



DOI 10.22363/2313-2310-2018-26-1-52-62

УДК 504.03

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РОССИЙСКИХ ДАННЫХ ДЗЗ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДИНАМИКИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭКОЛОГО-РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА ЛЕСНЫХ РЕГИОНОВ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОЖАРОВ

Е.А. Григорец¹, Д.О. Капралова¹, Л.И. Пермитина²

¹ Российский университет дружбы народов

Российская Федерация, 113093, Москва, Подольское шоссе, 8/5

² НЦ ОМЗ АО «Российские космические системы»

Российская Федерация, 127490, Москва, ул. Декабристов, 51/25

Продемонстрированы возможности использования данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) при определении пожароопасной обстановки, мониторинге пожароопасных ситуаций и оценке пирогенной гибели лесов. Проведены исследования по использованию многолетних спутниковых наблюдений для контроля и оценки динамики восстановления эколого-ресурсного потенциала территорий, подвергшихся воздействию лесных пожаров, на базе оценки объема потерянной биомассы и скорости восстановления растительности.

Возможность мониторинга динамики восстановления растительности на поврежденных огнем территориях предлагается осуществлять на базе использования вегетационных индексов, основанных на спектральных свойствах растительности. Предлагаемая методика позволяет оценить состояние и эколого-климатические характеристики растительности, биомассу (в частности фитомассу) территории, ее продуктивность. Продемонстрированы результаты обработки данных дистанционного зондирования Земли с российских и зарубежных спутников, полученных в периоды с 2009 по 2013 гг. Приводятся карты вегетационного индекса, построенные для исследуемых лесных хозяйств и гистограммы изменения индекса, по которым оценивались объемы фитомассы лесных территорий.

Ключевые слова: лесные пожары, дистанционное зондирование Земли, космический мониторинг, восстановление биомассы, фитомасса, пожароопасная обстановка, оценка объема восстанавливающейся биомассы, NDVI

Вопрос прогнозирования и мониторинга пожароопасной обстановки широко изучается на территории каждой страны. Разрабатываются наиболее функциональные и систематизированные средства мониторинга в целях более раннего обнаружения точек возгорания и предупреждения чрезвычайных экологических ситуаций, связанных с лесными пожарами [3].

В связи с непрерывным развитием и модернизацией космических технологий, в частности в сфере дистанционного зондирования Земли, и невозможностью полного предупреждения риска возникновения таких масштабных экологических бедствий и катастроф, как лесные пожары, актуально совершенствование метода космического мониторинга пожароопасных ситуаций для поиска новых более

эффективных подходов к изучению причин возникновения пожаров и оценки их последствий [2].

Цели работы — определить скорость восстановления биомассы территории пострадавшей в результате воздействия лесных пожаров и оценить изменения эколого-ресурсного потенциала с помощью космических средств дистанционного зондирования.

При том, что сам принцип мониторинга процесса зарастания гарей после пожаров и оценки биомассы с помощью вегетационных индексов не является новинкой (П.А. Украинский [3], Рожков Ю.Ф., Кондакова М.Ю. [4]), впервые делается попытка объединить их для определения последствий пожаров и скорости восстановления территории (в том числе и с пересчетом в тонны образовавшейся фитомассы).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследуемый объект располагается на территории Борского и Лысковского района Нижегородской области (рис. 1). Данная область в значительной степени повреждена в результате воздействия катастрофически крупных пожаров в 2010 г. Лесные ресурсы данного района занимают 40—45% территории, отличаются преобладанием хвойных пород деревьев и составляют 2% от всех лесных запасов России, что служит высоким показателем, так как их большая часть сосредоточена на востоке страны (Сибирь и Дальний Восток).



Рис. 1. Географическое положение исследуемой территории
[**Fig. 1.** Geographical location of the study area]

В соответствии с принятой классификацией леса исследуемых районов области относятся к высокому классу пожарной опасности (средний класс природной пожарной опасности по области — 2,5; Борский район — 2 класс, Лысковский — 3 класс пожарной опасности) [5], о чем свидетельствуют последствия пожаров (рис. 2).

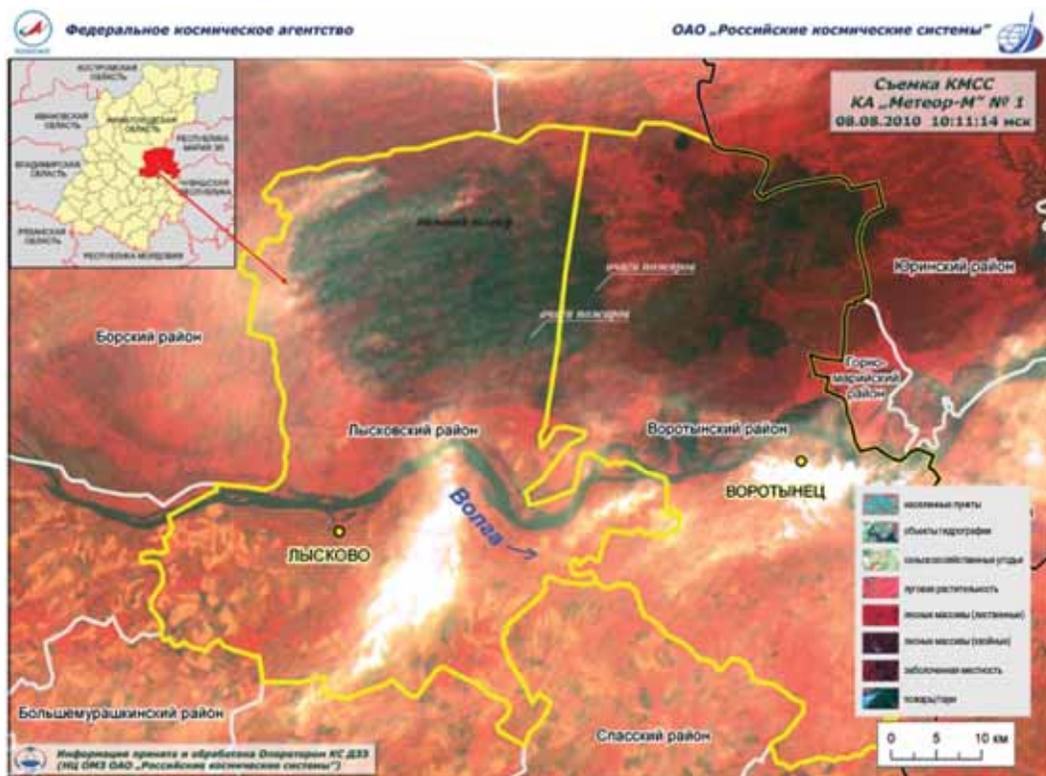


Рис. 2. Последствия пожаров 2010 г. на исследуемой территории
[Fig. 2. Consequences of fires in 2010 in the study area]

Для расчета количества восстанавливающейся растительной биомассы на территории в рамках исследования применен нормализованный относительный индекс растительности NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), основанный на спектральных свойствах растительности [6]. Индекс может принимать значения от -1 до 1 . Для растительности индекс NDVI принимает положительные значения, обычно от $0,2$ до $0,8$ (табл. 1) и рассчитывается по формуле [1]:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} + \rho_{red}}$$

Следовательно, вегетационный индекс способен дать относительную оценку растительного покрова территории, которая в дальнейшем, при использовании наземной информации и полевых данных, может быть пересчитана в абсолютные значения [8].

Таблица 1

Дискретная шкала NDVI [7]

Тип объекта	Отражение в красной области спектра	Отражение в инфракрасной области спектра	Значение NDVI
Густая растительность	0,1	0,5	0,7
Разряженная растительность	0,1	0,3	0,5
Открытая почва	0,25	0,3	0,025

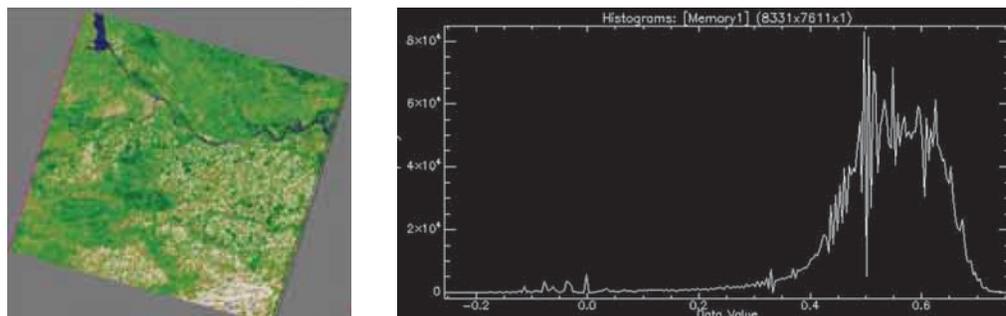
Table 1

Discrete NDVI scale

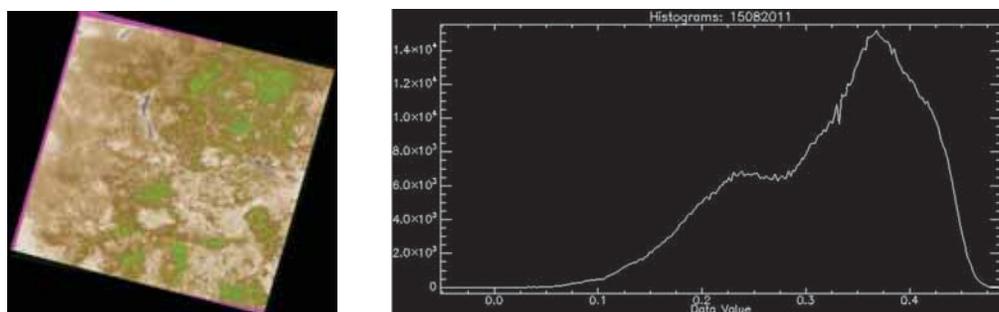
Object type	Reflection in the red spectral	Reflection in the infrared spectral range	NDVI value
Thick vegetation	0,1	0,5	0,7
Discharged vegetation	0,1	0,3	0,5
Open soil	0,25	0,3	0,025

В качестве исходных использованы данные, полученные в июле—сентябре 2009, 2010, 2011, 2012 и 2013 гг. (рис. 3) аппаратурой КМСС со спутника «Метеор-М» № 1 (предоставлены Научным центром оперативного мониторинга Земли) АО «Российские космические системы») и данные Landsat-5 (<http://glovis.usgs.gov/index.shtml>). Данные обработаны с использованием программ ERDAS Imagine, ENVI, ArcGIS.

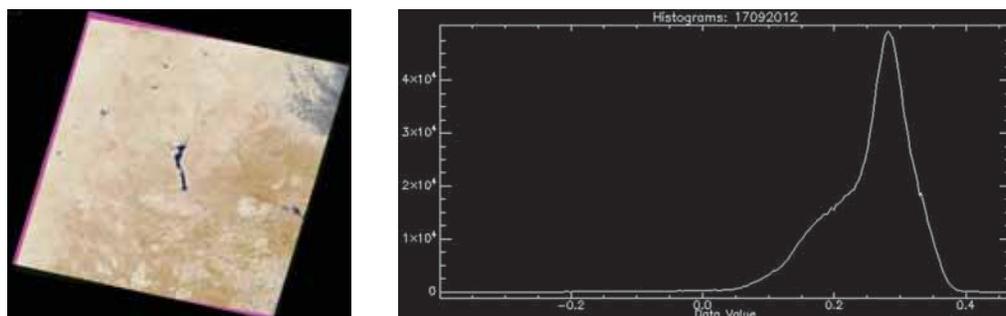
Карта и гистограмма на основе индекса NDVI № 1. Landsat-5 (10 августа 2009 года)
Map and histogram based on NDVI № 1. Landsat-5 (August 10, 2009)



Карта и гистограмма на основе индекса NDVI № 2. «Метеор-М» № 1 (15 августа 2011 года)
Map and histogram based on NDVI № 2. «Meteor-M» № 1 (August 15, 2011)



Карта и гистограмма на основе индекса NDVI № 3. «Метеор-М» № 1 (17 сентября 2012 года)
Map and histogram based on NDVI № 3. «Meteor-M» № 1 (September 17, 2012)



Карта и гистограмма на основе индекса NDVI № 4. «Метеор-М» № 1 (14 июля 2013 года)
Map and histogram based on NDVI № 4. «Meteor-M» № 1 (July 14, 2013)

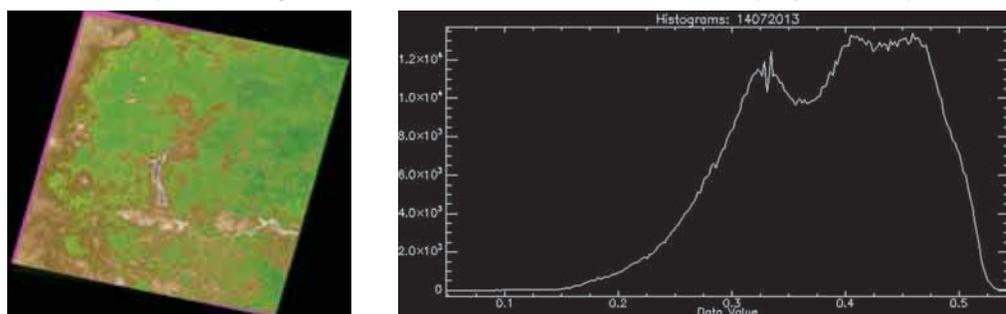


Рис. 3. Построение карт и гистограмм на основе NDVI исследуемой территории
[**Fig. 3.** Mapping and histograms building based on the NDVI of the study area]

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате анализа гистограмм по картам на основе индекса NDVI с 2009 по 2013 гг. видна определенная тенденция: в 2009 г. фитомасса исследуемой территории и общее количество растительности находилось на своем пике. После пожаров 2010 г. значительная часть фитомассы была потеряна, и с 2011 по 2013 гг. отмечается ее не равномерная, но стойкая тенденция к восстановлению.

Используя результаты анализа гистограмм на основе NDVI (см. рис. 2), и справочные данные официальных документов Рослесхоза, ИСС (Международный институт прикладного системного анализа), лесного плана Нижегородской области, паспортов Борского и Лысковского районов Нижегородской области, в несколько этапов произведен усредненный количественный расчет прироста биомассы на выгоревшей территории с 2011 по 2013 гг.

1. Расчет общей площади лесов и фитомассы исследуемой территории. Согласно материалам МИПСА [6] на территорию РФ приходится около 69 671 150 000 т фитомассы. Нижегородская область обладает 418 220 000 т фитомассы страны. Исходя из площади Нижегородской области и площадей обоих исследуемых районов — Борского и Лысковского, был произведен расчет количества фитомассы, приходящийся на каждый из районов (табл. 2).

Таблица 2

Table 2

**Площадь и объем фитомассы
Нижегородской области и Борского,
Лысковского районов**

**The area and volume of phytomass
of the Nizhny Novgorod region and Borsky,
Lyskovsky districts**

Территория	Площадь территории S, км ²	Фитомасса территории Ф, т	Territory	Area of territory S, km ²	Phytomass of the territory Ф, t
Нижегородская область	76 900	418 220 000	Nizhny Novgorod region	76 900	418 220 000
Борский район	3584	19 491 553,71	Borsky district	3584	19 491 553,71
Лысковский район	2134	11 605 740,96	Lyskovsky district	2134	11 605 740,96

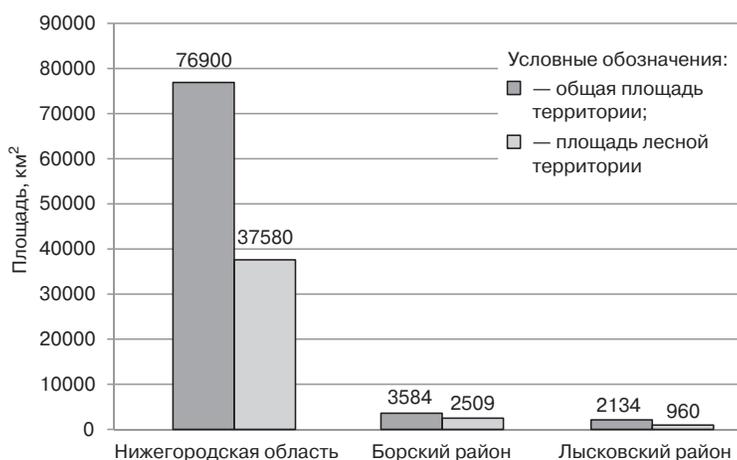


Рис. 4. Общая площадь и площадь лесов Нижегородской области, Борского и Лысковского районов (Источники: расчеты авторов и работа [10])

[Fig. 4. Total area and area of forests of the Nizhny Novgorod region, Borsky and Lyskovsky districts (Source: calculations of the authors and [10])]

Леса занимают приблизительно 53% территории области, причем на севере территории лесистость достигает 80%, а в юго-восточных районах снижается до 1% (рис. 4) [9].

По количеству фитомассы, приходящейся на каждый из районов, и площади лесов каждого района было рассчитано количество фитомассы на единицу площади каждого района (табл. 3).

Таблица 3

Количество фитомассы на единицу площади каждого района

Район	Площадь лесов, км ²	Фитомасса на единицу площади, т/км ²	Общая фитомасса, т	Общая фитомасса на единицу площади, т/км ²
Борский	2509 (70%)	7768,6	31 097 294,67	9 928,9
Лысковский	960 (45%)	12089,3		

Table 3

The amount of phytomass per area of each district

District	Forest area, km ²	Phytomass per area, t/km ²	Total phytomass, t	Total phytomass per area, t/km ²
Borsky	2509 (70%)	7768,6	31 097 294,67	9 928,9
Lyskovsky	960 (45%)	12089,3		

2. Расчет количества восстанавливающейся фитомассы с использованием данных гистограмм, построенных по картам на основе вегетационного индекса NDVI. При подсчете прироста фитомассы с использованием гистограмм, было необходимо учесть, что значения, отложенные по оси ординат на гистограммах, соответствуют количеству пикселей. Аппаратура КМСС спутника «Метеор-М» № 1 имеет разрешение 60 м, т.е. один пиксель соответствует 3600 м². Тогда фитомасса территории:

$$\Phi_{3600} = \frac{9928,9 \text{ т} \cdot 3600 \text{ м}^2}{10000 \text{ м}^2} = 3574,4 \text{ т.} \quad (1)$$

Таким образом, один пиксель снимка (3600 м²) содержит приблизительно 3 574,4 т фитомассы.

Важно учитывать, что данное значение характерно для идеального состояния растительности на территории, следовательно, необходимо провести градуацию количества фитомассы, в зависимости от значения NDVI:

- 0,1—0,3 — <100/3600 т/м²;
- 0,3—0,4 — 1500/3600 т/м²;
- 0,5—1 — 2500—3574,4/3600 т/м².

В качестве эталонного значения NDVI, на уровне которого в дальнейшем производилось сравнение по годам, взято значение 0,4 (в соответствии с анализом неповрежденной территории на основе данных за 2009 год), что соответствует удовлетворительному состоянию растительного покрова и количеству фитомассы, равному 1500 т на пиксель.

2011 год. Согласно гистограмме (см. рис. 3), количество пикселей, соответствующих значению 0,4 индекса NDVI, составляет 6 252, соответственно:

$$\Phi_{2011} = 6252 \cdot 0,0036 \text{ км}^2 \cdot 1500 \text{ т} = 33760 \text{ т}, \quad (2)$$

т.е. в 2011 г. общая масса растительности на исследуемой территории составляла 33 760 т.

2012 год. Согласно гистограмме (см. рис. 3), количество пикселей, соответствующих значению 0,4 индекса NDVI, составляет 77. Для данного года был введен поправочный коэффициент в связи с осенним сезоном [6], который составил 0,09 единиц индекса NDVI. Таким образом, в августе 2012 г. на значение 0,4 индекса NDVI приходилось порядка 7106 пикселей, следовательно:

$$\Phi_{2012} = 7106 \cdot 0,0036 \text{ км}^2 \cdot 1500 \text{ т} = 38372 \text{ т}, \quad (3)$$

т.е. в 2012 г. общая масса растительности на исследуемой территории составляла 38 372 т.

2013 год. Согласно гистограмме (см. рис. 3), количество пикселей, соответствующих значению 0,4 индекса NDVI, составляет 8 335, соответственно:

$$\Phi_{2013} = 8335 \cdot 0,0036 \text{ км}^2 \cdot 1500 \text{ т} = 45900 \text{ т}, \quad (4)$$

т.е. в 2013 г. общая масса растительности на исследуемой территории составляла 45 900 т.

Обобщая расчеты (табл. 4) можно сделать вывод о том, что увеличение фитомассы с 2011 по 2012 гг. составило 4612 т, а с 2012 по 2013 гг. — 7528 т, т.е. общее количество фитомассы за 2 года увеличилось приблизительно на 36%.

Таблица 4

Объем фитомассы исследуемого объекта по годам
[Table 4. The volume of phytomass of the object by years]

Год [Year]	Объем фитомассы, т [Phytomass volume, t]	Прирост фитомассы по сравнению с прошлым годом [Growth of phytomass compared to last year]
2011	33 760	—
2012	38 372	14%
2013	45 900	19%

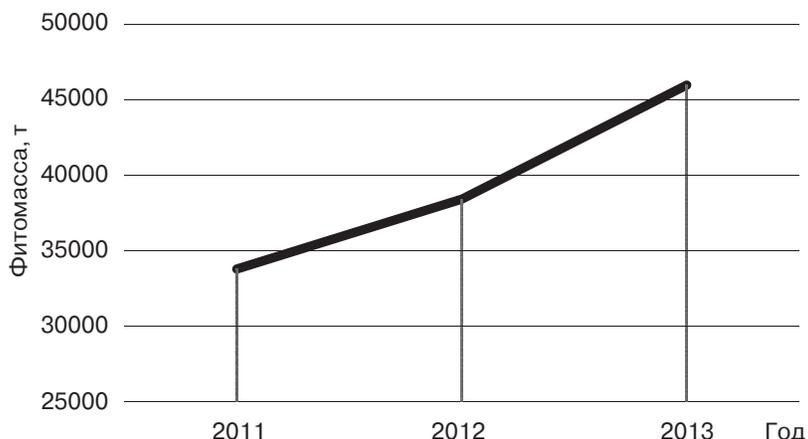


Рис. 5. График изменения количества фитомассы с 2011 по 2013 гг.
[Fig. 5. Schedule of changes in the amount of phytomass from 2011 to 2013]

Таким образом, на основе анализа полученных результатов (рис. 5) можно выявить увеличение биомассы лесной растительности на исследуемой территории за 3 года, прошедших после катастрофически крупных пожаров 2010 г., что свидетельствует о положительной динамике восстановления эколого-ресурсного потенциала лесных хозяйств на территории Нижегородской области. Предлагаемая методика позволяет оценить состояние и эколого-ресурсный потенциал, биомассу (в частности фитомассу) территории и ее продуктивность с использованием российских данных дистанционного зондирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Григорев Е.А. Сравнительный анализ видов и методов мониторинга лесных пожаров на территории России // Молодой ученый. 2015. № 8. С. 379—381.
- [2] Brown James K., Smith Jane Kapler, eds. 2000. Wildland fire in ecosystems: effects of fire on flora. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42-vol. 2. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 257 p.
- [3] Украинский П.А. Динамика спектральных свойств зарастающих травяных гарей // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 4. С. 229—238.
- [4] Рожков Ю.Ф., Кондакова М.Ю. Оценка динамики процесса восстановления лесов после пожара с использованием дешифрирования космических снимков // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 5. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=10434> (дата обращения: 14.12.2016).
- [5] Лесные ресурсы. Министерство экологии и природных ресурсов Нижегородской области [Электронный ресурс]. URL: http://minesco-nn.ru/File/05_Лесные_ресурсы.doc (дата обращения: 02.12.2016).
- [6] Черепанов А.С., Дружинина Е.Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы // Геоматика. 2009. № 3(4). С. 28—32.
- [7] Дубинин М. Теоретические основы использования индекса NDVI [Электронный ресурс]. URL: <http://gis-lab.info/qa/ndvi.html> (дата обращения: 14.12.2016).
- [8] Черепанов А.С. Вегетационные индексы // Геоматика. 2011. № 2(3). С. 98—102.
- [9] Леса Нижегородской области [Электронный ресурс]. URL: <http://autotravel-nn.ru/tags/les/> (дата обращения: 14.12.2016).
- [10] IASA's Global Forest Database (GFD) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iiasa.ac.at/web/home/research/modelsData/GlobalForestDB.en.html> (дата обращения: 14.12.2016).

© Григорев Е.А., Капралова Д.О., Пермитина Л.И., 2018

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 26.12.2016

Дата принятия к печати: 15.01.2018

Для цитирования:

Григорев Е.А., Капралова Д.О., Пермитина Л.И. Использование Российских данных ДЗЗ для изучения динамики восстановления эколого-ресурсного потенциала лесных регионов после воздействия пожаров // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2018. Т. 26. № 1. С. 52—62. DOI 10.22363/2313-2310-2018-26-1-52-62

Сведения об авторах:

Григорев Елизавета Андреевна — аспирант кафедры экологического мониторинга и прогнозирования Российского университета дружбы народов. E-mail: 5977749@mail.ru

Капралова Дарья Олеговна — старший преподаватель кафедры экологического мониторинга и прогнозирования Российского университета дружбы народов. E-mail: dorris@yandex.ru

Пермитина Лариса Ивановна — ведущий научный сотрудник НЦ ОМЗ АО «Российские космические системы». E-mail: permitina@ntsomz.ru

USING RUSSIAN REMOTE SENSING DATA FOR STUDING THE DYNAMIC OF ECOLOGICAL AND RESOURCE POTENTIAL RECOVERY OF FORESTS AREA AFTER THE IMPACT OF FOREST FIRES

E.A. Grigorets¹, D.O. Kapralova¹, L.I. Permitina²

¹ Peoples' Friendship University of Russia
8/5, Podol'skoe shosse, Moscow, 113093, Russian Federation
² NTs OMZ AO «Rossiiskie kosmicheskie sistemy»
51/25, Dekabristov str., Moscow, 127490, Russian Federation

The use of remote sensing data for determining the fire situation is shown, as for the monitoring of fire situations and assessment of pyrogenic forest distraction. Studies were conducted on the use of long-term satellite observations to monitor and evaluate the dynamics of ecological and resource potential recovery of the areas affected by forest fires and are based on the assessment of the amount of lost biomass and the rate of vegetation recovery. The ability to monitor the dynamics of vegetation recovery on damaged fire areas are encouraged to implement on the basis of the use of vegetation indices based on spectral properties of vegetation. The proposed method makes it possible to assess the state and environmental and climatic characteristics of the vegetation biomass of the territory and its productivity. It shows the results of remote sensing data from Russian and foreign satellites, obtained in the periods from 2009 to 2013. There are given maps of vegetation index constructed for the studied forestry and the histogram index changes, which assesses the amount of biomass of forest areas.

Key words: ecological and resource potential, forest fires, remote sensing, space monitoring, biomass recovery, phytomass, fire hazard, lost biomass assessment, NDVI

REFERENCES

- [1] Grigorets E.A. Comparative analysis of species and methods for monitoring forest fires in Russia. *Molodoi uchenyi*. 2015. № 8. S. 379–381.
- [2] Brown James K., Smith Jane Kapler, eds. 2000. *Wildland fire in ecosystems: effects of fire on flora*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42-vol. 2. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 257 p.
- [3] Ukrainskiy P.A. Dynamics of spectral properties of overgrown grassy fires Modern problems of remote sensing of the Earth from space. 2013. P. 10. № 4. P. 229–238.
- [4] Rozhkov Yu.F., Kondakova M.Yu. Evaluation of the forest restoration process dynamics after a fire, using the interpretation of space images. *Modern problems of science and education*. 2013. No. 5 [digital resource]. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=10434> (date of access: 14.12.2016).

- [5] Forest resources. Ministry of ecology and natural resources of Nizhny Novgorod region [digital resource]. Available at: http://mineco-nn.ru/File/05_Лесные_ресурсы.doc (date of access: 02.12.2016).
- [6] Cherepanov A.S., Druzhinina E.G. The spectral properties of vegetation and vegetation indices. *Geomatika*. 2009. № 3(4). S. 28–32.
- [7] Dubinin M. Teoretical base of using NDVI [digital resource]. URL: <http://gis-lab.info/qa/ndvi.html> (date of access: 02.12.2016).
- [8] Cherepanov A.S. Vegetation indices. *Geomatika*. 2011. № 2(3). S. 98–102.
- [9] Forests of Nizhny Novgorod region [digital resource]. URL: <http://autotravel-nn.ru/tags/les/> (date of access: 14.12.2016).
- [10] IIASA's Global Forest Database (GFD) [digital resource]. URL: <http://www.iiasa.ac.at/web/home/research/modelsData/GlobalForestDB.en.html> (date of access: 14.12.2016).

Article history:

Received: 26.12.2016

Revised: 15.01.2018

For citation:

Grigorets E.A., Permitina L.I., Kapralova D.O. (2018) Using Russian remote sensing data for studying the dynamic of ecological and resource potential recovery of forests area after the impact of forest fires. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 26 (1), 52–62. DOI 10.22363/2313-2310-2018-26-1-52-62

Bio Note:

Grigorets Elizaveta Andreevna — postgraduate student of Ecology monitoring and forecasting department, RUDN University. E-mail: 5977749@mail.ru

Kapralova Daria O. — senior lecturer Ecology monitoring and forecasting department, RUDN University. E-mail: dorris@yandex.ru

Permitina Larisa Ivanovna — Leading Researcher NTs OMZ JSC “Russian Space Systems”. E-mail: permitina@ntsomz.ru