена выборочная оценка породного состава и возрастной структуры насаждений, пострадавших от лесных пожаров и ветровалов.

## **КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:**

*ветровал, дистанционное зондирование, картографирование*

## **ВВЕДЕНИЕ**

Опасные метеорологические явления являются одним из источников возникновения чрезвычайных ситуаций природного характера. Данная проблема актуальна для многих регионов России, в том числе и для Республики Мордовия, где их вероятность летом 1–2 %, зимой – 4–6 % [География Мордовской АССР, 1983]. В последние годы наблюдается рост повторяемости опасных явлений погоды на территории России и увеличение ущерба от них.

При общей площади лесов на территории республики в 749,8 тыс. га, основную часть из которых составляют земли лесного фонда (681 тыс. га или около 91 %), проблема изучения пространственного распределения последствий опасных метеоявлений, в частности, таких как сильный шквалистый ветер, с помощью данных дистанционного зондирования на территории республики особенно актуальна. Актуальность проблемы возрастает в том числе и с её недостаточной изученностью в силу того, что республика отнесена к малолесным регионам.

Решаемые задачи:

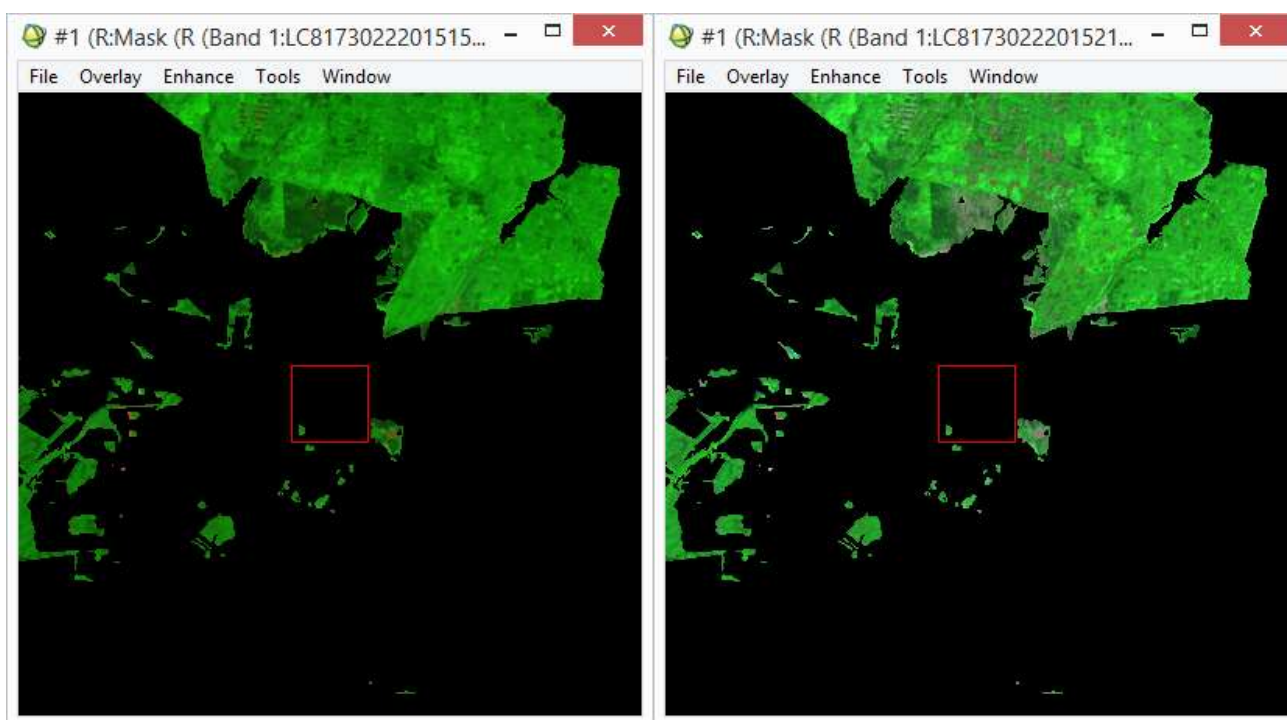
- 1) подобрать многоспектральные космические снимки для дешифрирования;
- 2) произвести классификацию спутниковых снимков с построением тематических карт лесов;
- 3) выявить местоположение и площади ветровальных участков внутри изучаемого субъекта;
- 4) провести расчёт эколого-экономического ущерба лесному хозяйству изучаемого объекта.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Обработка данных дистанционного зондирования (ДДЗ) – область, которая активно развивается уже много лет и всё теснее интегрируется с ГИС. В последнее время и в исследовательской деятельности широко используется космическая информация. Растровые данные являются одним из основных типов пространственных данных в ГИС. Они могут представлять спутниковые снимки, аэрофотоснимки, регулярные цифровые модели рельефа, тематические гриды, полученные в результате ГИС-анализа и геоинформационного моделирования [Манухов, 2009]. Космические снимки – главный источник пространственной инфор-

мации и данных для создания географических информационных систем (ГИС). Снимки дают возможность оперативно и регулярно получать информацию об объектах и их взаимосвязях, а также процессах, происходящих на земной поверхности [Росьякина, 2015].

Методы оценки ущерба от лесных пожаров и ветровалов по данным ДЗЗ рассматриваются многими авторами [Шихов, 2014]. Выбор исходных данных и методов дешифрирования должен выполняться с учётом специфики решаемой задачи. В данном случае необходимость выполнения анализа за короткий период времени в течение 2015 года predeterminedила выбор данных среднего разрешения Landsat 8, которые выбирались по дате их создания и параметру облачности, равному 0%. Также отметим, что для территории Старошайговского участкового лесничества было достаточно одной сцены для того, чтобы полностью охватить его площадь. Первый снимок LandsatID: LC81740222015143LGN00 был произведён 01 июня 2015 года, второй LC81730222015216LGN00 – 04 августа 2015 года. Как видно из дат производства снимков, первый был выполнен до появления ветровала, второй – после.



*Рисунок 1. Визуальные различия двух снимков участка земель лесного фонда до и после ветровала*

*Figure 1. Visual differences of two images of the forest land area before and after the forest windfall*

Для формирования однородных изображений на исследуемую территорию для всех снимков Landsat была проведена атмосферная коррекция в модуле FLAASH программного комплекса ENVI-4.7 [Курбанов, 2013].

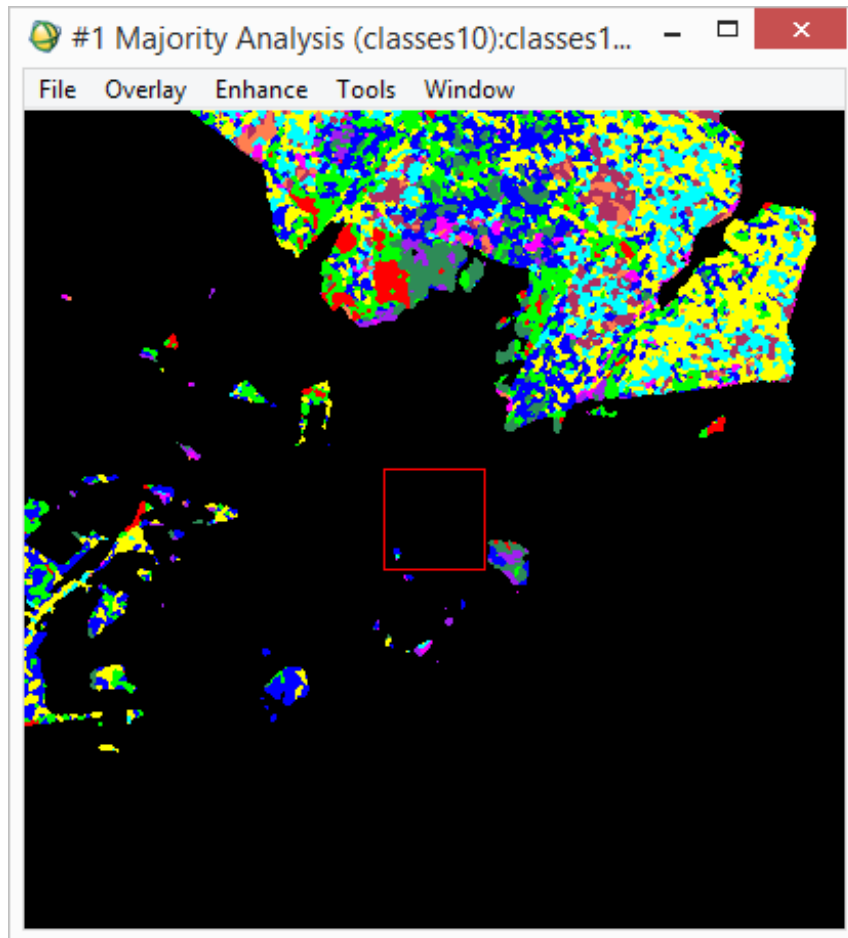
Далее на основе полученных снимков в среде программы ENVI 4.7 были получены синтезированные изображения с комбинацией каналов для снимков с КА Landsat 8 – 7-5-3. Территории, выходящие за пределы изучаемого объекта, были удалены из обработки с помощью масок.

На рисунке 1 представлено наглядное различие самого большого хвойного массива изучаемого объекта до и после повреждения шквалом.

При классификации (дешифрировании) изображений без обучения использовался способ IsoData. Для классификации указанным способом в среде программы ENVI 4.7 было задано минимальное и максимальное количество классов для анализа.

Любое классифицированное изображение нуждается в постобработке, в ходе которой оценивается точность классификации, объединяются близкие классы, производится генерализация изображения для получения растровой или векторной карты. В программном комплексе ENVI есть полный ряд инструментов для удовлетворения этим требованиям.

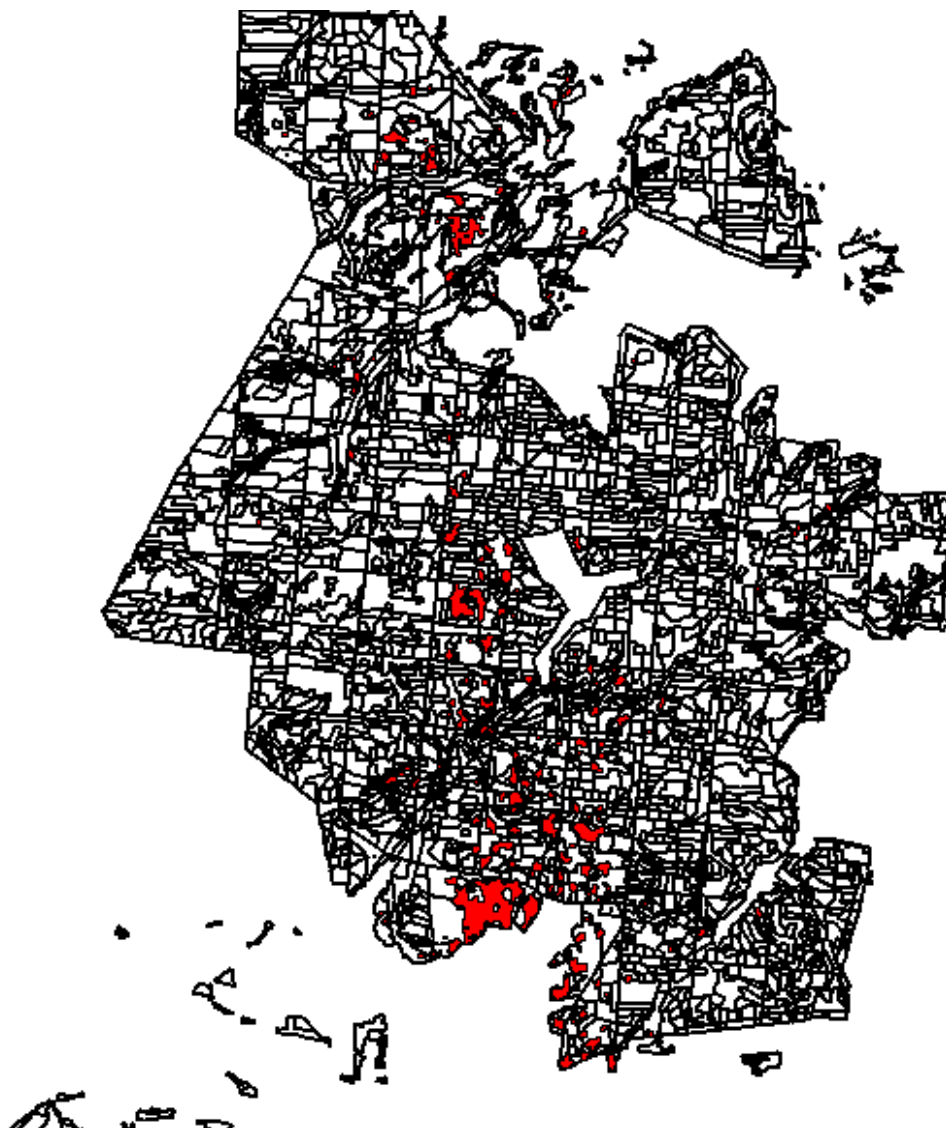
Была проведена постклассификационная обработка (PostClassificationProcessing) с целью генерализации изображений с помощью процедуры Majority/MinorityAnalysis [Вдовин, 2015] (рисунок 2).



**Рисунок 2.** Классифицированное изображение, полученное на основе снимка Landsat 8 от 04.08.2015 г.

**Figure 2.** The classified picture received on the Landsat 8 image as of 04.08.2015

Затем был визуально определён и подтверждён натурным способом класс ветровальных участков, поскольку программный комплекс ENVI самостоятельно определил классы. Данные натурного обследования показали высокую корреляцию результатов дешифрирования и наземных исследований, а именно: из 52 обследованных участков хвойных и лиственных насаждений только 49 являлись ветровальными, а три участка, занятые еловыми насаждениями, оказались усыхающими после засухи 2010 года, в то время как в соответствии с результатами классификации все 52 участка были отнесены к одному классу. Таким образом, можно сделать вывод о близких спектральных характеристиках лесных участков, повреждённых ветром и засухой.



*Рисунок 3. Характер распространения ветровала по территории лесничества (красным указано расположение ветровальных участков леса в границах лесничества)*

*Figure 3. The distribution of the forest windfall on the territory of the forestry (red indicates the location of windfall sites within the boundaries of the forestry)*

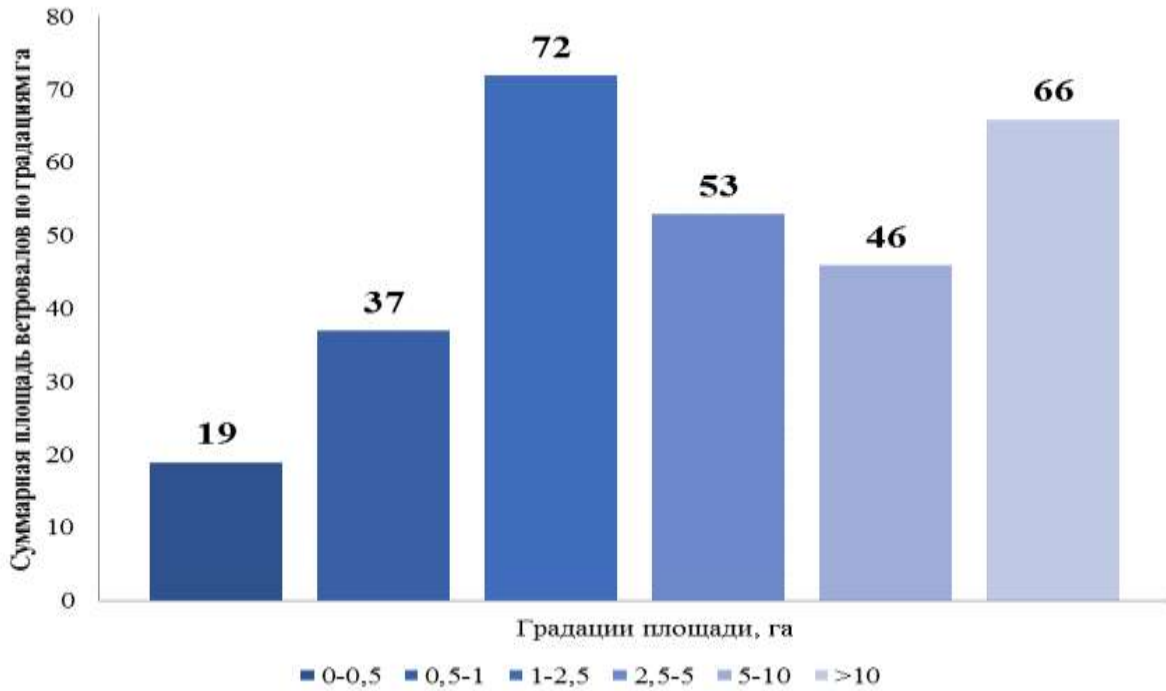
Далее результат классификации в векторном формате был преобразован в ГИС Mapinfo Professional 10.5.2 путём выделения класса ветровальных участков из общего результата и наложения его на векторную карту лесничества (рисунок 3).

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

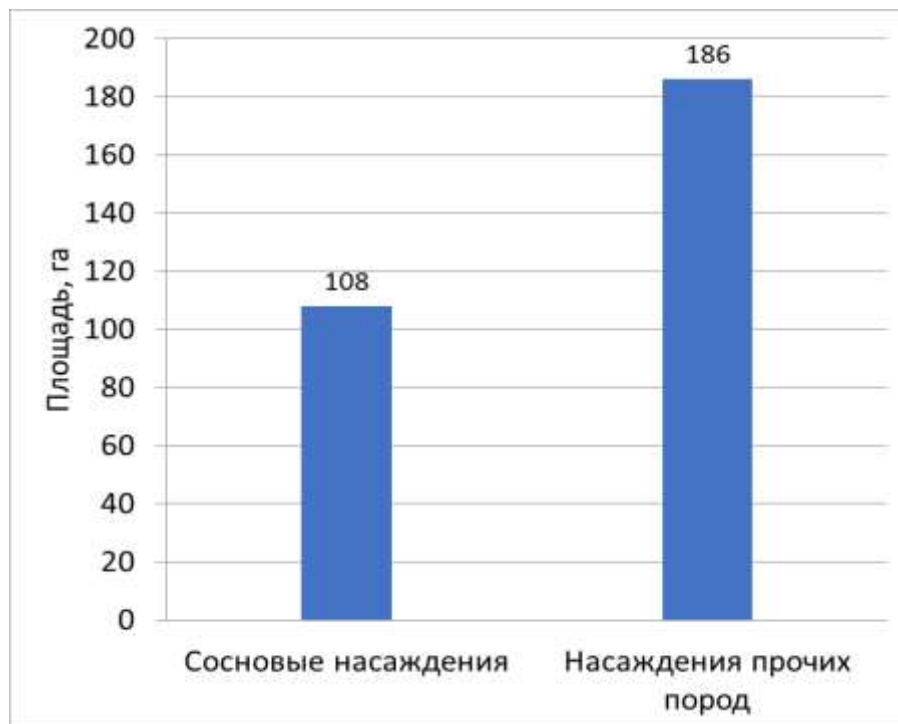
Посредством пространственных запросов в ГИС Mapinfo Professional 10.5.2 получены следующие данные, проиллюстрированные диаграммами на рисунках 4 и 5.

Как видно из диаграммы (рисунок 4), структура ветровальных площадей представлена как достаточно мелкими участками, так и довольно крупными, превышающими площадь более 10 га. Их суммарная площадь составляет 66 га.

В разрезе составляющих пород структура повреждённых ветровалом площадей выглядит следующим образом (рисунок 5).



**Рисунок 4.** Характер распределения ветровальных площадей по их размеру  
**Figure 4.** The distribution of forest windfall areas according to their size



**Рисунок 5.** Структура повреждённых ветровалом площадей в разрезе преобладающих древесных пород  
**Figure 5.** Structure of forest windfall damaged areas in the context of dominant trees species

**Таблица 1.** Экономический ущерб хозяйственно-ценным лесным насаждениям изучаемого объекта (потери древесины)

**Table 1.** Economic damage to commercially valuable forest stands of the studied object

Показатель	Сумма, тыс. руб.*
Общие потери древесины	2600
Затраты на ликвидацию ветровалов (уборка захламлённости)	6500
Затраты на лесовосстановление и агроуходы до возраста перевода в лесопокрытую площадь	3100
Итого	12200

\* расчёт потерь древесины произведён по ставкам для средней категории крупности древесины при первом классе товарности; расчёт затрат на уборку захламлённости, лесовосстановление и агроуходы до возраста перевода в лесопокрытую площадь произведён в соответствии с утверждёнными в 2015-2016 гг. расценками на выполнение лесохозяйственных работ на территории Республики Мордовия

Хозяйственно ценными лесными насаждениями на территории изучаемого объекта являются сосновые насаждения. При изучении таксационных показателей оказалось, что повреждёнными оказались главным образом средневозрастные насаждения в возрасте от 41 до 60 лет. Ниже приводится таблица расчёта экономического ущерба хозяйственно ценным лесным насаждениям (таблица 1).

При подсчёте экономического ущерба нами не оценивались потери выполнения лесом биосферных функций (депонирование углерода, климаторегулирующая, водоохранная, водорегулирующая, рекреационная) и других функций (сбор дикоросов, грибов и т.п.). Таким образом, приведённая оценка ущерба от потерь древесины – лишь часть общего ущерба и, согласно литературным данным, должна быть выше. Например, согласно методике оценки способности лесных насаждений к депонированию углерода [Фадеев, 2009], в лесных насаждениях происходит связывание углекислого газа, по объёму почти в два раза превышающее показатель годичного прироста древесины на 1 га. Утрата этой функции повреждёнными насаждениями в границах данного участкового лесничества усугубляется тем, что повреждёнными оказались главным образом средневозрастные насаждения, характеризующиеся высоким годичным приростом.

## ВЫВОДЫ

1) Исследования показали высокую значимость данных среднего разрешения Landsat 8 и программного комплекса ENVI для определения площадей ветровальных участков изучаемой территории;

2) Достоверность результатов оценки ущерба хозяйственно ценным лесным насаждениям подтверждена полевыми работами по отводу лесосек для проведения санитарно-оздоровительных мероприятий в лесах Старошайговского участкового лесничества Саранского территориального лесничества, выполненных в рамках государственных контрактов в 2015–16 гг.;

3) Общая площадь насаждений, поврежденных ветровалом, выявленных по снимку Landsat 8, равна 294 га. В структуре указанной площади доля сосновых насаждений составляет 108 га;

4) Ущерб сосновым насаждениям Старошайговского участкового лесничества составил 12,2 млн. руб.;

5) Использование данных среднего разрешения Landsat 8 в практике лесного хозяйства Республики Мордовия в совокупности с программными средствами обработки данных дистанционного зондирования и гис-технологиями не только позволит проанализировать объёмы ущерба лесному хозяйству, но и даст в перспективе возможность сделать пространственно-временной анализ частоты и плотности появления ветровальных участков на землях лесного фонда вследствие опасных метеоявлений (шквалов, смерчей и т.п.) с целью выработки лесоводственных рекомендаций для конкретных территорий при проектировании лесовосстановительных мероприятий и рубок ухода за лесами для создания ветроустойчивых насаждений с оптимальным породным составом.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вдовин Е.С., Каверин А.В.* К вопросу оптимальной лесистости на территории Мордовии // *Экология и природопользование: прикладные аспекты: материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием.* – Уфа: Изд-во БГПУ, 2015. – С. 59–63.
2. *География Мордовской АССР / Ред. М.М. Голубчик, С.П. Евдокимов (отв. ред.) и др.* – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 1983. – 304 с.
3. *Курбанов Э.А., Воробьёв О.Н., Незамаев С.А. и др.* Тематическое картирование и стратификация лесов Марийского Заволжья по спутниковым снимкам Landsat // *Вестник Поволжского государственного технологического университета.* – Серия «Лес. Экология. Природопользование». – 2013. – № 3. – С. 82–92.
4. *Манухов В.Ф., Варфоломеева Н.А., Варфоломеев А.Ф.* Использование космической информации в процессе учебно-исследовательской деятельности студентов // *Геодезия и картография.* – 2009. – № 7. – С. 44–48.
5. *Росьякина Е.А., Ивлиева Н.Г.* Обработка данных дистанционного зондирования земли в ГИС-пакете Arcgis [Электронный ресурс] // *Огарёв-online.* – Саранск, 2015. – № 4. – С. 1–9. – Режим доступа: <http://journal.mrsu.ru/wp-content/uploads/2015/02/Statya-Rosyajkina-Ivlieva11.pdf>.
6. *Фадеев А.Н., Жгулёва О.А.* Методика оценки способности лесных насаждений к депонированию углерода // *Вестник МарГТУ.* – 2009. – № 1. – С. 88–92.
7. *Шихов А.Н.* Оценка последствий стихийных природных явлений для лесных ресурсов Пермского края по многолетним рядам данных космической съёмки // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса.* – 2014. – Т. 11. – № 1. – С. 21–29.

**Alexander V. Kaverin<sup>1</sup>, Eugeny S. Vdovin<sup>2</sup>**

## THE USE OF LANDSAT SATELLITE IMAGES FOR ECONOMIC DAMAGE ASSESSMENT TO FORESTRY OF MORDOVIA DUE TO A FOREST WINDFALL

### ABSTRACT

*The damage caused by extreme weather events in some years exceeds the amount of logging even in areas of intensive forest management. So, on the example of the studied object on whose territory a windfall formed as a result of a squally wind, it has been shown as a rapid identification*

<sup>1</sup> National Research Mordovian State University, Faculty of Geography; Saransk, Bolshevistskaya st, 68, 430005, Russia; *e-mail:* kaverinav@yandex.ru

<sup>2</sup> State Governmental institution of the Republic of Mordovia “Saransk territorial forestry”; Saransk, Chernyshevsky lane, 430005, Russia; *e-mail:* vdovin\_evgenii@inbox.ru



*and assessment of damaged forest areas allows one to carry out effective measures for forest protection and/or restoration. In its turn, the untimely information on negative changes in the forests may lead to a decrease in efficiency of sanitary and preventive measures and cause subsequent outbreaks of insect pests and increased fire danger.*

*The aim of our work is the mapping of the spatial distribution of forest windfall sites on the territory of Staroshaigovskoe district forestry of Saransk territorial forestry. As the source of information we used not only remote sensing data but also the results of the ground surveys of forest pest damaged areas. IsoData method was used for the unsupervised classification of images.*

*Only in the study area the damage was nearly 300 ha of stands, totally lost as a result of windfalls, which makes 1.5% of the district forestry area. Analysis of the features of spatial distribution of windfalls in the study area has been made, and based on actual source data a map has been compiled showing the distribution of the windfall formed on lands of the forest Fund as a result of a squally wind on the territory of the Republic of Mordovia on 21 June 2015, and the economic damages to forestry of the studied object calculated. A selective estimation of species composition and age structure of stands affected by forest windfalls has been made.*

#### **KEYWORDS:**

*forest windfall, mapping, remote sensing*

#### **REFERENCES**

1. Vdovin E.S., Kaverin A.V. K voprosu optimalnoy lesistosti na territorii Mordovii [To the question of optimal forest on the territory of Mordovia] *Ekologiya i prirodopolzovanie: prikladnyie aspektyi: materialyi V Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnyim uchastiem*, Ufa: BSPU, 2015, pp. 59–63.
2. *Geografiya Mordovskoy ASSR [Geography of Mordovia Republic]*, Saransk: Publishing House of Mordovian state University, 1983, 304 p.
3. Kurbanov E.A., Vorob'jov O.N., Nezamaev S.A. *et al.* Tematicheskoe kartirovanie i stratifikatsiya lesov Mariyskogo Zavolzhya po sputnikovyim snimkam Landsat [Thematic mapping and stratification of forests in Mari Zavolsgie by Landsat satellite images], *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta. Seriya "Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie"*, 2013, No 3, pp. 82–92.
4. Manuhov V.F., Varfolomeeva N.A., Varfolomeev A.F. Ispolzovanie kosmicheskoy informatsii v protsesse uchebno-issledovatel'skoy deyatel'nosti studentov [The use of space-based information in the process of teaching and research activities of students] *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and cartography]*. 2009, No 7, Pp. 44–48.
5. Rosyaikina E.A., Ivlieva N.G. Obrabotka dannyih distantsionnogo zondirovaniya zemli v gis-pakete Arcgis [Data processing of remote sensing in a GIS package Arcgis], *Ogarev-online*, Saransk, 2015, No 4, pp. 1–9. URL: <http://journal.mrsu.ru/wp-content/uploads/2015/02/Statya-Rosyajkina-Ivlieva11.pdf>.
6. Phadeev A.N. Metodika ocenki sposobnosti lesnikh nasazhdenii k deponirovaniu ugleroda [The method of estimating the ability of forests to carbon sequestration], *Vestnik MarGTU*, 2009, No 1, pp. 82–92.
7. Shihov A.N. Ocenka posledstviy stihiiinikh prirodnykh yavlenii dlya lesnikh resursov Permskogo kraja po mnogoletnim ryadam dannikh kosmicheskoi s'yomki [Assessment of consequences of the spontaneous natural phenomena for forest resources of Perm Krai on long-term sequences of data of space shooting] *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2014, No 1, pp. 21–29.