

МОНИТОРИНГ СЛУЧАЕВ СМЕРЧЕЙ И СИЛЬНЫХ ШКВАЛОВ В ЛЕСНОЙ ЗОНЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ И УРАЛА В 2017–2018 гг. НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВЕТРОВАЛЬНЫХ НАРУШЕНИЙ ЛЕСНОГО ПОКРОВА

А.Н. Шихов, И.О. Ажиглов

Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь,
and3131@inbox.ru

Аннотация. Ежегодно значительные площади лесов России подвергаются воздействию сильных ветров, шквалов и смерчей. Организация оперативного мониторинга вызванных ими ветровалов представляет значительную сложность по причине обширности лесопокрытой территории. В 2017–2018 гг. была предпринята попытка реализации оперативного мониторинга крупных ветровалов в Европейской части России и на Урале на основе открытых спутниковых данных Landsat и Sentinel-2, а также сообщений СМИ и данных наблюдений очевидцев, сбор которых производился через социальные сети. Также использованы данные метеорологических спутников и радиолокаторов для выявления случаев прохождения крупных конвективных систем, которые могли вызвать ветровалы. В результате было выявлено 4 крупных ветровала в 2017 г. и еще два в 2018 г. Выявлено свыше 20 ранее неизвестных случаев прохождения смерчей в 2017–2018 гг. Данные об этих случаях опубликованы на картографическом сервисе «смерчи в лесной зоне России» (<http://tornado.maps.psu.ru/>). Однако полученные результаты являются предварительными и в перспективе могут быть уточнены по данным Global Forest Change. Также характер некоторых ветровалов (шкваловый или смерчевый) в будущем может быть уточнен по снимкам высокого разрешения.

Ключевые слова: ветровалы, смерчи, штормовые ветра, мониторинг, снимки Landsat и Sentinel-2.

Бореальные леса покрывают более 45 % территории России и являются одним из важнейших природных ресурсов страны. Ежегодно значительные площади лесов подвергаются воздействию сильных ветров, шквалов и смерчей, вызывающих массовые ветровалы [1]. В последние годы во многих регионах мира, в том числе в России наблюдается рост повторяемости и масштабов ветровалов, который принято связывать с современным глобальным потеплением [2].

Для территории России в целом вклад ветровалов в структуру нарушений лесного покрова многократно меньше вклада лесных пожаров [3]. Однако в ряде регионов Европейской части России ситуация обратная – здесь именно ветровалы являются ведущим природным фактором нарушения лесного покрова [4]. В 2009–2012 гг. в Европейской России и на Урале произошло несколько катастрофических ветровалов, общая площадь которых превысила 200 тыс. га [5]. В условиях изменения климата в XXI в (повышения температуры и роста количества осадков) вероятно дальнейшее увеличение риска подобных событий.

В настоящее время существуют лишь общие оценки площадей ветровалов в лесах России, систематизированная информация отсутствует. Система мониторинга ветровалов на национальном уровне также не создана, в отличие от систем мониторинга лесных пожаров, которые разрабатываются

в течение последних 15 лет. Однако происходящий в последние годы стремительный рост доступности данных космической съемки среднего и высокого разрешения обеспечивает возможность все более оперативного получения информации о ветровалах.

Идентификация ветровалов обычно основана на анализе разновременных снимков (полученных до и после события). Для обнаружения ветровалов и первичной оценки ущерба оптимальными являются открытые данные съемочных систем Landsat-8 OLI и Sentinel-2 MSI. Для дешифрирования ветровалов успешно применяют различные методы анализа изменения (change detection) по разновременным снимкам, включая одноканальное и многоканальное обнаружение изменений, обнаружение изменений по главным компонентам [6, 7] или анализ вегетационных индексов [7]. Для обнаружения ветровалов по снимкам, полученным в течение вегетационного периода, наиболее информативным является средний ИК (SWIR) спектральный диапазон. Наиболее простым и часто используемым для этих целей индексом является Normalized Difference Infrared Index, NDII [8], в русскоязычной литературе он же – коротковолновой вегетационный индекс SWVI [1]. При использовании этого индекса, как и других, необходимо предварительное маскирование лесопокрытых территорий для исключения ложного детектирования изменений на безлесных участках.

Основной проблемой в дешифрировании ветровалов по общедоступным снимкам Landsat и Sentinel-2 является автоматизация их отделения от других видов нарушений лесного покрова (прежде всего вырубок), поскольку ветровалы и вырубки часто имеют близкие спектральные характеристики. Основными признаками, позволяющими отличить ветровалы от других типов нарушений лесного покрова, являются геометрические особенности ветровалов: большая протяженность, линейная или веерная пространственная структура, отсутствие прямых углов [4, 9]. В настоящее время отделение ветровалов от вырубок выполняется в основном экспертным путем. Автоматизация данного процесса должна быть основана на учете геометрических признаков.

Еще одним направлением изучения ветровалов является оценка характеристик вызвавших их опасных явлений погоды: обнаружение ранее неизвестных случаев смерчей (что особенно актуально для районов с высокой лесистостью и редкой сетью наблюдений). В работе [9] была предложена методика идентификации ветровалов, вызванных смерчами, по данным космической съемки Landsat, тематическому продукту их обработки Global Forest Change [10] и снимкам сверхвысокого разрешения. В результате было получено новое представление о современной климатологии смерчей в лесной зоне России. В настоящее время на картографическом сервисе <http://tornado.maps.psu.ru> опубликована информация о более чем 280 случаях смерчей, наблюдавшихся на территории России за 2000–2018 гг. Большинство из них были ранее неизвестны и обнаружены по ветровальным нарушениям лесного покрова.

Оперативное обновление данных о случаях ветровалов представляет определенную проблему по причине обширности лесопокрытой территории. В то же время своевременное получение информации о ветровалах необходимо, т.к. позволяет принять оперативные меры по ликвидации последствий и в ряде случаев уменьшить ущерб для лесного хозяйства. В 2017–2018 гг. предпринята попытка реализации мониторинга крупных ветровалов на основе открытых данных космической съемки, а также сбора информации от очевидцев (через СМИ и социальные сети).

Основные задачи мониторинга состояли в следующем:

- На основе анализа разновременных снимков Landsat-8 и Sentinel-2 получить оценку площади ветровалов, вызванных шквалами и смерчами.
- Выявить случаи сильных шквалов и смерчей, не зафиксированных наблюдательной сетью и очевидцами.

- Актуализировать базу данных о случаях смерчевых ветровалов в лесной зоне России (<http://tornado.maps.psu.ru/>)

В качестве исходных данных использованы

- Снимки со спутников Landsat-8 и Sentinel-2 за 2017–2018 гг. (источник – сервисы <https://lv.eosda.com/#/> и <https://earthexplorer.usgs.gov>).
- Данные о случаях особо сильных шквалов и смерчей, полученные от очевидцев и СМИ (включая фотографии, видеозаписи явлений и их последствий, опрос очевидцев). Сбор информации ведет сообщество «Метеодневник» в социальной сети Вконтакте (<https://vk.com/meteorodnevnik>). Сообщения очевидцев проверяются по данным метеорологических спутников и доплеровских радиолокаторов (ДМРЛ).
- Архив данных сети метеостанций (<https://rp5.ru/>).
- Архив снимков с геостационарных метеорологических спутников Eumetsat, по которым были определены траектории прохождения наиболее значительных мезомасштабных конвективных систем (МКС) (<https://kachelmannwetter.com/de/sat>).
- Мониторинг потенциально опасных МКС по данным сети ДМРЛ (<http://meteoinfo.by/>).

Для идентификации ветровалов использовались методы, основанные на сопоставлении разновременных снимков. В зависимости от площади ветровалов и качества снимков, производилась либо ручная векторизация ветровалов по мультитременному синтезу, либо автоматизированное выделение на основе разности индекса SWVI. Всего в Европейской части России и на Урале удалось выделить не менее 4-х случаев крупных ветровалов в 2017 г. и два случая – в мае-июне 2018 г.

Результаты мониторинга ветровалов

В данном разделе рассмотрены наиболее значительные из выявленных случаев массовых ветровалов за 2017–2018 гг.

Ветровалы от шквала в Московской области 29.05.2017 г. в основном расположены севернее и северо-восточнее Москвы, хотя максимальная скорость ветра (30 м/с) была зафиксирована на юго-западе Москвы во Внуково. Кроме того, порывы ветра свыше 25 м/с при шквале отмечены метеостанциями Шереметьево, Черусти, Остафьево, МГУ, Немчиновка. Шквал двигался с северо-северо-запада на восток-юго-восток, в этом же направлении ориентированы и ветровалы (рис. 1). Общая их площадь составила свыше 700 га. Точная оценка площади затрудняется тем, что часть ветровала представляет собой уже ранее поврежденные участки леса после шквала 13.07.2016 г. северо-восточнее Москвы. Наибольшие повреждения лесных массивов выявлены в районе г. Ногинска.

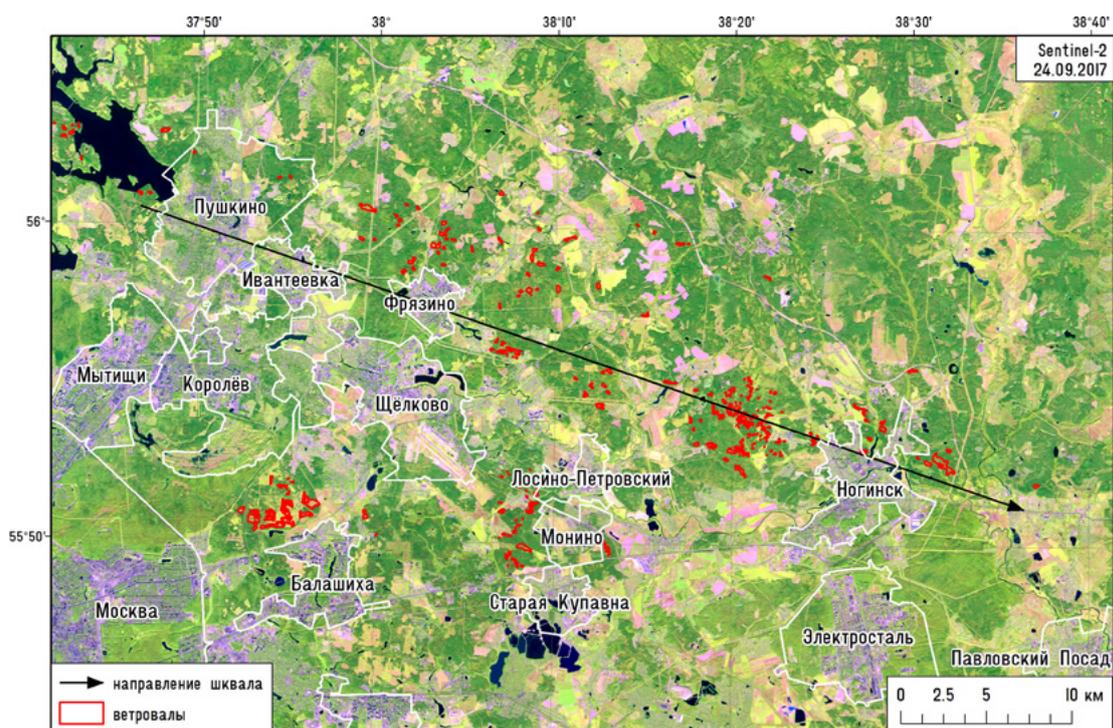


Рис. 1. Ветровалы от шквала 29.05.2017 в Московской области

Следующий случай массового ветровала произошел 3 июня 2017 г. в Свердловской области и был вызван прохождением сильных шквалов (до 27 м/с по данным метеостанций) и двух смерчей. Крупные ветровалы на общей площади свыше 1100 га были вызваны смерчами в районе пос. Староуткинск и Висим (причем оба смерча подтверждены очевидцами), а также шквалами севернее Нижнего Тагила и Качканара. Данный случай подробно проанализирован в статье [11]. Этот ветровал стал крупнейшим в Свердловской области за последние 17 лет.

Ветровал в Мокроусовском районе Курганской области произошел 18 июня 2017 г. и был вызван прохождением сильного смерча (категории F3) вблизи дер. Малое Песьяново, на прилегающей территории также прошли шквалы. Общая площадь ветровала составила 370 га, причем повреждены были березовые леса, обычно устойчивые к сильным ветрам. Данный случай ветровала также проанализирован в статье [11].

Крупнейшим за 2017 г. стал массовый ветровал в Тверской области 2 августа 2017 г., вызванный преимущественно смерчами и в меньшей степени шквалами. Шквалы и смерчи не были зафиксированы метеостанциями и очевидцами, однако прохождение нескольких мезоциклонов через территорию области подтверждено по данным ДМРЛ. По разновременным снимкам Sentinel-2 выделено более 20 участков ветровала на общей площади более 4 тыс. га, из них не менее 12 имеет линейную форму и предположительно связано со смерчами (рис. 2). Длина пути

одного из смерчей составила 43 км. Таким образом, вспышка смерчей 02.08.2017 г. в Тверской области входит в число рекордных по количеству зафиксированных смерчей за один день, наряду с 23.06.2007 в Северном Зауралье и 07.06.2009 г. в Пермском крае и Республике Коми [9].

Помимо 4-х перечисленных случаев, выявлены также менее значительные ветровалы, связанные с прохождением смерчей 21.06.2017 г. на юге Тверской области в районе пос. Белый, и 04.08.2017 г. в районе г. Ржев Тверской области и с. Шаховское Московской области.

В мае-июне 2018 г. мониторинг крупных ветровалов был продолжен, в результате чего удалось выявить еще два случая.

Ветровалы 30 мая 2018 г. были связаны со шквалами и смерчами, которые наблюдались одновременно на востоке Центрального и на большей части Приволжского федерального округа. Шквалы до 31 м/с и смерчи были зафиксированы в нескольких регионах при прохождении быстро движущегося холодного фронта с севера на юг. В настоящее время анализ ущерба для лесных ресурсов от шквалов и смерчей 30.05.2018 г. продолжается. Выявлены участки ветровалов в Ивановской области, Мордовии, Татарстане, Ульяновской и Самарской областях. До 10 случаев ветровалов могут быть связаны со смерчами (их геометрические признаки соответствуют смерчевым ветровалам), но требуют дополнительной проверки. Общая площадь ветровалов 30.05.2018 г. пока не определена.

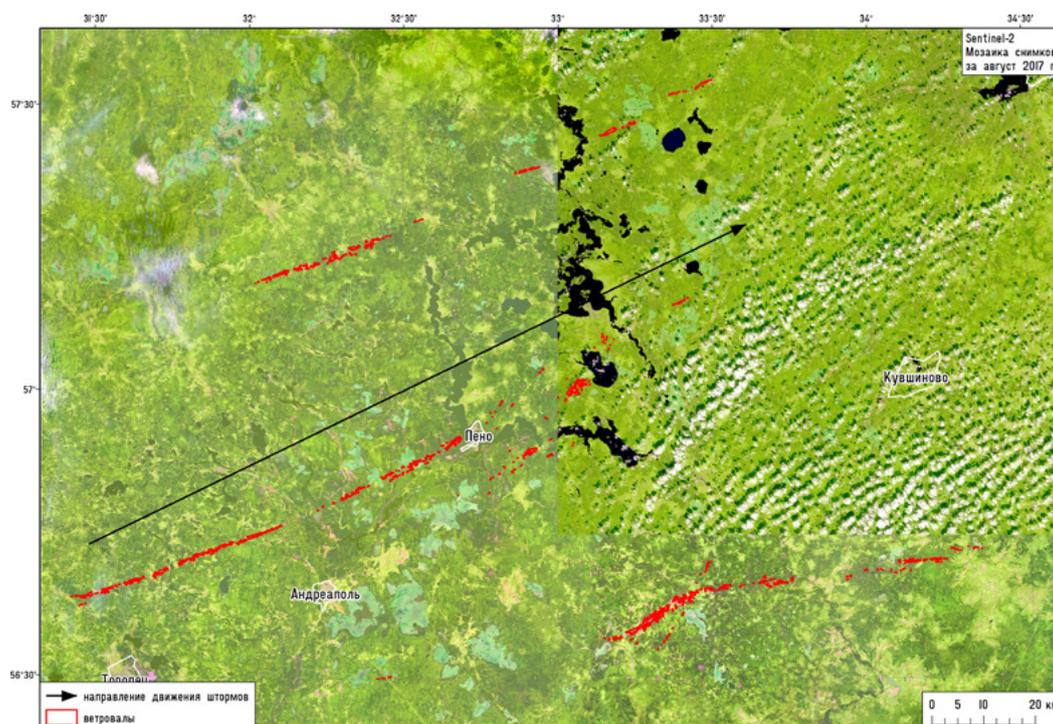


Рис. 2. Ветровалы, вызванные шквалами и смерчами 02.08.2017 г. в Тверской области

Ветровалы 4 июня 2018 г. в Кировской области на общей площади свыше 400 га связаны с прохождением 4-х смерчей. Смерчи возникли последовательно один за другим при движении одного суперячейкового (supercell) кучево-дождевого облака. Максимальная ширина ветровала

достигает 500 м, а общая длина пути смерчей – 38 км. Следует особо отметить, что смерчи 4 июня возникли в нехарактерных условиях, когда температура воздуха не превышала +16...+18° и возникновение каких-либо опасных явлений погоды не прогнозировалось.



Рис. 3. Ветровал от смерча в Кировской области 04.06.2018 г.

Заключение

Полученные результаты являются предварительными и в перспективе могут быть уточнены по данным Global Forest Change (Hansen et al., 2013). Окончательные выводы о характере некоторых ветровалов в Тверской области (шкваловые или

смерчевые) можно будет сделать только после получения снимков сверхвысокого разрешения.

Проведенный анализ крупных ветровалов за 2017 и частично за 2018 г. позволил дополнить многолетний ряд данных о случаях смерчей в лесной зоне России. В результате удалось выявить по меньшей

мере 20 ранее неизвестных случаев смерчей (в том числе сильных), сведения о которых опубликованы на картографическом веб-сервисе «Смерчи в лесной зоне России» (<http://tornado.maps.psu.ru/>). Предварительно, вспышка смерчей в Тверской области 2 августа 2017 г. (не менее 12 случаев смерчей за один день) может быть признана рекордной за всю историю наблюдений в России. Аналогичная рабо-

та по мониторингу будет продолжена в ближайшие годы с целью получения объективной оценки площади ветровалов в лесах России и регулярного обновления данных о случаях смерчей и сильных шквалов, пропущенных наблюдательной сетью.

Исследование проведено при поддержке РФФИ (проект № 16-05-00245-а)

Список литературы

1. Крылов А.М., Владимирова Н.А. Дистанционный мониторинг состояния лесов по данным космической съемки // Геоматика. 2011. № 3. С. 53-58.
2. Seidl R., Thom D., Kautz M., Martin-Benito D., Peltoniemi M., Vacchiano G., Wild J., Ascoli D., Petr M., Honkaniemi J., Lexer M.J., Trotsiuk V., Mairota P., Svoboda M., Fabrika M., Nagel, T.A., Reyer C.P.O. Forest disturbances under climate change // Nature Climate Change. 2017. Vol. 7(6), PP. 395-402.
3. Krylov A., Potapov P., Loboda T., Tyukavina A., Turubanova S., Hansen M.C., McCarty J.L. Remote sensing estimates of stand-replacement fires in Russia, 2002–2011 // Environmental Research Letters. 2014. Vol. 9(10). Article number 105007.
4. Петухов И.Н. Роль массовых ветровалов в формировании лесного покрова в подзоне южной тайги (Костромская область). Дисс. канд. биол. наук. Кострома. 2016. 150 с.
5. Крылов А.М., Малахова Е.Г., Владимирова Н.А. Выявление и оценка площадей катастрофических ветровалов 2009–2010 гг. по данным космической съемки // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2012. № 200. С. 197-207.
6. Wang F., Xu Y.J. 2010. Comparison of remote sensing change detection techniques for assessing hurricane damage to forests // Environmental Monitoring and Assessment 162, 311–326.
7. Yuan M., Dickens-Micozzi M., Magsig M.A. Analysis of tornado damage tracks from the 3 May tornado outbreak using multispectral satellite imagery // Weather Forecasting, 2002, Vol. 17 PP. 382–398.
8. Hardisky M.A., Klemas V., Smart R.M. The influence of soil salinity, growth form, and leaf moisture on the spectral radiance of *Spartina alterniflora* canopies // Photogram. Eng. Remote Sens. 1983. Vol. 49. PP. 77–83.
9. Shikhov A.N., Chernokulsky A.V. A satellite-derived climatology of unreported tornadoes in forested regions of northeast Europe. // Remote Sensing of Environment. 2018. Vol. 204. 553-567.
10. Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R., Hancher M., Turubanova S.A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S.V., Goetz S.J., Loveland T.R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C.O. Townshend J.R.G. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change // SCIENCE. 2013. Vol. 342. P. 850–853.
11. Шухов А.Н., Ажигов И.О., Быков А.В. Смерчи и шквалы на Урале в июне 2017 года: анализ по спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса. 2018. № 1. С. 272–281.

MONITORING OF TORNADOES AND STRONG STORMS IN THE FOREST ZONE OF THE EUROPEAN RUSSIA AND URALS IN 2017–2018 BASED ON WINDTHROWS ANALYSIS

A.N. Shikhov, I.O. Azhigov
Perm State University, Perm
gis@psu.ru

Abstract. Every years, significant areas of forests in Russia are affected by strong storms, squalls and tornadoes. The implementation of operational monitoring of windthrows present a great challenge, because the forest-covered area in Russia is very large. In 2017–2018, we made an attempt to implement the monitoring of large-scale windthrows in European Russia and Urals region. Monitoring is based on the use of Landsat and Sentinel-2 free-available images and eye-witnesses observations, which are collected with the help of mass-media and social networks. Also, we used the Meteosat satellite observations and weather radar data to identify severe convective storms, which could cause forest damage. In total, we found four large-scale windthrow events in 2017 and two events in 2018. More than 20 previously unknown tornado events, occurred in 2017–2018, are discovered. The data on these tornadoes published on the web map service “Tornadoes in the forest zone of Russia” (<http://tornado.maps.psu.ru/>). However, the obtained results are preliminary, and in the future, they can be refined according to Global Forest Change data. Also, the type of some windthrows (tornado- or squall induced) must be verified with high-resolution images.

Keywords: windthrows, tornadoes, severe storms, monitoring, Landsat and Sentinel-2 images

References

1. Krylov A.M., Vladimirova N.A. Distantionnyy monitoring sostoyaniya lesov po dannym kosmicheskoy s'emki (The remote forest monitoring with satellite imagery data), *Geomatika*, 2011. No. 3. pp. 53–58 (in Russian)
2. Seidl R., Thom D., Kautz M., Martin-Benito D., Peltoniemi M., Vacchiano G., Wild J., Ascoli D., Petr M., Honkaniemi J., Lexer M.J., Trotsiuk V., Mairota P., Svoboda M., Fabrika M., Nagel, T.A., Reyer C.P.O. Forest disturbances under climate change. *Nature Climate Change*. 2017. Vol. 7(6), PP. 395–402. (in English)
3. Krylov A., Potapov P., Loboda T., Tyukavina A., Turubanova S., Hansen M.C., McCarty J.L. Remote sensing estimates of stand-replacement fires in Russia, 2002–2011. *Environmental Research Letters*. 2014. Vol. 9(10). Article number 105007. (in English)
4. Petukhov I.N. Rol' massovykh vetrovalov v formirovaniy lesnogo pokrova v podzone yuzhnoy taygi (Kostromskaya oblast') (The role of massive windthrows in the formation of forest cover of southern taiga subzone, on example of Kostroma region). *Kand. biol. sci. thesis. Kostroma*, 2016, 150 p. (in Russian)
5. Krylov A.M., Malakhova E.G., Vladimirova N.A. Vyyavlenie i otsenka ploshchadey katastroficheskikh vetrovalov 2009–2010 gg. po dannym kosmicheskoy s'emki (Identification and area estimation of catastrophic windthrows in 2009–2010 with satellite imagery data), *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii*, 2012, No. 200, pp. 197–207. (in Russian)
6. Wang F., Xu Y.J. 2010. Comparison of remote sensing change detection techniques for assessing hurricane damage to forests. *Environmental Monitoring and Assessment* 162, 311–326. (in English)
7. Yuan M., Dickens-Micozzi M., Magsig M.A. Analysis of tornado damage tracks from the 3 May tornado outbreak using multispectral satellite imagery. *Weather Forecasting*, 2002, Vol. 17 PP. 382–398. (in English)
8. Hardisky M.A., Klemas V., Smart R.M. The influence of soil salinity, growth form, and leaf moisture on the spectral radiance of *Spartina alterniflora* canopies. *Photogram. Eng. Remote Sens.* 1983. Vol. 49. PP. 77–83. (in English).
9. Shikhov A.N., Chernokulsky A.V. A satellite-derived climatology of unreported tornadoes in forested regions of northeast Europe. *Remote Sensing of Environment*. 2018. Vol. 204. 553–567. (in English)
10. Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R., Hancher M., Turubanova S.A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S.V., Goetz S.J., Loveland T.R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C.O. Townshend J.R.G. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *SCIENCE*. 2013. Vol. 342. P. 850–853. (in English)
11. Shikhov A.N., Azhigov I.O., Bykov A.V. Smerchi i shkvaly na Urale v iyune 2017 goda: analiz po sputnikovym dannym (A satellite-based analysis of squalls and tornadoes in the Urals region in June 2017) // *Sovremennye problemy distantionnogo zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*. 2018. № 1. pp. 272–281. (in Russian).