

## Оценка последствий стихийных природных явлений для лесных ресурсов Пермского края по многолетним рядам данных космической съемки

А.Н. Шихов

*Пермский государственный национальный исследовательский университет  
Пермь 614990, Россия  
E-mail: and3131@inbox.ru*

Статья посвящена оценке ущерба от стихийных природных явлений (лесных пожаров и ветровалов) для лесных ресурсов Пермского края за период с 2001 по 2013 гг. В качестве исходных данных использованы многолетние ряды наблюдений со спутников серии LANDSAT. Дешифрирование гарей и ветровалов выполнено на основе коротковолнового вегетационного индекса SWVI. Для валидации результатов дешифрирования использованы снимки высокого и сверхвысокого разрешения (SPOT-5, WorldView-2).

Всего на исследуемой территории выявлены более 50 тыс. га насаждений, полностью погибших в результате лесных пожаров и ветровалов, что составляет 0,4% площади лесного фонда. За рассматриваемый период 2001–2013 гг. ущерб от пожаров существенно превышает ущерб от ветровалов. Проанализированы особенности пространственно-временного распределения крупных пожаров и ветровалов на исследуемой территории. Выявлена область повышенной повторяемости крупных лесных пожаров на северо-западе Пермского края, обусловленная природными факторами. Выявлены 7 случаев ветровалов, связанные со смерчами, что позволяет пересмотреть существующие оценки повторяемости данного опасного явления на исследуемой территории. Проведена выборочная оценка породного состава и возрастной структуры насаждений, пострадавших от лесных пожаров и ветровалов.

**Ключевые слова:** космический мониторинг лесных ресурсов, данные ДЗЗ, опасные природные явления, ветровалы, лесные пожары.

### Введение

Ежегодно значительные площади лесов России подвергаются воздействию опасных природных явлений (сильных ветров, лесных пожаров и засух, снеголомов, гололеда), которые приводят к потере биологической устойчивости насаждений, частичной или полной их гибели. Ущерб от лесных пожаров и ветровалов в отдельные годы превышает объем заготовки леса даже в районах интенсивного лесопользования. Во многих случаях оперативное выявление и оценка состояния поврежденных участков леса позволяет провести эффективные мероприятия по защите лесов и/или их восстановлению. Несвоевременное получение информации о негативных изменениях в лесах, в свою очередь, может привести к снижению эффективности лесозащитных мероприятий (Крылов, Владимиров, 2011). В настоящее время эффективным инструментом для обнаружения поврежденных насаждений на большой территории является космический мониторинг (Егоров, 2006; Барталев и др., 2010).

На территории Пермского края наибольший ущерб для лесных ресурсов наносят лесные пожары, сильные шквалы и смерчи. Площадь погибших насаждений в отдельные годы превышает 10 тыс. га. Актуальность оперативного выявления и оценки ущерба для лесных ресурсов в регионе возросла в последние годы, после катастрофических пожаров в

июле-августе 2010 г. и ветровала 18 июля 2012 г. В будущем, в связи с изменениями регионального климата, повторяемость подобных явлений может возрасти.

**Целью** проведенного исследования является оценка ущерба от лесных пожаров и ветровалов для лесных ресурсов Пермского края за период 2001–2013 гг. (в течение которого производилась регулярная съемка исследуемой территории со спутников серии LANDSAT), и анализ особенностей их пространственно-временного распределения.

### **Исходные данные и методы исследования**

В качестве **исходных данных** для проведения исследования использованы космические снимки с аппаратов LANDSAT-5 (сенсор TM), LANDSAT-7 (сенсор ETM+) и LDSM-8 (сенсор OLI/TIRS), за период с 1999 по 2013 г. Также использованы данные высокого разрешения (SPOT-4, SPOT-5, WorldView-2) за 2011–2013 гг. На основе снимков LANDSAT выполнялось автоматизированное дешифрирование негативной динамики лесов (вырубок, пожаров, ветровалов). Снимки высокого разрешения использованы для валидации результатов автоматизированного дешифрирования.

Методы оценки ущерба от лесных пожаров и ветровалов по данным ДЗЗ рассматриваются многими авторами, например (Егоров, 2006; Барталев, 2010; Крылов, Владимирова, 2011). Выбор исходных данных и методов дешифрирования должен выполняться с учетом специфики решаемой задачи. В данном случае необходимость выполнения анализа за 13-летний период времени предопределила выбор данных среднего разрешения LANDSAT TM/ETM+. Для дешифрирования были использованы малооблачные снимки LANDSAT 5/7/8 за периоды 1999–2002, 2006–2007 и 2010–2013 гг.

Выявление негативной динамики лесов производилось на основе разности коротковолнового вегетационного индекса SWVI. Эффективность данной методики обусловлена тем, что при повреждении растительности, наряду со снижением фотосинтеза и уменьшением отражения в ближней инфракрасной (ИК) области спектра, происходит значительный рост отражательной способности в средней ИК зоне, связанный с уменьшением содержания влаги в листьях (хвое) (Егоров, 2006; Барталев и др., 2010). Индекс SWVI рассчитывается по формуле:

$$SWVI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR),$$

где *NIR* – спектральная яркость в ближней ИК зоне, *SWIR* – спектральная яркость в коротковолновой ИК зоне. Для выявления изменений в лесах использовался пороговый критерий, который определялся обычно экспертным путем, в зависимости от сезона съемки и процента облачности. Расчет проводился в пределах предварительно созданной маски ле-

сов. Полученные результаты подвергались сглаживанию, фильтрации по минимальному значению площади, и автоматически векторизовались.

Отделение гарей и ветровалов от вырубок и участков повреждения вредителями и болезнями леса проводилось экспертным путем. Гари выделялись по признаку пространственного совпадения с участками тепловых аномалий, детектированных за 2001–2013 гг. сенсорами MODIS, установленными на спутниках Terra и Aqua. Данные о тепловых аномалиях были получены с сервиса FIRMS (Fire Information for Resource Management System), предоставляемого NASA.

При отделении ветровалов важнейшим признаком является геометрическая форма (значительная протяженность, отсутствие прямых углов) и текстура объекта. Длина полосы ветровала, как правило, превышает ширину в 3–10 раз (у ветровалов, связанных со шквалами) или в 20–50 раз (у ветровалов, связанных со смерчами). Кроме того, для ветровалов, связанных со шквалами, характерна сложная мозаичная структура, которая определяется рельефом местности и особенностями породного состава лесов (рис. 1А).

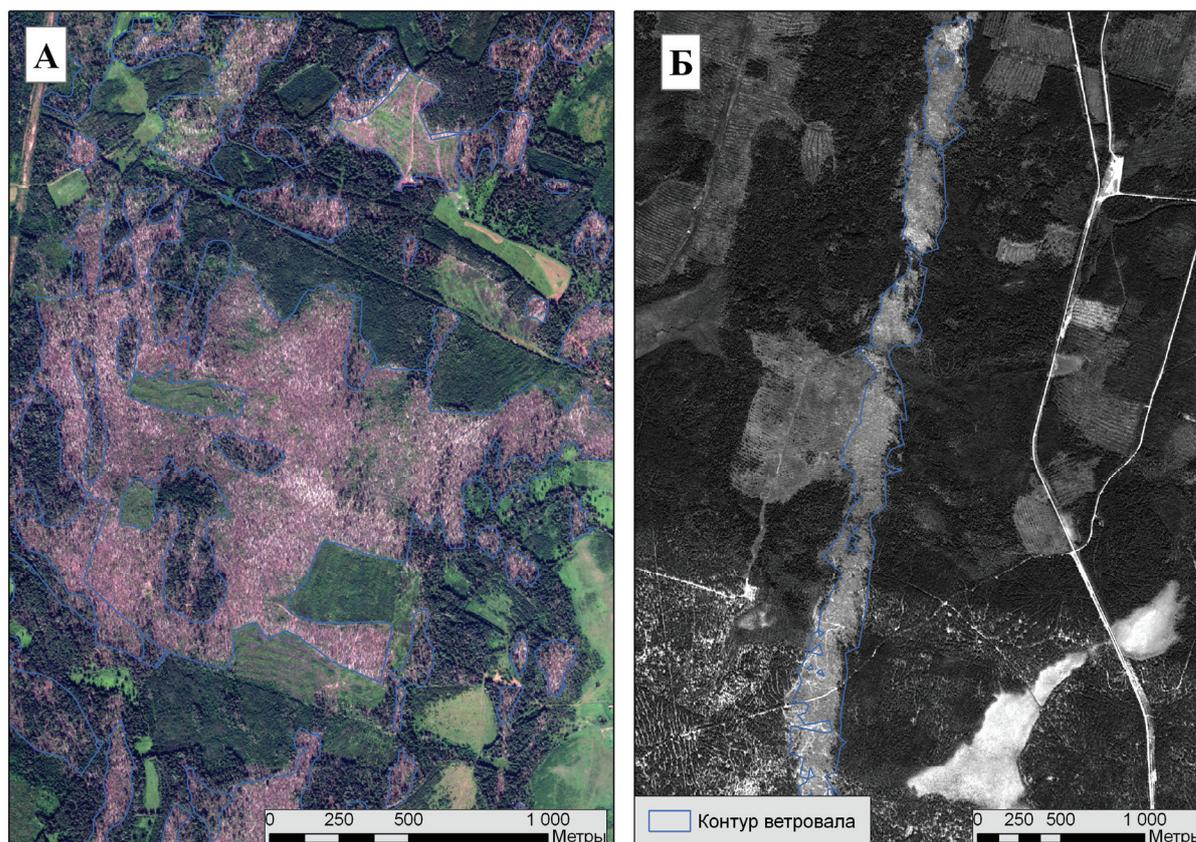


Рис. 1. Ветровалы, связанные со шквалом 18.07.2012 (А), и смерчем 07.06.2009 (Б)

Для выборочной валидации результатов дешифрирования использованы панхроматические и мультиспектральные снимки SPOT-4/5 за 2011–2013 гг. Детальная валидация результатов была проведена на участке Кочевского лесничества (северо-запад Пермского

края) площадью 250 км<sup>2</sup>, который сильно пострадал от ветровала 18.07.2012, по мультиспектральному снимку WorldView-2 (пространственное разрешение 2 м). По нему были вручную оцифрованы контуры ветровалов (всего 506 участков на общей площади 1596 га). Общая площадь ветровалов на данном участке, выявленных в автоматизированном режиме по снимку LANDSAT, в 1,9 раза меньше, чем реальная площадь, определенная по снимку WorldView-2. Это связано не столько с пропуском мелких участков, сколько с занижением площади ветровалов, что согласуется с выводами, приведенными в работе (Королева, 2012). Средняя площадь ветровала, определенная по снимку WorldView-2 составляет 3,1 га, а по снимку LANDSAT-5 – 1,7 га. Распределение участков ветровала по градациям площади показано в *табл. 1*.

### Результаты и их обсуждение

Общая площадь лесных насаждений, полностью погибших в результате воздействия стихийных природных явлений на территории Пермского края в период 2001–2013 гг., составляет более 53 тыс. га (0,4% общей площади лесного фонда). Из них пройдено крупными лесными пожарами 42,2 тыс. га, сплошных ветровалов – 11,5 тыс. га. Всего выявлены 16 случаев массовых ветровалов и 39 случаев крупных лесных пожаров (пройденная огнем площадь более 100 га).

Таблица 1. Распределение ветровалов по градациям площади

<i>Градация площади</i>	<i>Число участков ветровала, выявленных по данным LANDSAT</i>	<i>Площадь ветровалов, выявленных по данным LANDSAT, га</i>	<i>Число участков ветровала, выявленных по данным WORLDVIEW-2</i>	<i>Площадь ветровалов, выявленных по данным WORLDVIEW-2</i>
менее 0,5 га	98	38	94	31
0,5...1 га	68	49	130	96
1...2,5 га	51	85	154	238
2,5...5 га	28	100	58	206
5...10 га	7	50	34	223
10...50 га	13	240	30	523
Более 50 га	1	183	3	281

Причиной массовых ветровалов на исследуемой территории смогут быть как шквалы, так и смерчи. Наиболее масштабные ветровалы связаны с сильными шквалами (23–28 м/с) 18 июля 2012 г. и смерчами 7 июня 2009 г. (6 участков, на общей площади более 2,5 тыс. га). Общая площадь лесных массивов, поврежденных ветровалом 18.07.2012 (сплошные и несплошные ветровалы), составила более 250 км<sup>2</sup>, из них сплошного ветровала – более 8 тыс. га. Поврежденные участки представляют собой сложную мозаику небольшого числа крупных (10–150 га) и большого числа мелких участков сплошного вет-

рвала. Массовый ветровал произошел на пяти участках в Кочевском, Красновишерском, Чердынском, Гайнском и Косинском районах Пермского края, которые являются одной из важных сырьевых баз лесопромышленного комплекса региона. Пострадали в основном ценные спелые насаждения темнохвойных пород. Более подробно данный случай проанализирован в работе (Ветров, Шихов, 2013).

Смерчи 07.06.2009 г. наблюдались в Юрлинском и Гайнском районах Пермского края, а также в Усть-Куломском районе Республики Коми. Общая длина пути смерчей составила более 90 км, ширина полосы разрушений от 100 до 600 м. Условия образования смерчей в Пермском крае 7 июня 2009 г. рассмотрены в работе (Шихов, 2013).

Остальные выявленные случаи ветровалов имели локальный характер. В большинстве случаев сильные ветра и шквалы на исследуемой территории не приводят к массовому повреждению лесных массивов. Большинство участков сплошных ветровалов расположено в северных районах Пермского края, где сохранились значительные площади спелых и перестойных елово-пихтовых и смешанных лесов, неустойчивых к воздействию сильных ветров. Геометрические характеристики массовых ветровалов, произошедших на территории Пермского края в 2001–2013 гг., приведены в *табл. 2*, а их пространственное распределение показано на *рис. 2*.

**Крупные лесные пожары** наблюдаются в Пермском крае также не ежегодно. 31 случай был зафиксирован в 2010 г. и 5 случаев – в 2001 г. (*табл. 3*). Наиболее крупный пожар (пройденная огнем площадь более 6,3 тыс. га) зафиксирован в июле 2001 г. Крупнейшие пожары летом 2010 г. достигали 4–4,5 тыс. га.

Аномальными с точки зрения пожароопасности в Пермском крае были 2001 и 2010 гг., причем лето 2010 г. – по всей территории региона, а лето 2001 г. – только по крайней северо-западной ее части. В 2010 г. крупные пожары действовали в течение месяца (с 24 июля по 24 августа) на фоне продолжительного периода аномально жаркой (на 4–11° теплее нормы) и засушливой погоды. Повсеместно наблюдался IV-V класс пожароопасности. В 2001 г. крупные лесные пожары зафиксированы в период с 17 по 27 июля, когда на фоне блокирующего антициклона на Европейской территории России наблюдался дефицит осадков и положительные аномалии температуры воздуха.

Пространственное распределение крупных пожаров на территории Пермского края в период 2001–2012 гг. показано на *рис. 2*. По числу крупных пожаров и пройденной ими площади выделяется Везлянская низменность на северо-западе региона, где за период 2001–2010 гг. произошло 19 крупных пожаров на общей площади 24,6 тыс. га. Высокая повторяемость крупных пожаров на данной территории объясняется сочетанием природных и антропогенных факторов – широким распространением сосновых боров-

беломошников с высокой природной пожароопасностью; удаленностью от Уральского хребта, в результате чего осадков в летний период здесь выпадает меньше, чем в более восточных районах; труднодоступностью территории, вследствие чего пожары обнаруживаются на поздних стадиях.

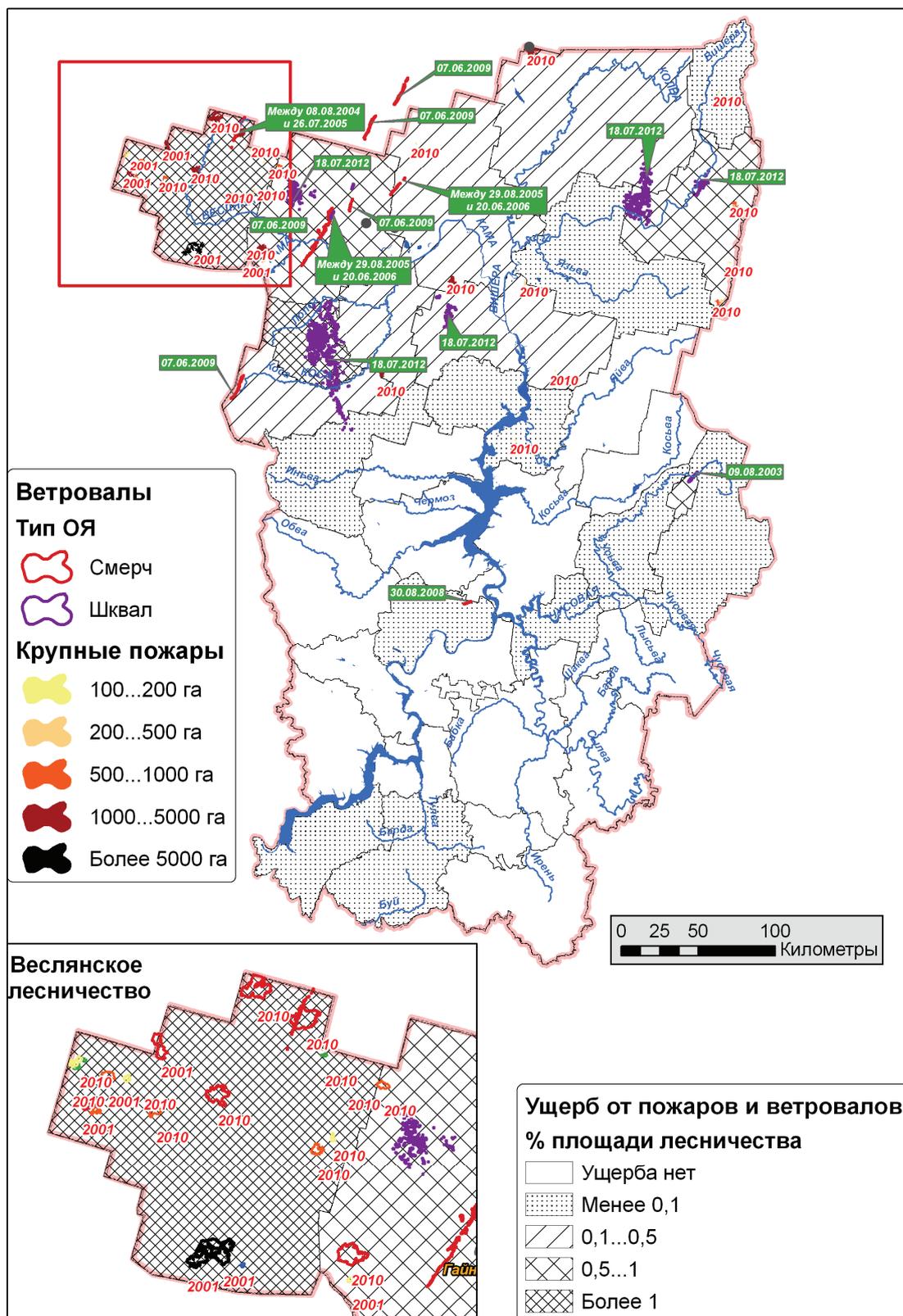


Рис. 2. Пространственное распределение крупных лесных пожаров и ветровалов в Пермском крае в 2001–2013 гг.

Таблица 2. Геометрические характеристики участков массовых ветровалов, выявленных по разновременным космическим снимкам

<i>Лесничество, в котором обнаружен ветровал</i>	<i>Дата ветровала</i>	<i>Тип явления</i>	<i>Площадь ветровала, га</i>	<i>Длина ветровала, км</i>	<i>Макс. ширина, км</i>	<i>Макс. площадь участка, га</i>	
Соликамское	18.07.2012 <sup>1</sup>	Шквал	770	18	5,5	71	
Колвинское, Вайское	18.07.2012 <sup>1</sup>		2622	47	17	148	
Кочевское, Юрлинское	18.07.2012 <sup>1</sup>		3374	85	19	133	
Гайнское	18.07.2012 <sup>1</sup>		907	20	11,5	45	
Вайское	18.07.2012 <sup>1</sup>		594	18	6,5	123	
Юрлинское	07.06.2009 <sup>2</sup>		141	14	0,3	30	
Гайнский	07.06.2009 <sup>2</sup>	Смерч	1263	42,0	0,60	178	
Гайнский, 10 км к Ю-В от пос. Лель	07.06.2009 <sup>2</sup>		124	8,0	0,30	78	
Республика Коми, Усть-Куломский район	07.06.2009 <sup>2</sup>		593	20,0	0,70	446	
Республика Коми, Усть-Куломский район	07.06.2009 <sup>2</sup>		445	18,0	0,60	286	
Закамское	30.08.2008 <sup>3</sup>		60	5	0,2	41	
Чердынское	2005–2006 гг. <sup>5</sup>		126	14	0,25	108	
Веслянское, 25 км к С-В от пос. Керосс	2004–2005 гг. <sup>5</sup>		227	16,0	0,30	51	
Гайнское	2005–2006 гг. <sup>5</sup>		Шквал	117	5,0	0,60	80
Заповедник «Басеги»	09.08.2003 <sup>4</sup>			449	13,7	0,90	385

Таблица 3. Крупные лесные пожары в 2001–2011 гг. на территории Пермского края

<i>Год</i>	<i>Число тепловых аномалий, зафиксированных датчиками MODIS (в пределах маски лесов)</i>	<i>Число пожаров площадью более 100 га, по данным космического мониторинга</i>	<i>Площадь, пройденная крупными пожарами, га</i>
2001	79	5	10540
2002	11	0	0
2003	22	0	0
2004	13	0	0
2005	44	1	137
2006	69	0	0
2007	20	1	112
2008	45	0	0
2009	30	0	0
2010	694	31	31200
2011	101	1	180

Лесные пожары и ветровалы наносят значительный эколого-экономический ущерб для лесного хозяйства региона. Значительная их часть происходит в зоне интенсивного лесопользования на арендованных участках леса. От пожаров и ветровалов страдают в ос-

<sup>1</sup> Дата ветровала определена по данным Министерства лесного хозяйства Пермского края.

<sup>2</sup> Дата ветровала определена на основе информации в СМИ и подтверждена по данным ДЗЗ.

<sup>3</sup> Дата ветровала определена по информации очевидцев и подтверждена по данным ДЗЗ.

<sup>4</sup> Дата ветровала известна по сообщениям сотрудников заповедника «Басеги», и подтверждена по данным ДЗЗ.

<sup>5</sup> Точная дата ветровала не установлена.

новном ценные спелые насаждения хвойных пород (от ветровалов также смешанные насаждения с преобладанием березы), в то же время как на менее ценные мелколиственные леса приходится не более 1–3% всего ущерба. Это показано в *табл. 4*, на примере территории одного из крупных арендаторов лесных ресурсов на севере Пермского края (использованы данные лесоустройства 2006–2008 гг.).

Таблица 4. Характеристика возраста и породного состава насаждений, пройденных пожарами и пострадавших от ветровалов (на арендованной территории)

<i>Преобладающая порода и группа возраста</i>	<i>Площади, пройденные пожарами (га)</i>	<i>Сплошные ветровалы (га)</i>
Береза (молодняки)	113	12
Береза (средневозрастные)	160	87
Береза (приспевающие)	138	15
Береза (спелые)	150	549
Ель (молодняки)	150	71
Ель (средневозрастные)	82	-
Ель (приспевающие)	-	141
Ель (спелые)	2203	664
Осина (молодняки)	4	50
Осина (средневозрастные)	-	-
Осина (приспевающие)	-	-
Осина (спелые)	-	106
Сосна (молодняки)	725	43
Сосна (приспевающие)	72	19
Сосна (средневозрастные)	1310	152
Сосна (спелые)	311	123
Нелесные земли	207	-

### Заключение

Использование многолетних рядов данных ДЗЗ позволяет не только вести оперативный мониторинг последствий лесных пожаров и ветровалов на региональном уровне, но и проанализировать повторяемость этих явлений, выявить территории, на которых организация мониторинга является приоритетной. В ходе работы получены оценки ущерба от пожаров и ветровалов для лесных ресурсов Пермского края за период 2001–2013 гг. Выявлена зона высокой повторяемости крупных пожаров на северо-западе региона, которая коррелирует с распространением сосновых лесов. Выявлено 7 случаев ветровалов, связанных со смерчами, что позволяет пересмотреть существующие оценки повторяемости данного опасного явления в северной половине Пермского края.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 14-05-31220 мол\_a).*

### Литература

1. *Барталев С.А., Егоров В.А., Крылов А.М., Стыценко Ф.В., Ховратович Т.С.* Исследование возможности оценки состояния поврежденных пожарами лесов по данным многоспектральных спутниковых измерений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т.7. № 3. С. 215–225.

2. *Ветров А.Л., Шихов А.Н.* Анализ условий развития и оценка последствий сильных шквалов в Прикамье 18 июля 2012 года // Вестник Удмуртского университета, Сер. Биология, Науки о Земле. 2013. №2. С. 89–99.
3. *Егоров В.А.* Мониторинг повреждений растительного покрова Северной Евразии пожарами по данным спутниковых наблюдений: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.34. М., 2006. 24 с.
4. *Королева Н.В., Еришов Д.В.* Оценка погрешности определения площадей ветровалов по космическим изображениям высокого пространственного разрешения LANDSAT-TM // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т.9. № 1. С. 80–86.
5. *Крылов А.М., Владимиров Н.А.* Дистанционный мониторинг состояния лесов по данным космической съемки // Геоматика. 2011. № 3. С. 53 – 58.
6. *Шихов А.Н.* Исследование последствий сильных шквалов и смерчей в Пермском крае с применением данных дистанционного зондирования Земли // Географический вестник. 2013. № 1. С. 78–87.

## Estimation of forest damage from natural disasters in Perm region using long-term series of space imagery

A.N. Shikhov

*Perm State National Research University, Perm 614990, Russia*

*E-mail: and3131@inbox.ru*

The article analyzes the damage caused by natural disasters (forest fires, squalls and tornadoes) to forest resources of the Perm Region in the period from 2001 to 2013. The long-term series of satellite imagery LANDSAT were used for the detection of windfalls and burned areas. The method of detection is based on short-wave vegetation index (SWVI). The validation of results of automatized interpretation is performed using the satellite images of high and very high resolution (SPOT-5 and WorldView-2).

More than 50 thousand hectares of forest areas destroyed by forest fires, squalls and tornadoes are identified. This is 0,4% of the total forest area in Perm Region. In the period from 2001 to 2013, the damage caused by forest fires was significantly higher than the damage caused by squalls and tornadoes. The spatial-temporal distribution of forest fires and windfalls in Perm region is analyzed. The zone of high frequency of forest fires is identified. Its formation is caused by natural factors. Several zones of forest damage caused by tornadoes are found. This allows us to revise the existing estimates of the frequency of occurrence of this dangerous phenomenon in the study area. A selective estimation of species and age structure of forest destroyed by fires and windfalls is performed.

**Keywords:** space monitoring of forest resources, remote sensing data, natural disasters, forest fires.

### References

1. Bartalev S.A., Egorov V.A., Krylov A.M., Stytsenko F.V., Hovratovich T.S. Issledovanie vozmozhnosti ocenki sostojanija povrezhdennyh pozharami lesov po dannym mnogospektral'nyh sputnikovyh izmerenij (The evaluation of possibilities to assess forest burnt severity using multi-spectral satellite data), *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa*, 2010, Vol. 7, No. 3, pp. 215–225.
2. Vetrov A.L., Shikhov A.N. Analiz uslovij razvitija i ocenka posledstvij sil'nyh shkvalov v Prikam'e 18 ijulja 2012 goda (Study of evolution conditions for severe gusts in the Kama region on July 18, 2012, and estimation of their effect). *Vestnik Udmurtskogo universiteta, Ser. Biologija, Nauki o Zemle*, 2013, No. 2, pp. 89–99.
3. Egorov V.A. *Monitoring povrezhdenij rastitel'nogo pokrova Severnoj Evrazii pozharami po dannym sputnikovyh nabljudenij. Avtoref. dis. kand. tehn. nauk* (Monitoring of vegetation cover of Northern Eurasia. Synopsis cand. tech. sci. thesis ), Moscow, 2006, 24 p.
4. Koroleva N.V., Ershov D.V. Ocenka pogreshnosti opredelenija ploshhadej vetrovalov po kosmicheskim izobrazhenijam vysokogo prostranstvennogo razreshenija LANDSAT-TM (Assessment of an error of determination of area of windfalls using space images of high spatial resolution of LANDSAT TM), *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 1, pp. 80–86.
5. Krylov A.M., Vladimirova N.A. Distancionnyj monitoring sostojanija lesov po dannym kosmicheskij sjenki (Space monitoring of forest health using remote sensing data). *Geomatika*, 2011, No. 3, pp. 53–58.
6. Shikhov A.N. Issledovanie posledstvij sil'nyh shkvalov i smerchey v Permskom krae s primeneniem dannyh distancionnogo zondirovanija Zemli (The study of impacts of severe convective storms in Perm Region, using Earth remote sensing data). *Geograficheskij vestnik*, 2013, No. 1, pp. 78–87.