

**ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ
В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА:
БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ И ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ**

Международный сборник научных статей

**FOREST ECOSYSTEMS UNDER CLIMATE CHANGE:
BIOLOGICAL PRODUCTIVITY AND REMOTE MONITORING**

International Compendium of research papers

ISSN 2500-4263

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВО «ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ЦЕНТР УСТОЙЧИВОГО УПРАВЛЕНИЯ И ДИСТАНЦИОННОГО
МОНИТОРИНГА ЛЕСОВ

ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА:

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ И ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ

Международный сборник научных статей

FOREST ECOSYSTEMS UNDER CLIMATE CHANGE:

BIOLOGICAL PRODUCTIVITY AND REMOTE MONITORING

International Compendium of research papers

Йошкар-Ола
2017

УДК 630
ББК 43:20.18
Л 50

Редакционная коллегия:

Э. А. Курбанов, д-р с.-х. наук, профессор, Поволжский государственный технологический университет (отв. редактор)

С. А. Барталев, д-р техн. наук, профессор, Институт космических исследований РАН

С. И. Чумаченко, д-р биол. наук, профессор, Мытищинский филиал Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана

В. К. Хлюстов, д-р с.-х. наук, профессор, Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева

О. Н. Воробьев, канд. с.-х. наук, доцент, Поволжский государственный технологический университет

Dr. Ioannis Gitas, Associate Professor, Laboratory of Forest Management and Remote Sensing of the Aristotle University of Thessaloniki

Dr. Sha Jinming, Professor, Director of China-Europe Center for Environment and Landscape Management

Dr. Abraham Thomas, Competency Manager of Remote Sensing, Council for Geoscience

Dr. Jinliang Wang, Professor, College of Tourism & Geographic Sciences, Yunnan Normal University

Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность Л 50 и дистанционный мониторинг: международный сборник научных статей / отв. ред. проф. Э.А. Курбанов [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2017. – 181 с. – URL: <https://inter.volgatech.net/centre-for-sustainable-management-and-remote-monitoring-of-forests/forest-ecosystems-in-a-changing-climate/>

Основу сборника составили материалы международной научной конференции «Лесные экосистемы в условиях изменения климата: региональные и международные аспекты», цель которой – обмен научным и практическим опытом между учеными, преподавателями, научными сотрудниками вузов и научных организаций и объединение усилий для развития перспективных направлений науки в области лесного хозяйства и экологии.

УДК 630
ББК 43:20.18

© Поволжский государственный
технологический университет, 2017
© Центр устойчивого управления
и дистанционного мониторинга лесов, 2017

Editorial board:

E.A. Kurbanov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volga State University of Technology

S.A. Bartalyov, Doctor of Engineering Science, Professor, Space Research Institute of Russian Academy of Sciences

S.I. Chumachenko, Doctor of Biological Sciences, Professor, [Mytishchi Branch, Bauman Moscow State Technical University](#)

V.K. Khlyustov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy

O.N. Vorobiev, Ph.D., Associate Professor, Volga State University of Technology

Dr. Ioannis Gitas, Associate Professor, Laboratory of Forest Management and Remote Sensing of the Aristotle University of Thessaloniki

Dr. Sha Jinming, Director China-Europe Center for Environment and Landscape Management, College of Geography, Fujian Normal University

Dr. Abraham Thomas, Competency Manager of Remote Sensing, Council for Geoscience

Dr. Jinliang Wang, Professor, College of Tourism & Geographic Sciences, Yunnan Normal University

Forest ecosystems under climate change: biological productivity and remote monitoring :

L 50 compendium of research papers / Executive editor Prof. E.A. Kurbanov [Electronic resource]. – Electronic data – Yoshkar-Ola: Volga State University of Technology, 2017. – 181 p. – URL: <https://inter.volgatech.net/centre-for-sustainable-management-and-remote-monitoring-of-forests/forest-ecosystems-in-a-changing-climate/>

The purpose of the international Compendium of research papers "**Forest ecosystems under climate change: biological productivity and remote monitoring**" is the exchange of scientific expertise between research staff of universities and research organizations.

UDC 630
BBK 43:20.18

ISSN 2500-4263

© Volga State University
of Technology, 2017
© Center of Sustainable forest management
and Remote sensing , 2017

ACKNOWLEDGEMENT

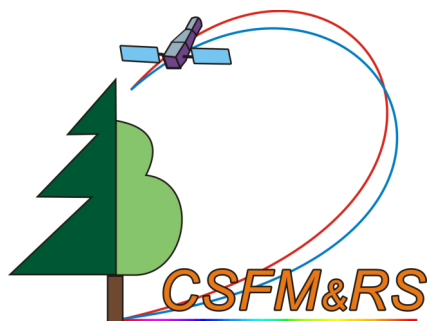
The Jean Monnet center of Excellence —European Expertise and Technology for Environmental Protection and Sustainable Forestry¹ at Volga State University of Technology has been funded with support from the EU ERASMUS+ program.

The European Commission support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents which reflects the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

Центр совершенства Жана Монне «Европейская экспертиза и технологии в области защиты окружающей среды и устойчивого лесоводства» (SUFEX) получил финансовую поддержку Европейского Союза. Этот сборник опубликован в рамках деятельности центра SUFEX.

Содержание сборника отражает точку зрения только ее авторов. Исполнительное агентство по вопросам образования, аудиовизуальной деятельности и культуры и Европейская Комиссия не несут ответственности за любое использование информации, содержащейся в этой публикации.

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



SUFEX
Jean Monnet
Center of Excellence



EFI ASSOCIATED EVENT



EVALUATION OF SPECTRAL INDICES EFFICIENCY IN BURNED AREA MAPPING USING OBJECT-BASED IMAGE ANALYSIS

Stefanos Papaioordanidis¹, Maria Tompoulidou², Panagiotis Lefakis¹, Ioannis Z. Gitas³

¹ Laboratory of Forest Policy, Aristotle University of Thessaloniki

² Greek Biotope-Wetland Centre

³ Laboratory of Forest Management and Remote Sensing, Aristotle University of Thessaloniki

Forest fires are an integral part of Mediterranean ecosystems and an important factor in forest fire management. Detailed information about burned areas notably contributes to the estimation of the environmental impact of forest fires and the improvement of existing forest fire management plans. The aim of this study was to evaluate the efficiency of several spectral indices in burned area mapping using object-based image analysis (OBIA) and medium (Landsat5 TM - 30m) and very high (IKONOS pansharpened - 1m) resolution satellite imagery. In the case of the pan-sharpened IKONOS image, the Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), the modified Soil Adjusted Vegetation Index (mSAVI2) and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) were used, while in the case of Landsat 5 TM, the Char Soil Index (CSI) and the Normalized Burn Index (NBR) were additionally employed. The multiresolution segmentation algorithm was applied to all layers generated from the computation of the aforementioned spectral indices. Training samples were defined based on the multispectral pan-sharpened IKONOS image and used in the classification process in all different cases. Results were spatially compared with the official burned area perimeter provided by the National Forest Service and all yielded equally high spatial accuracy. It can be noted that the spatial resolution of the applied satellite images and the applied indices, did not play a key role in the burned area maps' overall spatial accuracy.

Keywords: remote sensing, forest fire management, burnt area mapping, spectral indices, object-based image analysis (OBIA), Landsat, IKONOS.

Introduction. Forest fires are an integral part of Mediterranean ecosystems and a key factor in forest fire management. Until the year 2000 the number of forest fires had increased, not only in the Mediterranean basin, but also in the rest of Europe (Schmuck et al., 2011, Loboda et al., 2017). Even though the number of fire events have decreased the last decade (Füssel and Jol, 2012), the phenomenon of climate change is expected to cause a significant increase in the frequency and severity of fires (Kalabokidis et al., 2015), leading to further damage of the already degraded Mediterranean ecosystems.

The effectiveness of forest fire management is highly dependent on precise and current spatial information related to the fire-affected areas (Gitas et al., 2004). In particular, the information provided by detailed and current burned area maps contributes to the quantification of the environmental impact of forest fires, land use and land cover changes monitoring while at long term such information could be used in improving existing forest fire management plans (Chuvieco and Congalton, 1988; Loboda et al., 2012; Kurbanov et al., 2017).

Satellite remote sensing constitutes a practical and cost-effective tool for burned area mapping (White et al., 1996). Satellite sensors are a valuable means for the production of accurate burned area maps since they provide broad areal coverage along with the high spatial and temporal resolution (Giglio et al., 2009; Polychronaki and Gitas, 2012).

Optical satellite data have been extensively used for decades in the detection and mapping of burned areas (Chuvieco and Congalton, 1989; Giglio et al., 2009; Polychronaki and Gitas, 2012; Vorobev, Kurbanov; 2017). This mapping is usually based on satellite data of medium and very high resolution, such as Landsat and IKONOS imagery (White et al., 1996, Roy et al., 2002; Epting et al., 2005).

Moreover, a variety of remote sensing analysis techniques are being employed in burned area mapping such as Maximum Likelihood classification (Razali and Nurud, 2012), Support Vector Machines (Alonso-Benito et al., 2013), Unsupervised classifications (Van Wagendonk and Root, 2003) and Object-Based Image Analysis (OBIA) (Alonso-Benito et al., 2016). OBIA provides increased accuracy and detail in classification in comparison with conventional pixel-based analysis. Within this paradigm, rather than treating the image as a collection of pixels to be classified based on their individual spectral properties, the image pixels can be initially grouped into segments. The production of these groups is a process called segmentation and it is the first and most important step in OBIA (Baatz, 2000). Segmentation aims at dividing the image into continuous groups of spectrally homogeneous objects that ideally represent real objects of interest in the study area (Jasani et al., 2009). The object segments can then be classified according to spectral and other criteria, such as shape, size and relationship to neighbor objects (Blaschke, 2010).

Furthermore, spectral indices are also extensively employed by remote sensing experts in many different scientific fields (Huete, 1988, Chuvieco et al., 2002). Regarding burned area mapping, spectral indices have given a great advantage to the scientific community by enhancing the differences between burned and unburned pixels and, consequently, improving the accuracy of the final cartographic products (Cao et al., 2009). Some of the most widely used burned area related spectral indices include the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (Rouse Jr et al., 1974), the Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) (Huete, 1988), the Modified Soil Adjusted Vegetation Index 2 (mSAVI2) (Qi et al., 1994), the Global Environmental Monitoring Index (GEMI) (Pinty and Verstraete, 1992), the Burned Area Index (BAI) (Martín, 1998) and the Normalized Burn Index (NBR) (Key and Benson, 1999).

The aim of the present study was to evaluate the efficiency of spectral indices in burned area mapping using OBIA and medium (Landsat 5 TM) and very high (IKONOS pansharpened) resolution satellite imagery. The specific objectives of this study were:

- The selection and calculation of spectral indices commonly used for burned area mapping based on the spectral availability of medium resolution (Landsat 5 TM) and very high resolution data (IKONOS pan-sharpened).
- The employment of OBIA on Landsat 5 TM and IKONOS images for burned area mapping using the calculated indices.
- The comparison of the results with the official burned area perimeter provided by the forest service.
- The evaluation of the efficiency of each index in burned area mapping.

Study area and dataset description

The study area is Mount Parnitha. Mount Parnitha is located in the southern part of Greece, north of Athens. Parnitha is a national park and also part of the NATURA 2000 network. In 2007, a forest fire destroyed 36,000 acres of land, from which 21,800 acres were Greek fir forests, a species endemic to Greece. Many wild life habitats were also destroyed, such as bird nesting areas, and deer habitats (National Forest Service).

Two images were used in this study, namely Landsat-5 TM and IKONOS, acquired several days after the fire. The Landsat image consists of seven spectral bands with spatial resolution of 30 m each, except for the sixth one which has 120 m resolution. The IKONOS image is pan-sharpened and consists of four spectral bands with 1m spatial resolution (Laben and Brower, 2000). In addition, the official fire perimeter, provided by the Greek Forest Service, was used for the accuracy assessment of the results.

Methodology

The general steps of the methodology employed in the present study are presented in the following flowchart (fig. 1):

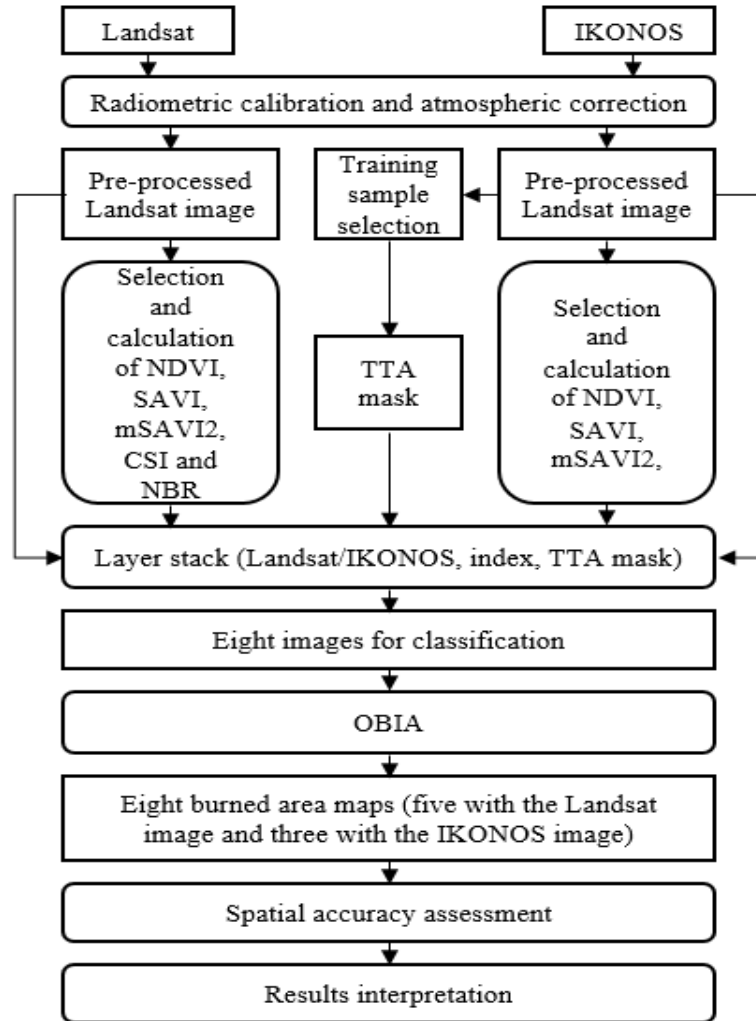


Fig. 1. Methodology flowchart

The first step of the methodology included the pre-processing of the satellite data. Pre-processing aims at correcting the sensor and platform-specific radiometric and geometric distortions of data. Radiometric corrections are necessary in case of variations in scene illumination and viewing geometry, atmospheric conditions, and sensor noise and response. The type of the correction may vary depending on the specific sensor and platform used to acquire the data and the conditions during data acquisition (Chander and Markham, 2003).

The pre-processing of the IKONOS and Landsat satellite images included radiometric calibration and atmospheric correction. The radiometric calibration was performed through the conversion of the pixel values from digital numbers (DN) to radiance values and, subsequently, to top of atmosphere (TOA) reflectance values. Next, the histogram subtraction method (Jensen, 1986; Chavez, 1988) was employed in order to atmospherically correct the satellite data.

The indices for this study were selected according to the international literature, their compatibility with various sensors and the amount of data required for them to function (Barati et al., 2011, Harris et al., 2011, Viña et al., 2011). The selected spectral indices are briefly described in the following table (table 1).

Table 1

The spectral indices used in the present study for mapping the burned areas

Index name	Equation	Reference	Description
Normalized Difference Vegetation Index:	$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$	(Rouse Jr et al., 1974)	An index designed for vegetation detection (or in our case, the absence of)
Soil Adjusted Vegetation Index:	$SAVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} * (1 + L)$	(Huete, 1988)	An index designed for soil color and moisture detection.
Modified Soil Adjusted Vegetation Index 2:	$mSAVI2 = \frac{(2 * NIR - 1 - \sqrt{(2 * NIR + 1)^2 - 8 * (NIR - RED)})}{2}$	(Qi et al., 1994)	A version of SAVI without the “L” constant, which represents vegetation coverage.
Char Soil Index:	$CSI = \frac{NIR}{Band5}$	(Smith et al., 2005)	Performs well in burned area mapping with Landsat TM images.
Normalized Burn Index:	$NBR = \frac{NIR - Band7}{NIR + Band7}$	(Key and Benson, 1999)	Similar to NDVI but modified for burned area detection.

NDVI, SAVI, mSAVI2, CSI, NBR were calculated using the Landsat images but only the first three indices were computed for the IKONOS image since it lacks the short-wave infrared (SWIR) spectral bands. Next, the training samples were selected using the IKONOS pre-processed image considering its very high spatial resolution (1m). Ten samples were selected for each class (burned and unburned). Subsequently, a Test and Training Area (TTA) mask was produced from the samples, which was used to train the classification algorithm in all cases.

Finally, the pre-processed Landsat data, the produced TTA mask and each of the calculated spectral indices (NDVI, SAVI, mSAVI2, CSI, NBR) were combined leading to the creation of five new images (Landsat_{NDVI}, Landsat_{SAVI}, Landsat_{mSAVI2}, Landsat_{CSI}, Landsat_{NBR}), each of which consisted of eight layers (table 2). The same procedure was performed for the pre-processed IKONOS data and the respective spectral indices (NDVI, SAVI, mSAVI2) resulting in three new images (IKONOS_{NDVI}, IKONOS_{SAVI}, IKONOS_{mSAVI2}), each of which included five layers (table 2).

In order to classify the burned areas of each generated image, segmentation was initially employed. The classification of the created image objects into the classes “burned” and “unburned” was performed through the application of a supervised classification algorithm, namely the Nearest Neighbor (Gutin et al. 2002), which was trained by the samples contained in the TTA mask.

Table 2

The structure of the images used for the classification of the burned area and occurred from the union of the layers of: a) the Landsat image and b) the IKONOS image with each index and the TTA mask.

Landsat images a)	IKONOS images: b)
Layers:	Layers:
Blue band	Blue band
Green band	Green band
Red band	Red band
NIR band	NIR band
SWIR1 band	(Index)
SWIR2 band	TTA mask (Thematic layer)
(Index)	
TTA mask (Thematic layer)	

The Nearest Neighbor classification algorithm was executed using the features of mean values and standard deviation of the spectral bands. Each classification was followed by an enhancement of the resulted cartographic product using user selected thresholds of the Near Infrared (NIR) spectral band and exported as a vector layer for its subsequent accuracy assessment.

Results and discussion. The application of the methodology described in the previous chapters resulted in eight burned area maps (fig. 2).

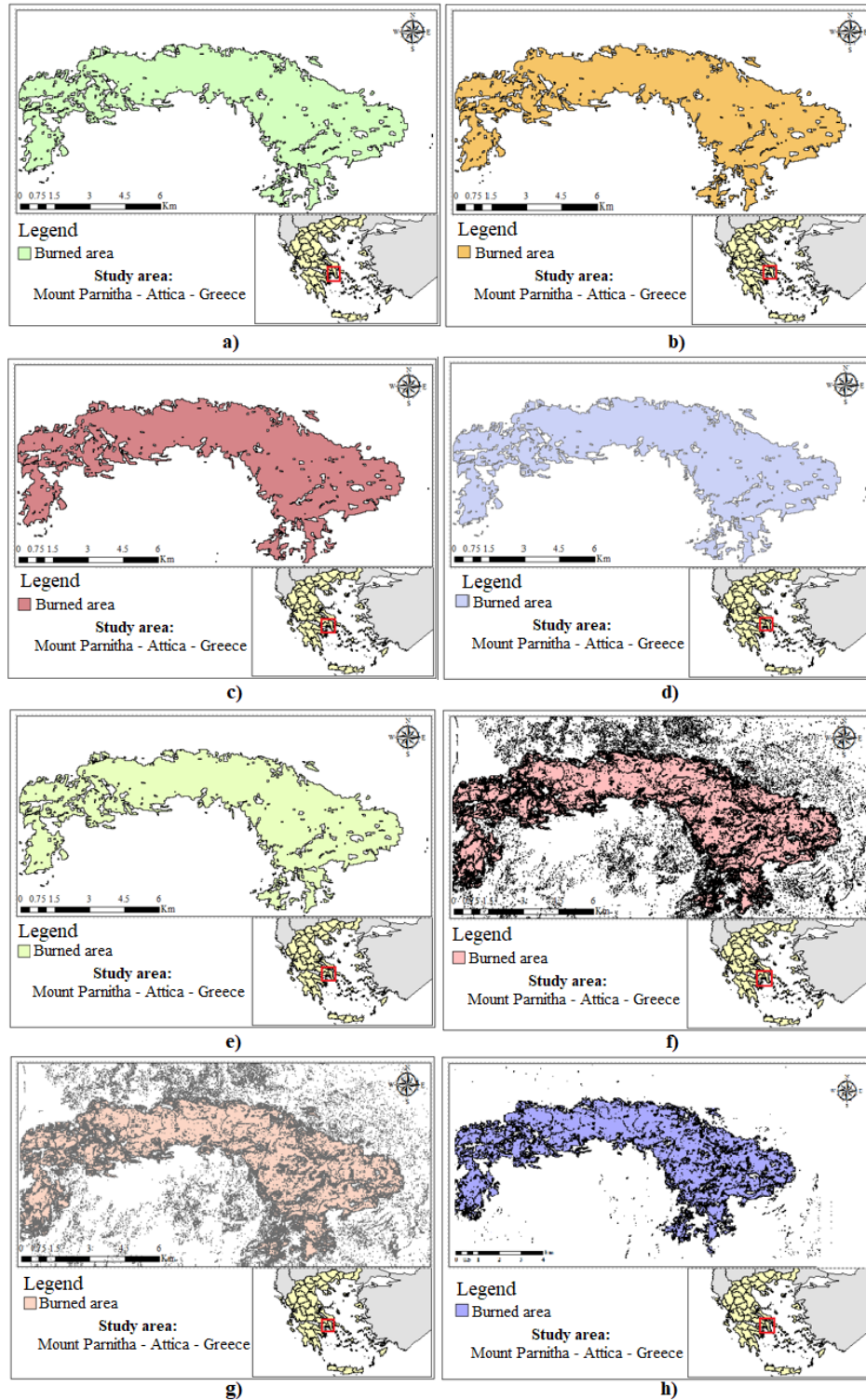


Figure 2. Maps created using: a) the Landsat image and NDVI, b) the Landsat image and NBR, c) the Landsat image and CSI, d) the Landsat image and SAVI, e) the Landsat image and mSAVI2, f) the IKONOS image and NDVI, g) the IKONOS image and SAVI, h) the IKONOS image and mSAVI2

The specific cartographic products were then evaluated for their spatial accuracy. Hence, the areas misclassified as burned or as unburned were identified and adequate calculations were performed. More specifically, each vector was initially merged with the official perimeter. Then each vector was divided with its corresponding merged vector. The result of this division represented the overall spatial accuracy of each map (table 3).

Table 3

Spatial accuracy per index	
Indices	Spatial accuracy
Landsat _{SAVI}	81.22%
Landsat _{NDVI}	81.22%
Landsat _{mSAVI2}	81.09%
Landsat _{CSI}	81.36%
Landsat _{NBR}	80.67%
IKONOS _{NDVI}	79.11%
IKONOS _{SAVI}	79.52%
IKONOS _{mSAVI2}	81.89%

Generally, the accuracy assessment results showcase that the application of OBIA and the Nearest Neighbor algorithm on images created using spectral indices from medium and very high resolution satellite imagery, yields high spatial accuracy in burned area mapping. More specifically, all the generated cartographic products were highly accurate achieving overall accuracy of approximately 80 %. In addition, the highest spatial accuracy (81.89 %) was achieved by IKONOS_{mSAVI2}. It is also noteworthy that the most and least accurate burned area maps were produced by the classification of the IKONOS_{mSAVI2} and IKONOS_{NDVI} images respectively. Since the IKONOS pan-sharpened image offers very high spatial resolution (1m), it was expected to result in a higher spatial accuracy than the ones of the Landsat bands (30m). However, the difference of the spatial accuracy from the highest scoring index and the lowest scoring index is only 2.78% and in some cases (NDVI and SAVI) the use of the Landsat image led to the production of a more accurate burned area map compared to the IKONOS image (Landsat_{SAVI}: 81.22 % and IKONOS_{SAVI}: 79.52 %, Landsat_{NDVI}: 81.22 % and IKONOS_{NDVI}: 79.11 %).

It is undeniable that in case of using the IKONOS image, the generated burned area maps included significantly more noise compared to the Landsat image despite the enhancement performed to the classification result using user selected thresholds. This suggests that very high spatial resolution might be a disadvantage in burned area mapping unless proper methods are applied to presume upon the specific characteristic of the satellite sensor.

Taking all under consideration, it can be noted that the spatial resolution of the applied satellite images and the applied indices, did not play a key role in the burned area maps' overall spatial accuracy.

Conclusions and future research. In this paper, five spectral indices, namely NDVI, SAVI, mSAVI2, CSI and NBR, were evaluated for their efficiency in burned area mapping using OBIA of Landsat and IKONOS satellite images. The application of all selected indices and satellite images resulted in highly accurate burned area maps using a relatively simple methodology. The conclusions drawn from the present study are the following:

OBIA, Nearest Neighbor and the spectral indices employed on Landsat 5 TM and IKONOS pan-sharpened images yield high spatial accuracy in burned area mapping.

The choice of spectral index has little impact in the accuracy of burned area mapping products.

The application of OBIA and the use of the selected spectral indices led to equal performance of Landsat 5 TM and IKONOS pan-sharpened images in burned area mapping.

The selection of the appropriate classification method plays a leading role in accurate burned area mapping.

Future research could include the performance evaluation of different spectral indices in mapping fire-affected areas. Moreover, the spectral indices employed in the present study could be applied on other satellite data and the results could be compared with the ones of this work. Finally, it would be of interest to examine other classification techniques in burned area mapping by employing the satellite data and spectral indices used in the present study.

References

1. Alonso-Benito, A. Fusion of WorldView-2 and LiDAR Data to Map Fuel Types in the Canary Islands / A. Alonso-Benito et al // *Remote Sensing*. – 2016. – №8(8). – P. 669.
2. Alonso-Benito, A. Pixel and object-based classification approaches for mapping forest fuel types in Tenerife Island from ASTER data / A. Alonso-Benito et al. // *International Journal of Wildland Fire*. – 2013. – №22(3). – P. 306-317.
3. Baatz, M. Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation / M. Baatz // *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung*. – 2000. – Vol. XII. – P.12-23.
4. Barati, S. Comparison the accuracies of different spectral indices for estimation of vegetation cover fraction in sparse vegetated areas / S. Barati et al. // *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. – 2011. – №14(1). – P. 49-56.
5. Blaschke, T. Object based image analysis for remote sensing / T. Blaschke // *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*. – 2010. – № 65(1). – P. 2-16.
6. Cao, X. An automatic method for burn scar mapping using support vector machines / X. Cao et al. // *International Journal of Remote Sensing*. – 2009. – № 30(3). – P. 577-594.
7. Chander, G. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges / G. Chander, B. Markham // *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*. – 2003. – № 41(11). – P. 2674-2677.
8. Chavez, P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data / P.S. Chavez // *Remote sensing of environment*. – 1988. – № 24(3). – P. 459-479.
9. Chuvieco, E. Mapping and inventory of forest fires from digital processing of TM data / E. Chuvieco, R.G. Congalton // *Geocarto International*. – 1988. – № 3(4). – P. 41-53.
10. Chuvieco, E. Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping / E. Chuvieco, R.G. Congalton // *Remote sensing of environment*. – 1989. – № 29(2). – P. 147-159.
11. Chuvieco, E. Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination / E. Chuvieco et al. // *International Journal of Remote Sensing*. – 2002. – № 23(23). – P. 5103-5110.
12. Epting, J. Evaluation of remotely sensed indices for assessing burn severity in interior Alaska using Landsat TM and ETM+ / J. Epting et al. // *Remote sensing of environment*. – 2005. – № 96(3). – P. 328-339.
13. Fussler, H.-M. Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012 an indicator-based report / H.-M. Fussler, A. Jol. – 2012. – №12. – 302 p.
14. Giglio, L. An active-fire based burned area mapping algorithm for the MODIS sensor / L. Giglio et al. // *Remote sensing of environment*. – 2009. – № 113(2). – P. 408-420.
15. Gitas, I.Z. Object-based image classification for burned area mapping of Creus Cape, Spain, using NOAA-AVHRR imagery / I.Z. Gitas et al. // *Remote sensing of environment*. – 2004. – № 92(3). – P. 409-413.
16. Gutin, G. Traveling salesman should not be greedy: domination analysis of greedy-type heuristics for the TSP / G. Gutin et al. // *Discrete Applied Mathematics*. – 2002. – № 117(1). – P. 81-86.
17. Harris, S. Evaluating spectral indices for assessing fire severity in chaparral ecosystems (Southern California) using MODIS/ASTER (MASTER) airborne simulator data / S. Harris et al. // *Remote Sensing*. – 2011. – № 3(11). – P. 2403-2419.
18. Huete, A.R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI) / A.R. Huete // *Remote sensing of environment*. – 1988. – № 25(3). – P. 295-309.
19. Jasani, B. International Safeguards and Satellite Imagery / B. Jasani et al. – Springer. – 2009. – 174 p.
20. Jensen, J.R. Introductory digital image processing: a remote sensing perspective / J.R. Jensen. – Univ. of South Carolina, 1986. – 379 p.
21. Kalabokidis, K. Effect of climate change projections on forest fire behavior and values-at-risk in Southwestern Greece / K. Kalabokidis et al. // *Forests*. – 2015. – № 6(6). – P. 2214-2240.
22. Key, C. Measuring and remote sensing of burn severity / C. Key, N. Benson // *Proceedings joint fire science conference and workshop*. – 1999.
23. Kurbanov, E. Assessment of burn severity in Middle Povozye with Landsat multi-temporal data/ E. Kurbanov, O. Vorobyev, S. Leznina, Y. Polevshikova, E. Demisheva // *International Journal of Wildland Fire*. – 2017. – Vol. 26. – № 9. – P. 772-782.

24. Laben, C.A. Process for enhancing the spatial resolution of multispectral imagery using pan-sharpening / C.A. Laben, B.V. Brower // Google Patents. – 2000.
25. Loboda, T. Land Management and the Impact of the 2010 Extreme Drought Event on the Agricultural and Ecological Systems of European Russia/ T. Loboda, O. Krankina, I. Savin, E. Kurbanov, H. Joanne // Land-Cover and Land-Use Changes in Eastern Europe after the Collapse of the Soviet Union in 1991; eds. G. Gutman, R. Volker. – Springer International Publishing. – 2017. – P. 173-192.
26. Loboda, T. Understanding Origins and Impacts of Drought / T.V. Loboda, O.N. Krankina, E.A. Kurbanov // Eos, Transactions American Geophysical Union. – 2012. – Vol. 93(42). – P. 417.
27. Martín, M. Cartografía e inventario de incendios forestales en la Península Ibérica a partir de imágenes NOAA-AVHRR / M. Martín // Universidad de Alcalá: Departamento de Geografía, 1988.
28. Pinty, B. GEMI: a non-linear index to monitor global vegetation from satellites / B. Pinty, M. Verstraete // Plant ecology. – 1992. – № 101(1). – P. 15-20.
29. Polychronaki, A. Burned area mapping in Greece using SPOT-4 HRVIR images and object-based image analysis / A. Polychronaki, I.Z. Gitas // Remote Sensing. – 2012. – № 4(2). – P. 424-438.
30. Qi, J. A modified soil adjusted vegetation index / J. Qi et al. // Remote sensing of environment. – 1994. – № 48(2). – P. 119-126.
31. Razali, S.M. A method of mapping forest fuel types in peat swamp forest / S.M. Razali, A.A. Nurud // African Journal of Agricultural Research. – 2012. – № 7(12). – P. 1901-1909.
32. Rouse Jr, J. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS / J.W. Rouse Jr et al. – 1974.
33. Roy, D. Burned area mapping using multi-temporal moderate spatial resolution data—A bi-directional reflectance model-based expectation approach / D. Roy et al. // Remote sensing of environment. – 2002. – № 83(1). – P. 263-286.
34. Schmuck, G. Forest fires in Europe 2010 / G. Schmuck et al. – 2011.
35. Smith, A.M. Testing the potential of multi-spectral remote sensing for retrospectively estimating fire severity in African Savannas / A.M. Smith et al. // Remote sensing of environment. – 2005. – № 97(1). – P. 92-115.
36. Van Wagtenonk, J. W. The use of multi-temporal Landsat Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) data for mapping fuel models in Yosemite National Park, USA / J.W. Van Wagtenonk, R.R. Root // International Journal of Remote Sensing. – 2003. – № 24(8). – P. 1639-1651.
37. Viña, A. Comparison of different vegetation indices for the remote assessment of green leaf area index of crops / A. Vina et al. // Remote sensing of environment. – 2011. – № 115(12). – P. 3468-3478.
38. Vorobev, O.N. Remote monitoring of vegetation regeneration dynamics on burnt areas of Mari Zavolzhje forests / O.N. Vorobev, E.A. Kurbanov // Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa. – 2017. – Vol. 14. – № 2. – P. 84-97.
39. White, J.D. Remote sensing of forest fire severity and vegetation recovery / J.D. White et al. // International Journal of Wildland Fire. – 1996. – № 6(3). – P. 125-136.

RESEARCH CAPACITIES AND PRIORITIES IN THE AREA OF SUSTAINABLE FOREST MANAGEMENT IN RUSSIA AND EASTERN PARTNERSHIP (EAP) COUNTRIES

Elena Kulikova
European Forest Institute

The article is produced on the basis of research outcomes done in the frame of the EU 7th Framework Programme ERA-NET project Sumforest - Tackling the challenges in sustainable and multifunctional forestry through enhanced research coordination for policy decisions. It presents results of mapping the capacities of organizations, carrying out forest research in Russia and six countries of the Eastern Partnership (EaP) (Azerbaijan, Armenia, Belarus, Georgia, Moldova, and Ukraine) ; analyzing the results of the capacity mapping; identifying common research priorities between EU and the EaP countries and Russia in the field of sustainable forest management as well as existing needs. Identified EU-RU-EaP common priority topics for international cooperation are: assessment of forest resources, forests and climate change, forest biodiversity, forest disturbances and risks, wood based bioeconomy and cross-disciplinarity, new technologies: transparency and reliability of data, GIS, Internet. Outcomes of this work can be used as a background for further work targeted at EU and Russia/EaP countries for providing strategic guidance for future cooperation/coordination activities and for developing and strengthening research and education in the area of sustainable forest management. Coordinated efforts are needed to create long-term programmes with stable financial basis to support research cooperation between EU, Russia and EaP countries.

Key words: sustainable forest management, research capacities, research priorities, Russia, Eastern Partnership (EaP) countries.

Introduction. Starting from late 1980, Russia and countries of post-Soviet Union space went through deep political and economic reforms. It is reflected in all aspects of their activities, including those related to forest research sector (Kurbanov, Konijnendijk, 2007). For example, in Russia, these processes as well as overall state of forest research and education can be characterized by a quote from the publication “The Russian Federation Forest Sector, Outlook Study to 2030”, FAO (2012): “From 1992 to 2010, some negative changes took place in the area of scientific support of the forest sector. A series of scientific institutions were dismantled. The total number of staff, mostly researchers, was reduced. The number of scientific employees in federal forest institutions was reduced by five times and currently comprises about 600 researchers, of which 132 have a PhD, and 37 have an ScD. The average age of the latter is 65. Institutions that ensure scientific follow-up of the forest industry employ about 300 researchers of which only 10 have an ScD and 70 have a PhD. Ten organizations and institutions of the Russian Academy of Sciences participate in fundamental forest sector research, employing about 1 000 people including 600 PhD and ScD researchers.

The university potential of forest research is not fully utilized (Kurbanov, Lezhnin, 2010). Out of ten leading universities specialized in forestry, over 2 000 scientific employees, including 600 PhD and ScD researchers, participate in forest sector research. The total number of researchers conducting fundamental and applied research for the forest sector amounts to about 3 500 scientific employees, including about 1 400 with academic titles”.

The article is produced on the basis of outcomes of research done in the frame of the EU 7th Frame-work Programme ERA-NET (European Research Area Net) project Sumforest. One of the objectives of the ERA-NET Scheme as a whole is to develop and strengthen the coordination of national and regional research programmes through in particular actions - providing a framework for actors implementing public research programmes to coordinate their activities e.g. by developing joint activities or by mutually supporting joint calls for trans-national proposals. Sumforest project title is “Tackling the challenges in sustainable and multifunctional forestry through enhanced research coordination for policy decisions”. One of its goals is to develop cooperation between EU countries with Russia and EaP countries: Azerbaijan, Armenia, Belarus, Georgia, Moldova, and Ukraine. Such cooperation should be based on understanding of the current status of forest research in these countries.

This paper aims to present summarized information on research capacities in the area of sustainable forest management in Russia and EaP countries based on mapping the capacities of organizations, carrying out forest research and analyzing the results of this mapping as well as to characterize identified common research priorities between EU and mentioned countries in this field.

Methodology of mapping survey and identifying research priorities. Described work aimed to collect qualitative and quantitative data on existing research capacities and the volume of finances allocated to forest research in Russia and EaP countries. It was based on the questionnaires distributed among the related to forest research organizations. The format of questionnaires was designed similarly to those utilized in ERA-NET FORESTERRA¹ project as well as earlier in similar initiatives to ensure continuity and comparability of obtained results.

Questionnaires on research capacities

Two types of questionnaires were developed in order to obtain two major types of information:

Type 1. Information on research capacities of organizations. This questionnaire included questions related to information on type of organization, on forest research related budget (including

¹The FORESTERRA International Project is part of the Era-NET initiative, aiming at reinforcing the scientific coordination and integration of Mediterranean forest research programmes as well as scientific cooperation with Mediterranean-area countries and with countries from other Mediterranean Climate Areas (MCA). Source: <http://www.foresterra.eu/>.

grants), main scientific activities and projects, permanent and non-permanent staff, ISI papers and the highest IF journals, dedicated experimental infrastructures and research facilities, the main forest research lines as well as research lines foreseen as most promising in the future.

Type 2. Information on forest research funding, including on organizations and public bodies that finance forestry research projects. This questionnaire included questions related to information on type of organization, share of financing from different sources, annual budget dedicated to the forest research, main objectives in forest research, involvement into international research network, responsibility in setting priorities for the forest strategic research agenda with specification on particular forest programmes, priority research fields and main research lines as well as research lines foreseen as most promising in the future.

Before sending questionnaires to organizations for filling in, its format and content was discussed with representatives of academic and applied research, mostly with the purpose to adapt them taking into account specific country conditions, if any.

Both types of questionnaires were sent to each organization and public body in accordance with the specially developed mailing list based on created contact database. The initial contact database was modified and updated along the process of information collection. Along with questionnaires, materials comprised general instructions and guidelines on the process of filling in the questionnaires and their submission was also sent.

It is important to note that respondents had a freedom to choose which information they provide, thus, in some cases, information provided was incomplete. So, while analyzing the information, missing one was not included.

The contact database was generated that contained information about the organizations and public bodies in seven countries carrying out or funding forest research. Taking into account quite large number of such organizations and diverse picture with regard to their administrative belonging, subordination and funding mechanisms, the organizations were divided into such groups as: academic science, applied research, higher education, business organizations, governmental funds, and ministries.

A total number of 109 questionnaires were sent to organizations and public bodies in seven countries: 86 to Russia and 23 to the EaP countries (Azerbaijan, Armenia, Belarus, Georgia, Moldova, and Ukraine). A total of 62 organizations, including 46 from Russia and 16 from the EaP countries, have responded directly through questionnaires or formal letters where information on their involvement in forest research or research funding was indicated. Information on other 39 organizations has been collected additionally through alternative channels.

Identifying research priorities and needs

Methodology of work on identifying research priorities in the area of sustainable forest management was based on the analyzing and summarizing the outcomes of two types of activities. The first one is mapping the capacities of organizations, carrying out forest research in Russia and EaP countries. The second one is the outcomes of two international workshops organized by the Sumforest project: “Sustainable Forest Management – Research Capacities and Priorities” held on 19 November 2014 in Kazan, Russian Federation, and international workshop “Sustainable forest management: joint research priorities for EU, Russia and Eastern Partnership (EaP) countries” held on 27 May 2015 in Minsk, Republic of Belarus.

Results and discussion

Research capacities

Detailed general analysis of the results of mapping research capacities as well as brief country summary reports presented in earlier publication (Kulikova, Zagozina, 2014). The Table 1 summarizes information of the mapping of forest research capacities with regard to the most important indicators.

Table 1

Russia and EaP countries summary data on forest research capacities

Indicators	Sumforest* European countries	FORESTERRA** countries	RU and EaP countries
Scientific Structures (organizations and public bodies), amount	95	63	101
Permanent Staff (Res. + Tech.+ Admin.)	2669	4037	3559
ISI Papers per year	n/a	1104	247
Overall Budget per year (M€)	262,5	260,5	29,03

* Sumforest project European countries: Austria, Finland, France, Germany, Greece, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Macedonia, Norway, Poland, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland.

**FORESTERRA project countries: Algeria, Bulgaria, Croatia, France, Greece, Israel, Italy, Morocco, Portugal, Slovenia, Spain, Tunisia, Turkey.

Research priorities

In the distributed questionnaires, two of the questions were related to the research priorities: they referred to the **current** ones as well as to research priorities for the **future**.

Current directions of research work (so-called “research lines”) in organizations of the *EaP countries* are presented in Fig. 1. Top 10 research topics for these countries are: silviculture, biodiversity of forest ecosystems, sustainable forest management, forest protection from pests and diseases, forest planting, nurseries, breeding and seed production, forest ecology forest conservation, urban forestry, dendroecology, non-wood forest products.

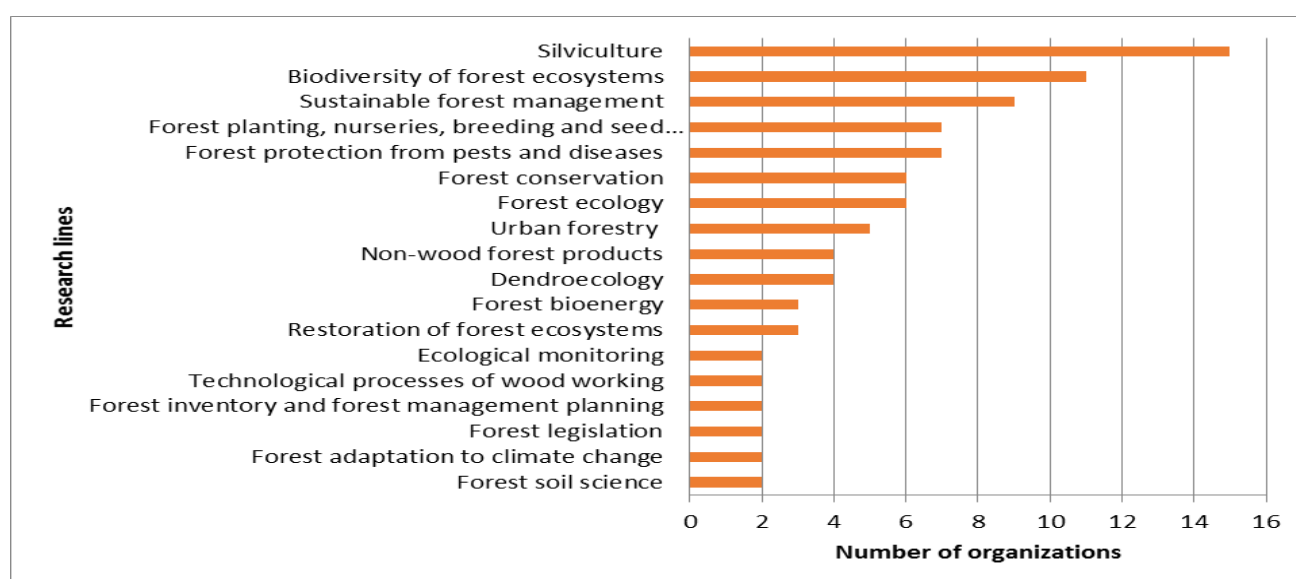


Fig. 1. Current top research lines by organizations in the EaP countries

In Russia, research lines, which are currently under development by different forest scientific institutes, i.e. academic science, applied science, and higher education, were analysed too. Summarised data on current directions of research work in Russian research organizations are presented in Fig. 2. The topics which were indicated currently as topics of highest priority, i.e. the most addressed in the current research, are silviculture, forest taxation (inventory), forest genetics, sustainable forest management, forest planting, nurseries, breeding and seed production, biodiversity of forest ecosystems, ecological/environmental monitoring, non-timber forest resources/products, forest ecology, regeneration of forest ecosystems, forest soil science, forest biotechnology, forest pyrology/fire protection.

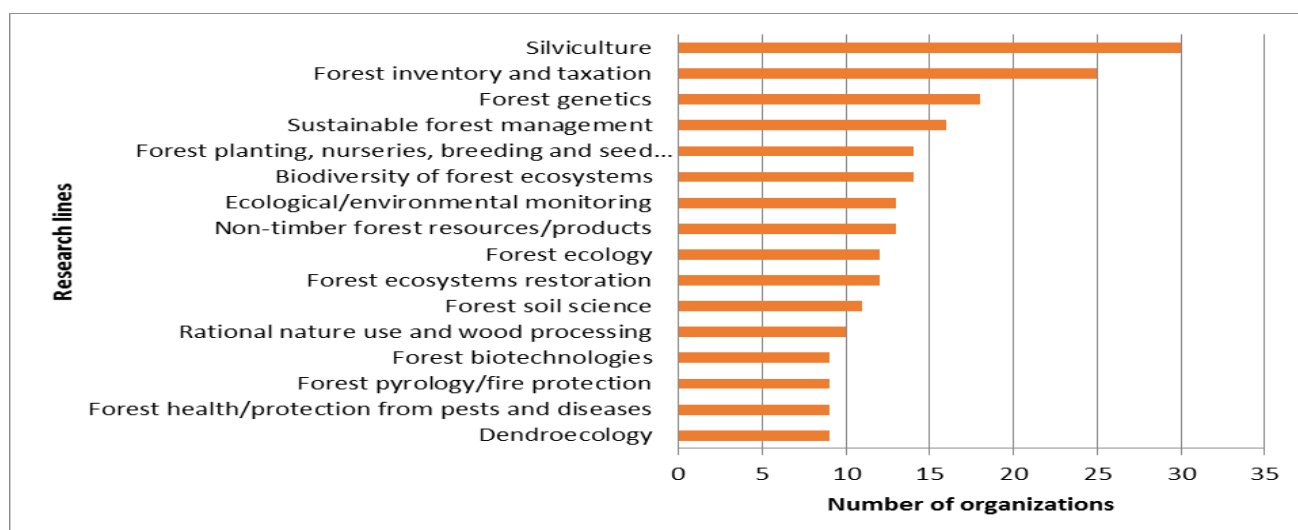


Fig. 2. Current top research lines by organizations in Russia

Summarised picture of the most common research lines of current work for *Russia and EaP* is presented in Fig. 3. Top 10 directions are silviculture, forest inventory and taxation, sustainable forest management, biodiversity of forest ecosystems, forest planting, nurseries, breeding and seed production, forest ecology, forest genetics, non-wood forest products, forest protection from pests and diseases, restoration of forest ecosystems, ecological/environmental monitoring.

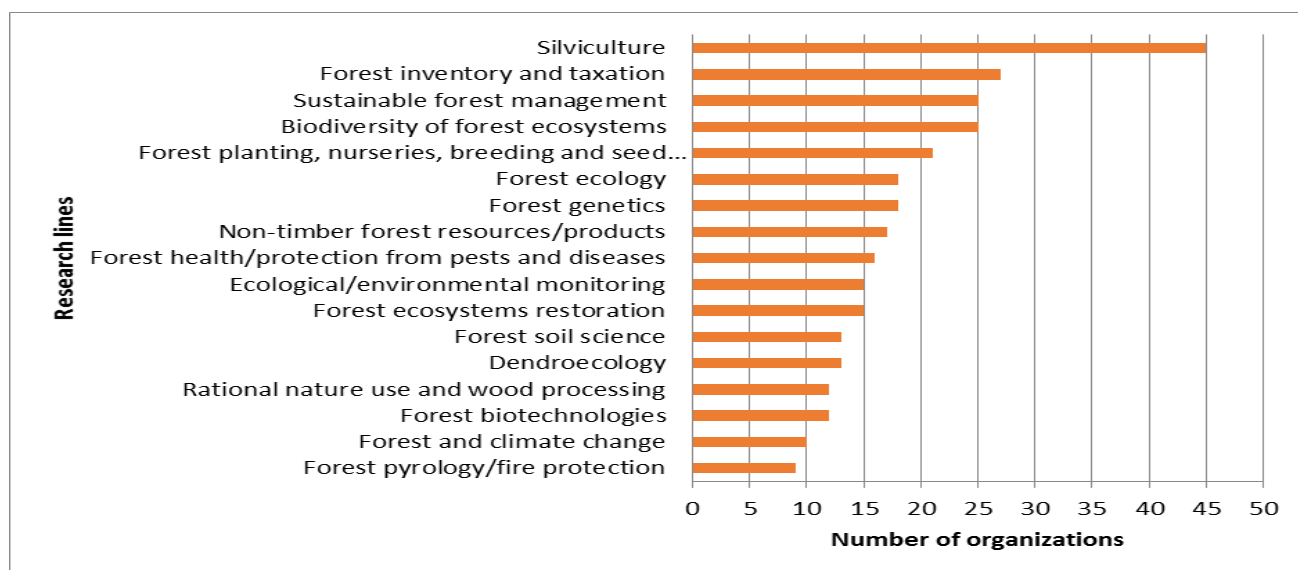


Fig. 3. Summarized current top research lines by organizations in Russia and the EaP countries

Research priorities planned for *future activities*, declared by organizations in Russia and EaP countries, are presented in Fig. 4. Top 10 priorities for future research activities are identified as following: forest adaptation to climate changes, forest inventory and forest management and planning, silviculture, forest bioenergy, forest planting, nurseries, breeding and seed production, sustainable forest management, urban forestry, restoration of forest ecosystems, non-wood forest products, biodiversity of forest ecosystems. It is interesting that they combine topics of current/traditional work with new emerging issues, like forest adaptation to climate changes; related to bioeconomy topics of forest bioenergy and non-timber forest products; urban forestry, etc.

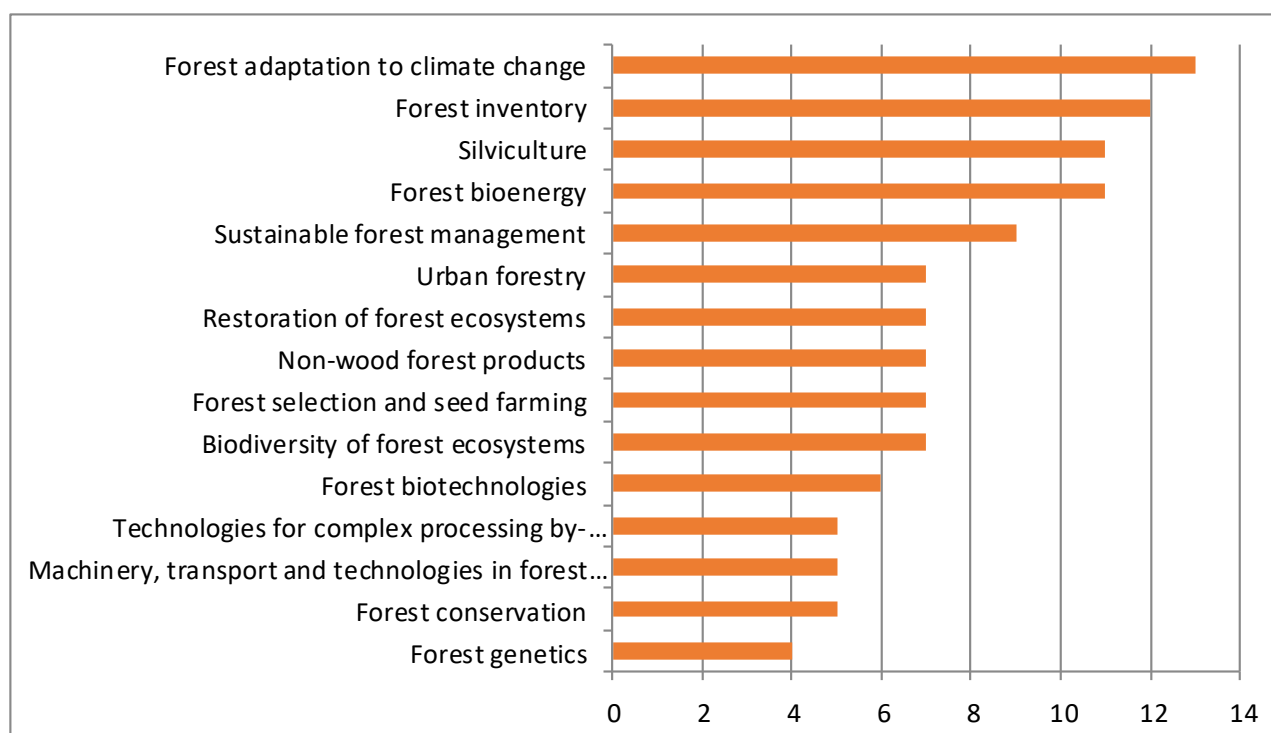


Fig. 4. Priority research lines for future research activities for Russia and EaP countries

Discussion around identified by mapping research priorities has been further developed during organized in the frame of Sumforest workshops with interested parties. A summary of discussion on common Russia-EaP research priorities at national level based on countries' presentations is illustrated by Fig. 5. The identified 10 top common priority topics at national level are: forest and climate change; forest policy, legislation and law enforcement; forest resources assessment and monitoring; integrated system of forest protection (pests, diseases, fires, other natural and anthropogenic factors, etc.); forest education and research: capacity building; forest biodiversity; forest and bioeconomy: resources and services; SFM in practice; urban forestry; modelling and scenario analysis.

In the scope of the intensive discussions during two Sumforest workshops, top *EU-RU-EaP common priority topics for international cooperation* were also identified. They are: assessment of forest resources, forests and climate change, forest biodiversity, forest disturbances and risks, wood based bioeconomy and cross-disciplinarity, new technologies: transparency and reliability of data, GIS, Internet. Specific aspects of considerations around those topics are reflected below.

Assessment of forest resources. Accurate and updated data on forest resources is the essential basis for any type of forest activities, including forest management and research; it is the only reliable approach to be used. Assessment of forest resources should be based on different methods and modern technique as well as include forest monitoring in general. But current systems of forest monitoring should be transformed taking into account climate change issues (Tikina, Kurbanov, 2012; Loboda et al., 2017).

Forests and climate change. It is a relatively new area for Russia-EaP research. European research is much more developed in this area, so there is a need to ensure transfer knowledge from country to country, especially with regard to forecast models and exchange by forecast models.

Forest biodiversity. It is also relatively new area for Russia-EaP research, especially with regard to its scale, as it considers biodiversity at different levels: genetic, species, ecosystems. Special attention should be paid to biodiversity as an ecosystem service. European experience is needed here. As well as in the area of biodiversity conservation taking into account ecosystem approaches:

ed in all aspects of their economic and social life, including those related to the forest research sector. These processes are characterized by a number of negative changes: a series of scientific institutions were abolished, the total number of research staff was reduced, currently research staff is aging and inflow of young generation of scientists is insufficient. Many research organizations almost completely lost experience of participation in international research projects. They are lacking experience in proposal writing and applying, building and participating in consortia, implementing international projects e.g. taking over substantial activities and technical and financial reporting. The same situation is typical for producing and publishing scientific articles, especially those for international journals. Forest related research is characterized by fragmentation, broken links, dissociation, lack of resources, lack of support in research infrastructure maintenance, staff aging and lack of young researchers. All these facts create clear understanding of the urgent need to stimulate and enhance the international cooperation in these areas and provide targeted support and coordination efforts for Russia and the EaP countries.

Russia-EaP joint research needs were formulated as following:

- need to take into account *recent Russia-EaP historical background and difficulties countries are currently still facing*. Forest related research is characterized by fragmentation, broken links, dissociation, lack of resources, lack of support in research infrastructure maintenance, aging and lack of young researchers;
- urgent need to *stimulate and enhance the international cooperation* and provide targeted support and coordination efforts for EaP countries;
- need to undertake a set of measures *in the area of forest research management and networking* between EU, Russia and EaP countries. They include: integration, clustering, ensuring inter-disciplinarity; creating centres of excellence and creating opportunities for testing ideas, better utilisation of already existing programmes; developing roadmaps; supporting experimental facilities for forest monitoring;
- need to ensure and increase efforts in capacity building in forest research with the focus on young generation (education, integration, exchange programmes).

Conclusions. Thus, as a result of conducted research, we've got information on research capacities, priorities and needs in the area of sustainable forest management in Russia and EaP countries as well as joint priorities with European countries.

These outcomes can be used as a background for further work targeted at EU and Russia/EaP countries for providing strategic guidance for future cooperation/coordination activities and for developing and strengthening research and education in the area of sustainable forest management. Coordinated efforts are needed to create long-term programmes with stable financial basis to support research cooperation between EU, Russia and EaP countries.

References

1. Annual report on state of forests and forest utilization in the Russian Federation, 2012 [Electronic resource]. – Russian Federal Forestry Agency, 2013 (in Russian). – URL: <http://www.rosleshoz.gov.ru/docs/other/79>.
2. The Russian Federation Forest Sector, Outlook Study to 2030 [Electronic resource]. – FAO UN, 2012. – URL: <http://www.fao.org/forestry/outlook/79738/en/>.
3. Basics of the government's policy in the area of the use, protection and reproduction of forests in the Russian Federation for the period up to 2030 [Electronic resource]. – 2013 (in Russian). – URL: <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID=131500>.
4. Forecast for Scientific and Technological Development of the Russian Federation until 2030 [Electronic resource]. – Ministry of Education and Science of the Russian Federation, 2014 (in Russian). – URL: <http://government.ru/news/9800/>.
5. FORESTERRA International Project "Enhancing FOREst RESEARCH in the MediTERRanean through improved coordination and integration" [Electronic resource]. – Mediterranean forestry research framework database, 2013. – URL: http://www.foresterra.eu/tablas/investigacion_sumario.php.

6. Svensson, J. Priorities for transnational research needs and requirements for sharing research capacities / J. Svensson, K. Perhans // Sumforest. – 2015. – 41 p.
7. Kulikova, E. Report on existing research capacities in the Russia and Eastern Partnership (EaP) countries: Summary of existing research capacities, infrastructure and programmes / E. Kulikova, M. Zagozina // Sumforest. – 2014. – 41 p.
8. Kulikova, E. Report on EU-Russian-Eastern partnership common research priorities: synthesis of common research needs / E. Kulikova // Sumforest. – 2016. – 25 p.
9. Kurbanov, E. Tempus project strengthens Inter-cultural dialog among European and Russian Foresters / E. Kurbanov, C. Konijnendijk // EFI news. – 2007. – № 3. – P. 18-17.
10. Kurbanov, E. Future forestry and research activities of Russian Universities discussed in Yoshkar-Ola / E. Kurbanov, S. Lezhnin // EFI news. – 2010. – P. 9.
11. Hetemäki, L. Sumforest Foresight Panel and Foresight Workshop Results on “Emerging Issues in European Forest-Based Sector and Research Priorities” / L. Hetemäki, N. Lovrić // Sumforest. – 2015. – 69 p.
12. Loboda, T. Land Management and the Impact of the 2010 Extreme Drought Event on the Agricultural and Ecological Systems of European Russia/ T. Loboda, O. Krankina, I. Savin, E. Kurbanov, H. Joanne // Land-Cover and Land-Use Changes in Eastern Europe after the Collapse of the Soviet Union in 1991: eds. G. Gutman, R. Volker. – Springer International Publishing. – 2017. – P. 173-192.
13. The Russian Federation Forest Sector, Outlook Study to 2030 [Electronic resource]. – FAO UN, 2012. – URL: <http://www.fao.org/forestry/outlook/79738/en/>.
14. Tikina A.V. Extreme weather events and long-term forestry obligations: is reliance on forest certification possible? [Electronic resource] / A.V. Tikina, E.A. Kurbanov // Impacts of extreme weather on natural, socio-economic and land-use systems: focus on the 2010 summer anomaly in the Volga region: Proceedings of the NASA Science Meeting, GOF-C-GOLD and NEESPI Workshop and Regional Conference. – Yoshkar-Ola: Volga Tech, 2012. – P. 145-148.

NARYN RIVER FLOODPLAIN FOREST ECOSYSTEM: STATUS AND CHANGES

N. Degembaeva¹, E. Baibagyshov¹, B. Aiyrov¹, A. Chymyrov², N. Ismailov²,
F. Betz³, B. Cyffka³, U. Halik⁴

¹Naryn State University named after S.Naamatov;

²Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture named after N. Isanov;

³Catholic University Eichstaett-Ingolstadt, Germany;

⁴Xinjiang University, China.

The paper describes the study undertaken on the rational use of natural resources and gaining benefits in the form of floodplain forest products. The Naryn River floodplain is heavily used by the nearby communities, and it carries out multi-functional services as pasture land, forest, habitat of plant and animal species as well recreational and aesthetic landscape. The paper sheds light on the environmental evaluation of ecosystem services, based on the Naryn River floodplain forests in Kyrgyzstan.

Ecosystem services on climate regulation, carbon dioxide and river flow as well as the impact of floodplain forests in soil-forming processes and prevention of floods are considered and analysed. Local communities in Emgek-Talaa and Ak-Tal villages of the Naryn region, located next to the river, are selected for investigations of the floodplain ecosystem conditions and services. The study is carried out in the framework of research project EcoCAR (www.ecocar-centralasia.com) in close cooperation with Kyrgyz, German and Chinese scientific partners. Research datasets on the floodplain hydrology, soils, vegetation and socioeconomic development of the local communities are collected and analyzed. Main stakeholder groups actively participated in survey studies on ecosystem service demand, benefits and dissemination activities. Various remote sensing product and filed investigations have been used for detecting land use changes and mapping floodplain forest areas. The study results are provided to local authorities and communities to promote the integrated assessment and rational management of natural resources. Recommendations on sustainable floodplain forest management have been developed for assuring the nature conservation and protection by taking into account their recreational use.

Keywords: ecosystem services, ecosystem goods, environmental evaluation, ecological function, floodplain forests.

Introduction. An increasing number of extreme weather conditions, ongoing changes in the precipitation seasons, severe droughts, glacier melting, and flooding affect are the physical state of natural resources. The use of ecological resources and the satisfaction of the needs of inhabitants lead to the significant environmental changes (Imanberdieva, 2012). People are dependent on the current conditions of the ecosystem while they use ecosystem services, which require regular economic and environmental evaluation of the ecosystem (Kasimov and Kasimov, 2015). The use of the ecosystem service approach for the activities of the local community is important to raise their awareness for the conservation of biological diversity and the sustainable use of natural resources (Jax et al., 2013; Loboda et al., 2017). Ecosystem services require careful decisions on the ecological, economic and social conditions related to the well-being of future generations. Such concepts incorporate a combination of the natural and social sciences (Ehrlich and Ehrlich, 1981). At the same time, social sciences are aimed at improving people's knowledge on the effective use of natural resources that provide ecosystem services and communities can get economic benefits from ecological systems (Daily et al., 2009; Norgaard 2010; Braat and Groot, 2012; Loboda et al., 2012). A number of studies (Balmford et al., 2002; Daily and Ellison, 2002; Heal et al., 2005; Barbier et al., 2009; Pascual et al., 2010) are devoted to ecosystem service assessment in monetary terms and such valuation needs to elaborate conservation measures. In order to achieve the well-being of the mankind, it is necessary to develop approaches to sustainable management of natural resources. Economic activities should focus on reversing ecosystem degradation on the level when nature is able to be adapted to changes and results of measures oriented to avoid the damage of ecosystem components (TEEB, 2010; Tikina, Kurbanov, 2012).

Fundamental values play an important role in how ecosystems are perceived and what is considered as ecosystem service. Consequently, normative aspects are important both in the conceptualization of ecosystem services and in their measurement and evaluation (Luck et al. 2012). Spangenberg et al. (2012) note that the understanding of the cultural value system is a necessary condition for conscious influence on the processes of social decision-making. In the latter requires the participation of stakeholders, indicating which issue to decide and the choice of method in the field of sustainable development of science, the joint formulation of the problem between researchers and participants.

The main goal of this study is to analyze the state of the physical characteristics of the riparian forest ecosystem and ecosystem services as well as their temporal and spatial distribution. The presence and types of institutions - economic, political, and social objects of floodplain areas under study were taken into account when conceptual model was developed. Four different scenarios are considered as degraded, dry, more degraded and desertification conditions during investigations of the physical characteristics of the study objects.

Materials and methods

Study area

The study area in the Naryn floodplain area consists of two sites near the settlements Ak-Tal and Emgek-Talaa in Naryn province of Kyrgyzstan (Fig. 1). It is located at a distance of 350 km from the national capital and at an altitude of 1,780 m. The Naryn River has mainly snow and glacier fed. Its hydrological cycle is divided into spring-summer and autumn-winter period. The speed of the river flow depends on the slope, in the upper reaches they differ by a high speed within the limits of 1.5-3 m/sec. Groundwater in the river valleys is relatively high and the degree of the soil drainage is also quite high.

The investigated floodplain has a clear structure with several levels of elevation. Climate of the study area is dry and continental with pronounced vertical zones, also marked by a variety of microclimatic conditions, depending on the altitude above sea level. The coldest month is January with

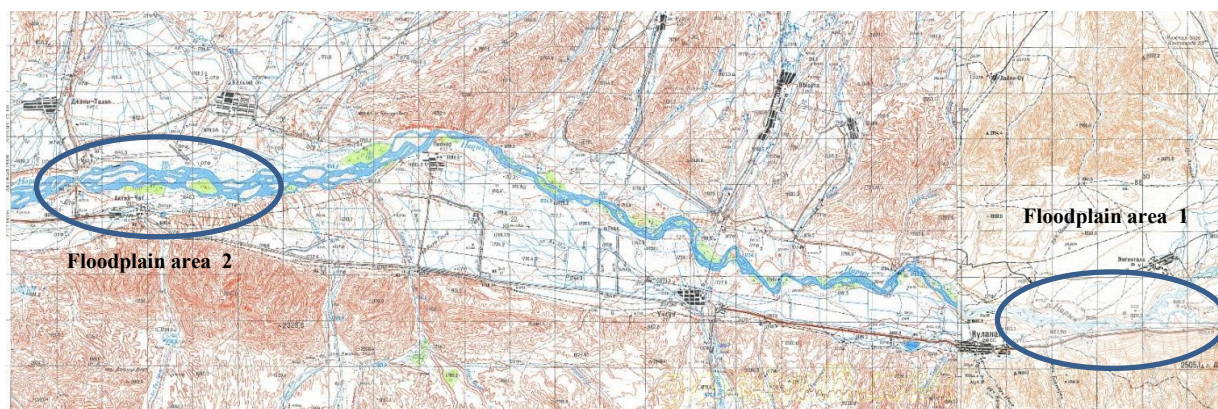


Fig. 1. The map of research area

the average temperature of -17°C and an absolute minimum air temperature of -38°C . The absolute maximum temperature of the hot period is 35°C and it corresponds to July. One of the climatic features of the study area is the inadequate supply of precipitation. The average annual precipitation is 300 mm and rainfall period is from April to September. The duration of the snow cover is five months from November to March. Freezing of rivers occurs in December and in the early January break-up is observed in March. The earliest frosts are observed in autumn in the first ten days of September and the latest in spring and summer in the first ten days of May (Naryn meteorological station).

Data Acquisition and Analysis

In the environmental assessment of floodplains for ecosystem services and goods, descriptive and analytical methods have been used. The state of the physical characteristics of the ecosystem and the ecosystem services of floodplain sections of the Naryn River were studied by a non-monetary assessment method. A model that includes scenarios for four ecological states has been developed. The mapping of ecosystem services at the local and regional level has been carried out using the ArcGIS 10 and Landsat images. For this study we used multi-temporal Landsat data from 2015 to 2016. One Landsat scene was enough to cover the study area. We selected images from the summer season (July and August) with a sufficiently small cloud cover.

We used digital elevation model (DEM) for estimation of the forest resources and displaying spatial data. The DEM analysis includes watershed delineation to extract the length of the stream with elevation distribution in the catchment of river and ecological zoning of floodplain sites. Fig. 2 presents the territorial distribution of the types of ecosystem services providing the river in question.

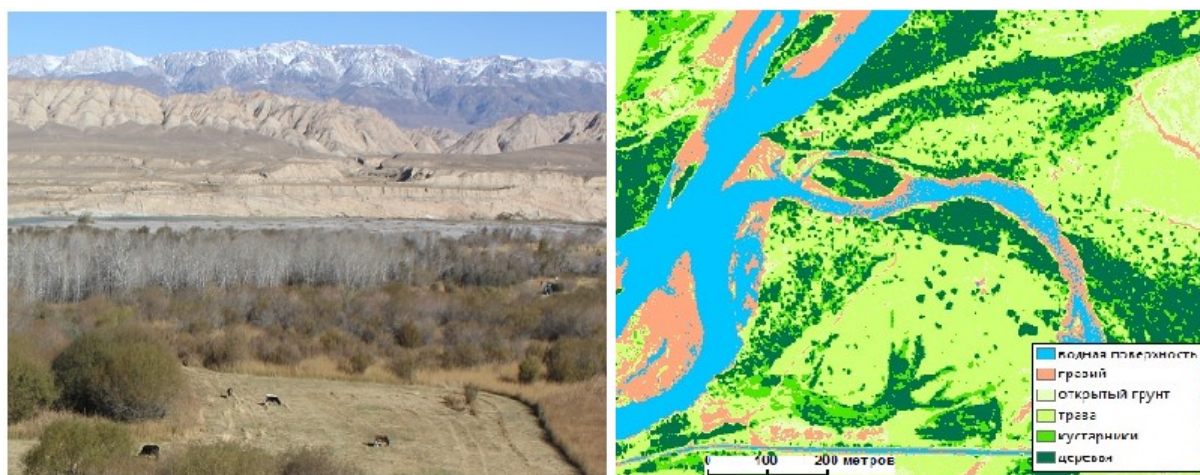


Figure 2. Ecosystem services of forests and their location along the river Naryn: A) Grazing and haymaking in the forest; B) Distribution of ecosystem services across the study area

Typical stakeholder groups are local residents, service providers and beneficiaries, political and administrative decision-makers and teachers. Stakeholder accounting was determined by the selection of participants and the method based on local recommendations and allocation to groups. Information about the ecosystem service demand and benefits of local people obtained from preliminary survey of residents. Also semi-structured interviews have been carried out with representatives from the local village administration, pasture committees and forestry.

Results

For describing the interaction between ecological processes and ecosystem components and their services, we conducted studies in the Ak-Tal and Emgek-Talaa villages.

In the state of floodplain forests, on the growth and development of plantations and the course of natural renewal, such climatic factors have negative influence such as insufficient precipitation, absolute minimum of temperatures, late spring and early frosts, hail and others. A significant variety of soil-vegetation cover of the study area is due to the diversity of the relief and the presence of high-altitude belts. The main types of soils are chestnut soils, confined to the aligned watersheds, the lower parts of the gentle slopes of the south-eastern and south-western borders of the forest belt. Vegetation on dark chestnut soils is represented by meadow-steppe soils, and on light-chestnut soils - dry steppe formations.

The development of erosion processes in addition to climatic and hydrological conditions is also facilitated not only by intensive grazing of livestock, but also by cutting down forest in floodplain areas. The river banks of southern exposures with a small vegetation cover are more likely to cause erosion. The load of cattle per hectare is not maintained, which leads to the destruction of the soil cover. As a source of genetic resources, the function of the floodplain forest is huge and it contains a variety of plants (Naiman et al., 2005). Species composition of the floodplain forests is represented by tree species like poplar (*Populus nigra*), willow (*Salix spp.*), and shrubs as honeysuckle (*Lonicera spp.*), sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*), Cotoneaster (*Cotoneaster spp.*), Spiraea (*Spiraea spp.*), Tamarisk (*Tamarix spp.*), Rosa (*R-osa cinnamomea*) and Oleaster (*Elaeagnus angustifolia*).

Settlements near forest have a direct anthropogenic impact on the condition of floodplain forests and wetland. The population mainly focused on the introduction of two ecosystem services such as agricultural crops and livestock due to the expansion of areas allocated for grazing in floodplain areas.

The supporting ecosystem service includes food products grown in kitchen gardens and land allotments, water and wood (Chan et al., 2012). For irrigation, residents use higher irrigation rates because of the users in arable land. The river serves as a source of irrigation water supply and for electricity generation (table 1).

Table 1

Ecosystems in the floodplain areas of the Naryn River

Ecosystem	Vegetation	Spatial distribution	Ecosystem goods
Floodplain	Wetlands and forests on the riverbank	1770 m	Firewood, sea buckthorn berries (<i>Hippophae rhamnoides</i>), hayfield, pastures, gravel for
River		The middle part of the	Water for irrigation and power generation

Fig. 3 shows the needs in ecosystem services of the villages inhabitants in the investigated area. The results were obtained through the questioning of resource users.

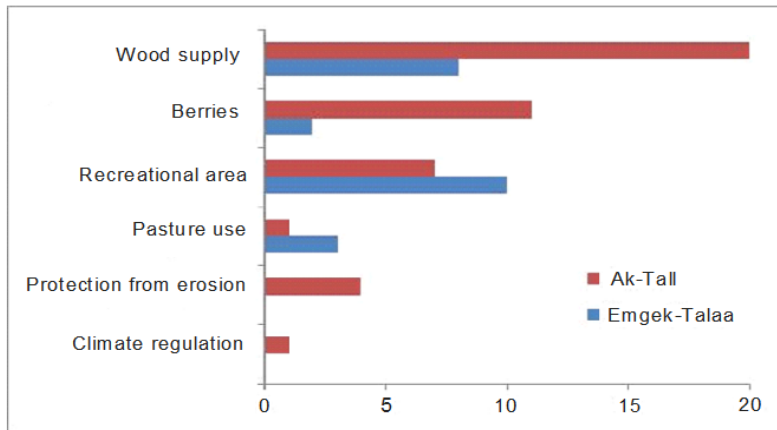


Fig. 3. Needs for ecosystem services of rural residents

The biotic and abiotic factors of riparian area along the Naryn River are shown in Table 2.

Table 2

Biotic and abiotic factors of floodplain forests

Environmental factors	Ecosystem services	
	Floodplain forest	River
Biotic	Woody, Shrubby and Herbaceous Plants Wild animals and birds Microorganisms	Fish
Abiotic	Oxygen Carbon Nitrogen Phosphorus sunlight Soil	Water Oxygen Soil

Table 3 shows local peoples' benefit from floodplain forest providing ecological regulation processes such as climate regulation, flood buffering and prevention of soil erosion. Furthermore, people benefits in terms of a cultural heritage as cognitive for the young generation.

Table 3

Ecological assessment of ecosystem services providing floodplain areas of the Naryn River

Ecosystem / ecosystem services	Supporting		Cultural
	Providing	Regulating	
Floodplain forest	-Conversion of nutrients in natural ecosystems - Habitat and reproduction of flora and fauna -Water supply: filtration, water retention and storage -Plot storage: in plant cover and root systems -Soil formation: in the functioning of natural ecosystems -Prevention of soil erosion	-The main ecological processes for ensuring the vital activity of the biosphere -Regulation of the microclimate -Cleaning functions of air, soil and water -Surface water level maintenance - Prevention of fluctuations in channel flow -Muscle effect of floods and droughts	-Recreation and cultural activities of residents, guests and tourists -Human health and recreational benefits -Aesthetic pleasure -Spiritual enrichment and contemplation -Performance for young generations
River	-Irrigation water -Generation of electricity	-Regulation of the microclimate	- Aesthetic pleasure and amateur fishing

There are no agricultural enterprises and industrial enterprises at the study site. Part of the floodplain areas belongs to the Forestry within the territory of the government forest fund. There is a change in the structure of the forest landscape due to a violation of the natural process of self-development and regulation of biological processes. The reason is the overgrazing of cattle, which eats together with grass vegetation adolescents and arboreal trees.

Table 4

Ecosystem goods provided by types of land use from Naryn river ecosystems

Ecosystem goods	Types of land use	Affiliation of the area
Water for irrigation of cereals, fruit and vegetable crops. Cereals: wheat, barley. Fruits: apples, raspberries, black and red currants. Vegetables: potatoes, tomatoes, onions, spicy herbs	Cottages, land plots	Locality
Sawn timber, firewood	Floodplain forest	Village District, Forestry
Berries of sea-buckthorn, etc.	Floodplain forest	Village District, Forestry
Vegetable herbs	Floodplain forest	Village District, Forestry
Hayfield - Natural grass	Floodplain forest	Village District, Forestry
Wild animals	Wetlands	Village District, Forestry
Fish	River	Village District
Natural beauty of nature	Wetlands	Village District, Forestry, Residents

Table 5

Assessment of the contribution to activities and ecosystem goods to human settlements

Ecosystem goods	Contribution to life	Degree of importance for residents of the locality
Firewood	For cooking food	High
Saw-timbers	For the construction of houses and	Middle
Water for irrigation	For life and livelihood	High
Berries of sea-buckthorn, etc.	Additional income	Middle
Wetlands	For grazing livestock and domestic	Middle
Hayfield	For keeping pets and livestock	Middle
Wild animals	The role of hunting is not defined	Low
Fish	Additional income	Low
Natural forest nature	Recreation	Middle

The development of a conceptual model for ecosystem services in the floodplain areas of the Naryn River is based on two states of ecosystem elements. In the projection axis, the present and poor state of the floodplain forest is selected, in the second axis, by the water content of the considered river (fig. 4). As described above, four scenarios were taken into account: degraded, dry, more degraded and desertification.

The conceptual model of the current state has identified such threats as the disappearance of biodiversity in the floodplain forest and desertification, change and wandering, flooding, increased transport of suspended sediments and a decrease in water quality (table 6). The aim of this model is projecting the floodplain forest's future condition for analyzing the impacts and risks. The results need to be taken into account for sustainable use of natural resources. Outputs of this projection are

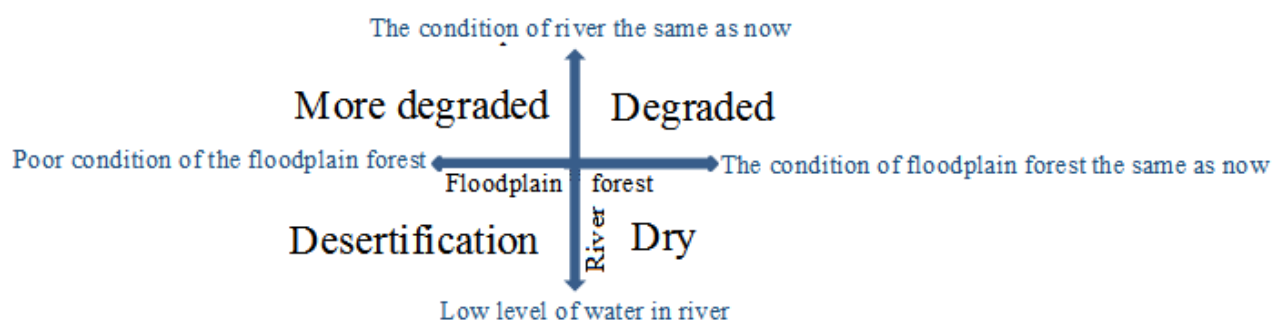


Fig. 4. Projection axis for determining the state of ecosystems

accompanied with a range of uncertainties in the predictions for future (Hawkins and Sutton, 2009). The trend of global warming, causing climate change, glacier retention and flood (Aizen et al., 1995; Hagg et al., 2013), land use (Fiquepron et al., 2013) affect the further state of floodplain forests.

Table 6

Ecosystem services	Scenarios of the state of the floodplain forest			
	Degraded state	More degraded state	Dry and dry condition	Empty state
Floodplain forest	-Biodiversity reduction -Soil erosion -Unstable river banks	-Reducing biodiversity -Soil erosion -Unstable river banks	- Drying of wood species -Soil erosion - Disappearance of herbaceous plants -Destination -Audimentation of soil -Reduction of	-Disappearance of biodiversity -Soil erosion - Lowering the water table -Increase in the desert area -Soil reduction
River	-washing the banks of rivers -channel change - Glacier retention -Increase in sediment transport -Flood	-washing the river banks -channel change -Logging of the channel - Glacier retention -Increase in sediment transport	- Water scarcity	- Water scarcity

Mapping of floodplain forests helps to plan and effectively manage the activities of the Forestry Department and local self-government, both to improve soil protection and water protection functions. Environmental zoning maps are essential for the sustainable management of natural resources and reflect ecosystem services, ecosystems and their components. These maps serve as the basis for forest management and planning for renewable activities for increasing biological diversity, also for analyzing the provision of ecosystem services and in how they affect the state of natural resources, climate change.

Discussion

The current state of ecological systems is assessed as unsatisfactory due to the fact of the degradation. The economic situation of the country also strongly influences on their condition; though the food production is the leading branch of agriculture, their processing is carried out in other countries. Therefore, the efforts and labor of farmers are estimated minimally. In this situation the introduction of ecosystem services is a difficult task. Further we will discuss how we are going to make

significant institutional changes in order to significantly reduce human pressures on the ecosystems of floodplain forests. We conducted investigations on such issues as: what ecosystems are there and the changes that occur in them? What caused these changes? How do these changes affect human well-being, and what will be the consequences for human well-being? What options exist to improve the conservation of ecosystems and their services for human well-being?

Residents have significantly changed regulatory services such as regulating the local climate by changing the forest area, as well as intensive grazing of domestic animals in floodplain areas exceeding the resilience of ecosystems for the future provision of services. According to the interviews conducted by the local residents it was revealed that they are interested in using forest resources of coastal forests both in the form of pastures and recreational purposes as well. Local people using natural resources benefit in animal husbandry, in the extraction of building wood material and in heating houses, as well as from sea buckthorn products. The price for these resources is relatively cheap compared to market prices, therefore anthropogenic pressure is intensive.

The assessment of the status of each scenario in table 6 shows the current status and prediction of the future state of the ecosystem. The results indicate changes in ecosystem services and a comparison of the different states of each scenario. The development of activities for the restoration of ecosystems requires understanding of local residents not only in their use but also the impact of human health, safety, and cultural services. Floodplain forests and rivers play an important role for the community in obtaining agricultural products and goods from ecosystem services (table 3). The impact of the predicted climate change depends on factors such as tree species composition, forest structure, forest management and productivity (Kurbanov et al., 2007; Kurbanov et al., 2017). The protective role of floodplain forests from floods remains outside the scope of the review in the management of forestry. Access to grazing is authorized by the pasture committee from October to April. In forest floodplain areas cattle destroy adolescents and disrupt the hydrological cycle. In order to reduce the negative impact and to restore, protect and conserve the ecosystem residents must compensate or pay for the use of ecosystem services.

Conclusion

The assessment of ecosystem services in the floodplain forests of the Naryn River makes it possible to develop recommendations for further conservation and rational use. Based on the information received the assessment process identifies the benefits that the local people obtain from products and services from the ecosystem of floodplain forests.

The more the population increase in the society the more their needs grow. Therefore, the conservation and maintenance of the future functions of the ecosystem is getting difficult. In order to conserve natural resources in their management it is necessary to revise their history, the experience of previous generations and their traditional method of farming. The traditional way can be integrated with our conditions and approaches. Our ancestors studying natural phenomena and understanding their cause could predict what awaits them. Therefore, we need to reconsider our attitude, to what extent and how we use it, take care of future conditions. Given the actual boundaries and preferences for sustainability, society must go in understanding of the conservation of forest belts along the river. This is important not only by the steady strengthening of the river bank but also for spiritual and aesthetic recreation. It is necessary to integrate agreed methods of sustainable forest management in the Aiyl Okmot (Village District) and Forestry Department, and empower local communities in support of sustainable forest use initiatives. For the conservation of forests it is important to use solar collectors and increase the energy efficiency measures in residential buildings and to reduce the demand for energy in water supply.

The authors of the article express their gratitude to the Volkswagen Foundation for the support in carrying out the research within the framework of the research project EcoCAR “Ecosystem Assessment and Capacity Building for Sustainable Management of Floodplains along the Central Asian Rivers Tarim (China) and Naryn (Kyrgyzstan)”.

References

1. Aizen, V. Climate, snow cover, glaciers, and runoff in the Tien-Shan, Central Asia / V. Aizen, E. Aizen, J. Melack // *Water Resources Bulletin*. – 1995. – № 31. – P. 1113-1129.
2. Balmford, A. Economic reasons for conserving wild nature / A. Balmford, A. Bruner, P. Cooper, R. Costanza, S. Farber // *Science*. – 2002. – № 297. – P. 950-953.
3. Barbier, E. The valuation of ecosystem services. In: S. Naeem, D. Bunker, A. Hector, M. Loreau and C. Perrings (Eds) / E. Barbier, S. Baumgartner, K. Chopra, C. Costello, A. Duraipah // *Biodiversity, Ecosystem Functioning, and Human Wellbeing: An Ecological and Economic Perspective*. Oxford: Oxford University Press, 2009. – P. 248-262.
4. Braat, L. The ecosystem services agenda: bridging the worlds of natural science and economics, conservation and development, and public and private policy / L. Braat, R. Groot // *Ecosystem Services*. – 2012. – №1. – P. 4-15.
5. Chan, K. Rethinking ecosystem services to better address and navigate cultural values / K. Chan, T. Satterfield, J. Goldstein // *Ecological Economics*. – 2012a. – №74. – P. 8-18.
6. Climatic data of the meteorological station of the city of Naryn for 1971-2014.
7. Daily, G. Ecosystem services in decision making: time to deliver / G. Daily, S. Polasky, J. Goldstein, P. Kareiva, H. Mooney, L. Pejchar, T. Ricketts, J. Salzman, R. Shallenberger // *Ecol Environ*. – 2009. – №7(1). – P. 21-28. doi:10.1890/080025.
8. Daily, G. The New Economy of Nature / G. Daily, K. Ellison // *The Quest to Make Conservation Profitable*. Washington, DC: Island Press, 2002.
9. Ehrlich, P. Extinction: The Causes and Consequences of the Disappearance of Species / P. Ehrlich, A. Ehrlich // New York: Random House. – 1981.
10. Figuepron, J. Land use impact on water quality: Valuing forest services in terms of the water supply sector / J. Figuepron, S. Garcia, A. Stenger // *Journal of Environmental Management*. – 2013. – №126. – P. 113-121.
11. Hagg, W. Glacier changes in the Big Naryn basin, Central Tian Shan / W. Hagg, C. Mayer, A. Lambrecht, D. Kriegel, E. Azizov // *Global and Planetary Change*. – 2013. – №110. – P. 40-50.
12. Hawkins, E. The potential to narrow uncertainty in regional climate predictions / E. Hawkins, R. Sutton // *Bulletin of the American Meteorological Society*. – 2009. – № 90. – P. 1095-1107.
13. Heal, G. Valuing Ecosystems Services: Toward Better Environmental Decision-Making / G. Heal, E. Barbier, K. Boyle, A. Covich, S. Gloss, C. Hershner // Washington, DC: National Research Council, 2005.
14. Imanberdieva, N. Tugai forest in the floodplain of the At-Bashi River of the inner Tien-Shan of Kyrgyzstan / N. Imanberdieva // *Izvestiya of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. – 2012. – №1 (5). – Vol. 14. – P. 1249-1251.
15. Jax, K. Ecosystem services and ethics / K. Jax, D. Barton, K. Chan, R. Groot, U. Doyle, U. Eser, C. Görg, E. Gómez-Baggethun, Y. Griewald, W. Haber, R. Haines-Young, U. Heink, T. Jahn, H. Joosten, L. Kerschbaumer, H. Korn, G. Luck, B. Matzdorf, B. Muraca, C. Neßhöver, B. Norton, K. Ott, M. Potschin, F. Rauschmayer, C. Haaren, S. Wichmann // *Ecological Economics*. – 2013. – №93. – P. 260-268.
16. Kasimov, D. Some approaches to the assessment of ecosystem functions (services) of forest plantations in the practice of nature management: monograph / D. Kasimov, V. Kasimov // *The world of science*. – 2015. – 91 p.
17. Kurbanov, E. Assessment of burn severity in Middle Povolzhje with Landsat multi-temporal data / E. Kurbanov, O. Vorobyev, S. Leznin, Y. Polevshikova, and E. Demisheva // *International Journal of Wildland Fire*. – 2017. – Vol. 26. – №9. – P. 772-782.
18. Kurbanov, E. Carbon sequestration after pine afforestation on marginal lands in the Povolzhje region of Russia: A case study of the potential for a Joint Implementation activity / E. Kurbanov, O. Vorobyev, A. Gubayev, L. Moshkina, S. Leznin // *Scandinavian Journal of Forest Research*. – 2007. – № 22. – P. 488-499.
19. Loboda, T. Land Management and the Impacts of the 2010 Extreme Drought Event on the Agricultural and Ecological Systems of European Russia / T. Loboda, O. Krankina, I. Savin, E. Kurbanov, H. Joanne // *Land-Cover and Land-Use Changes in Eastern Europe after the Collapse of the Soviet Union in 1991*; eds. G. Gutman, R. Volker. – 2017.
20. Loboda, T. Understanding Origins and Impacts of Drought / T.V. Loboda, O.N. Krankina, E.A. Kurbanov // *Eos, Transactions American Geophysical Union*. – 2012. – Vol. 93(42). – P. 417.
21. Luck, G. Ethical considerations in on-ground applications of the ecosystem services / G. Luck, K. Chan, U. Eser, E. Gómez-Baggethun, B. Norton, M. Potschin // *Concept. BioScience*. – 2012. – № 62. – P. 1020-1029.
22. Naiman, R. Riparia: Ecology, conservation and management of streamside communities / R. J. Naiman, H. Decamps, M. E. McClain. – Amsterdam: Elsevier Academics, 2005.
23. Norgaard, R. Ecosystem services: From eye-opening metaphor to complexity blinder / R. Norgaard // *Ecological Economics*. – 2005. – №69. – P. 1219-1227.
24. Pascual, U. In: Kumar P (ed.) *The Economics of Valuing Ecosystem Services and Biodiversity* / U. Pascual, R. Muradian, L. Brander, E. Gomez-Baggethun, M. Martin-Lopez // *The Economics of Ecosystems and Biodiversity Ecological and Economic Foundations*. – London: Earthscan, 2010. – P. 183-256.

25. Spangenberg, O. Stakeholder involvement in ESS research and governance: Between conceptual ambition and practical experiences – risks, challenges and tested tools / O. Spangenberg, C. Görg, J. Settele // *Ecosystem Services* Available from: Joachim H Spangenberg. -2015. <http://www.researchgate.net/publication/283309733> Retrieved on: 01 November 2015.
26. The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB). The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations. London: Earthscan, 2010.
27. Tikina, A.V. Extreme weather events and long-term forestry obligations: is reliance on forest certification possible? [Electronic resource] / A.V. Tikina, E.A. Kurbanov // *Impacts of extreme weather on natural, socio-economic and land-use systems: focus on the 2010 summer anomaly in the Volga region: proceedings of the NASA Science Meeting, GOF-C-GOLD and NEESPI Workshop and Regional Conference*. – Yoshkar-Ola: VolgaTech, 2012. – P. 145-148.

УДК 630*587.6

ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОРЕХА (*JUGLANS MANDSHURICA* MAXIM.), ПРОИЗРАСТАЮЩЕГО В УСЛОВИЯХ ХВОЙНО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Д.В. Тишин, Н.А. Чижикова, М.Б. Фардеева
Казанский федеральный университет

Орех маньчжурский (Juglans mandshurica Maxim.) является успешно акклиматизировавшимся видом к условиям умеренно-континентального климата Среднего Поволжья. Орех натурализовался в лесах, имеет высокую продуктивность генеративных особей, хорошую всхожесть семян, высокую численность прегенеративных особей. В статье представлены результаты комплексного исследования ореха маньчжурского, произрастающего в хвойно-широколиственных лесах Волжско-Камского заповедника. Текущий анализ выполнен на основе данных вегетационного периода 2016 года. Были проведены исследования сезонных изменений фенологических фаз, ксилемного потока воды (сокодвижения), содержания хлорофилла (SPAD) и индекса листовой поверхности (LAI). Установлено, что полное облиствление деревьев происходило в середине мая. В суточном ходе сокодвижения наблюдался один пик. Максимальные значения сокодвижения приходились на время с 11.00 до 14.00 часов в фазу полного облиствления и сдвигались в сторону более поздних часов для фаз неполного облиствления. Сокодвижение закономерно связано с погодными условиями, положительная корреляция с температурой воздуха и солнечной радиацией, отрицательная корреляция с влажностью воздуха. Диапазон значений сокодвижения: от $0,02 \text{ кг} \times \text{ч}^{-1} \times \text{см}^{-1}$ (начало и конец вегетационного сезона в безлистном состоянии, пасмурная и дождливая погода), до $0,23 \text{ кг} \times \text{ч}^{-1} \times \text{см}^{-1}$ (конец июля-начало августа). Наибольшие значения сокодвижения наблюдались, когда солнечная радиация достигала $600-700 \text{ Вт} \times \text{м}^{-2}$ в июне и августе, при этом температура воздуха достигала значений $+26-28 \text{ }^{\circ}\text{C}$, а влажность – 40 %. Пик содержания хлорофилла в листьях ореха совпадает с пиком индекса листовой поверхности и приходился 14 августа 2016 года.

Ключевые слова: орех маньчжурский, сокодвижение, температура, солнечная радиация, индекс листовой поверхности, SPAD, LAI.

ENVIRONMENTAL AND PHYSIOLOGICAL FEATURES OF WALNUT (*JUGLANS MANDSHURICA* MAXIM.) GROWING IN THE CONIFEROUS-BROADLEAVED FORESTS OF THE MIDDLE VOLGA REGION

D.V. Tishin, N.A. Chizhikova, M.B. Fardeeva
Kazan Federal University

Walnut species Juglans mandshurica Maxim. is well established in the temperate-continental climate of the Middle Volga region: the naturalized species growing in forests is characterized by high productivity of the generative individuals, good germination of seeds, high abundance of pre-

generative individuals. The article outlines the results of the complex study of *Juglans mandshurica* Max. growing in the Volga-Kama Reserve. The analysis is based on the data of the 2016 growing season. Research sought to determine phenophases of seasonal variations, xylem sap flow, chlorophyll content (SPAD) and leaf area index (LAI).

It was determined that all leaves became fully expanded in mid-May. The daily dynamics of sap flow had one peak. The maximum rate of sap flow in the phenophase of fully expanded leaves was observed from 11 am to 2 pm, and shifted further for partially expanded leaves.

Sap flow of walnut tree depends on weather conditions: positively correlated with air temperature and solar radiation, negatively correlated with humidity. Sap flow values vary from $0.02 \text{ kg} \times \text{h}^{-1} \times \text{cm}^{-1}$ (the leafless phase at the beginning and at the end of the growing season, cloudy and rainy weather), to $0.23 \text{ kg} \times \text{h}^{-1} \times \text{cm}^{-1}$ (end of July – beginning of August). The highest rate of sap flow was observed when the maximum values of solar radiation amounted to $600\text{--}700 \text{ W} \times \text{m}^{-2}$ in June and July alongside with the air temperature of $+26\text{--}28^\circ \text{C}$ and 40% air humidity. The peak of the walnut leaves chlorophyll content (SPAD) was observed on 14th August, 2016 and coincided with the peak of the leaf area index (LAI).

Key words: *Juglans mandshurica* Maxim., sap flow, temperature, solar radiation, SPAD, leaf area index (LAI).

Введение

Изучение механизмов адаптации деревьев, произрастающих за пределами своего ареала, и оценки устойчивости интродуцентов в условиях умеренно-континентального климата, например Среднего Поволжья, в настоящее время представляет большой интерес. В связи с расширением исследований по изучению возможности применения различных видов растений в фармакологии, медицине, пищевой и легкой промышленности, а также в садово-парковом хозяйстве, проблема поиска и применения новых источников растительного сырья является актуальной. Дальневосточные экзоты рода *Juglans* наиболее интересны, так как обладают высокими пищевыми и лечебными качествами (Васильев, 2003; Рейф, 2013).

Орех маньчжурский (*Juglans mandshurica* Maxim.), имея глубокую корневую систему, редко испытывает недостаток влаги. Светолюбив. Предпочитает плодородные, хорошо увлажненные и дренированные почвы. Гигромезофит, чувствителен к засухе (Рейф, 2013). Самый морозостойкий представитель рода *Juglans*, что подтверждено опытами по интродукции ореха в Центральной Сибири, Санкт-Петербурге, Петрозаводске (Гурский, 1957). Цветёт в апреле – мае. Опыляется ветром. Возобновляется семенами, способен размножаться порослью.

Первые массовые посадки экзотических деревьев и кустарников в Раифском лесу были произведены еще в 1924 г. (кв. 41 и 64 и дендросад). Согласно аннотируемому списку дендросада, *Juglans mandshurica* Maxim. и *Phellodendron amurense* Rupr. представлены в секции «Азия». Орех маньчжурский представлен довольно крупными деревьями (высотой 19 м), посаженными из семян с Дальнего Востока, сейчас им уже около 85 лет. Также имеются 14 экз. деревьев, посаженных из семян первого образца, возрастом около 60 лет, высотой 17–18 м. Деревья по шкале зимостойкости характеризуются по II баллу – растения, у которых обмерзают не более 50 % длины однолетних побегов (Иванов, 2005).

В период с 1932 по 1966 г. исследования по акклиматизации и интродукции экзотов были продолжены и в разных кварталах Раифы проведены посадки ореха маньчжурского в чистой культуре или смеси с ясенем пенсильванским, кленом ясенелистным, сосной и кедром в кв. 87, 75, 76, 68 и 88. Крупные по площади посадки ореха (0,5 га) были произведены в 1949 г. в 76 кв. и 0,4 га в 1941 и 1946 гг. в кв. 75. Последние работы по изучению состояния культур экзотов и их естественного расселения были проведены в 1972–1973 гг. Е. Дерюгой, А. Мурзовым (1977). Выяснили, что орех маньчжурский в коллекционном участке дендросада имеет худшее состояние, чем в культурах, посаженных в лесном массиве. В чистой посадке кв. 76, на площади в 0,5 га в 1973 г. было отмечено 1790 экз., возрастом 24 года, по состоянию – II

класс бонитета. В кв. 75 отмечено 1430 экз. ореха и ясеня пенсильванского, возрастом 32-35 лет, по состоянию – I класс бонитета, а с сосной и кедром – II и III классов. После организации в 1960 году Волжско-Камского заповедника подобные работы прекратились и возникла уникальная ситуация: процесс натурализации интродуцированных видов деревьев происходил без хозяйственного влияния человека. На месте посадок стали формироваться естественные лесообразующие породы деревьев – *Tillia cordata* и *Acer platanoides*. В 2012-2017 гг. исследования возобновились с целью изучения инвазии экзотов в естественные сообщества, оценки их натурализации и возобновления, а также составления карт их распространения в заповеднике.

Обзор литературы показал, что в России мало кто занимается изучением сокодвижения у древесных растений. Есть исследования по сосне и дубу (Жиренко, 1994, 1995, 2003). Однако в настоящее время орех маньчжурский остается пока неизученным видом.

Цель настоящей работы – исследовать эколого-физиологические особенности ореха маньчжурского в Среднем Поволжье. На текущем этапе рассматривались следующие аспекты: фенологические фазы; особенности сокодвижения в различных погодных условиях; сезонные колебания содержания хлорофилла в листьях деревьев (SPAD) и индекса листовой поверхности (LAI).

Материалы и методика исследований

Исследования проводились на территории Раифского участка Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника (ВКГПБЗ). Территория уникальна тем, что на ней сохраняется разнообразие лесов, представляющих основные варианты таежных, смешанных и широколиственных лесных сообществ. С 1919 года Раифская лесная дача стала учебно-опытной лабораторией высшей лесной школы Поволжья. С 1922 по 1964 год в Раифе проводились исследования в области лесоводства, включая создание лесных культур и акклиматизацию экзотических деревьев в Среднем Поволжье (Бакин, 2001). Заповедник расположен на северо-западе Республики Татарстан. По природному районированию (Бакин и др., 2000) территория располагается в пределах Западно-Казанского террасово-долинного района восточноевропейских сосновых и широколиственно-сосновых подтаежных лесов на высоких надпойменных террасах Волги, преобладают дерново-подзолистые супесчаные почвы. Климат умеренно-континентальный. Средняя январская температура $-13,8^{\circ}\text{C}$, средняя температура июля $+19,1^{\circ}\text{C}$. Количество годовых осадков 509 мм.

Фенологические наблюдения проводились по методике, описанной в работе (Соловьев, 2005). Отмечали следующие фенологические фазы: развитие почек, облиствение, цветение, созревание и опадение плодов, пожелтение листьев и опадания листьев. Выявили две стадии фенофазы: начало и кульминация.

Измерения сокодвижения проводились с помощью одноканального измерителя потока воды EMS51A (Environmental Management Systems, Чехия) в период с мая по август 2016 г. Принцип работы прибора основан на методе теплового баланса ксилемы (Kucera et al., 1977; Cermak et al., 2004). Все полученные результаты по сокодвижению обрабатывались в программе Mini32. Температура, влажность воздуха, количество осадков и солнечная радиация измерены с помощью метеостанции Vantage Pro (Davis, США) с интервалом в 10 минут в период с мая по август 2016 г. Сезонное измерение содержания хлорофилла SPAD (Soil Plant Analysis Development) в листьях выполнено с помощью портативного хлорофиллометра 502 Plus (Konica, Япония) в период с мая по август 2016 г. Индекс листовой поверхности (LAI) определяли на основе фотографий крон деревьев объективом «рыбий глаз» (fish-eye), полученных в период с апреля по октябрь 2016 г. Снимки сделаны с помощью насадки FC-E8 фирмы Nikon и цифровой камеры Canon S100, на высоте 1,5 м от земли. По теории затухания

света Монси-Саеки (Muraoka et al., 2010) LAI рассчитывалось по следующей формуле:

$$LAI = -\frac{1}{k} (\ln(ISF_2) - \ln(ISF_1)) \quad (1)$$

где k – коэффициент затухания, в данной работе принят равным 0.5; ISF_1 – коэффициент видимости листьев до распускания (или после опада); ISF_2 – коэффициент видимости листьев в желаемый момент замера. Расчеты LAI проводились в программе CanopOn2 (Takenaka, 2009).

Ординация данных о сокодвижении и погодных условиях выполнена с помощью пакета vegan (Oksanen et al., 2017) среды статистического анализа R (R Core Team, 2017).

Результаты исследования

В 2016 году у ореха маньчжурского начало облиствения наблюдалось 13 мая. Полное формирование листьев закончилось в конце мая. Конец листопада был отмечен 18 сентября.

Измерения ксилемного потока воды у ореха маньчжурского показало, что в суточном ходе сокодвижения наблюдается один пик. Максимальные значения приходятся на время с 11.00 до 14.00 ч в фазу полного облиствения и сдвигаются в сторону более поздних часов для фаз неполного облиствения. Максимальные суточные значения потока воды наблюдались в конце июля и в начале августа (до $0,23 \text{ кг} \cdot \text{ч}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$). Минимальные значения – весной и осенью в безлистном состоянии ($0,02$ - $0,03 \text{ кг} \cdot \text{ч}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$), а также в дни с пасмурной и дождливой погодой.

Наблюдается высокая корреляция сокодвижения с солнечной радиацией ($r_s=0,75$) и температурой воздуха ($r_s=0,86$). С влажностью воздуха отмечается отрицательная связь

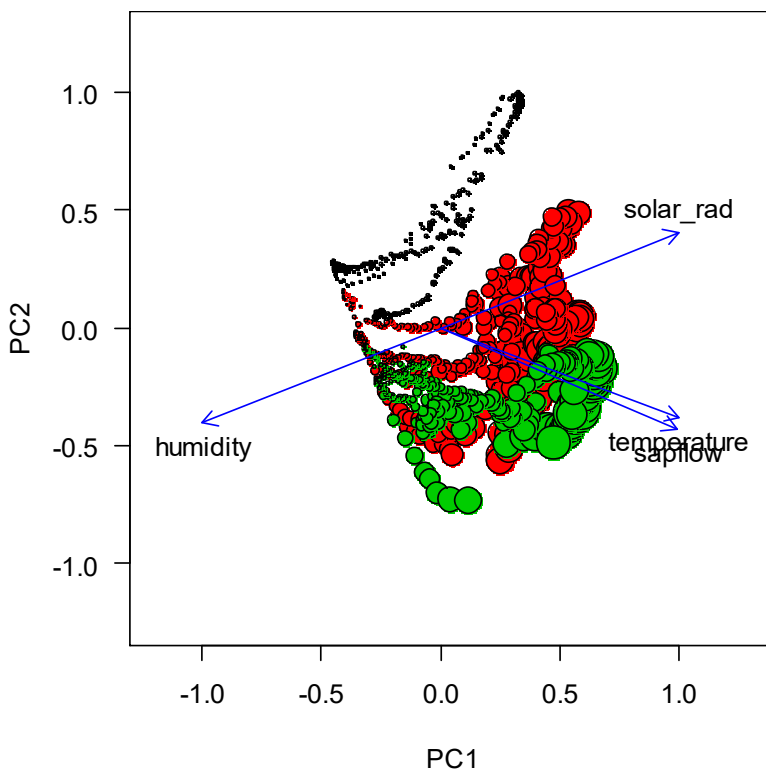


Рис. 1. Ординация данных о сокодвижении и погодных условиях методом главных компонент. Размер круга пропорционален сокодвижению. Цвет круга соответствует месяцу: черный - май, красный - июнь, зеленый - август. Угол между векторами пропорционален корреляции между величинами. Две главные компоненты (PC1, PC2) объясняют 85% изменчивости данных

Наибольшие значения сокодвижения наблюдались, когда солнечная радиация достигала 600-700 Wm^{-2} в июне и августе, при этом температура воздуха достигала значений +26-28 °С, а влажность – 40%.

Содержание хлорофилла (SPAD) в листьях по данным измерений с мая по август находилось в интервале от 15 до 37 %. Максимальные значения наблюдались 14 августа.

Численный анализ фотографий крон (рис. 2) показал, что индекс LAI в течение вегетационного периода находился в пределах от 0,26 (минимальное значение, 21 апреля) до 2,65 (максимальное значение, 14 августа). Совпадение пиков SPAD и LAI можно объяснить тем, что в середине августа завершается нарастание фитомассы.



Рис. 2. Пример фотографий крон ореха маньчжурского в 2016 году

Заключение

Исследования, проведенные в последние годы, позволяют охарактеризовать орех маньчжурский как довольно успешно акклиматизировавшийся вид к условиям хвойно-широколиственных лесов умеренно-континентального климата Среднего Поволжья: он натурализовался в лесах заповедника; имеет высокую продуктивность генеративных особей, хорошую всхожесть семян, высокую численность прегенеративных особей и обладает высокой скоростью наращивания биомассы.

Фенологические наблюдения показали, что у ореха м. в 2016 году раскрытие почек приходилось на 2 мая, полное облиствение – на 13 мая, а цветение – на 22 мая. Общее количество дней с листьями составило 128 дней. В отличие от 2015 года, наблюдалось запаздывание наступления фенологических фаз на 7-9 дней. Пик содержания хлорофилла (SPAD) в листьях деревьев совпадает с максимумом индекса листовой поверхности (LAI) и приходится на середину августа. Такие сезонные изменения можно объяснить завершением нарастания фитомассы у деревьев и благоприятными погодными условиями, которые наступили после кратковременной засухи начала августа.

В суточном ходе сокодвижения наблюдался один пик. Максимальные значения сокодвижения приходились на время с 11.00 до 14.00 ч в фазу полного облиствения и сдвигались в сторону более поздних часов для фаз неполного облиствения. Сокодвижение закономерно связано с погодными условиями, положительная корреляция с температурой воздуха и солнечной радиацией, отрицательная корреляция с влажностью воздуха. Диапазон значений сокодвижения: от 0,02 $\text{кг} \times \text{ч}^{-1} \times \text{см}^{-1}$ (начало и конец вегетационного сезона в безлистном состоянии, пасмурная и дождливая погода), до 0.23 $\text{кг} \times \text{ч}^{-1} \times \text{см}^{-1}$ (конец июля-начало августа). Наибольшие значения сокодвижения наблюдались, когда солнечная радиация достигала 600-700 $\text{W} \times \text{m}^{-2}$ в июне и августе, при этом температура воздуха достигала значений +26-28 °С, а влажность – 40%. Исследования сокодвижения ореха маньчжурского на северо-востоке Китая (Huizen et al., 2006) также показали один пик в суточном ходе, с максимум водопотребле-

ния на период с 10.00 до 14.00 ч. Интенсивность сокодвижения зависела от солнечной радиации и температуры.

Полученные результаты представляют интерес для понимания механизмов адаптации древесных растений, произрастающих за пределами своего ареала. В дальнейшем, планируется продолжение исследований ореха с привлечением новых методов, например изучения сезонного роста годовичных колец древесины.

Библиографический список:

1. Бакин, О.В. Сосудистые растения Татарстана / О.В. Бакин, Т.В. Рогова, А.П. Ситников. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2000. – 490 с.
2. Бакин, О. В. Памятник науки. Раифа-Свияжск / О.В. Бакин. – Казань, 2001. – С. 66-76.
3. Васильев, Н.П. Характеристика интродуцированных видов рода *Juglans* L. / Н.П. Васильев, Е.А. Васин // Биологическое разнообразие. Интродукция растений. Материалы третьей Международной научной конференции. – Санкт-Петербург, 2003. – С. 179-180.
4. Гурский, А.В. Основные итоги интродукции древесных растений в СССР / А.В. Гурский. М.-Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1957. – 304 с.
5. Дерюга, Е.С. Состояние культур экзотов и естественное расселение их в Раифском лесном массиве / Е.С. Дерюга, А.М. Мурзов // Тр. Волж.-Камс. гос. зап.-ка. – 1977. – Вып.3. – С.61-79.
6. Жиренко, Н. Г. Изучение сокодвижения в стволе дуба черешчатого термоэлектрическим методом / Н.Г. Жиренко // Лесоведение. – 1994. – № 6. – С. 46-52.
7. Жиренко, Н.Г. Полевой переносной прибор для определения водопотребления растениями тепловым импульсным методом / Н.Г. Жиренко // Физиология растений. – 1995. – Т. 42. – № 5. – С. 805-807.
8. Жиренко, Н.Г. Автономная измерительная система для определения водопотребления растениями / Н.Г. Жиренко // Физиология растений. – 2003. – Т. 50. – № 5. – С. 781-784.
9. Иванов, В.Б. Аннотированный список растений коллекции дендрария Волжско-Камского государственного природного заповедника / В.Б. Иванов // Тр. ВКГЗ. – 2005. – Вып. VI. – С. 343-375.
10. Рейф, О.Ю. Эколого-географические условия местопроизрастания ореха маньчжурского на юге Дальнего Востока / О.Ю. Рейф // Состояние лесов и актуальные проблемы лесопользования: материалы Всероссийской конференции с международным участием. – Хабаровск: Изд-во ФБУ «ДальНИИЛХ», 2013. – С. 402-405.
11. Соловьев, А.Н. Биота и климат в XX столетии. Региональная фенология / А.Н. Соловьев. – М.: Пасьева, 2005. – 288 с.
12. Фардеева, М.Б. Интродукция *Juglans mandshurica* Maxim. в условиях Среднего Поволжья и особенности его онтогенеза / М.Б. Фардеева, Д.В. Тишин, Н.И. Сафиуллина // Биологическое разнообразие. Интродукция растений: сб. материалов Шестой Международной научной конференции 20-25 июня 2016 г. – Санкт-Петербург, 2016. – С. 380-383.
13. Cermak, J. Sap flow measurements with some thermodynamic methods, flow integration within trees and scaling up from sample trees to entire forest stands / J. Cermak, J. Kucera, N. Nadezhdina // Trees. – 2004. – V. 18. – P. 529-546.
14. Kucera, J. Improved thermal method of continual recording the transpiration flow rate dynamics / J. Kucera, J. Cermak, M. Penka // Biologia Plantarum. – 1977. – V. 19. – P. 413-420.
15. Huizen, S. Sap flow of the major tree species in the eastern mountainous region in northeast China / S. Huizen, S. Long, W. Chuankuan, Z. Xiaofeng // Front. Forest China. – 2006. – №4. – P. 387-393.
16. Muraoka, H. Effects of seasonal and interannual variations in leaf photosynthesis and canopy leaf area index on gross primary production of a cool-temperate deciduous broadleaf forest in Takayama / H. Muraoka, N. Saigusa, K. Nasahara et al. // Japanese Journal of Plant Research. – 2010. – V. 123 – P. 563-576.
17. Oksanen, J. vegan: Community Ecology Package. R package version 2.4-3 [Электронный ресурс] / Oksanen J., Blanchet F. G., Friendly M., Kindt R., Legendre P., McGlinn D., Minchin P. R., O'Hara R. B., Simpson G.L., Solyomos P., Stevens M.H.H., Szocs E. and Wagner H. – 2017. – Режим доступа: <https://CRAN.R-project.org/package=vegan> – 17.09.2017.
18. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing [Электронный ресурс] / Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2017. – Режим доступа: <http://www.R-project.org> – 17.09.2017.
19. Takenaka, A. CanopOn2 [Электронный ресурс]. – 2009. – Режим доступа: <http://takenaka-akio.cool.ne.jp/etc/canopon2/> – 25.07.2012.

References

1. Bakin, O.V. Sosudistye rasteniya Tatarstana / O.V. Bakin, T.V. Rogova, A.P. Sitnikov. – Kazan': Izd-vo Kazan. un-ta, 2000. – 490 s.
2. Bakin, O. V. Pamyatnik nauki. Raifa-Sviyazhsk / O.V. Bakin. – Kazan', 2001. – S. 66-76.
3. Vasil'ev, N.P. Harakteristika introducirovannyh vidov roda *Juglans* L. / N.P. Vasil'ev, E.A. Vasin // Biologicheskoe raznoobrazie. Introdukciya rastenij. Materialy tret'ej Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii. – Sankt-Peterburg, 2003. – S. 179-180.

4. Gurskij, A.V. Osnovnye itogi introdukcii drevesnyh rastenij v SSSR / A.V. Gurskij. M.-L.: Izd-vo Akademii nauk SSSR, 1957. – 304 s.
5. Deryuga, E.S. Sostoyanie kul'tur ekzotov i estestvennoe rasselenie ih v Raifskom lesnom massive / E.S. Deryuga, A.M. Murzov // Tr. Volzh.-Kams.gos.zap-ka. – 1977. – Vyp.3. – S.61-79.
6. Zhirenko, N. G. Izuchenie sokodvizheniya v stvole duba chereschatogo termoelektricheskim metodom / N.G. Zhirenko // Lesovedenie. – 1994. – № 6. – S. 46-52.
7. Zhirenko, N.G. Polevoj perenosnoj pribor dlya opredeleniya vodopotrebleniya rasteniyami teplovym impul'snym metodom / N.G. Zhirenko // Fiziologiya rastenij. – 1995. – T. 42. – № 5. – S. 805-807.
8. Zhirenko, N.G. Avtonomnaya izmeritel'naya sistema dlya opredeleniya vodopotrebleniya rasteniyami / N.G. Zhirenko // Fiziologiya rastenij. – 2003. – T. 50. – № 5. – S. 781-784.
9. Ivanov, V.B. Annotirovannyj spisok rastenij kollekcii dendrariya Volzhsko-Kamskogo gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika / V.B. Ivanov // Tr. VKGZ. – 2005. – Vyp.VI. – S. 343-375.
10. Rejf, O.YU. Ekologo-geograficheskie usloviya mestoproizrastaniya orekha man'chzhurskogo na yuge Dal'nego Vostoka / O.YU. Rejf // Sostoyanie lesov i aktual'nye problemy lesoupravleniya: materialy Vserossijskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. – Habarovsk: Izd-vo FBU «Dal'NIILH», 2013. – S. 402-405.
11. Solov'ev, A.N. Biota i klimat v HKH stoletii. Regional'naya fenologiya / A.N. Solov'ev. – M.: Pas'va, 2005. – 288 s.
12. Fardeeva, M.B. Introdukciya Juglans mandshurica Maxim. v usloviyah Srednego Povolzh'ya i osobennosti ego ontogeneza / M.B. Fardeeva, D.V. Tishin, N.I. Safiullina // Biologicheskoe raznoobrazie. Introdukciya rastenij: sb. materialov Shestoj Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii 20-25 iyunya 2016 g. – Sankt-Peterburg, 2016. – S. 380-383.
13. Cermak, J. Sap flow measurements with some thermodynamic methods, flow integration within trees and scaling up from sample trees to entire forest stands / J. Cermak, J. Kucera, N. Nadezhdina // Trees. – 2004. – V. 18. – P. 529-546.
14. Kucera, J. Improved thermal method of continual recording the transpiration flow rate dynamics / J. Kucera, J. Cermak, M. Penka // Biologia Plantarum. – 1977. – V. 19. – P. 413-420.
15. Huizen, S. Sap flow of the major tree species in the eastern mountainous region in northeast China / S. Huizen, S. Long, W. Chuankuan, Z. Xiaofeng // Front. Forest China. – 2006. – №4. – P. 387-393.
16. Muraoka, H. Effects of seasonal and interannual variations in leaf photosynthesis and canopy leaf area index on gross primary production of a cool-temperate deciduous broadleaf forest in Takayama / H. Muraoka, N. Saigusa, K. Nasahara et al. // Japanese Journal of Plant Research. – 2010. – V. 123 – P. 563-576.
17. Oksanen, J. vegan: Community Ecology Package. R package version 2.4-3 [Elektronnyj resurs] / Oksanen J., Blanchet F. G., Friendly M., Kindt R., Legendre P., McGlinn D., Minchin P. R., O'Hara R. B., Simpson G.L., Solyomos P., Stevens M.H.H., Szoecs E. and Wagner H. – 2017. – Rezhim dostupa: <https://CRAN.R-project.org/package=vegan> – 17.09.2017.
18. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing [Elektronnyj resurs] / Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2017. – Rezhim dostupa: <http://www.R-project.org> – 17.09.2017.
19. Takenaka, A. CanopOn2 [Elektronnyj resurs]. – 2009. – Rezhim dostupa: <http://takenaka-akio.cool.ne.jp/etc/canopon2/> – 25.07.2012.

УДК 630*181+634.054 (470.343)

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ КЛАССА БОНИТЕТА И ПОЛНОТЫ ДРЕВОСТОЕВ В БОРАХ РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ

Ю. П. Демаков

Поволжский государственный технологический университет

Приведены результаты анализа данных массовой таксации насаждений на площади 385725 га, целью которого являлось выявление закономерностей изменения класса бонитета и полноты древостоев в борах Марийского Заволжья. Показано, что наиболее высокий класс бонитета (1,50) имеют древостои, произрастающие во влажных борах, а самый низкий (4,77) – в заболоченных. Самая же высокая полнота (0,73) присуща древостоям в лишайниково-вересковом типе леса, а самая низкая (0,58) – в заболоченных борах. Эти таксационные параметры значительно изменяются даже в пределах одного типа леса, что связано с воздействием на древостои комплекса различных природных и антропогенных факторов, одним из которых является их породный состав. Во влажных и свежих борах средний класс бонитета сосняков выше, чем березняков, а в сухих борах, наоборот, ниже. В сырых и заболоченных борах его величина практически не зависит от состава древостоев. Средняя же полнота сосняков в свежих, а особенно сухих борах выше, чем березняков, а в остальных лесорастительных условиях этого экологического ряда, наоборот, ниже. Установлено, что класс бонитета древостоев закономерно изменяется в градиенте их полноты: у сосняков в

сухих борах наиболее высок он при полноте 0,7, в свежих, влажных и сырых – при 0,8, а в заболоченных – при 1,0. У березняков же пики значений класса бонитета приходятся на полноту, значения которой ниже этих отметок на 0,2-0,3. Класс бонитета древостоев не остается постоянным также и в течение их жизни: вначале он опускается, затем до 50-70 лет повышается, а потом медленно снижается, стабилизируясь после 120 лет на стационарных отметках, сугубо специфичных для каждого типа лесорастительных условий. По мере развития древостоев в борах Марийского Заволжья их полнота сначала возрастает, постепенно достигая в каждом типе лесорастительных условий определенных максимальных отметок, а затем неуклонно снижается. Кульминация её значений у сосняков в сухих, свежих и влажных борах отмечается в возрасте 40-45 лет, в сырых – 50-55 лет, а в заболоченных – 70-75 лет. У березняков кульминация полноты наступает раньше. Полнота древостоев оказывает определенное влияние на характер динамики их средней высоты и среднего диаметра. Линия возрастных изменений средней полноты древостоев в каждом типе леса, описанная определенным уравнением регрессии, является региональным эталоном, величина которого обусловлена физико-географическими условиями. Полнота всех реальных древостоев в процессе их развития неизбежно приближается к этой величине. Крайне важно начинать регулировать полноту древостоев задолго до наступления кульминации сомкнутости полога, снижая её до определенного оптимума, что будет способствовать увеличению их текущего прироста и накоплению запаса крупномерной древесины.

Ключевые слова: Марийское Заволжье, боры, древостои, бонитет, полнота, динамика, модели.

REGULARITIES OF CHANGES IN QUALITY CLASS AND NORMALITY OF PINWOOD STANDS IN MARI EL

Yu.P. Demakov

Volga State University of Technology

The paper presents the findings of data analysis obtained as a result of mass inventory of plantations carried out on the area of 385,725 ha and aimed at revealing the regularities of quality class and normality changes observed in the pinewoods of Mari Zavolzhye area. The authors emphasize that the highest quality class (1.50) is assigned to forest stands growing in wet pinewood, while the lowest quality class (4.77) – to forest stands growing in bogged pinewood. The highest normality (0.73) is typical for forest stands of lichenous-heather forest type, while the lowest normality (0.58) is typical for bogged pinewood. These taxation parameters vary considerably even within one forest site type; and the variations are caused by different nature and anthropogenic factors including species composition. The average quality class of wet and fresh pinewood is higher than that of birch wood, while in dry pinewood the average quality class is lower. The value of quality class does not depend on the species composition in wet and bogged pinewood. The average normality of pinewood in fresh and particularly in dry pinewood is higher than in birch wood, while in other forest site types of this ecological series it is lower. It has been found out that the stand quality class varies appropriately within the gradient of stand normality: it is especially high in dry pinewood when the normality value equals 0.7; in fresh, humid and wet pinewood – when the normality equals 0.8; and in bogged pinewood when the normality is 1.0. In birch wood, the peak values of the quality class are found in stands the normality values of which are 0.3-0.3 less than those in pinewood. The quality class of forest stands does not remain the same during life cycle: at the beginning it goes down, then the value is on the increase until the age of 50-70 years, after that it slowly decreases, stabilizing after 120 years on the values typical for a particular forest site type. As the pinewood stands develop in Mary Zavolzhye, their normality is increasing at first, reaching its specific peak values, which are different in every forest site type, and then inevitably decreases. The highest normality value is observed in dry, fresh and humid pinewood at the age of 40-45 years, in wet pinewood at the age of 50-55 years and in bogged pinewood at the age of 70-75 years. Birch woods feature highest normality value earlier. The stand normality exerts a certain impact on the dynamics of its mean height and diameter. The line of age-related changes of the mean normality in every forest site type, described in regression equation is regarded as a regional benchmark

determined by physical and geographical conditions. The normality of real stands in the process of their development will inevitably approach this value. It is very important to begin regulating normality far in advance before the canopy closure, thus bringing it to a certain optimum in order to facilitate periodic annual increment and accumulation of large-size wood.

Key words: Mari Zavolzhye, pinewood, forest stand, quality class, normality, dynamics, models.

Введение. Задача рационального использования лесных ресурсов является одной из важнейших в научном и практическом аспектах. Решить ее можно лишь на основе детального анализа существующей структуры древостоев и её динамики в различных типах лесорастительных условий (ТЛУ). Важнейшими показателями состояния древостоев являются их класс бонитета и полнота, на основе которых можно судить о степени благоприятности условий среды и фактической реализации ими потенциала производительности. Вопрос о характере изменения этих таксационных показателей отражен в научной литературе еще крайне слабо, а имеющиеся сведения не позволяют пока выявить общие их закономерности и региональные особенности. Показано, в частности, что класс бонитета древостоев изменяется в процессе их роста, в связи с чем для прогноза их производительности, а также актуализации лесотаксационных нормативов нельзя опираться на шкалу М.М. Орлова или шкалы других авторов. Такое заключение впервые было сделано Г.С. Разиным (1965) на основе собственных исследований и анализа данных о многолетней динамике состояния древостоев на постоянных пробных площадях в лесной опытной даче ТСХА (Итоги..., 1964). В дальнейшем к подобному выводу пришли и другие исследователи (Давидов, 1977; Кузьмичев, 1977, 2013; Загреев, 1978; Свалов, 1978, 1979; Верхунов, Черных, 2007; Рогозин, Разин, 2015).

Цель исследования заключалась в поиске закономерностей изменения классов бонитета и полноты древостоев в различных ТЛУ боров Марийского Заволжья, выявлении определяющих их факторов, а также оценке взаимосвязи друг с другом и остальными таксационными параметрами.

Материал и методы исследования. Материалом для анализа служила электронная поведельная база данных, содержащая детальную таксационную характеристику древостоев, произрастающих в борах Марийского Заволжья (более 78 тыс. выделов общей площадью 385725 га), территория которого относится к Ветлужско-Унжинской провинции лесной зоны Русской равнины и разделена по характеру поверхности на две части: 1) Марийскую низменность, занимающую значительную часть на западе и в центре, в пределах которой преобладают дерново-слабоподзолистые песчаные почвы; 2) возвышенную холмистую Оршано-Кокшагскую равнину, покрытую в основном дерново-подзолистыми среднесуглинистыми почвами, среди которых пятнами встречаются перегнойно-карбонатные тяжелосуглинистые.

При решении задачи использовали хорошо отработанную нами информационную технологию, основанную на системном анализе данных массовой таксации насаждений (Демаков, 2009; Демаков, Исаев, Симанова, 2015; Демаков, Исаев, 2015; Демаков, Краснов, Исаев, 2015; Демаков, Пуряев, 2015; Демаков и др., 2015; Демаков, Курненко, Краснов, 2016), рассматривая структуру и динамику древостоев всего лесного массива, который, если рассматривать его с позиции математической статистики, является нечетким множеством. Для повышения четкости проявления в этом множестве некоторых закономерностей и взаимосвязей между различными его элементами была проведена предварительная сортировка материала и группировка значений параметров по определенным классам. Обработку исходного материала провели стандартными методами, используя соответствующие прикладные программы.

Результаты и их обсуждение. Анализ исходного материала показал, что в борах Марийского Заволжья, занимающих 34,7 % общей площади лесного фонда республики, значения класса бонитета и полноты древостоев изменяются в очень больших пределах (табл. 1 и 2). Наиболее высокий класс бонитета имеют в среднем древостои, произрастающие во влажных борах (ТЛУ А₃), а самый низкий – в заболоченных. Самая высокая полнота отмечается у древостоев в лишайниково-вересковом типе леса, а самая низкая – в заболоченных борах.

Таблица 1

Закономерности распределения древостоев по классам бонитета в борах Марийского Заволжья

ТЛУ	Тип леса*	Число выделов	Площадь древостоев разных классов бонитета, %					Средний класс
			I ^a - I	II	III	IV	V - V ^a	
А ₁	ЛШ	2852	0,3	23,5	68,8	7,3	0,1	2,83
	ЛШВ	1036	0,1	37,1	62,2	0,6	0,0	2,63
	ЛМШ	5564	0,9	46,9	50,6	1,5	0,1	2,53
А ₂	БР	23747	33,8	57,9	8,0	0,2	0,1	1,75
	ЗЛМ	10940	48,6	44,1	7,2	0,1	0,0	1,59
А ₃	ЧЕР	18348	54,6	40,8	4,4	0,1	0,0	1,50
А ₄	ДМШ	9737	0,3	13,7	54,1	29,1	2,8	3,20
А ₅	СФ	5882	0,0	0,1	1,0	20,2	78,7	4,77

Обозначения типов леса: ЛШ – лишайниковый, ЛШВ – лишайниково-вересковый; ЛМШ – лишайниково-мшистый; БР – брусничниковый; ЗЛМ – зеленомошниковый; ЧЕР – черничниковый; ДМШ – долгомошниковый; СФ – сфагновый.

Таблица 2

Закономерности распределения древостоев в борах Марийского Заволжья по их полноте

ТЛУ	Тип леса	Площадь древостоев разных классов относительной полноты,								Средняя полнота
		0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
А ₁	ЛШ	1,4	2,0	5,7	20,3	35,3	19,4	10,3	5,6	0,71
	ЛШВ	0,6	1,4	3,3	17,4	40,5	16,9	15,9	3,9	0,73
	ЛМШ	0,3	1,8	4,5	28,0	34,2	17,8	9,9	3,6	0,70
А ₂	БР	1,6	2,6	6,7	23,3	42,6	18,8	3,0	1,3	0,68
	ЗЛМ	1,8	1,8	4,0	17,1	43,3	24,2	5,7	2,2	0,70
А ₃	ЧЕР	0,4	1,0	3,5	14,3	52,8	25,2	2,5	0,2	0,70
А ₄	ДМШ	0,2	1,5	5,8	21,1	43,2	24,0	3,9	0,3	0,69
А ₅	СФ	1,2	11,5	24,5	33,9	23,8	4,6	0,4	0,1	0,58

Значения класса бонитета и полноты древостоев довольно значительно изменяются, как свидетельствуют приведенные данные, даже в пределах одного типа леса, что связано отчасти с ошибками определения при глазомерной таксации насаждений типа леса, а также возраста и высоты древостоев. Такие ошибки, несомненно, имеются, и от них трудно избавиться, однако не только они являются причиной изменчивости этих параметров. Нельзя, к примеру, сбрасывать со счетов генетическую неоднородность популяций древесных растений и начальную (стартовую) их густоту, приводящую в результате к образованию так называемых плюсовых и минусовых насаждений (Санников, Петрова, 2003; Рогозин, Разин, 2015). Выяснить этот вопрос можно только путем проведения натурных исследований.

Расчеты показали, что средние значения рассматриваемых таксационных параметров весьма значительно изменяются в пределах одного ТЛУ также в разрезе лесничеств республики (табл. 3). Так, размах значений среднего класса бонитета древостоев в сырых борах достигает 0,86, в сухих – 0,81, заболоченных – 0,65, а во влажных и свежих – 0,48-0,49. Размах же средней полноты древостоев изменяется от 0,05 в свежих борах до 0,18 в заболоченных. Изменение значений показателей связано с воздействием на древостои комплекса различных природных и антропогенных факторов, для оценки вклада которых необходим глубокий анализ исходного цифрового материала.

Таблица 3

Закономерности изменения параметров древостоев в разрезе лесничеств Республики Марий Эл

ТЛУ	Значения статистических показателей*						
	M_x	min	max	S_x	m_x	V	p
Средний класс бонитета древостоев							
A ₁	2,58	2,19	3,00	0,25	0,07	9,8	2,5
A ₂	1,73	1,52	2,01	0,13	0,03	7,7	1,9
A ₃	1,59	1,29	1,77	0,15	0,04	9,1	2,3
A ₄	3,14	2,67	3,53	0,25	0,06	8,0	2,0
A ₅	4,55	4,24	4,89	0,22	0,06	4,8	1,3
Средняя полнота древостоев							
A ₁	0,66	0,59	0,72	0,04	0,01	5,8	1,5
A ₂	0,68	0,65	0,70	0,02	0,00	2,6	0,6
A ₃	0,70	0,66	0,77	0,03	0,01	4,2	1,1
A ₄	0,68	0,61	0,77	0,04	0,01	6,5	1,6
A ₅	0,62	0,57	0,75	0,05	0,01	7,4	1,9

Примечание: M_x – среднее значение показателя; min, max – минимальное и максимальное значения в выборке; S_x – среднеквадратическое (стандартное) отклонение; m_x – ошибка среднего значения; V – коэффициент вариации показателя, %; p – точность опыта, %.

Одним из факторов, оказывающих определенное влияние на величину класса бонитета и полноты древостоев, является их породный состав. Так, во влажных и свежих борах средний класс бонитета сосняков выше, чем березняков, произрастающих в этих ТЛУ (табл. 4). В сухих борах положение диаметрально изменяется, а в ТЛУ A₄ и A₅ класс бонитета древостоев практически не зависит от их состава. Средняя же полнота сосняков в свежих, а особенно сухих борах выше, чем березняков, а в остальных ТЛУ, наоборот, ниже.

Таблица 4

Влияние состава древостоев в борах Марийского Заволжья на величину среднего класса их бонитета

Преобладающая порода	Средние значения показателей древостоев в различных ТЛУ				
	A ₁ , N = 9452	A ₂ , N = 24952	A ₃ , N = 6621	A ₄ , N = 3838	A ₅ , N = 3674
Класс бонитета древостоев					
Сосна (≤ 7 ед.)	2,63	1,66	1,40	3,28	4,78
Береза (≤ 7 ед.)	2,48	1,86	1,63	3,20	4,77
Сосна + береза	2,57	1,68	1,48	3,21	4,76
Полнота древостоев					
Сосна (≤ 7 ед.)	0,71	0,69	0,70	0,69	0,58
Береза (≤ 7 ед.)	0,57	0,66	0,72	0,70	0,62
Сосна + береза	0,65	0,68	0,70	0,68	0,58

Анализ исходного материала показал, что класс бонитета древостоев во многих ТЛУ закономерно изменяется в градиенте их полноты (рис. 1), что с довольно высокой точностью можно аппроксимировать полиномиальными функциями, определяющими в различных ТЛУ от 86 до 98 % дисперсии значений показателя. Сосняки в сухих борах наиболее высокий класс бонитета имеют при полноте 0,7, в свежих, влажных и сырых – при 0,8, а в заболоченных – при 1,0. У березняков же пики классов бонитета приходятся в этих ТЛУ на другие значения полноты: в A₁ – 0,5, в A₂ – 0,6, A₃ – 0,7, в A₄ и A₅ – 1,0.

Класс бонитета древостоев, как показали исследования, не остается постоянным в течение их жизни: вначале он опускается, затем до 50-70 лет повышается, а затем медленно снижается, стабилизируясь после 120 лет на стационарных отметках, сугубо специфичных для каждого ТЛУ (рис. 2). Это явление, выявленное нами ранее при исследовании дубняков и липняков республики (Демаков, Краснов, Исаев, 2015; Демаков, Курненко, Краснов, 2016), связано не только с ошибками таксаторов, а и с особенностями развития насаждений, о чем свидетельствует однотипность динамики класса бонитета у всех без исключения древостоев. Об

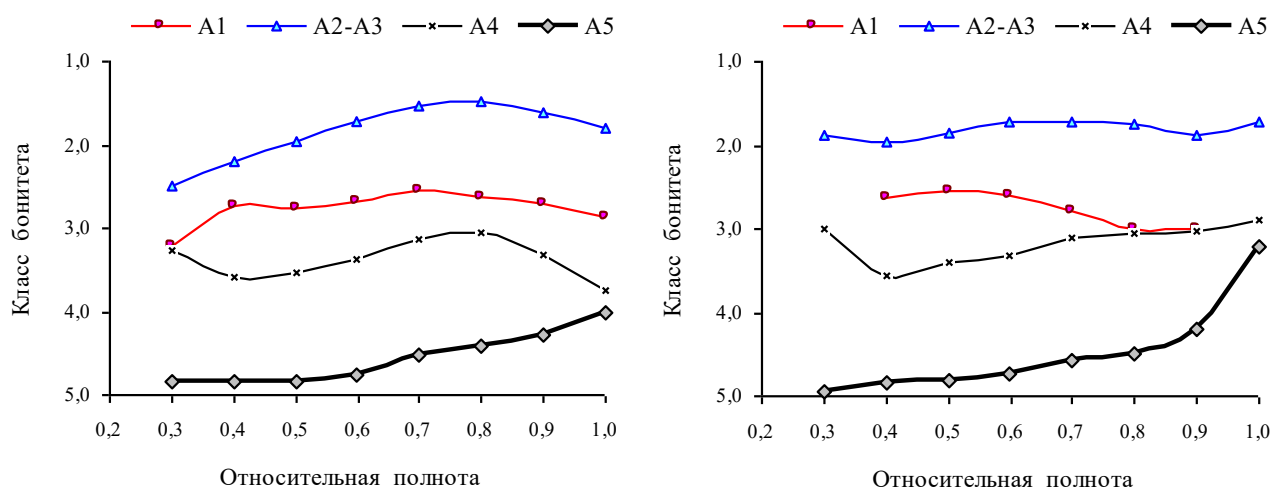


Рис. 1. Изменение среднего класса бонитета сосняков (слева) и березняков по градиенту их полноты в различных ТЛУ Марийского Заволжья

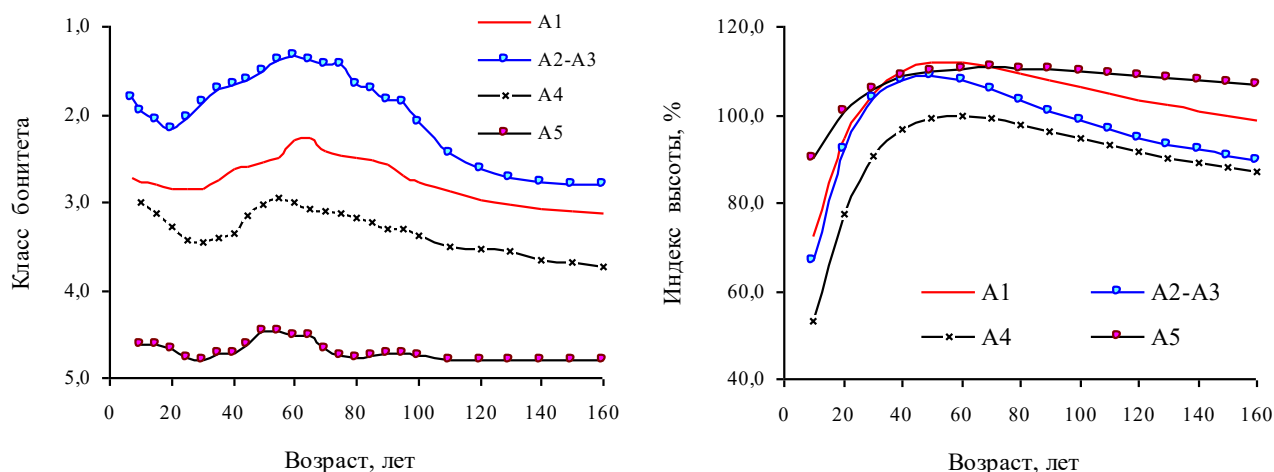


Рис. 2. Динамика среднего класса бонитета и индекса высоты древостоев сосны в различных ТЛУ

этом же свидетельствует, в частности, индекс высоты древостоев, выраженный как отношение их фактической высоты к высоте древостоев близкого к ним класса бонитета.

Одной из причин возникновения ошибок при натурной оценке класса бонитета древостоев является неправильное определение таксаторами их возраста. Потенциальную производительность древостоев в связи с этим точнее отображает их средняя высота, которая оценивается ими напрямую. На динамику значений этого параметра в каждом ТЛУ большое влияние, однако, оказывает полнота древостоев, что с очень высокой достоверностью доказывают полученные нами математические модели (табл. 5). Полнота древостоев значительное влияние оказывает также на величину отношения между их средней высотой и средним диаметром (табл. 6), что необходимо учитывать при таксации насаждений.

Таблица 5

Параметры моделей динамики средней высоты сосновых древостоев в борах Марийского Заволжья

ТЛУ	Полнота	Значения параметров уравнения $H = K \times [1 - \exp(-a \times 10^{-3} \times A)]^b$			
		K	a	b	R ²
A ₁	0,3 – 0,5	24,0	32,19	2,143	0,987
	0,6 – 0,7	26,5	25,49	1,755	0,995
	0,8 – 1,0	28,1	20,82	1,471	0,988
A ₂	0,3 – 0,5	25,6	34,18	2,120	0,986
	0,6 – 0,7	26,8	32,02	1,860	0,992
	0,8 – 1,0	27,6	30,32	1,768	0,991

ТЛУ	Полнота	Значения параметров уравнения $H = K \times [1 - \exp(-a \times 10^{-3} \times A)]^b$			
		K	a	b	R ²
A ₃	0,3 – 0,5	25,5	41,32	2,641	0,988
	0,6 – 0,7	26,5	35,62	2,111	0,987
	0,8 – 1,0	29,8	27,30	1,720	0,991
A ₄	0,3 – 0,5	23,6	22,90	1,809	0,971
	0,6 – 0,7	21,8	32,29	2,209	0,976
	0,8 – 1,0	20,1	43,98	3,094	0,973
A ₅	0,3 – 0,5	20,0	15,78	1,566	0,993
	0,6 – 0,7	18,7	20,53	1,670	0,988
	0,8 – 1,0	16,9	37,77	3,102	0,955

Таблица 6

Параметры уравнения зависимости средней высоты сосновых древостоев от их среднего диаметра

ТЛУ	Полнота	Значения параметров уравнения $H = K \times [1 - \exp(-a \times 10^{-2} \times D)]^b + 1,3$			
		K	a	b	R ²
A ₁	0,3 – 0,5	26,1	7,557	1,990	0,993
	0,6 – 0,7	26,1	9,142	2,385	0,993
	0,8 – 1,0	30,3	7,342	1,976	0,993
A ₂	0,3 – 0,5	26,2	9,651	2,683	0,987
	0,6 – 0,7	26,3	10,38	2,681	0,989
	0,8 – 1,0	28,2	9,451	2,360	0,993
A ₃	0,3 – 0,5	25,7	10,27	2,785	0,987
	0,6 – 0,7	27,2	9,628	2,540	0,988
	0,8 – 1,0	31,5	7,746	2,155	0,989
A ₄	0,3 – 0,5	29,0	5,753	1,660	0,986
	0,6 – 0,7	22,2	10,48	2,359	0,983
	0,8 – 1,0	25,8	8,343	2,104	0,955
A ₅	0,3 – 0,5	31,1	4,340	1,521	0,986
	0,6 – 0,7	24,9	6,191	1,654	0,986
	0,8 – 1,0	17,3	15,03	3,396	0,946

Полученные нами математические модели не отражают фактической динамики реальных древостоев, полнота которых, как показывает анализ литературных источников (Разин, 1979; Штейнбок, Киселев, 1980; Саликов, Ашметков, 1985; Кузьмичев, 2013; Rogozin, Razin, 2015), не остается постоянной по мере их развития. Они предназначены для корректировки натурной оценки средней высоты древостоя, позволяющей, как показали результаты наших исследований (Демаков, Пуряев, 2015; Демаков и др., 2015), расчетным путем получить значения всех остальных таксационных параметров древостоя.

По мере развития древостоев в борах Марийского Заволжья их полнота закономерно изменяется: сначала она возрастает, постепенно достигая в каждом ТЛУ определенных максимальных отметок, а затем неуклонно снижается, что связано с их распадом в результате воздействия природных и антропогенных факторов.

Кульминация значений этого показателя у древостоев с преобладанием сосны в сухих, свежих и влажных борах отмечается в возрасте 40-45 лет и составляет 0,73-0,77 относительных единиц (рис. 3). В сырых борах сосняки достигают максимальной полноты, составляющей 0,69 относительных единиц, в возрасте 50-55 лет, а в заболоченных – 70-75 лет. У березняков кульминация полноты наступает раньше.

Динамику значений полноты древостоев можно математически довольно точно описать куполообразной функцией оптимума, параметры которой представлены в табл. 7.

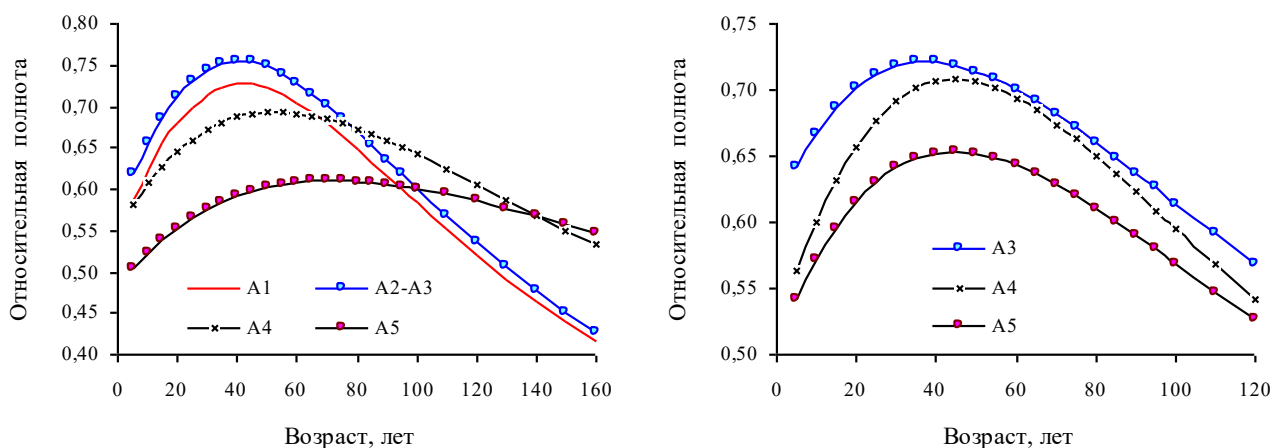


Рис. 3. Динамика средней полноты сосняков (слева) и березняков в различных ТЛУ.

Таблица 7
Параметры математических моделей динамики полноты древостоев в борах Марийского Заволжья

ТЛУ	Значения параметров уравнения $P = (A + m) / (a \times 10^{-3} \times A^2 + b \times 10^{-2} \times A + c)$						
	a	b	c	m	A_{max}	P_{max}	R^2
Древостои с преобладанием сосны (≤ 7 ед.)							
A_1	16,62	-2,151	118,7	65	42	0,727	0,799
A_2 - БР	16,59	0,793	113,4	65	40	0,729	0,792
A_2 - ЗМШ	15,75	4,360	109,8	65	40	0,768	0,831
A_3	15,79	-1,324	115,4	65	45	0,749	0,826
A_4	8,50	54,76	117,3	65	50	0,693	0,578
A_5	5,49	85,11	134,7	65	70	0,610	0,585
Древостои с преобладанием березы (≤ 7 ед.)							
A_3	9,25	69,67	82,1	50	35	0,721	0,686
A_4	13,00	25,92	96,1	50	45	0,708	0,460
A_5	11,07	54,41	98,6	50	45	0,653	0,879

Результаты исследований свидетельствуют, казалось бы, об имеющемся резерве повышения производительности лесов за счет увеличения их полноты с помощью различных хозяйственных мероприятий. Фактически же такой возможности не существует, поскольку производство дополнительной фитомассы древостоев неизбежно нарушит водный баланс и приведет к падению уровня грунтовых вод, а это, в свою очередь, автоматически вызовет снижение производительности лесов. Средняя полнота древостоев в каждом ТЛУ является, следовательно, неким **региональным эталоном**, величина которого обусловлена физико-географическими условиями. Полнота всех реальных древостоев в процессе их развития неизбежно приближается, на наш взгляд, к этой величине. Полноту древостоев на начальных этапах их развития нужно не повышать, а наоборот, снижать до определенного оптимума, что будет способствовать увеличению их текущего прироста и накоплению запаса крупномерной древесины (Рогозин, Разин, 2015; Демаков и др., 2016).

Выводы

Наиболее высокий класс бонитета (1,50) имеют в среднем древостои, произрастающие во влажных борах Марийского Заволжья, а самый низкий (4,77) – в заболоченных. Самая высокая полнота (0,73) присуща древостоям в лишайниково-вересковом типе леса, а самая низкая (0,58) – в заболоченных борах. Эти таксационные параметры значительно изменяются даже в пределах одного типа леса, что связано с воздействием на древостои комплекса различных природных и антропогенных факторов, одним из которых является их породный состав. Во влажных и свежих борах средний класс бонитета сосняков выше, чем березняков, а в сухих

борах, наоборот, ниже. В сырых и заболоченных борах величина этого параметра древостоев практически не зависит от их состава. Средняя же полнота сосняков в свежих, а особенно в сухих борах выше, чем березняков, а в остальных лесорастительных условиях этого экологического ряда ниже.

Класс бонитета древостоев во многих лесорастительных условиях борового ряда закономерно изменяется в градиенте их полноты, что с довольно высокой точностью аппроксимируют полиномиальные функции, определяющие от 86 до 98 % дисперсии значений показателя. Сосняки в сухих борах наиболее высокий класс бонитета имеют при полноте 0,7, в свежих, влажных и сырых – при 0,8, а в заболоченных – при 1,0. У березняков же пики классов бонитета приходятся на полноту, значения которой ниже этих отметок на 0,2-0,3.

Класс бонитета древостоев не остается постоянным в течение их жизни: вначале он опускается, затем до 50-70 лет повышается, а потом медленно снижается, стабилизируясь после 120 лет на стационарных отметках, сугубо специфичных для каждого типа лесорастительных условий. Это явление связано с особенностями развития насаждений, о чем свидетельствует однотипность динамики данного таксационного параметра у всех без исключения древостоев.

По мере развития древостоев в борах Марийского Заволжья их полнота сначала возрастает, постепенно достигая в каждом типе лесорастительных условий определенных максимальных отметок, а затем неуклонно снижается, что математически довольно точно аппроксимирует уравнение оптимума. Кульминация значений этого таксационного показателя у древостоев с преобладанием сосны в сухих, свежих и влажных борах отмечается в возрасте 40-45 лет и составляет 0,73-0,77 относительных единиц. В сырых борах сосняки достигают максимальной полноты, составляющей 0,69 относительных единиц, в возрасте 50-55 лет, а в заболоченных – 70-75 лет. У березняков кульминация полноты наступает раньше. Полнота древостоев оказывает определенное влияние на динамику их средней высоты и на величину отношения между ней и средним диаметром.

Линия возрастных изменений средней полноты древостоев в каждом типе леса, описанная определенным уравнением регрессии, является региональным эталоном, величина которого обусловлена физико-географическими условиями. Полнота всех реальных древостоев в процессе их развития неизбежно приближается к этой величине, повысить которую с помощью хозяйственных мероприятий практически невозможно, поскольку производство биогеоценозами дополнительной фитомассы неизбежно нарушит водный баланс и приведет к падению уровня грунтовых вод, а это, в свою очередь, автоматически вызовет снижение производительности лесов. Полноту древостоев на начальном этапе их развития нужно не повышать, а наоборот, снижать до определенного оптимума, что будет способствовать увеличению их текущего прироста и накоплению запаса крупномерной древесины.

Библиографический список

1. Верхунов, П. М. Таксация леса / П.М. Верхунов, В.Л. Черных. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2007. – 395 с.
2. Давидов, М. В. К вопросу об установлении типов роста древостоев в натуре / М.В. Давидов // ИВУЗ: Лесной журнал. – 1977. – № 6. – С.11–16.
3. Демаков, Ю. П. Методика использования таксационных описаний насаждений для анализа структуры и динамики древостоев / Ю.П. Демаков // Наука в условиях современности. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2009. – С. 6-8.
4. Демаков, Ю. П. Закономерности развития древостоев в сураменях Марийского Заволжья / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев, А.А. Симанова // Сибирский лесной журн. – 2015. – № 1. – С. 43-57.
5. Демаков, Ю. П. Закономерности развития древостоев в суборах Марийского Заволжья / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев // Вестник Удмуртского государственного университета. Серия: Биология. Науки о Земле. – 2015. – Т. 25. – Вып. 2. – С. 58-70.
6. Демаков, Ю. П. Моделирование развития древостоев и распределения потока ассимилянтов на основе материалов лесоустройства [Электронный ресурс] / Ю.П. Демаков, А.С. Пуряев // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг. – Йошкар-Ола: ПГТУ,

2015. – С. 6-19. – Режим доступа: <http://www.volgattech.net/international-cooperation-department/centre-for-sustainable-management-and-remote-monitoring-of-forests/publications>. – 07.10.2017.
7. Демаков, Ю. П. Использование аллометрических зависимостей для оценки фитомассы различных фракций деревьев и моделирования их динамики / Ю.П. Демаков, А.С. Пуряев, В.Л. Черных, Л.В. Черных // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 2. – С. 19-36.
8. Демаков, Ю. П. Закономерности развития древостоев с участием дуба в лесах Марийского Предволжья / Ю.П. Демаков, В.Г. Краснов, А.В. Исаев // Вестник Удмуртского государственного университета. Сер.: Биология. Науки о Земле. – 2015. – Т. 25. Вып. 4. – С. 53-62.
9. Демаков, Ю. П. Ресурсный потенциал и закономерности развития липняков Республики Марий Эл / Ю.П. Демаков, И.П. Куренкова, В.Г. Краснов // Вестник Удмуртского государственного университета. Сер.: Биология. Науки о Земле. – 2016. – Т. 26. Вып. 4. – С. 12-24.
10. Демаков, Ю. П. Закономерности развития древостоев в культурах сосны обыкновенной разной исходной густоты / Ю.П. Демаков, Т. В.Нуреева, А.С. Пуряев, А. А. Рыжков // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2016. – № 4 (32). – С. 19-33.
11. Загреев, В. В. Географические закономерности роста и продуктивности древостоев / В.В. Загреев. – М.: Лесная пром-сть, 1978. – 240 с.
12. Итоги экспериментальных работ в лесной опытной даче ТСХА за 1862-1962 годы. – М.: Минсельхоз СССР, 1964. – 562 с.
13. Кузьмичев, В. В. Закономерности роста древостоев / В.В. Кузьмичев. – Новосибирск: Наука, 1977. – 160 с.
14. Кузьмичев, В. В. Закономерности динамики древостоев / В.В. Кузьмичев. – Новосибирск: Наука, 2013. – 208 с.
15. Разин, Г. С. Об изменчивости класса бонитета и полноты насаждений с возрастом / Г.С. Разин // ИВУЗ: Лесной журнал. – 1965. – №5. – С.37-39.
16. Разин, Г. С. Динамика сомкнутости одноярусных древостоев / Г.С. Разин // Лесоведение. – 1979. – № 1. – С. 23-25.
17. Рогозин, М. В. Развитие древостоев. Модели, законы, гипотезы / М.В. Рогозин, Г.С. Разин. – Пермь: ПГНИУ, 2015. – 277 с.
18. Саликов, Н. Я. Полнота как норматив режима формирования древостоев / Н.Я. Саликов, В.М. Ашметков // Лесное хозяйство. – 1985. – № 10. – С. 52-54.
19. Санников, С. Н. Дифференциация популяций сосны обыкновенной / С.Н. Санников, И.В. Петрова. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – 248 с.
20. Свалов, Н. Н. Прогнозирование роста древостоев / Н.Н. Свалов // Лесоведение и лесоводство. Т. 2. Итоги науки и техники. – М.: ВИНТИ, 1978. – С. 110-197.
21. Свалов, Н. Н. Моделирование производительности древостоев и теория лесопользования / Н.Н. Свалов. – М.: Лесная пром-сть, 1979. – 236 с.
22. Штейнбок, А. Г. Динамика полнот изреженных древостоев и целесообразность их реконструкции / А.Г. Штейнбок, В.В. Киселев // Лесоведение и лесное хозяйство. – Минск: Вышэйшая школа, 1980. – Вып. 15. – С. 66-70.

References

1. Verhunov, P. M. Taksaciya lesa / P.M. Verhunov, V.L. CHernyh. – Joshkar-Ola: MarGTU, 2007. – 395 s.
2. Davidov, M. V. K voprosu ob ustanovlenii tipov rosta drevostoev v nature / M.V. Davidov // IVUZ: Lesnoj zhurnal. – 1977. – № 6. – S.11–16.
3. Demakov, Yu.P. Metodika ispol'zovaniya taksacionnyh opisaniy nasazhdenij dlya analiza struktury i dinamiki drevostoev / Yu.P. Demakov // Nauka v usloviyah sovremenosti. – Joshkar-Ola: MarGTU, 2009. – S. 6-8.
4. Demakov, Yu.P. Zakonomernosti razvitiya drevostoev v suramenyah Marijskogo Zavolzh'ya / Yu.P. Demakov, A.V. Isaev, A.A. Simanova // Sibirskij lesnoj zhurn. – 2015. – № 1. – S. 43-57.
5. Demakov, Yu.P. Zakonomernosti razvitiya drevostoev v suboryah Marijskogo Zavolzh'ya / Yu.P. Demakov, A.V. Isaev // Vestnik Udmurtskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Biologiya. Nauki o Zemle. – 2015. – Т. 25. – Вып. 2. – S. 58-70.
6. Demakov, Yu. P. Modelirovanie razvitiya drevostoev i raspredeleniya potoka assimilyantov na osnove materialov lesoustrojstva [Elektronnyj resurs] / Yu.P. Demakov, A.S. Puryaev // Lesnye Ekosistemy v usloviyah izmeneniya klimata: biologicheskaya produktivnost' i distancionnyj monitoring. – Joshkar-Ola: PGU, 2015. – S. 6-19. – Rezhim dostupa: <http://www.volgattech.net/international-cooperation-department/centre-for-sustainable-management-and-remote-monitoring-of-forests/publications>. – 07.10.2017.
7. Demakov, Yu. P. Ispol'zovanie allometricheskikh zavisimostej dlya ocenki fitomassy razlichnykh frakcij derev'ev i modelirovaniya ih dinamiki / Yu.P. Demakov, A.S. Puryaev, V.L. CHernyh, L.V. CHernyh // Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie. – 2015. – № 2. – S. 19-36.
8. Demakov, Yu. P. Zakonomernosti razvitiya drevostoev s uchastiem duba v lesah Marijskogo Predvolzh'ya / Yu.P. Demakov, V.G. Krasnov, A.V. Isaev // Vestnik Udmurtskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Biologiya. Nauki o Zemle. – 2015. – Т. 25. Вып. 4. – S. 53-62.

9. Demakov, Yu. P. Resursnyj potencial i zakonomernosti razvitiya lipnyakov Respubliki Marij El / Yu.P. Demakov, I.P. Kurnenkova, V.G. Krasnov // Vestnik Udmurtskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Biologiya. Nauki o Zemle. – 2016. – T. 26. Vyp. 4. – S. 12-24.
10. Demakov, Yu. P. Zakonomernosti razvitiya drevostoya v kul'turah sosny obyknovennoj raznoj iskhodnoj gustomoty / Yu.P. Demakov, T. V.Nureeva, A.S. Puryaev, A. A. Ryzhkov // Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie. – 2016. – № 4 (32). – S. 19-33.
11. Zagreev, V. V. Geograficheskie zakonomernosti rosta i produktivnosti drevostoev / V.V. Zagreev. – M.: Lesnaya prom-st', 1978. – 240 s.
12. Itogi eksperimental'nyh rabot v lesnoj opytnoj dache TSKHA za 1862-1962 gody. – M.: Minsel'hoz SSSR, 1964. – 562 s.
13. Kuz'michev, V. V. Zakonomernosti rosta drevostoev / V.V. Kuz'michev. – Novosibirsk: Nauka, 1977. – 160 s.
14. Kuz'michev, V. V. Zakonomernosti dinamiki drevostoev / V.V. Kuz'michev. – Novosibirsk: Nauka, 2013. – 208 s.
15. Razin, G. S. Ob izmenchivosti klassa boniteta i polnoty nasazhdenij s vozrastom / G.S. Razin // IVUZ: Lesnoj zhurnal. – 1965. – №5. – S.37-39.
16. Razin, G. S. Dinamika somknutosti odnoyarusnyh drevostoev / G.S. Razin // Lesovedenie. – 1979. – № 1. – S. 23-25.
17. Rogozin, M. V. Razvitie drevostoev. Modeli, zakony, gipotezy / M.V. Rogozin, G.S. Razin. – Perm': PGNIU, 2015. – 277 s.
18. Salikov, N. YA. Polnota kak normativ rezhima formirovaniya drevostoev / N.YA. Salikov, V.M. Ashmetkov // Lesnoe hozyajstvo. – 1985. – № 10. – S. 52-54.
19. Sannikov, S. N. Differenciatsiya populyacij sosny obyknovennoj / S.N. Sannikov, I.V. Petrova. – Ekaterinburg: UrO RAN, 2003. – 248 s.
20. Svalov, N. N. Prognozirovanie rosta drevostoev / N.N. Svalov // Lesovedenie i lesovodstvo. T. 2. Itogi nauki i tekhniki. – M.: VINITI, 1978. – S. 110-197.
21. Svalov, N. N. Modelirovanie proizvoditel'nosti drevostoev i teoriya lesopol'zovaniya / N.N. Svalov. – M.: Lesnaya prom-st', 1979. – 236 s.
22. SHtejnbock, A. G. Dinamika polnot izrezhennyh drevostoev i celesoobraznost' ih rekonstrukcii / A.G. SHtejnbock, V.V. Kiselev // Lesovedenie i lesnoe hozyajstvo. – Minsk: Vyshehshaya shkola, 1980. – Vyp. 15. – S. 66-70.

УДК 630*181.65

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА С ЗАКРЫТОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ ПРИ СОЗДАНИИ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН

Л.И. Лугинина, В.П. Бессчетнов

Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия

Сохранение и преумножение защитного и ресурсного потенциала лесов, предупреждение их деградации – основная задача устойчивого управления лесами. Лесовосстановление является обязательной частью цикла лесовыращивания в лесохозяйственном производстве и должно обеспечивать сохранение экологических и социальных функций леса. Как и любое лесохозяйственное мероприятие, лесовосстановление должно быть продуманным, научно обоснованным и целенаправленным.

Леса в России ежегодно исчезают на значительных площадях в результате хозяйственной деятельности (рубки, строительство дорог и другой инфраструктуры, расширение населенных пунктов, пожары, снижение устойчивости вторичных лесов к насекомым, болезням и т.д.), поэтому важнейшей задачей, которая возложена на органы исполнительной власти и арендаторов, является лесовосстановление, призванное не допускать снижения площади покрытых лесной растительностью земель и ухудшения состояния лесных насаждений.

Посадка лесных культур проводится в Республике Татарстан на любых местах произрастания, если предпосылки естественного возобновления не достаточно. Интенсивная обработка почвы подходящим способом, правильный выбор древесной породы и вида посадочного материала, аккуратное обращение с сеянцами и качественная посадка обеспечивают формирование хорошего леса.

В статье рассматривается метод создания лесных культур посадочным материалом с закрытой корневой системой в Республике Татарстан. Для сравнения результатов взят образец культур, выращенных из сеянцев с открытой корневой системой.

Цель данной работы – определить эффективность создания лесных культур, выращенных из сеянцев с закрытой корневой системой; выяснить, насколько лучше или хуже посад-

ка при лесовосстановлении культур сосны обыкновенной, выращенных по различным технологиям выращивания, в чем различия и сходства на протяжении их развития на лесокультурных площадях.

По изучаемым признакам (прирост культур по высоте и диаметру) наблюдается хорошее развитие культур, что подтверждается рядом проведенных исследований. Так, точность опыта находится в пределах 5%, что свидетельствует о достоверности и качестве результата исследуемых культур.

Ключевые слова: лесные культуры, сосна обыкновенная, прирост, закрытая корневая система, диаметр.

TNE EFFICACY OF PLANTING MATERIAL WITH CLOSED ROOT SYSTEM ON SCOTS PINE (*PINUS SILVESTRIS* L.) PLANTATIONS IN THE REPUBLIC OF TATARSTAN

L.I. Luginina, V.P. Besschetnov
Nizhniy Novgorod state agricultural academy

Preservation and enhancement of the defensive and resource capacity of forests, prevention of their degradation is the main objective of sustainable forest management. Reforestation is an essential part of forestry production cycle; it should ensure preservation of the environmental and social functions of forest. Like any other forestry activity, reforestation must be well-grounded, scientifically sound and purposeful.

Forests in Russia annually disappear in significant amounts as a result of economic activities (logging, construction of roads and other infrastructure facilities, expansion of settlements, forest fires, reduction of forest resistance to insects, diseases, etc.). Therefore, the most important task entrusted to the executive authorities and tenants is reforestation, meant to retain the area of forests and prevent deterioration of forest plantations.

Forest crops are planted at any site in the Republic of Tatarstan, where the natural forest regeneration is not possible. Relevant and intensive soil cultivation, right choice of woody species, quality of planting material, careful seedling management and quality planting procedures ensure the formation of a good stand.

The paper sheds light on the method of creating forest plantations with a closed root system in the Republic of Tatarstan. In order to compare the results, a seedling grown with an open root system was taken as a reference sample.

The purpose of this work was to determine the efficiency of creating forest plantations grown from seedlings with a closed root system. The paper focuses on the benefits and drawbacks of planting Scots Pine seedlings produced by different cultivation methods on the areas due for forest regeneration. The differences and similarities arising over the course of their development on plantations are also analyzed.

Based on the key indicators (increment in height and diameter), we observed good development of species, as evidenced by the series of studies carried out. Thus, the accuracy of the experiment is within 5%, which indicates the reliability and quality of the result of the species under study.

Key words: forest cultures, *Pinus sylvestris*, growth, closed root system, diameter.

В соответствии с положениями Лесного кодекса Российской Федерации мероприятия в сфере лесного семеноводства (глава 4, статья 65) являются частью мероприятий по воспроизводству лесов (Лесной кодекс, 2016). Полномочия по обеспечению воспроизводства лесов переданы субъектам Российской Федерации. Расширение площадей лесных культур основных лесообразующих пород лежит в контексте базовых положений Государственной программы Российской Федерации «Развитие лесного хозяйства» на 2013-2020 годы» (Государственная программы РФ, 2013). В Республике Татарстан в 2012 году был создан

крупнейший в Европе инновационный автоматизированный комплекс Лесной селекционно-семеноводческий центр (далее ЛССЦ) для выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой (Трифенова и др., 1993). Продукция данного центра используется при закладке лесных культур, а также при создании защитных противоэрозионных насаждений на территории Республики Татарстан. Так, в 2012 году в лесном фонде заложено лесных культур с использованием посадочного материала ЛССЦ Республики Татарстан на площади 150 га (525 тыс. шт.) и заложены защитные насаждения на площади свыше 2 тыс. га (7 млн шт.). В 2013 году в лесном фонде заложено 142 га лесных культур посадочным материалом с ЗКС (497 тыс. шт.) и заложено защитных насаждений на площади свыше 2 тыс. га (7 млн шт.). В 2014 году соответствующие работы были продолжены: создано лесных культур на площади 893 га (3,1 млн шт.) и заложено защитных насаждений на площади свыше 2 тыс. га (7 млн шт.). В 2015 году заложено лесных культур на площади 600 га (2,1 млн шт.) и создано защитных насаждений на площади свыше 2 тыс. га (7 млн шт.). В лесном фонде республики в 2016 году произведена посадка лесных культур с использованием данного посадочного материала на площади 515 га (1,8 млн шт. посадочного материала). Также в целях создания защитных противоэрозионных насаждений на площади свыше 2100 га в 2016 году использовано около 7,3 млншт. посадочного материала.

Центр обеспечивает посадочным материалом с закрытой корневой системой с улучшенными наследственными свойствами стабильную работу татарстанских лесоводов по лесовосстановлению и лесоразведению, позволяет внедрять новые технологии при выращивании семян, что в свою очередь улучшит качество наших лесов (Бессчетнова, 2011; Бессчетнова, Бессчетнов, 2014; Бессчетнова, 2015). Наравне с таким подходом, в лесном хозяйстве Республики Татарстан семена выращивают с открытой корневой системой. Подобные исследования традиционно выступают предметом научных разработок в сфере лесовосстановления как в Российской Федерации (Бессчетнов и др., 2014а, Бессчетнов и др., 2014б), так и в других странах с развитым сектором лесного хозяйства в их экономике (Simpson, 1984; Arp, 1989; Johnson, 1994; Курбанов и др., 2011; Курбанов, Воробьев, 2015).

Цель исследования - определить эффективность создания лесных культур сеянцами сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) с закрытой корневой системой.

Объект исследования. На территории Государственного казенного учреждения (далее ГКУ) «Сабинское лесничество», Кукморского участкового лесничества, Ошторма Юмьинского сельского поселения в противоэрозионных защитных лесных насаждениях на площади 15 га были посажены культуры сосны обыкновенной, выращенные в Лесном селекционно-семеноводческом центре по контейнерным технологиям (закрытой корневой системой). Отобранный участок относится к сельскохозяйственным угодьям – пастбище с рельефом юго-западного склона, почва дерново-подзолистая. Ширина междурядий 4,6 м, расстояние в ряду 1,5 м, количество посадочных мест на 1 га 1449 шт. Присутствует сопутствующая порода рябина, из кустарников – акация желтая. Количество рядов 19, общая ширина 86 м, протяженность насаждений 1740 м. Общая длина борозд 32609 пог. м. Почву подготавливали механизированным способом, нарезкой террас. Глубина обработки 12 см, ширина террас 2,5 м. Средняя длина гона 250 м. С 2014 по 2018 год назначены агротехнические уходы, в 2018 году насаждения передают в эксплуатацию хозяйства на постоянное пользование.

На территории ГКУ «Арское лесничество» Балтасинского участкового лесничества сельскохозяйственным производственным комбинатом «АКТИВИСТ» в противоэрозионных защитных лесных насаждениях на площади 5,5 га были посажены культуры сосны обыкновенной, выращенные по стандартным технологиям (открытая корневая система) в ГБУ «Арский

лесхоз» Балтасинского производственного участка – питомник, площадью 1,5 га заложенного в 2000 году. Отобранный участок относится к сельскохозяйственным угодьям – выгон, почва дерново-подзолистая. Ширина междурядий 3,0 м, расстояние в ряду 1,0 м, количество посадочных мест на 1 га 3330 шт. Почву подготавливали механизированным способом, нарезкой борозд. Глубина обработки 12 см, размер полос – длина 150 м, ширина 367 м.

Общий методологический подход и основные методические схемы. Выбранные участки лесных культур были заложены в 2014 году. На момент замеров (2016 год) их возраст составил 3 года. Анализ проводился методом случайной выборки по сто штук с учетом принципа единственного логического различия, типичности и пригодности опыта (Трифонов и др., 1993; Моисейченко и др., 1994). У каждого образца были сделаны замеры диаметра от корневой шейки, первой, второй, третьей мутовок, высота от корневой шейки до первой мутовки, от первой до второй, от второй до третьей. Высота надземной части измерялась с точностью до 1 мм. Диаметр ствола измерялся электронным штангенциркулем (Electronic Digital Caliper – G06064731) с точностью до 0,1 мм. Рассматриваемым параметром выступил прирост по высоте и диаметру. Обработка исходных данных осуществлялась в электронных таблицах Excel (Додж, Стинсон, 2003; Хэлворсон, Янг, 2005) по общепринятым методикам (Лакин, 1980; Доспехов, 1985; Бессчетнов и др., 2012). Изменчивость оценивали по шкале С.А. Мамаева (Мамаев, 1969).

Результаты и их обсуждение. Присутствуют небольшие расхождения значений анализируемых параметров у культур, выращенных по разным технологиям (табл. 1).

Таблица 1

Основные статистики параметров растений в учетах по мутовкам в разном возрасте

Мутовка	Счет	Среднее	СКО	max.	min.	Δ_{lim}	$\pm m$	Cv, %	t	P, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Высота надземной части (посадочный материал с закрытой корневой системой)										
1-й год	100	12,21	5,20	24,00	2,50	21,50	0,52	42,59	23,48	4,26
2-й год	100	17,13	6,55	37,00	4,00	33,00	0,66	38,26	26,14	3,83
3-й год	100	23,89	7,67	45,00	8,00	37,00	0,77	32,11	31,14	3,21
Высота надземной части (посадочный материал с открытой корневой системой)										
1-й год	100	19,32	5,26	32,00	4,00	28,00	0,53	27,23	36,73	2,72
2-й год	100	22,11	4,86	44,00	10,00	34,00	0,49	21,98	45,50	2,20
3-й год	100	29,83	6,14	50,00	12,00	38,00	0,61	20,60	48,55	2,06
Диаметр ствола (посадочный материал с закрытой корневой системой)										
1-й год	100	9,01	2,73	16,98	3,32	13,66	0,27	30,34	32,96	3,03
2-й год	100	7,88	2,66	14,87	2,78	12,09	0,27	33,76	29,62	3,38
3-й год	100	6,18	2,33	12,23	2,02	10,21	0,23	37,71	26,52	3,77
Диаметр ствола (посадочный материал с открытой корневой системой)										
1-й год	100	12,23	3,43	21,41	4,17	17,24	0,34	28,06	35,64	2,81
2-й год	100	10,42	2,87	17,06	3,15	13,91	0,29	27,60	36,24	2,76
3-й год	100	8,53	2,13	14,75	4,80	9,95	0,21	24,96	40,07	2,50

Примечание. В таблице 1 использованы следующие обозначения:

- СКО – среднееквадратическое отклонение;
- max. – максимальное значение признака;
- min. – минимальное значение признака;
- Δlim – диапазон абсолютных значений признака;
- $\pm m$ – ошибка репрезентативности выборочного среднего;
- C_v , – коэффициент вариации;
- t – критерий Стьюдента;
- P – точность опыта или относительная ошибка.

Заметно (см. табл. 1, рис. 1), что средние значения высоты надземной части растений, имевших открытую корневую систему, на протяжении всех трех лет развития преобладают над закрытой корневой системой. Превышение на первом году развития между культурами с открытой ($19,32 \pm 0,53$ см) и закрытой корневой системой ($12,21 \pm 0,52$ см) составило 7,11 см, или 1,6 раз. На второй год – у открытой $22,11 \pm 0,49$ см, и у закрытой $17,13 \pm 0,66$ см, что на 4,98 см (или в 1,3 раза) больше. И на третий год – у открытой $29,83 \pm 0,61$ см и у закрытой $23,89 \pm 0,77$ см, что на 5,94 см (или в 1,2 раза) выше, чем у посадочного материала с закрытой корневой системой.

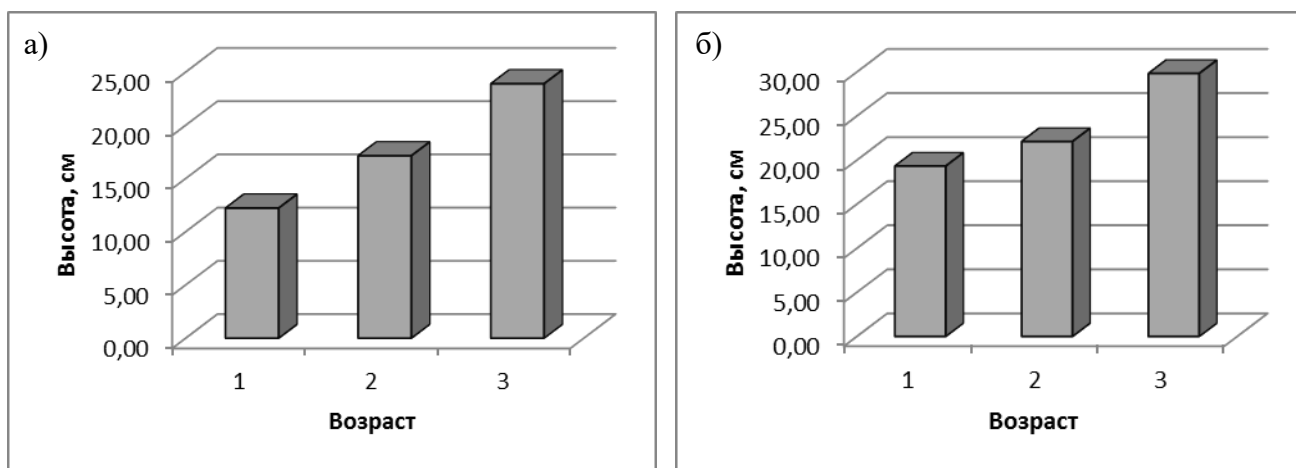


Рис. 1. Прирост культур в высоту за 3 года выращивания: а) посадочный материал с закрытой корневой системой; б) посадочный материал с открытой корневой системой

По диаметру надземной части растений (см. табл. 1 и рис. 2), сформировавшихся из посадочного материала с закрытой корневой системой, видно, что средние значения надземной части растений, имевших открытую корневую систему, на протяжении всех трех лет развития преобладают над закрытой корневой системой. Превышение на первом году развития между культурами с открытой ($12,23 \pm 0,34$ см) и закрытой корневой системой ($9,01 \pm 0,27$ см) составило 3,22 см, или 1,4 раза. На второй год у открытой $10,42 \pm 0,29$ см и у закрытой $7,88 \pm 0,27$ см, что на 2,54 см, или в 1,3 раза больше. И на третий год у открытой $8,53 \pm 0,21$ см и у закрытой $6,18 \pm 0,23$ см, что на 2,35 см, или в 1,4 раза выше, чем у посадочного материала с закрытой корневой системой.

Изменчивость линейных параметров относится преимущественно к среднему, повышенному и высокому уровню по шкале Мамаева (см. табл. 1). По высоте надземной части растений значения коэффициента вариации соответственно составили 42,59 – 38,26 – 32,11 % (ЗКС) и 27,23 – 21,98 – 20,60 % (ОКС). По диаметру ствола у корневой шейки оценки изменчивости достигли величин 30,34 – 37,71 % (ЗКС) и 24,98 – 28,06 % (ОКС).

Представленный в таблице 1 материал статистически достоверен: величины расчетных t -критериев Стьюдента заметно больше соответствующих табличных значений на 5-процентном и 1-процентном уровнях значимости, а точность опыта (относительная ошибка P , %) не превышает допустимый предел в 5 %.

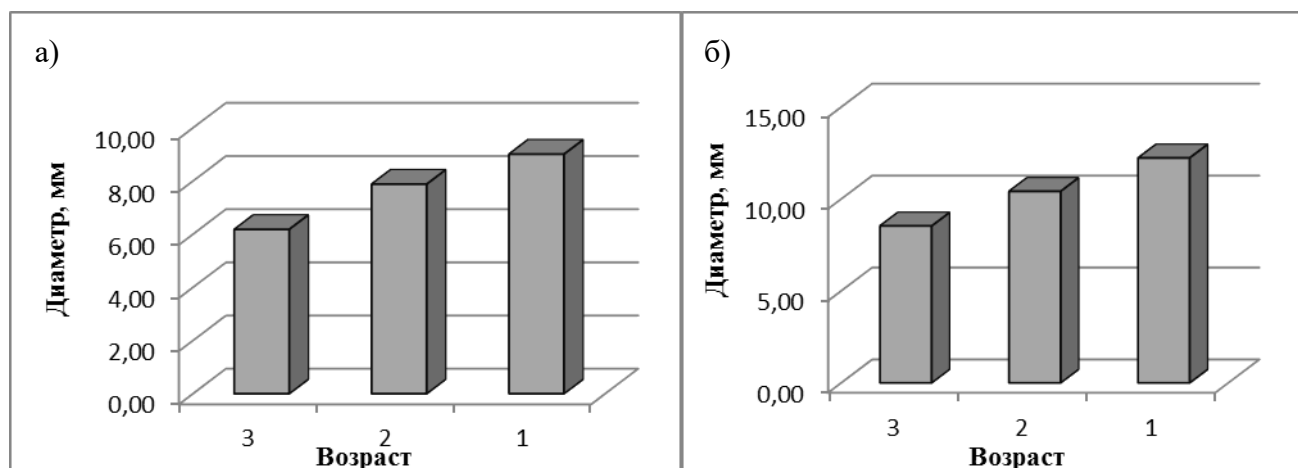


Рис. 2. Прирост культур по диаметру за 3 года выращивания: а) посадочный материал с закрытой корневой системой; б) посадочный материал с открытой корневой системой

Существенность различий между соответствующими значениями анализируемых параметров надземной части растений, полученных из посадочного материала с закрытой и открытой корневой системой, оценивалась в ходе проведения однофакторного дисперсионного анализа (табл. 2).

Таблица 2
Результаты дисперсионного анализа по линейным параметрам надземной части саженцев

Возраст учетной мутовки	Критерий Фишера		Доля влияния фактора				Критерии различий	
			по Плохинскому		по Снедекору			
	F _{оп}	F ₀₅	h ²	± s _h ²	h ²	± s _h ²	HPC ₀₅	D ₀₅
Сезонный прирост по высоте надземной части								
1-й год	92,318	3,889	0,318	0,003	0,477	0,003	1,450	1,465
2-й год	37,256	3,889	0,158	0,004	0,266	0,004	1,599	1,615
3-й год	36,507	3,889	0,156	0,004	0,262	0,004	1,927	1,946
Сезонный прирост по диаметру надземной части								
1-й год	54,159	3,889	0,215	0,004	0,347	0,003	0,860	0,869
2-й год	41,836	3,889	0,174	0,004	0,290	0,004	0,768	0,776
3-й год	55,534	3,889	0,219	0,004	0,353	0,003	0,619	0,625

Примечание. В таблице 2 использованы следующие обозначения статистик:

- $F_{оп}$ – опытное значение критерия Фишера;
- F_{05} – табличное значение критерия Фишера на 5-процентном уровне значимости;
- h^2 – доля влияния фактора в формировании общей дисперсии;
- $\pm s_h^2$ – ошибка показателя доли влияния фактора;
- HCP_{05} – наименьшая существенная разность на 5-процентном уровне значимости;
- D_{05} – критерий Тьюки на 5-процентном уровне значимости

В данном случае при сравнении результатов учета линейных параметров надземной части растений в вариантах с различной технологией производства посадочного материала и создания лесных культур выявлены существенные различия (см. табл. 2). Опытные критерии Фишера ($F_{оп}$) превышают соответствующие им табличные значения (F_{05}) на пятипроцентном уровне значимости.

Эффективность действия организованных факторов (в нашем случае это различия между технологиями производства посадочного материала) в вариантах с подтвержденным фактом существенных различий оказалась невысокой. В расчетах по алгоритму Плохинского влия-

ние на формирование различий приростов в высоту составило от $31,8 \pm 0,3$ % (первая мутовка) до $15,8 \pm 0,4$ % (вторая мутовка). По диаметру ствола – от $17,4 \pm 0,4$ % (вторая мутовка) до $21,9 \pm 0,4$ % (третья мутовка). При этом вычисления по алгоритму Снедекора дали заметно более высокие оценки влияния данного фактора. Обнаружено доминирующее влияние факторов среды на формирование учитываемой в опыте фенотипической дисперсии.

Выводы. Обнаружены различия в показателях высоты и диаметра лесных культур, созданных посадочным материалом с закрытой и открытой корневой системой, а также их сезонных приростов по высоте и диаметру. Причиной данных расхождений служат условия внешней среды, биотические и антропогенные факторы. Результат посадки и в дальнейшем выращивания лесных культур сосны обыкновенной с закрытой корневой системой считается хорошим, так как у данных культур корневая система развита не хуже, чем у культур, созданных из семян с открытой корневой системой. Санитарное состояние лесных культур на обследованных участках по показателям их роста и развития также находится в пределах нормы. Тот факт, что культуры с закрытой корневой системой немного отстают в росте по сравнению с открытой корневой системой, не служит основанием для утверждения, что они не рентабельны для воспроизводства. Можно сказать, что у культур с закрытой корневой системой есть даже больше предпосылок для создания более продуктивного и здорового леса в будущем.

Библиографический список

1. Бессчетнов, В.П. Дисперсионный анализ многоуровневых иерархических комплексов: методические указания для студентов и аспирантов очного и заочного отделений факультета лесного хозяйства по специальности 25020165 – Лесное хозяйство / В.П. Бессчетнов, Н.Н. Бессчетнова, О.Ю. Храмова, А.Н. Орнатский, Н.И. Горелов. – Нижний Новгород: НГСХА, 2012. – 33 с.
2. Бессчетнов, В.П. Пигментный состав хвои семян сосны обыкновенной с открытой и закрытой корневой системой / В.П. Бессчетнов, Н.Н. Бессчетнова, Л.И. Клишина и др. // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – №. 4. – С. 36-51.
3. Бессчетнов, В.П. Развитие ксилемы и лигнификация её клеток у семян сосны с открытой и закрытой корневой системой / В.П. Бессчетнов, Н.Н. Бессчетнова, Е.А. Яханова и др. // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014б. – №. 4. – С. 25-35.
4. Бессчетнова, Н.Н. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Морфометрия и физиология хвои плюсовых деревьев / Н.Н. Бессчетнова, В.П. Бессчетнов: монография. – Нижний Новгород: Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, 2014. – 368 с.
5. Бессчетнова, Н.Н. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Репродуктивный потенциал плюсовых деревьев / Н.Н. Бессчетнова: монография. – Нижний Новгород: Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, 2015. – 586 с.
6. Бессчетнова, Н.Н. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Селекционный потенциал плюсовых деревьев / Н.Н. Бессчетнова. – Saarbrücken: Lap Lambert Academic Publishing GmbH & co. KG. – 2011. – 402 с.
7. Государственная программа Российской Федерации «Развитие лесного хозяйства» на 2013-2020 годы: Утв.: распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 дек. 2012 г. № 2593 [Электронный ресурс] // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2013. – № 2. – 230 с. – Режим доступа: http://www.nbchr.ru/PDF/042_oos.pdf. – 17.09.2013.
8. Додж, М. Эффективная работа: Excel 2002 / М. Додж, К. Стинсон. Пер. с англ. по лицензии MicrosoftPress. – СПб.: Питер, 2003. – 377 с.
9. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / В.А. Доспехов. – М.: Колос, 1985. – 416 с.
10. Курбанов Э.А. Лесоводство. Международное лесное хозяйство: учебное пособие / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2014. – 254 с.
11. Курбанов, Э.А. Опыт сохранения уникальных лесов и биологического разнообразия в национальных парках западного побережья США / Э.А. Курбанов, М.А. Яцков, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – № 1. – 2011. – С. 99-107.
12. Лакин, Г.Ф. Биометрия: учебное пособие для биологических специальностей вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. / Г.Ф. Лакин. – М.: Высшая школа, 1980. – 293 с.
13. Лесной кодекс Российской Федерации (с изм. на 3 июля 2016 года) – М.: Проспект, КноРус, 2016. – 80 с.
14. Мамаев, С.А. О проблемах и методах внутривидовой систематики древесных растений. II. Амплитуда изменчивости / С.А. Мамаев // Закономерности формообразования и дифференциации вида у древесных растений: Труды Института экологии растений и животных УФ АН СССР. – Свердловск, 1969. – Вып. 60. – С. 3-38.

15. Миронов, А.В. Применение посадочного материала с закрытой коневой системой в воспроизводстве лесов / А.В. Миронов // Научные достижения, наработки, предложения за 2014 год: сборник научных докладов. – Краков, 2014. – Ч. 2. – С. 84-86.
16. Моисейченко, В.Ф. Основы научных исследований в плодоводстве, овощеводстве и виноградарстве / В.Ф. Моисейченко, А.Х. Заверюха, М.Ф. Трифонова. – М.: Колос, 1994. – 383 с.
17. Трифонова, М.Ф. Основы научных исследований / М.Ф. Трифонова, П.М. Заика, А.П. Устюжанин. – М.: Колос, 1993. – 239 с.
18. Хэлворсон, М. Эффективная работа с Microsoft Office XP / М. Хэлворсон, М. Янг; пер. с англ. – СПб.: Питер-Юг, 2005. – 1072 с.
19. Arp, P.A. Enhancing the container-stock seeding efficiency in forest nurseries / P.A. Arp, D. Harris, E.D. Stinson // The Forestry Chronicle. – 1989. – Vol. 65, № 6. – P. 423-430.
20. Johnson, C.M. Field performance of container systems in British Columbia / C.M. Johnson // The Forestry Chronicle. – 1994. – Issue 70, № 2. – P. 137-139.
21. Simpson, D.G. Filmforming antitranspirants: their effects on root growth capacity, storability, moisture stress avoidance, and field performance of containerized conifer seedlings / D.G. Simpson // The Forestry Chronicle. – 1984. – Vol. 60. – № 6. – P. 335-339.

References

1. Besschetnov, V.P. Dispersionnyj analiz mnogourovnevnyh ierarhicheskikh kompleksov: metodicheskie ukazaniya dlya studentov i aspirantov ochnogo i zaочного отделений факультета лесного хозяйства по специальности 25020165 – Лесное хозяйство / V.P. Besschetnov, N.N. Besschetnova, O.YU. Hramova, A.N. Ornatskij, N.I. Gorelov. – Nizhnyj Novgorod: NGSKHA, 2012. – 33 s.
2. Besschetnov, V.P. Pigmentnyj sostav hvoi seyancev sosny obyknovЕННОj s otkrytoj i zakrytoj kornevoj sistemoj / V.P. Besschetnov, N.N. Besschetnova, L.I. Klishina i dr. // Vestnik Nizhegorodskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. – 2014. – №. 4. – S. 36-51.
3. Besschetnov, V.P. Razvitie ksilemy i lignifikaciya eyo kletok u seyancev sosny s otkrytoj i zakrytoj kornevoj sistemoj / V.P. Besschetnov, N.N. Besschetnova, E.A. Yahanova i dr. // Vestnik Nizhegorodskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. – 2014b. – №. 4. – S. 25-35.
4. Besschetnova, N.N. Sosna obyknovennaya (Pinus sylvestris L.). Morfometriya i fiziologiya hvoi plyusovyh derev'ev / N.N. Besschetnova, V.P. Besschetnov: monografiya. – Nizhnyj Novgorod: Nizhegorodskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya, 2014. – 368 s.
5. Besschetnova, N.N. Sosna obyknovennaya (Pinus sylvestris L.). Reproductivnyj potencial plyusovyh derev'ev / N.N. Besschetnova: monografiya. – Nizhnyj Novgorod: Nizhegorodskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya, 2015. – 586 s.
6. Besschetnova, N.N. Sosna obyknovennaya (Pinus sylvestris L.). Selekcionnyj potencial plyusovyh derev'ev / N.N. Besschetnova. – Saarbrücken: Lap Lambert Academic Publishing GmbH & co. KG. – 2011. – 402 s.
7. Gosudarstvennaya programma Rossijskoj Federacii «Razvitie lesnogo hoz'jajstva» na 2013-2020 gody: Utv.: rasporyazheniem Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 28 dek. 2012 g. № 2593 [Elektronnyj resurs] // Sobranie zakonodatel'stva Rossijskoj Federacii. – 2013. – № 2. – 230 s. – Rezhim dostupa: http://www.nbchr.ru/PDF/042_oos.pdf. – 17.09.2013.
8. Dodzh, M. Effektivnaya rabota: Excel 2002 / M. Dodzh, K. Stinson. Per. s angl. po licenzii MicrosoftPress. – SPb.: Piter, 2003. – 377 s.
9. Dospekhov, B.A. Metodika polevogo opyta / V.A. Dospekhov. – M.: Kolos, 1985. – 416 s.
10. Kurbanov E.A. Lesovodstvo. Mezhdunarodnoe lesnoe hoz'jajstvo: uchebnoe posobie / E.A. Kurbanov, O.N. Vorobiev. – Joshkar-Ola: PGTU, 2014. – 254 s.
11. Kurbanov, E.A. Opyt sohraneniya unikal'nyh lesov i biologicheskogo raznoobraziya v nacional'nyh parkah zapadnogo poberezh'ya SSHA / E.A. Kurbanov, M.A. Yackov, O.N. Vorob'yov, A.V. Gubaev, S.A. Lezhnin // Vestnik Marijskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie. – № 1. – 2011. – S. 99-107.
12. Lakin, G.F. Biometriya: uchebnoe posobie dlya biologicheskikh special'nostej vuzov. – 3-e izd., pererab. i dop. / G.F. Lakin. – M.: Vysshaya shkola, 1980. – 293 s.
13. Lesnoj kodeks Rossijskoj Federacii (s izm. na 3 iyulya 2016 goda) – M.: Prospekt, KnoRus, 2016. – 80 s.
14. Mamaev, S.A. O problemah i metodah vnutrividovoj sistematiki drevesnyh rastenij. II. Amplituda izmenchivosti / S.A. Mamaev // Zakonomernosti formoobrazovaniya i differenciacii vida u drevesnyh rastenij: Trudy Instituta ekologii rastenij i zhivotnyh UF AN SSSR. – Sverdlovsk, 1969. – Vyp. 60. – S. 3-38.
15. Mironov, A.V. Primenenie posadochnogo materiala s zakrytoj kornevoj sistemoj v vosproizvodstve lesov / A.V. Mironov // Nauchnye dostizheniya, naboiki, predlozheniya za 2014 god: sbornik nauchnyh dokladov. – Krakov, 2014. – Ch. 2. – S. 84-86.
16. Moisejchenko, V.F. Osnovy nauchnyh issledovaniy v plodovodstve, ovoshchevodstve i vinogradarstve / V.F. Moisejchenko, A.H. Zaveryuha, M.F. Trifonova. – M.: Kolos, 1994. – 383 s.
17. Trifonova, M.F. Osnovy nauchnyh issledovaniy / M.F. Trifonova, P.M. Zaika, A.P. Ustyuzhanin. – M.: Kolos, 1993. – 239 s.
18. Helvorson, M. Effektivnaya rabota s Microsoft Office HR / M. Helvorson, M. YAng; per. s angl. – SPb.: Piter-YUg, 2005. – 1072 s.

19. Arp, P.A. Enhancing the container-stock seeding efficiency in forest nurseries / P.A. Arp, D. Harris, E.D. Stinson // The Forestry Chronicle. – 1989. – Vol. 65, № 6. – P. 423-430.
20. Johnson, C.M. Field performance of container systems in British Columbia / C.M. Johnson // The Forestry Chronicle. – 1994. – Issue 70, № 2. – P. 137-139.
21. Simpson, D.G. Filmforming antitranspirants: their effects on root growth capacity, storability, moisture stress avoidance, and field performance of containerized conifer seedlings / D.G. Simpson // The Forestry Chronicle. – 1984. – Vol. 60. – № 6. – P. 335-339.

УДК 504.38: 630*907.3

ЛЕС И КЛИМАТ (ИСТОРИЧЕСКИЙ ЭКСКУРС)

В.С. Шалаев, В.К. Тепляков

Мытищинский филиал МГТУ имени Н.Э. Баумана

В статье показано, что проблема изменения климата не нова, хотя политическое признание получила только после Конференции в Рио-де-Жанейро с принятием Рамочной конвенции ООН об изменении климата (1992 г.). Киотский протокол (1995 г.), как и Парижское соглашение по климату (2015 г.), не дали результатов из-за отсутствия решений о поглощении лесами парниковых газов. На XXIV Всемирном конгрессе Международного союза лесных исследовательских организаций (ИЮФРО) была принята Стратегия ИЮФРО на 2015-2019 гг., включающая проблему леса и климата в увязке с почвой и влагой. В статье подчеркивается историческая своевременность постановки задачи изучения взаимоотношения леса и климата, результаты работы отечественных ученых в этом направлении. Вопросы леса и климата нашли отражение уже на II съезде ИЮФРО (Германия, 1896 г.) в докладе проф. Мютриха при рассмотрении работы лесных метеостанций. Исследования Г.Ф. Морозова, посвященные изучению отношений леса и влаги, вызвали большой интерес на III съезде (Швейцария, 1900 г.), и по его методу намечалось проведение работ в бассейне реки Роны во Франции, а результаты изысканий в Шиповом лесу с энтузиазмом встречены на VI съезде (Бельгия, 1910 г.). Результаты исследований П.В. Отоцким водного питания лесов широко цитировались ведущими зарубежными лесоведами, например, проф. Эбермайером на IV съезде (Австрия, 1903 г.). Как ответ на засуху 1946 г. в СССР был начат и в 1948-1953 гг. частично реализован крупномасштабный проект – План преобразования природы, предусматривавший создание более 4 млн га полезащитных лесных полос. Таким образом, проблема «лес, почва, вода и климат, антропогенное воздействие на лесные экосистемы» насчитывает более чем вековую научную историю на международном уровне, и отечественным лесоведам в решении этой проблемы принадлежит видное место.

Ключевые слова: лес, климат, мир, ИЮФРО, история, российские лесоводы.

FOREST AND CLIMATE (HISTORICAL FLASHBACK)

V.S. Shalaev, V.K. Teplyakov

Mytishchy Branch, Bauman Moscow State Technical University

The paper provides a retrospective review of the issue of climate change within the political framework. The problem of climate change has always been discussed by the academic community, however, it gained political recognition only after the conference in Rio-de-Janeiro (1992), where the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) was adopted. The Kyoto Protocol to the UNFCCC (1995) as well as the Paris Agreement under the UNFCCC (2015) did not bring any results due to absence of regulations with regard to greenhouse gases absorption by forests. The XXIV World Congress of the International Union of Forest Research Organizations (IUFRO) adopted the IUFRO Strategy for 2015-2019 "Interconnecting forests, science and people" which included Forest and Climate Change issues with closely related Forest, Soil and Water Interactions.

The paper emphasizes historically appropriate formulation of forest and climate change problem and reviews the research findings in the field. Forest and climate issues were widely discussed

at the II IUFRO Congress (Germany, 1896) in the report of Prof. Müttrich when analyzing the work of forest weather stations. The research of G.F. Morozov on forest and moisture interaction has aroused great interest at the III IUFRO Congress (Switzerland, 1900), and it was proposed to carry on research using the same approach in the Rhone River basin. His research in the Shipov Forest received recognition at the VI IUFRO Congress (Belgium, 1910). The scientific research by P.V. Ototskiy on water supply of forest was widely cited by the leading international forest scientists, e.g., by Prof. Ebermayer at the IV IUFRO Congress (Austria, 1903). In response to the drought of 1946, the USSR started and partially implemented in 1948-1953 a large-scale project - related to forest, moisture and crop - the Great Plan for the Transformation of Nature providing for the creation of more than 4 million hectares of forest shelterbelts. Thus, the issue of "forest, soil, water and climate, anthropogenic impact on forest ecosystems" has more than a century of scientific history at the international level, and the national foresters significantly contributed to this research.

Keywords: forest, climate, the World, IUFRO, history, Russian foresters.

Введение

Проблема изменения климата не нова, но международную значимость и политическое признание получила лишь в начале 1990-х годов после Конференции на высшем уровне в Рио-де-Жанейро, где была принята Рамочная конвенция ООН об изменении климата, РКИК (Рамочная конвенция, 1992). Последовавшее затем принятие Киотского протокола (Киотский протокол, 1997) не принесло существенной пользы мировым лесам в связи с недостаточной проработкой в этом документе вопросов поглощения лесами и другими экологическими системами парниковых газов (Терпьяков, 2001; Терпьяков, 2007; Курбанов, 2007; Курбанов и др., 2008; Громова, 2011). Принятие уже в третьем тысячелетии (в 2015 году) Парижского соглашения по климату дало новый импульс решению проблемы климата (Парижское соглашение, 2015), как и прежде, не уделив должного внимания лесу (одна статья из 29) – одному из главных средообразователей, поглотителей углекислого газа (Курбанов, 2002), регуляторов глобального, регионального и местного климата и погоды.

Наиболее авторитетная организация в мировом лесном научном сообществе – Международный союз лесных исследовательских организаций (ИЮФРО), являющийся одной из старейших международных организаций, связанных с природными ресурсами, в первую очередь лесами, их охраной, воспроизводством и рациональным использованием. Основанный в 1892 г. тремя немецкоговорящими странами Центральной Европы (Австрией, Германией и Швейцарией), он превратился в глобальную организацию, представленную более 15000 учеными и практиками (рис. 1), работающими в почти 700 членских организациях из более чем 110 стран мира (IUFRO, 2017).

На XXIV Всемирном конгрессе ИЮФРО, состоявшемся в 2014 году в г. Солт-Лейк-Сити (США), была принята третья Стратегия ИЮФРО на 2015-2019 гг. «Связывая леса, науку и людей» (IUFRO 2015-2019 STRATEGY), которая определила пять научных направлений-тем в наиболее значимых областях. Ниже приведены темы, формирующие направления международного лесного научного сотрудничества на указанный период: Лес для людей; Лес и изменения климата; Лес и лесная продукция для «зеленого» будущего; Биоразнообразие, экосистемные услуги и биоинвазия; Взаимодействие лесов, почвы и воды. Таким образом, направленность настоящей конференции «Лесные экосистемы в условиях изменения климата: региональные и международные аспекты» органично соответствует одному из пяти научных направлений Стратегии ИЮФРО, стратегии международного лесного научного сообщества. При этом в указанной Стратегии сформулированы задачи, обоснование и сферы особого внимания рассматриваемого направления (IUFRO 2015-2019 STRATEGY).



Рис. 1. Основатели IUFRO (сентябрь 1892, г. Эберсвальд)

Постановка задачи. В целом глобальная температура практически наверняка возрастёт к 2100 году. На региональном уровне весьма вероятно будут чаще волны жары, бурь и обильных осадков, при более интенсивных и продолжительных периодах засухи. Повышенные уровни CO_2 , озона и осадков азота влияют на структуру лесов, их функции, а также экосистемные услуги. Наиболее значимые краткосрочные эффекты обусловлены меняющимися возмущениями, такими как пожары, нашествия насекомых, эрозия почвы, высыхание деревьев вследствие наводнений и засухи. В свете различных условий и неопределенности будущего развития для каждого лесного района окажутся необходимы различные решения (Курбанов, Воробьев, 2014).

Актуальность. Леса снижают опасность глобального потепления и воздействуют на климат путем регулирования циклов углерода и воды. Вырубка и деградация лесов и торфяников дают почти 15% выбросов парниковых газов. Повышение температуры, частые и продолжительные засухи, повышенный уровень загрязнения воздуха в случае неправильных методов управления влияют на рост и здоровье лесных экосистем во многих регионах. Катастрофические ураганы могут привести к наводнениям и ветровалам, воздействуя на глобальное благополучие и здоровье людей, и, в частности, зависящего от леса населения. Стратегии смягчения и адаптации необходимы для обеспечения непрерывного предоставления высокого уровня услуг лесных экосистем.

Таким образом, на новом научном уровне сформулирована сложная проблема взаимодействия климата, лесов, вод, урожая и социума, потенциальных путей ее решения в условиях экспоненциального роста народонаселения, сокращения ресурсной базы и ухудшения экологической обстановки в мире.

Исторический контекст. Обращаясь к предшествующему опыту, необходимо подчеркнуть исторически своевременную постановку задачи, выполнение и результаты работы отечественных исследователей в этом направлении (Тепляков, Шалаев, 2015). В первую очередь, следует отметить две специальные экспедиции – В.В. Докучаева и А.А. Тилло, как реакцию общества и государства на неурожай 1891 года. В частности, по результатам экспедиции А.А. Тилло впервые был издан «Атлас распределения атмосферных осадков на речных бассейнах Европейской России по месяцам и за весь год на основании 20-летних наблюдений 1871-1891 гг.» (Тилло, 1897).

Следует отметить, что в России к тому времени были заложены основы наблюдений за погодой. В частности, Г.И. Вильдом были опубликованы такие работы, как «О температуре воздуха в Российской Империи» (1882 г.), «Об осадках в Российской Империи» (1888), а также А.А. Тилло – «Атлас атмосферного давления (1890 г.), которые вместе с упомянутым «Атласом распределения осадков...» (1897 г.) позволили составить «Климатологический атлас Российской империи», изданный в 1900 году Главной геофизической обсерваторией.

Экспедиция В.В. Докучаева была призвана изучить причины и последствия сильной засухи лета 1891 года, которая охватила 17 губерний Черноземной и Средневолжской частей России, а также дать рекомендации по использованию лесов и вод для снижения потенциального ущерба в будущем. Общее число губерний, пострадавших от неурожая 1891 года, составило 23, в которых проживало до 38 млн человек, из которых пострадало «39% или 13,1 миллиона душ, причем более половины населения нуждалось в Казанской, Нижегородской, Пензенской, Саратовской и Тамбовской губерниях, а в Симбирской величина эта повышается до 2/3 всего населения» (ЦСК, 1894). Фактически большая часть населения европейской России страдала от голода.

«Неурожай 1891 года был вызван необычайною засухой и целым рядом неблагоприятных метеорологических явлений осени и зимы 1890 г., – весны и лета 1892 г.» (Ермолов, 1892). Неблагоприятность воздействия метеорологических явлений выразилась в виде выпадения снега на мерзлую почву и его выдувания, а при таянии снега талая вода сразу поглощалась сухой почвой, отсутствие половодья не позволило речному илу удобрить заливные луга, сильные дожди и поздние холода губили молодые всходы, а повторные посевы убила страшная жара. «Не только культурные полевые растения, но даже сорные травы, даже вековые деревья не могли противостоят этим пагубным метеорологическим условиям. Поля оставались черными, луга были выжжены и желтели, ... деревья подсыхали и гибли целыми десятками» (Ермолов, 1892). Тем не менее, Л.Н. Толстой подчёркивал, что голод 1891 г. «кроме того, что есть беда без сравнения большая, чем беда наводнения, без сравнения более общая (она угрожает всей России), – есть беда, степень которой можно и должно не только предвидеть, но можно и должно и предвидеть, и предупредить» (Толстой, 1954).

Летом «атмосферные ниспадения распределились в течение как лета, так и осени 1891 года, столь неравномерно, что можно было подумать, что вся влага ушла с центра и востока России на запад и север, что совершился в природе какой-то небывалый переворот, который нарушил нормальные метеорологические условия этих местностей и грозит гибелью целой обширной части государства, – на которую надвигается зной и сушь бесплодных среднеазиатских степей» (Ермолов, 1892).

Следует отметить, что рост неурожая связан со многими причинами, среди которых, как ни парадоксально это выглядит, необходимо указать на социально положительный факт отмены в 1861 г. крепостного права в России. Освобождение крестьян вызвало цепную реакцию: оставленные без рабочей силы помещики оказались не готовы к жизни в условиях свободного найма и начали продавать лес на сруб огромными площадями. Неконтролируемая

вырубка лесов привела к тому, что «[б]ольшие лесные пространства уничтожались вследствие недостатка средств к жизни и капиталов для ведения хозяйства, вследствие трудности охранения лесов от порубок и огромного требования лесного материала для железных дорог. Вырубленные площади распахивались или забрасывались; новых насаждений или охранения молодой поросли на лесосеках от выгона скота нигде не делалось. По единогласным заявлениям, сделанным в комиссии, обезлесение во многих местностях идет с такою ужасающею быстротою, что оно уже начинает отражаться на изменении климата... на обмелении рек и источников...» (Бейлин, 1962).

Созданная специальная комиссия по изучению вопроса эмансипации отмечала по результатам работы в 1872-1873 гг., что «продавались большие площади леса на сруб за какую бы то ни было цену, ... допускалась отдача вырубленных пространств под пастьбу скота, так как это пользование доставляло хотя некоторый постоянный доход, ... точных сведений о пространстве лесов не имеется, так как в точную известность приведено только 26% казенных лесов, остальные казенные и все частные леса числятся по старинным планам, или же вовсе без планов, ... казенно-крестьянские леса, за немногими исключениями, находятся в плохом положении и представляют большую часть насаждения, весьма истощенные неправильной рубкою; если состояние лесов казенного лесного управления, в общем их составе, нельзя признать удовлетворительным, то в гораздо большей степени это относится к частным лесам» (Толстой, 1954). Лесоистребление на юге России и в лесостепи (Воронежская, Курская, Орловская, Тамбовская губернии, Украина, Крым и др.) повлекло эрозию почв, рост оврагов, истощение водных источников и, как следствие, обмеление рек (Цветков, 1957), т.е. основным мнением того времени о причинах засухи было сведение лесов под сельхозпользование, точнее, истребление лесов.

В результате усилий лесоводов и общественности, обеспокоенной хищническим уничтожением лесов, 4 апреля 1888 г. было утверждено «Положение о сбережении лесов», известное как Лесоохранительный закон, под действие которого подпадали практически все леса России, и в котором особое внимание было уделено защитным лесам вдоль рек, каналов и дорог, вокруг водоемов и городов, в горах и др. Были учреждены губернские лесоохранительные комитеты, возглавляемые губернаторами, на которые был возложен контроль над состоянием лесов, а в защитных лесах – особый режим лесопользования и ведения лесного хозяйства.

Общее руководство за исполнением и надзором выполнения губернскими комитетами положений Лесоохранительного закона осуществлял Лесной департамент, входивший тогда в Министерство земледелия и государственных имуществ. Это министерство ведало вопросами сельского хозяйства, лесной и горной промышленности, государственного имущества. Лесоохранительный закон не только признал многие леса защитными, но и поставил под контроль государства частные леса (Столетие, 1898). Однако предпринятые шаги не могли остановить засуху 1891 г.

Чтобы, говоря словами Л.Н. Толстого, «предвидеть и предупредить», В.В. Докучаев на общем собрании Вольного Экономического общества 19 мая (ст. ст.) 1892 г. выступил с предложением о снаряжении экспедиции в пострадавшие от неурожая местности «для изучения причин постигшего бедствия и указания мер к предупреждению его на будущее». Вместе с тем, В.В. Докучаев отмечал, что «пережитое нами бедствие далеко не пропорционально неурожаю, и что оно обострилось в силу целого ряда других причин, в сущности, никакого прямого касательства к засухе и недороду 1891 г. не имеющих» (Докучаев, Сибирцев, 1894). Уже 22 мая 1892 г. под руководством Е.С. Писарева, директора Лесного департамента Министерства госимуществ, прошло особое совещание «О развитии облесительных работ в целях упорядочения водного хозяйства в степях», на котором была образована «Особая экспедиция

по испытанию и учету различных способов и приемов лесного и водного хозяйства в степях России». Через 2 недели, 5 июня 1892 г., Е.С. Писарев доложил министру Государственных имуществ М.Н. Островскому выработанное комиссией «Разъяснение цели и порядка действий Экспедиции» (Филоненко, 2000).

Уже в июне 1892 г. Экспедиция приступила к работе, в которой участвовали, помимо В.В. Докучаева, Н.П. Адамов, Ф. Батюшков, И.П. Выдрин, Г.Н. Высоцкий, К.Д. Глинка, П.А. Земятченский, О.И. Ковалев, И.К. Савич, Н.М. Сибирцев, К.Э. Собеневский, Д. Шахмаметьев. В 1893-1894 гг. к Экспедиции присоединились или выполняли для неё работы П.Ф. Баранков, В.И. Дейч, Г.И. Танфильев, П.В. Отоцкий, К.И. Юницкий, всего 18 человек, лесные кондукторы, межевщики, метеорологи, таксаторы и другие, всего 23 человека (Беляев, 2008; Докучаев, Сибирцев, 1894). Прошло два месяца работы экспедиции, и к августу 1892 г. уже были оборудованы две метеостанции в Каменной степи, которые сразу приступили к наблюдениям за погодой, изучению степного климата. Фактически это были первые в России метеостанции, расположенные вне города. Сбылась мечта В.В. Докучаева, к осуществлению которой он стремился многие годы (Бейлин, 1962; Столетие, 1892).

«Эта экспедиция создала в степном полезащитном лесоразведении подлинную эпоху... Участники экспедиции заложили опыты в различных географических пунктах степи: 1) Хреновской участок (Воронежская область), включающий «Каменную степь», Хреновской сосновый бор и Шипов лиственный лес; 2) Старобельский (на водоразделе Дона и Донца в Ворошиловградской области); Велико-Анадольский (вблизи Азовского моря). Непосредственно сам Докучаев руководил этой экспедицией с 1892 по 1897 год. Закладкой опорной сети опытных лесничеств экспедиции было положено начало лесного опытного дела в России... В те же годы лесовод Н.К. Генко проводил крупные по тому времени работы по созданию лесных полос в степях (например, в Безенчукской степи Самарской, ныне Куйбышевской, области). Известный географ и ботаник Г.И. Танфильев (1857-1928), ученик А.Н. Бекетова и участник экспедиций В.В. Докучаева, много сделал для изучения вопросов, связанных с распространением лесов, со взаимоотношением леса и тундры, леса и степи» (Мелехов, 1957).

Работы по защитному лесоразведению во время экспедиции В.В. Докучаева и последовавшие за ними экспериментальные работы на стационарах в опытных лесничествах положили начало современному отечественному почвоведению, лесной гидрологии, изучению биологии древесных пород, типов и способов посадок в засушливых условиях, районированию семян, созданию географических культур и т.п., т.е. вопросам, тесно связанным с проблемой взаимовлияния леса и климата (Двухсотлетие, 1998). «Особая экспедиция» открыла новую страницу в развитии лесной науки и лесного и сельскохозяйственного опытного дела в России.

Спустя полвека был начат и в 1948-1953 гг. частично реализован крупномасштабный проект, связанный с лесом, влагой и урожаем – План преобразования природы в СССР, согласно которому предусматривалось создание более 4 млн га полезащитных лесных полос (Постановление, 1948).

Вопросы леса и климата нашли отражение уже на II съезде ИЮФРО в Германии в 1896 году в докладе профессора Мютриха, одном из основных в повестке при рассмотрении работы лесных метеорологических станций (IUFRO, 1897). Исследования Г.Ф. Морозова, связанные с отношением леса и влаги, вызвали большой интерес на съезде ИЮФРО 1900 года в Швейцарии, и по его методу было намечено провести подобные работы в бассейне реки Роны во Франции (IUFRO, 1900), а научные исследования в Шиповом лесу были встречены с глубоким одобрением на съезде ИЮФРО 1910 года в Бельгии (IUFRO, 1911). Научные исследования П.В. Отоцкого о водном питании лесов широко цитировались ведущими зару-

бежными лесоводами, в частности, проф. Эбермайером на съезде ИЮФРО 1903 года в Австрии (IUFRO, 1903).

Выводы

Материалы, вот уже шесть лет издаваемые Центром устойчивого управления и дистанционного мониторинга лесов Поволжского государственного технологического университета по итогам Международной научно-практической конференции «Лесные экосистемы в условиях изменения климата: региональные и международные аспекты» (Tikina, Kurbanov, 2012; Губаев и др., 2012; Loboda et al., 2012; Курбанов, 2016а), подтверждают актуальность и злободневность рассматриваемой проблемы.

Таким образом, проблема «лес, почва, вода и климат, антропогенное воздействие на лесные экосистемы» (Шалаев, 2010; Курбанов, 2016б) насчитывает более чем вековую научную историю на международном уровне, и отечественные лесоводы играют в решении этой проблемы значительную роль.

Заключение

Проблема изменения климата не нова, но международную значимость и политическое признание получила лишь в начале 1990-х годов после Конференции на высшем уровне в Рио-де-Жанейро.

Наиболее авторитетная организация в мировом лесном научном сообществе – Международный союз лесных исследовательских организаций (ИЮФРО), являющийся одной из старейших международных организаций, связанных с природными ресурсами, в первую очередь лесами, их охраной, воспроизводством и рациональным использованием, в последние годы пытается дать глобальную оценку проблемы.

Принятая на XXIV Всемирном конгрессе ИЮФРО очередная Стратегия на 2015-2019 гг. «Связывая леса, науку и людей» определила пять научных направлений-тем в наиболее значимых областях, среди которых одной из основных является «Лес и климат».

Рассматриваемое направление предопределяет изучение лесных экосистем в условиях изменения климата, но и требует исследования их влияния на сами эти изменения. Кроме того, изучение лесных экосистем в условиях изменения климата, очевидно, необходимо рассматривать в комплексе во взаимодействии лесов, почвы, воды.

Российские ученые всегда шли в ногу со временем, а иногда его и опережали. Вспоминая знаменитые слова Исаака Ньютона: «Если я видел дальше других, то потому, что стоял на плечах гигантов», следует помнить и знать достижения и имена наших великих предшественников.

Научное сообщество, администрация и общество в целом были способны реагировать на вызовы времени, что отразилось как на развитии лесного и сельскохозяйственного опытного дела и науки, так и на улучшении экологической обстановки на местном и региональном уровнях.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, проект № 37.8809.2017/БЧ.

Библиографический список

1. Бейлин, И.Г. Очерки по истории лесных обществ дореволюционной России / И.Г. Бейлин. – М.: Гослесбумиздат, 1962. – 158 с.
2. Беляев, А.В. Воронежская региональная школа почвоведов / А.В. Беляев. – Воронеж: Изд-во Воронеж. ГУ, 2008. – 44 с.
3. Громова, А. Потерянный воздух Киото / А. Громова // The Chemical Journal/Химический журнал. – 2011. – Янв.–фев. – С. 28-31.

4. Губаев, А.В. Мониторинг и прогнозирование состояния лесных насаждений методами дистанционного зондирования [Электронный ресурс] / А.В. Губаев, Э.А. Курбанов, О.Н. Кранкина, О.Н. Воробьев // Влияние аномальной погоды на природные, социально-экономические и искусственные системы: засуха 2010 года в Поволжье России: материалы международной научной конференции NASA и семинара GOF-C-GOLD/NEESPI. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2012. – С. 92-98. – Режим доступа: <http://csfm.marstu.net/publications.html>. – 13.09.2017.
5. Двухсотлетие учреждения Лесного департамента (1798-1998). Т.2 (1898-1998) / В.А. Шубин, Е.П. Кузьмичев, ... В.К. Тепляков и др. – М.: ВНИИЦлесресурс, 1998. – 480 с.
6. Докучаев, В. Введение / В. Докучаев, Н. Сибирцев // Труды Экспедиции, снаряженной Лесным Департаментом, под руководством профессора Докучаева. – СПб.: Издание Министерства земледелия и государственных имуществ, 1894. – 42 с.
7. Ермолов, А. С. Неурожай и народное бедствие / А.С. Ермолов. – СПб.: Тип. В. Киршбаума, 1892. – 270 с.
8. Киотский протокол Рамочной конвенции ООН об изменении климата. ООН, 1997. – 29 с. – Режим доступа: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/pdf/kyoto.pdf. – 01.09.2017.
9. Курбанов, Э.А. Углерододепонирующие насаждения Киотского протокола / Э.А. Курбанов. – Йошкар-Ола: МарГТУ. – 2007. – 184 с.
10. Курбанов, Э.А. Бюджет углерода сосновых экосистем Волго-Вятского района/ Э.А. Курбанов / Йошкар-Ола, 2002. – 300 с.
11. Курбанов, Э.А. К вопросу об углерододепонирующих насаждениях / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, Л.С. Мошкина, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, С.А. Незамаев // Вестник Марийского государственного технического университета. – 2008. – № 3. – С. 5-17.
12. Курбанов, Э.А. Лесоводство. Международное лесное хозяйство: учебное пособие / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2014. – 254 с.
13. Курбанов, Э.А. Моделирование бюджета углерода лесных насаждений на примере сосняков Поволжья / Э.А. Курбанов // Лесной журнал, 2009. – № 2. – С. 7-15.
14. Курбанов, Э.А. Два десятилетия исследований растительного покрова по MODIS [Электронный ресурс] / Э.А. Курбанов // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг: сборник научных статей. – Йошкар-Ола: ПГТУ. – 2016а. – С. 123-132. – Режим доступа: <https://inter.volgattech.net/centre-forsustainable-management-and-remote-monitoring-of-forests/forest-ecosystems-in-a-changingclimate/>. – 05.08.2017.
15. Курбанов, Э.А. Итоги международной конференции «Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг» / Э.А. Курбанов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2016б. – № 1(29). – С. 87-89.
16. Мелехов, И.С. Очерк о развитии науки о лесе в России / И.С. Мелехов. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 207 с.
17. Парижское соглашение по климату (принято 12.12.2015, подписано 22.04.2016). FCCC/CP/2015/L.9. – ООН, 2015. – 19 с. – Режим доступа: https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/.../paris_agreement_russian_.pdf. – 01.09.2017.
18. О плане полезных лесонасаждений, внедрения травопольных севооборотов, строительства прудов и водоёмов для обеспечения высоких и устойчивых урожаев в степных и лесостепных районах европейской части СССР: постановление Совета Министров СССР и ЦК ВКП(б) от 20 октября 1948 года № 3960. – Режим доступа: [https://ru.wikisource.org/wiki/Постановление_Совета_Министров_СССР_и_ЦК_ВКП\(б\)_от_20.10.1948_№_3960](https://ru.wikisource.org/wiki/Постановление_Совета_Министров_СССР_и_ЦК_ВКП(б)_от_20.10.1948_№_3960). – 01.09.2017.
19. Рамочная конвенция об изменении климата. ООН, 1992. FCCC/INFORMAL/84. – 31 с. – Режим доступа: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convru.pdf>. – 11.08.2017.
20. Столетие учреждения Лесного департамента, 1798-1898. [Факсим. изд.] – СПб.: Типо-литограф. Ю.Я.Римана, 1898. – 251 с.
21. Тепляков, В.К. История съездов ИЮФРО и Россия: монография: в 2-х т. Т.1 / В.К. Тепляков, В.С. Шалаев. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2015. – 469 с.
22. Тепляков, В.К. История съездов ИЮФРО и Россия: монография: в 2-х т. Т.2 / В.К. Тепляков, В.С. Шалаев. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2015. – 372 с.
23. Тилло, А.А. Атлас распределения атмосферных осадков на речных бассейнах Европейской России по месяцам и за весь год на основании 20-летних наблюдений 1871-1891 гг. / А.А. Тилло. – Санкт-Петербург, 1897. – 14 карт.
24. Толстой, Л.Н. Страшный вопрос / Полн. собр. соч. в 90 томах. Т.29. Произведения 1891-1894. – М.: ГИХЛ, 1954. С.117-126.
25. Филоненко, И.Е. Особая экспедиция: док.-ист. повесть / И.Е. Филоненко. – М.: Прима-Пресс-М, 2000. – 260 с.
26. Цветков, М.А. Изменение лесистости европейской России с конца XVII столетия до 1914 г. / М.А. Цветков. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 212 с.
27. ЦСК. Статистические данные по выдаче ссуд на обсеменение и продовольствие населению, пострадавшему от неурожая в 1891-1892 гг. Временник Центрального Статистического Комитета Министерства внутренних дел. – СПб.: Изд. ЦСК МВД, 1894. – № 28. – 126 с.
28. Шалаев В.С. Об угрозах антропогенного воздействия на экосистемы / В.С. Шалаев // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2010. – № 7(76). – С. 4-9.

29. IUFRO. Die zweite Versammlung des internationalen Verbandes forstlicher Versuchsanstalten zu Braunschweig in der Tagen vom 19, bis 24, September 1896. Braubschweig, Hof Buchdruckerei von Julius Krampe, 1897. – 83 p.
30. IUFRO. Protocoll der 3. Versammlung des internationalen Verbandes forstlicher Versuchsanstalten vom 4. bis 11, September 1900 in der Schweiz. Zurich, Druck von F. Lohbauer. 1900. – 46 p.
31. IUFRO. Vierte Versammlung des internationalen Verbandes forstlicher Versuchsanstalten zu Mariabrunn 1903 : Bericht über die Verhandlungen und Exkursionen. – Wien : Forstliche Bundesversuchsanstalt, 1903. – 87 p.
32. IUFRO. Vie Congress de l'Union international des stations de recherches forestieres. Compte Rendu des Seances et des Reunions // Bulletin de la Societe centrale forestiere de de Belgique 18 (1911): 585-598, 645-657, 716-726, 796-807.
33. IUFRO. Discover IUFRO. 2017. Available at: http://www.iufro.org/download/file/1/103/org-en_pdf/
34. IUFRO 2015-2019 STRATEGY. Interconnecting forests, science and people. – 18 p. Available at: http://www.iufro.org/download/file/18532/3635/iufro-strategy-2015-2019_pdf/
35. Loboda, T. Understanding Origins and Impacts of Drought / T.V. Loboda, O.N. Krankina, E.A. Kurbanov // Eos, Transactions American Geophysical Union. – 2012. – Vol. 93(42). – P. 417.
36. Teplyakov, V.K. Kyoto Protocol and Russian Forests. In: International Scientific and Practical Conference “Sustainable Development and Biofuel Use as a Way Towards the Kyoto Protocol Implementation and Enhanced Complex Utilization of Wood Raw Material and Peat” / V.K. Teplyakov // Saint Petersburg, 2-4 July 2001. – P. 138-149 (English and Russian).
37. Teplyakov, V.K. Conservation of biodiversity in boreal forests: the Russian experience / V.K. Teplyakov // In: Forestry and Climate Change. Edited by P. H. Freer-Smith, M. S. J. Broadmeadow and J. M. Lynch. CABI. – 2007. – P. 174-183.
38. Tikina, A.V. Extreme weather events and long-term forestry obligations: is reliance on forest certification possible? [Electronic resource] / A.V. Tikina, E.A. Kurbanov // Impacts of extreme weather on natural, socio-economic and land-use systems: focus on the 2010 summer anomaly in the Volga region: Proceedings of the NASA Science Meeting, GOFC-GOLD and NEESPI Workshop and Regional Conference. – Yoshkar-Ola: VolgaTech, 2012. – P. 145-148. – <http://csfm.marstu.net/publications.html>. – 11.08.2017.

References

1. Bejlin, I.G. Ocherki po istorii lesnyh obshchestv dorevolucionnoj Rossii / I.G. Bejlin. – M.: Goslesbumizdat, 1962. – 158 s.
2. Belyaev, A.V. Voronezhskaya regional'naya shkola pochvovedov / A.V. Belyaev. – Voronezh: Izd-vo Voronezh. GU, 2008. – 44 s.
3. Gromova, A. Poteryannyj vozduh Kioto / A. Gromova // The Chemical Journal/Himicheskij zhurnal. – 2011. – YAnv.–fev. – S. 28-31.
4. Gubaev, A.V. Monitoring i prognozirovanie sostoyaniya lesnyh nasazhdenij metodami distancionnogo zondirovaniya [Elektronnyj resurs] / A.V. Gubaev, E.A. Kurbanov, O.N. Krankina, O.N. Vorobiev // Vliyanie anomal'noj pogody na prirodnye, social'no-ekonomicheskie i iskusstvennye sistemy: zasuha 2010 goda v Povolzh'e Rossii: materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii NASA i seminaru GOFC-GOLD/NEESPI. – Yoshkar-Ola: Povolzhskij gosudarstvennyj tekhnologicheskij universitet, 2012. – S. 92-98. – Rezhim dostupa: <http://csfm.marstu.net/publications.html>. – 13.09.2017.
5. Dvuhstotletie uchrezhdeniya Lesnogo departamenta (1798-1998). T.2 (1898-1998) / V.A. SHubin, E.P. Kuz'michev, ... V.K. Teplyakov i dr. – M.: VNIIClesresurs, 1998. – 480 s.
6. Dokuchaev, V. Vvedenie / V. Dokuchaev, N. Sibircev // Trudy Ekspedicii, snaryazhennoj Lesnym Departamentom, pod rukovodstvom professora Dokuchaeva. – SPb.: Izdanie Ministerstva zemledeliya i gosudarstvennyh imushchestv, 1894. – 42 s.
7. Ermolov, A. S. Neurozhaj i narodnoe bedstvie / A.S. Ermolov. – SPb.: Tip. V. Kirshbauma, 1892. – 270 s.
8. Kiotskij protokol Ramochnoj konvencii OON ob izmenenii klimata. OON, 1997. – 29 s. – Rezhim dostupa: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/pdf/kyoto.pdf. – 01.09.2017.
9. Kurbanov, E.A. Uglerododeponiruyushchie nasazhdeniya Kiotskogo protokola / E.A. Kurbanov. – Yoshkar-Ola: MarGTU. – 2007. – 184 s.
10. Kurbanov, E.A. Byudzhet ugleroda sosnovykh ekosistem Volgo-Vyatskogo rajona/ E.A. Kurbanov / Yoshkar-Ola, 2002. – 300 s.
11. Kurbanov, E.A. K voprosu ob uglerododeponiruyushchih nasazhdeniyah / E.A. Kurbanov, O.N. Vorob'yov, L.S. Moshkina, A.V. Gubaev, S.A. Lezhnin, S.A. Nezamaev // Vestnik Marijskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2008. – № 3. – S. 5-17.
12. Kurbanov, E.A. Lesovodstvo. Mezhdunarodnoe lesnoe hozyajstvo: uchebnoe posobie / E.A. Kurbanov, O.N. Vorobiev. – Yoshkar-Ola: PGU, 2014. – 254 s.
13. Kurbanov, E.A. Modelirovanie byudzheta ugleroda lesnyh nasazhdenij na primere sosnyakov Povolzh'ya / E.A. Kurbanov // Lesnoj zhurnal, 2009. – № 2. – S. 7-15.
14. Kurbanov, E.A. Dva desyatiletija issledovanij rastitel'nogo pokrova po MODIS [Elektronnyj resurs] / E.A. Kurbanov // Lesnye ekosistemy v usloviyah izmeneniya klimata: biologicheskaya produktivnost' i distancionnyj monitoring: sbornik nauchnyh statej. – Yoshkar-Ola: PGU. – 2016a. – S. 123-132. – Rezhim dostupa: <https://inter.volgatech.net/centre-forsustainable-management-and-remote-monitoring-of-forests/forest-ecosystems-in-a-changingclimate/>. – 05.08.2017.

15. Kurbanov, E.A. Itogi mezhdunarodnoj konferencii «Lesnye ekosistemy v usloviyah izmeneniya klimata: biologicheskaya produktivnost' i distancionnyj monitoring» / E.A. Kurbanov // Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie. – 2016b. – № 1(29). – S. 87-89.
16. Melekhov, I.S. Ocherk o razviti nauki o lese v Rossii / I.S. Melekhov. – M.: Izd-vo AN SSSR, 1957. – 207 s.
17. Parizhskoe soglasenie po klimatu (prinyato 12.12.2015, podpisano 22.04.2016). FCCC/CP/2015/L.9. – OON, 2015. – 19 s. – Rezhim dostupa: https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/.../paris_agreement_russian_.pdf. – 01.09.2017.
18. O plane polezashchitnyh lesonasazhdenij, vnedreniya travopol'nyh sevooborotov, stroitel'stva prудov i vodoyomov dlya obespecheniya vysokih i ustojchivyh urozhaev v stepnyh i lesostepnyh rajonah evropejskoj chasti SSSR: postanovlenie Soveta Ministrov SSSR i CK VKP(b) ot 20 oktyabrya 1948 goda № 3960. – Rezhim dostupa: [https://ru.wikisource.org/wiki/Postanovlenie_Soveta_Ministrov_SSSR_i_CK_VKP\(b\)_ot_20.10.1948_№_3960](https://ru.wikisource.org/wiki/Postanovlenie_Soveta_Ministrov_SSSR_i_CK_VKP(b)_ot_20.10.1948_№_3960). – 01.09.2017.
19. Ramochnaya konvenciya ob izmenenii klimata. OON, 1992. FCCC/INFORMAL/84. – 31 s. – Rezhim dostupa: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convru.pdf>. – 11.08.2017.
20. Stoletie uchrezhdeniya Lesnogo departamenta, 1798-1898. [Faksim. izd.] – SPb.: Tipo-litogr. YU.YA.Rimana, 1898. – 251 s.
21. Teplyakov, V.K. Istoriya s"ezdov IYUFRO i Rossiya: monografiya: v 2-h t. T.1 / V.K. Teplyakov, V.S. Shalaev. – 2-e izd., ispr. i dop. – M.: FGBOU VPO MGUL, 2015. – 469 s.
22. Teplyakov, V.K. Istoriya s"ezdov IYUFRO i Rossiya: monografiya: v 2-h t. T.2 / V.K. Teplyakov, V.S. Shalaev. – 2-e izd., ispr. i dop. – M.: FGBOU VPO MGUL, 2015. – 372 s.
23. Tillo, A.A. Atlas raspredeleniya atmosferynyh osadkov na rechnyh bassejnah Evropejskoj Rossii po mesyacam i za ves' god na osnovanii 20-letnih nablyudenij 1871-1891 gg. / A.A. Tillo. – Sankt-Peterburg, 1897. – 14 kart.
24. Tolstoj, L.N. Strashnyj vopros / Poln. sobr. soch. v 90 tomah. T.29. Proizvedeniya 1891-1894. – M.: GIHL, 1954. – S.117-126.
25. Filonenko, I.E. Osobaya ekspediciya: dok.-ist. povest' / I.E. Filonenko. – M.: Prima-Press-M, 2000. – 260 s.
26. Cvetkov, M.A. Izmenenie lesistosti evropejskoj Rossii s konca XVII stoletiya do 1914 g. / M.A. Cvetkov. – M.: Izd-vo AN SSSR, 1957. – 212 s.
27. CSK. Statisticheskie dannye po vydache ssud na obsemenenie i prodovol'stvie naseleniyu, postradavshemu ot neurozhaya v 1891-1892 gg. Vremennik Central'nogo Statisticheskogo Komiteta Ministerstva vnutrennih del. – SPb.: Izd. CSK MVD, 1894. – № 28. – 126 s.
28. Shalaev V.S. Ob ugrozakh antropogennogo vozdejstviya na ekosistemy / V.S. Shalaev // Vestnik MGUL – Lesnoj vestnik. – 2010. – № 7(76). – S. 4-9.
29. IUFRO. Die zweite Versammlung des internationalen Verbandes forstlicher Versuchsanstalten zu Braunschweig in der Tagen vom 19, bis 24, September 1896. Braubschweig, Hof Buchdruckerei von Julius Krampe, 1897. – 83 p.
30. IUFRO. Protocoll der 3. Versammlung des internationalen Verbandes forstlicher Versuchsanstalten vom 4. bis 11, September 1900 in der Schweiz. Zurich, Druck von F. Lohbauer. 1900. – 46 p.
31. IUFRO. Vierte Versammlung des internationalen Verbandes forstlicher Versuchsanstalten zu Mariabrunn 1903 : Bericht über die Verhandlungen und Exkursionen. – Wien : Forstliche Bundesversuchsanstalt, 1903. – 87 p.
32. IUFRO. Vie Congress de l'Union international des stations de recherches forestieres. Compte Rendu des Seances et des Reunions // Bulletin de la Societe centrale forestiere de de Belgique 18 (1911): 585-598, 645-657, 716-726, 796-807.
33. IUFRO. Discover IUFRO. 2017. Available at: http://www.iufro.org/download/file/1/103/org-en_pdf/
34. IUFRO 2015-2019 STRATEGY. Interconnecting forests, science and people. – 18 p. Available at: http://www.iufro.org/download/file/18532/3635/iufro-strategy-2015-2019_pdf/
35. Loboda, T. Understanding Origins and Impacts of Drought / T.V. Loboda, O.N. Krankina, E.A. Kurbanov // Eos, Transactions American Geophysical Union. – 2012. – Vol. 93(42). – P. 417.
36. Teplyakov, V.K. Kyoto Protocol and Russian Forests. In: International Scientific and Practical Conference “Sustainable Development and Biofuel Use as a Way Towards the Kyoto Protocol Implementation and Enhanced Complex Utilization of Wood Raw Material and Peat” / V.K. Teplyakov // Saint Petersburg, 2-4 July 2001. – P. 138-149 (English and Russian).
37. Teplyakov, V.K. Conservation of biodiversity in boreal forests: the Russian experience / V.K. Teplyakov // In: Forestry and Climate Change. Edited by P. H. Freer-Smith, M. S. J. Broadmeadow and J. M. Lynch. CABI. – 2007. – P. 174-183.
38. Tikina, A.V. Extreme weather events and long-term forestry obligations: is reliance on forest certification possible? [Electronic resource] / A.V. Tikina, E.A. Kurbanov // Impacts of extreme weather on natural, socio-economic and land-use systems: focus on the 2010 summer anomaly in the Volga region: Proceedings of the NASA Science Meeting, GOFC-GOLD and NEESPI Workshop and Regional Conference. – Yoshkar-Ola: VolgaTech, 2012. – R. 145-148. – <http://csfm.marstu.net/publications.html>. – 11.08.2017

АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ ВЕГЕТАЦИОННОГО ИНДЕКСА NDVI И КЛИМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Е.Н. Демишева

Поволжский государственный технологический университет

Изменение климата – важнейшая глобальная проблема XXI века, решением которой активно занимаются международные организации, такие как Всемирная метеорологическая организация (ВМО), Межправительственная океанографическая комиссия (МОК) и Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (FAO). Изучение проблемы устойчивости лесных насаждений в условиях меняющегося климата позволит оценить масштаб изменений лесов и прогнозировать их динамику. Уникальную возможность для анализа и оценки изменений, происходящих в растительном покрове, представляет применение данных дистанционного зондирования земли (ДЗЗ). В данной работе проведена оценка взаимосвязи нормализованного относительного индекса растительности (NDVI), температуры поверхности земли (LST) и количества осадков (Pr) на территории Среднего Поволжья с использованием спектрорадиометра MODIS. Установлено, что с 2000 по 2014 год взаимосвязь между фитомассой (NDVI) и значениями температуры поверхности и количеством осадком носит слабовыраженный характер. Наибольшая величина коэффициента корреляции ($r=-0,52$) между значениями NDVI и LST наблюдается для тематического класса «смешанные спелые насаждения». Наибольший коэффициент корреляции между значениями NDVI и Pr характерен для тематического класса TNEC_M, представленного хвойными средневозрастными насаждениями ($r=0,71$). Дополнительно для определения связи между зависимой величиной NDVI (фитомасса) и показателями LST и Pr был проведён регрессионный анализ. Коэффициент множественной корреляции R, который выражает степень связи независимой переменной (LST и Pr) и зависимой переменной (NDVI), равен 0,56. Наблюдаемый характер связи вегетационного индекса NDVI, температуры поверхности земли и количества осадков, возможно, обусловлен различием климатических и гидрологических условий.

Ключевые слова: мониторинг лесов, фенология растений, вегетационный период, изменение климата, MODIS, GIS, NDVI, OLS.

ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX AND CLIMATIC INDICATORS USING REMOTE SENSING DATA

E.N. Demisheva

Volga State University of Technology

The problem of climate change is one the urgent global issues that is extensively addressed by the international organizations such as World Meteorological Organization (WMO), Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) and the Food and Agriculture Organization (FAO). Research into the problem of sustainability of forest stands under the changing climate allows to estimate the scale of forest change and to predict the dynamics of these changes. Application of remote sensing data (RS) represents unique possibilities for analysis and evaluation of changes in vegetation cover. The paper evaluates the relationship between the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Land Surface Temperature (LST) and precipitation (Pr) in the Middle Volga region using the spectroradiometer MODIS. The research revealed that during the period from 2000 to 2014 the relationship between the biomass (NDVI), the values of land surface temperature and the amount of precipitation was weakly expressed. The peak correlation coefficient ($r=-0,52$) between NDVI and LST values is observed for the thematic class "mixed mature stands". The peak correlation coefficient between NDVI and Pr values is typical for the thematic class TNEC_M, represented by coniferous middle-aged stands ($r = 0,71$). In addition, regression analysis was carried out to

determine the relationship between the dependent variable NDVI (biomass), LST and Pr. The coefficient of multiple correlation (R), which expresses the relationship between the independent variable (LST and Pr) and the dependent variable (NDVI), is 0,56. The observed relationship between the vegetation index of NDVI, the land surface temperature and the amount of precipitation is caused by the difference in climatic and hydrological conditions.

Keywords: *forest monitoring, plant phenology, growing period, climate change, MODIS, GIS, NDVI, OLS.*

Введение. Лесные насаждения являются индикаторами сезонных и годовых изменений в почве, влажности и окружающей среде, они играют роль чувствительного показателя глобального изменения климата. Изучение этих процессов стало важной задачей для многих исследователей, которые стремятся понять основные механизмы происходящих изменений и найти наиболее эффективные способы решения данной проблемы. Анализ литературы показывает, что антропогенное изменение климата влияет на закономерности географического распространения насаждений и их состав. Масштабность проблемы подчеркивается обширной географией исследований: австралийские экосистемы (Laurance et al., 2011), леса Европы (Lindner et al., 2010), леса Северной Америки (Rehfeldt et al., 2012), бореальные и арктические леса (Chapin et al., 2000), полузасушливые и засушливые прибрежные зоны и прибрежные экосистемы (Gilman et al., 2008).

Кроме того, в условиях меняющегося климата весьма остро стоит и другая проблема – увеличение CO₂. Ученые Таиланда (Vicharnakorn et al., 2014) связывают данную проблему с облесением. В исследовании ими было оценено общее количество наземной биомассы (AGB) и запасы углерода различных типов растительного покрова. В анализ был включен 81 участок, на каждом из которых измерялись высота и диаметр на высоте 1,3 м. Показатель AGB был рассчитан с использованием аллометрических уравнений. Но поскольку традиционные методы оценки биомассы являются очень затратными, учеными также были применены методы пространственного анализа. Согласно результатам их работы выявлено, что самое высокое значение AGB характерно для насаждений смешанного леса и молодняков сухого вечнозеленого леса.

Так, Э.А. Курбанов (2009) при изучении депонирования углерода сосновыми насаждениями предложил использовать следующие критерии: среднее (эквilibриум) равновесное значение накопления углерода; бюджет углерода на определенный период роста насаждения. В результате автором предложен подход, способный увеличить скорость накопления углерода в молодняках.

В последнее время в многочисленных работах отечественных и зарубежных ученых значительное место уделяется данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), преимуществом которых является возможность обеспечения последовательного измерения состояния наземного покрова с определенной периодичностью в пространстве и времени (Курбанов и др., 2014; Курбанов, 2016). В большинстве современных исследований изучаются различные типы растительности и их дифференциальные реакции на климатические изменения. Например, Omuto (2011), изучая динамику состояния растительности, выявил взаимосвязь между вегетационным индексом NDVI и осадками. В результате ученым получена высокая корреляция между данными показателями.

Эффективность использования вегетационного индекса NDVI при оценке состояния лесных экосистем подтверждается и рядом других исследований (Julien et al., 2011; Nouri et al., 2014; Sahebjalal, Dashtekian, 2013). Так, Luo et al. (2009) выявили значительную корреляцию между вегетационным индексом NDVI, осадками и температурой в северо-восточном районе Китая. Учёные также отмечают, что влияние температуры на NDVI имеет более выраженный характер, чем влияние осадков. Другие исследователи (Zhang et al., 2011a) сообщили, что по-

ложительная корреляция между NDVI и температурой характерна для кустарников и хвойных насаждений, в то время как осадки никаким образом не влияют на изучаемый вегетационный индекс.

Дальнейшее изучение проблемы влияния меняющегося климата на лесные насаждения позволит усовершенствовать методику оценки устойчивости лесных экосистем и прогнозировать их дальнейшее развитие (Муратова и др., 2006). Таким образом, можно говорить о необходимости проведения исследований на региональном и глобальном уровнях.

Цель исследования – оценить взаимосвязь между нормализованным относительным индексом растительности (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI), температурой поверхности земли (Land Surface Temperature – LST) и осадками (Pr) на территории Среднего Поволжья. Для изучения корреляции между NDVI, LST и Pr использован метод регрессии.

Область исследования. Для исследования взаимосвязи вегетационного индекса NDVI, температуры поверхности земли и осадков были выбраны лесные насаждения Среднего Поволжья – республик Марий Эл, Чувашии, Татарстана, а также Нижегородской и Кировской областей (рис. 1).

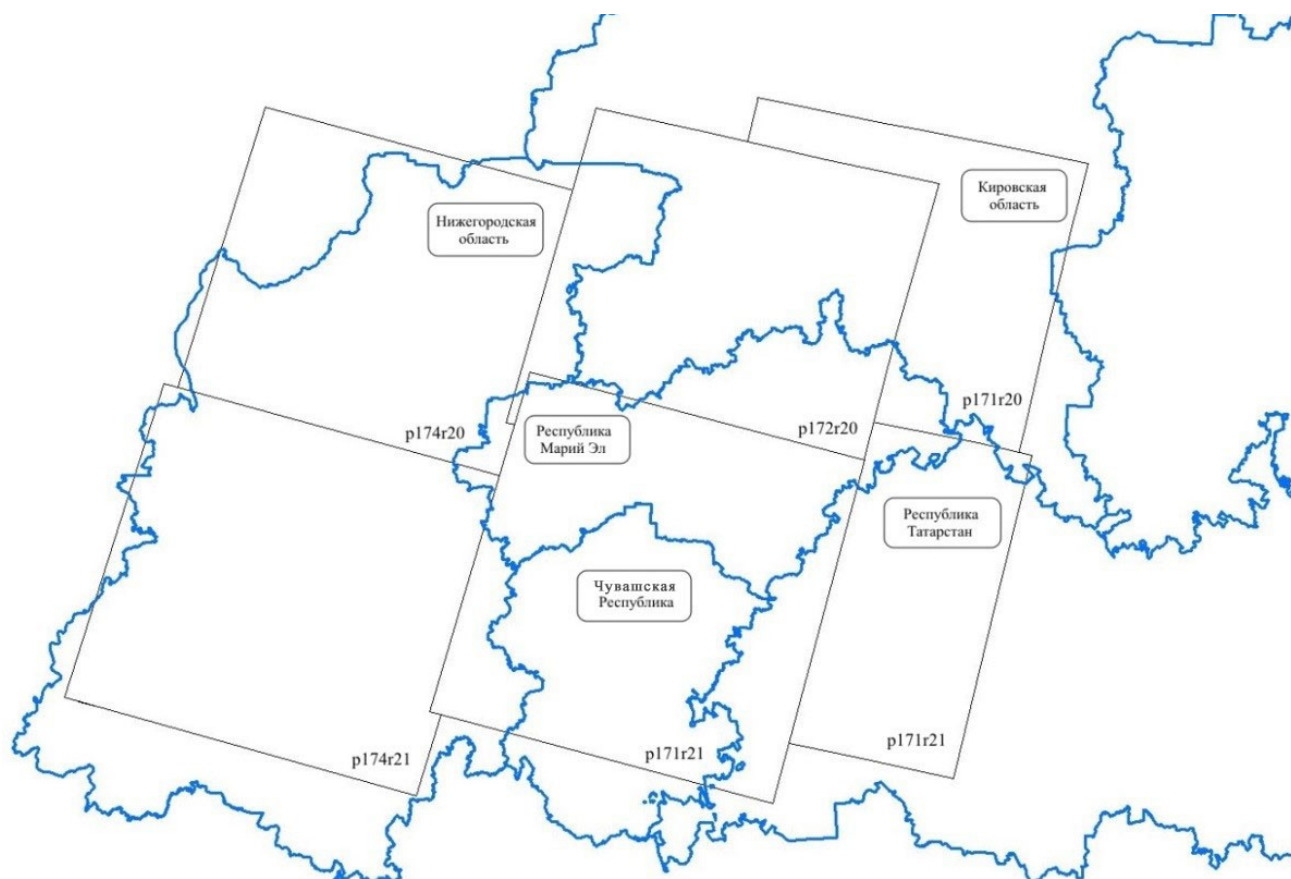


Рис. 1. Территория исследования с границами используемых сцен спутника Landsat 2014 г.

Материалы. В работе использованы снимки низкого пространственного разрешения спектрорадиометра MODIS. Радиометр MODIS позволяет выполнять ежедневный мониторинг территорий, периодичность наблюдения которых связана с размерами исследуемых районов и их географическим положением (Modis, 2016). Анализ сезонных значений вегетационного индекса NDVI происходил на основе программного продукта MOD13Q1, включающего в себя 11 каналов и позволяющего получать композитные значения спектральных ин-

дексов изучаемой поверхности. Значения вегетационного индекса NDVI были получены с интервалом в 16 дней с мая 2000 г. по сентябрь 2014 г.

Данные о LST были получены с использованием продукта MOD11C3 спектрорадиометра MODIS. MOD11C3 поставляется с пространственным разрешением в $0.05^\circ \times 0.05^\circ$ и временным – 1 месяц (Демишева, 2016).

Данные о месячных суммах осадков были получены на основе базы данных NASA (USGS, 2016; Демишева, Воробьев, 2016).

В работе также были использованы тематические карты Landsat 2014 на лесную территорию исследуемого региона, созданные Центром устойчивого управления и дистанционного мониторинга лесов ФГБОУ ВПО «ПГТУ» (Курбанов и др., 2015; Воробьев и др., 2015; Kurbanov et al., 2017).

Методика исследования.

1 этап – Подготовка набора данных изучаемых показателей.

Начальный этап работы заключался в выделение необходимых для исследования классов лесного покрова (рис. 2). Для этого из тематической карты Landsat 2014 были исключены такие классы, как сельскохозяйственные земли, населенные пункты, водные объекты, облака и тени от них.

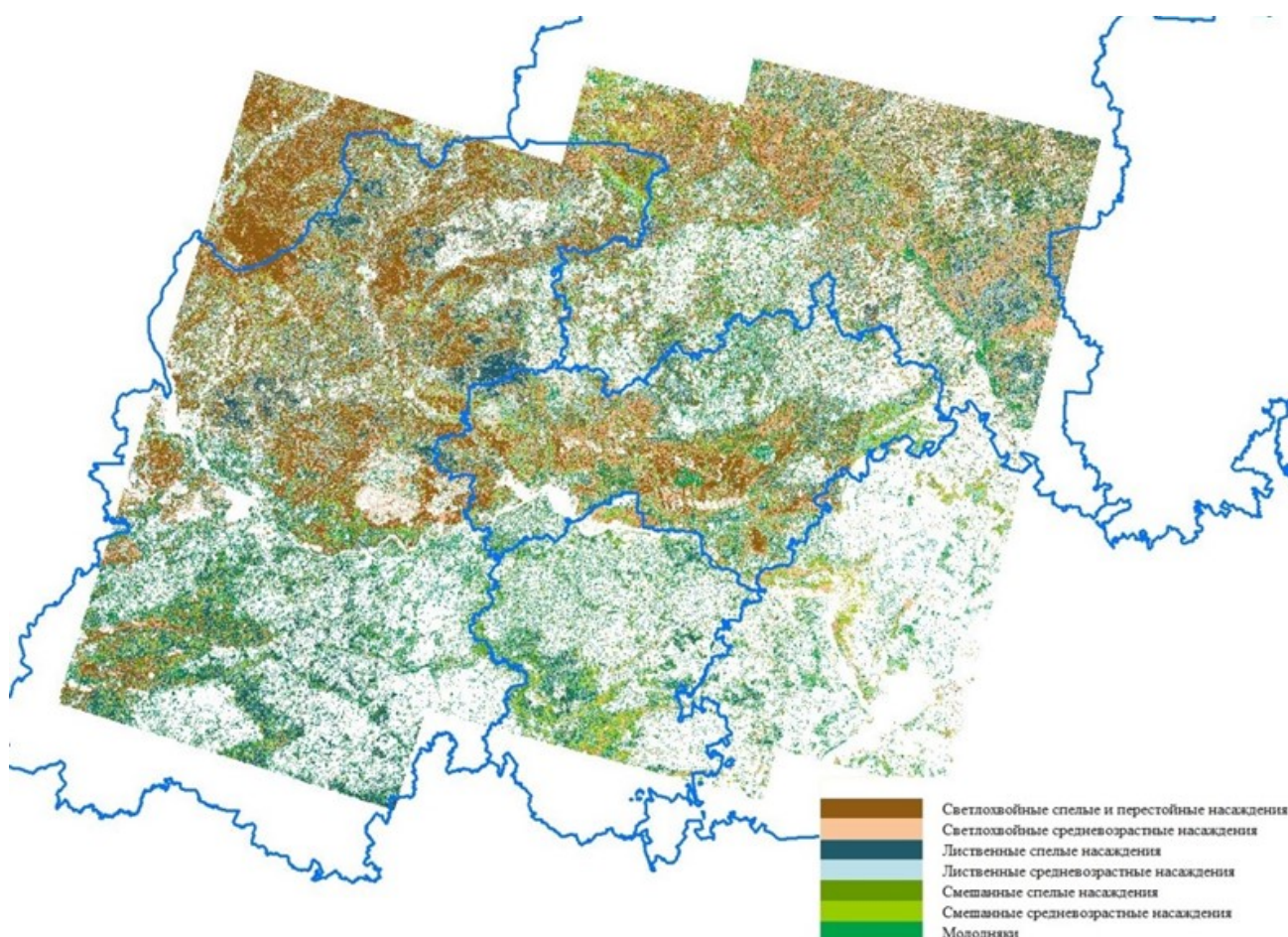


Рис. 2. Тематическая карта лесного покрова 2014 года на территорию исследования

Далее при помощи инструмента Create Fishnet (Построить сетку) в программном комплексе ArcGIS – 10.3 был построен точечный класс пространственных объектов, представляющий собой регулярную сеть, с расстоянием между узлами сетки 5000 м. Для дальнейшего анализа взаимосвязи NDVI, LST, Pr были использованы точечные данные, попадающие в

лесные классы (рис.3). Полученный набор точечных данных был распределен на 7 основных классов лесного покрова: светлохвойные спелые и перестойные насаждения (TNEC_MaO), светлохвойные средневозрастные насаждения (TNEC_M), лиственные спелые и перестойные насаждения (TBDC_MaO), лиственные средневозрастные насаждения (TBDC_M), смешанные спелые и перестойные насаждения (TMC_MaO), смешанные средневозрастные насаждения (TMC_M) и молодняки (TNBC_Y).

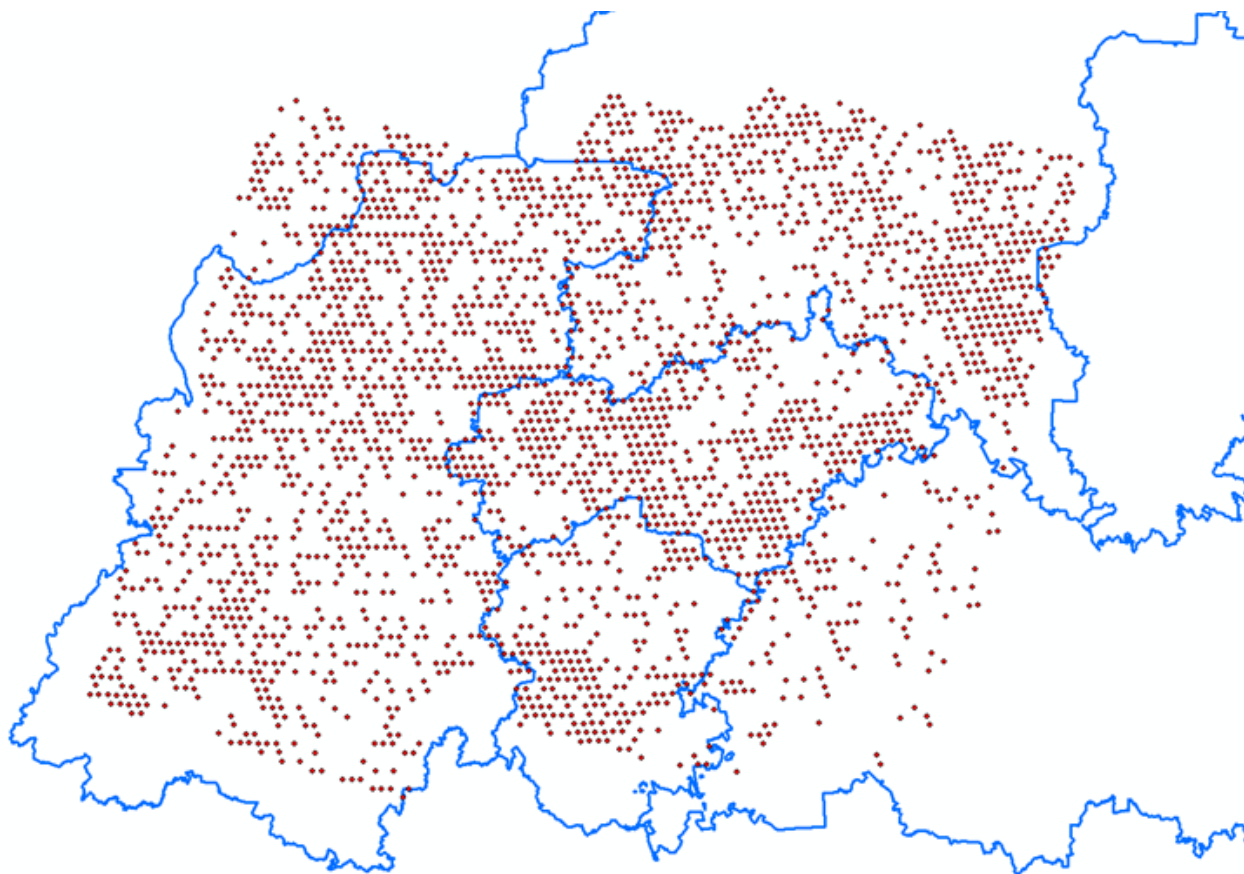


Рис. 3. Объекты, попадающие на лесной покров исследуемой территории

2 этап - Определение значений вегетационного индекса NDVI, температуры поверхности земли и осадков в ПК ArcMap-10.3

Для всех классов лесного покрова определялись значения NDVI, LST, PR в каждом точечном узле регулярной сети, попадающем в данный тематический класс за период 2000 - 2014 гг.

Для перевода значений температуры земной поверхности в градусы Цельсия значение пикселя исходного спутникового снимка умножалось на коэффициент 0,02 и из полученного значения вычиталось 272,15°C (1K) (Sun, Kafatos, 2007).

С целью выявления отклика лесного покрова на изменения температуры поверхности земли и количества осадков был проведен корреляционный анализ средних значений NDVI, LST и PR за вегетационный период по годам и каждому классу лесного покрова (рис. 4). Этот метод применяют для оценки тесноты связи между изучаемыми показателями.

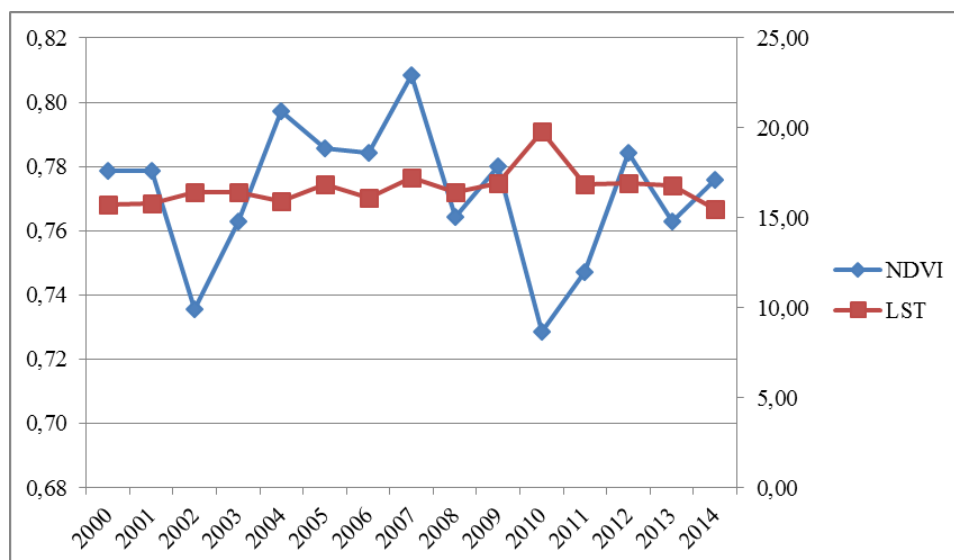


Рис. 4. График распределения среднеемноголетних значений NDVI и LST

Результаты исследования. Проведенный анализ показывает, что максимальные значения вегетационного индекса NDVI (0,81) характерны для тематического класса TBDC_MaO, представленного лиственными спелыми насаждениями. Минимальные среднеемноголетние значения NDVI (0,72) соответствуют классу TNBC_Y (молодняки) (рис. 4). Общая динамика изучаемого вегетационного индекса имеет неоднородный характер. Большинство минимальных значений сконцентрировано в северной части Среднего Поволжья, представленной в основном землями сельскохозяйственных угодий, а также участками с травянистой растительностью. Кроме того, минимальные значения NDVI встречаются и в смешанных насаждениях практически на всей территории исследования. Максимальные значения NDVI характерны для центральной части Среднего Поволжья и представлены хвойными и лиственными породами.

Графический анализ фитомассы и осадков показывает явную синхронность их межгодового хода (рис. 5). Минимальное значение вегетационного индекса NDVI (0,73) соответствует минимальному количеству осадков ($1,52 \text{ кг м}^{-2}$). Кроме того, можно наблюдать некоторое запаздывание отклика фитомассы на изменение количества осадков. Можно предположить, что данная особенность связана с влиянием на фитомассу осадков предыдущего года.

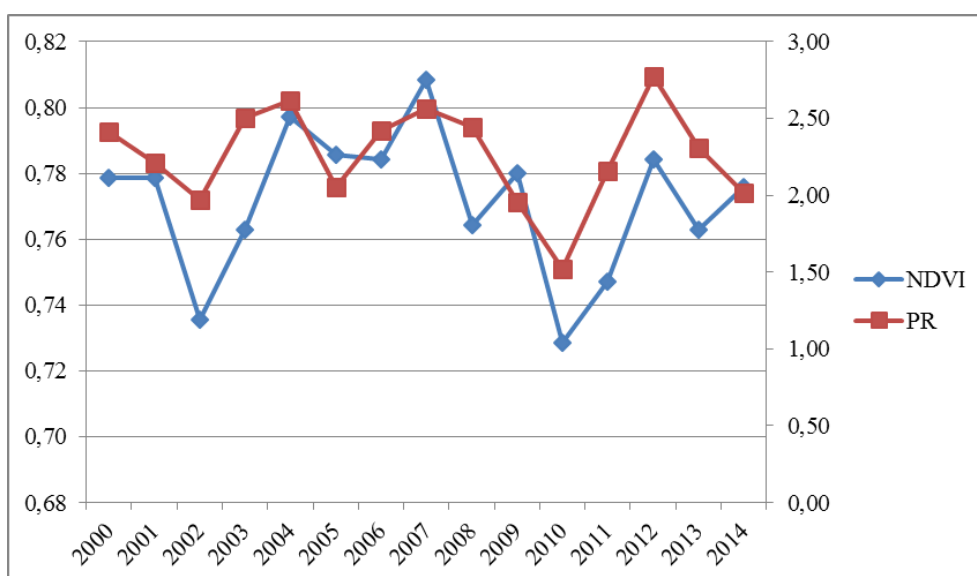


Рис. 5. График распределения среднеемноголетних значений NDVI и Pr

Анализ полученных данных показывает, что взаимосвязь фитомассы (NDVI) и климатических показателей (LST и PR) носит слабовыраженный характер. Сложность в интерпретации результатов объясняется большой территорией исследования, в пределах которой кластеризация объектов наземного покрова представлена неравномерно, что сказывается на конечных результатах. Тем не менее, по каждому году исследования получены достаточно однородные результаты, за исключением аномально засушливого периода 2010 г., что говорит о закономерных процессах, которые можно выявить и объяснить, пользуясь современными методами обработки пространственных данных. Коэффициенты корреляции NDVI, LST и PR для каждого исследуемого класса лесного покрова представлены в таблице. Коэффициенты корреляции рассчитывались с доверительной вероятностью 0,95.

Коэффициенты корреляции исследуемых показателей

		NDVI	LST
TNEC MaO	LST	-0,44	
	PR	0,63	-0,41
TNEC M	LST	-0,39	
	PR	0,71	-0,45
TBDC MaO	LST	-0,38	
	PR	0,5	-0,5
TBDC M	LST	-0,49	
	PR	0,69	-0,54
TMC MaO	LST	-0,52	
	PR	0,6	-0,58
TMC M	LST	-0,48	
	PR	0,62	-0,46
TNBC Y	LST	-0,46	
	PR	0,63	-0,61

Наибольшая величина коэффициента корреляции ($r = -0,52$) между значениями NDVI и LST отмечена у тематического класса TMC_MaO (смешанные спелые насаждения), зависимость которой можно описать следующей линейной моделью:

$$\text{NDVI} = 0,96 - 0,11 \times \text{LST}. \quad (1)$$

Анализируя взаимосвязь показателей фитомассы и осадков, можно сделать вывод, что непосредственное влияние на динамику фитомассы оказывает именно этот климатический параметр. При этом максимальный коэффициент корреляции взаимосвязи наблюдается для тематического класса TNEC_M, представленного хвойными средневозрастными насаждениями ($r = 0,71$).

Таким образом, корреляционный анализ показал, что для таких классов лесного покрова как TNEC_MaO, TNEC_M, TBDC_MaO, TBDC_M, TMC_M, TNBC_Y характерна слабая обратная связь между фитомассой (NDVI) и температурой поверхности земли. Исследуемая взаимосвязь между фитомассой насаждений и количеством осадков обладает положительной направленностью и имеет среднюю и сильную степень корреляции. Положительная корреляционная связь NDVI с осадками и отрицательная взаимосвязь между NDVI и температурой может быть обусловлена влагосодержанием лесных насаждений (Los et al., 2001).

В работе также проведён множественный регрессионный анализ, основная цель которого состоит в определении связи между зависимой величиной NDVI (фитомасса) и показателями LST и Pr. Полученный коэффициент множественной корреляции R, который выражает степень зависимости независимых переменных (LST и Pr) и зависимой переменной (NDVI), равен 0,56. Уравнение линейной регрессии изучаемых показателей имеет вид:

$$\text{NDVI} = 0.93 - 0.013 \cdot \text{LST} + 0.02 \cdot \text{Pr}. \quad (2)$$

Наблюдаемый характер связи вегетационного индекса NDVI, температуры поверхности земли и количества осадков, возможно, обусловлен различием климатических и гидрологических условий. Количество атмосферных осадков и их распределение на территории Среднего Поволжья за изучаемый период практически не изменилось. Можно лишь отметить снижение их количества в экстремальном 2010 году (Воробьев и др., 2016), которое значительно отклоняется от стандартного тренда, полученного за обычные годы (Loboda et al., 2017). Следует отметить, что аномалии осадков этого года не оказывают явного влияния на изменение фенологии в последующие годы исследования.

Общий анализ трендов климатических параметров за последние 14 лет не выявил значительных изменений среднегодовых температур и количества осадков в связи с глобальным изменением климата. Полученные уравнения взаимосвязи изучаемых показателей в целом соответствуют другим литературным источникам (Wang et al., 2003; Sun and Kafatos, 2007; Варламова, Соловьев, 2012; Пропастин, Муратова, 2012). В целом данная методика оценки влияния климатических параметров на фенологические показатели лесных насаждений позволяет статистически оценивать их взаимосвязь.

Выводы. В данной статье проведен анализ пространственно-временной связи между фенологическими показателями лесных насаждений (NDVI) и климатическими параметрами. Результаты исследования показывают, что сезонная и многолетняя динамика температуры поверхности земли имеет слабую связь с динамикой вегетационного индекса NDVI (фитомассой насаждений). Взаимосвязь между фитомассой и количеством осадков имеет среднюю и сильную степень корреляции, что говорит о влиянии данного климатического параметра на фенологию лесных насаждений. Для более точного анализа динамики фитомассы в связи с климатическими показателями необходимо увеличение периода исследования и использование в исследовании комплекса других независимых переменных.

Работа выполнена по проекту № 574894-EPP-1-2016-1-RU-EPPJMO-CoE программы Жана Монне Erasmus+ Европейского Союза.

Библиографический список

1. Варламова, Е.В. Исследование динамики индекса растительности арктической зоны Восточной Сибири по спутниковым данным / Е.В. Варламова, В.С. Соловьев // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9. – № 1. – С. 65-70.
2. Воробьев, О.Н. Оценка динамики и нарушенности лесного покрова в Среднем Поволжье по снимкам Landsat / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, Ю.А. Полевщикова, С.А. Лежнин // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2016. – Т. 13. – № 4. – С. 124-134.
3. Воробьев, О.Н. Методика пошаговой классификации спутниковых снимков для тематического картирования лесов / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, А.В. Губаев, Е.Н. Демишева // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – Т. 28. – № 4. – С. 57-69.
4. Демишева, Е. Н. Оценка взаимосвязи вегетационного индекса NDVI и температуры поверхности земли по данным дистанционного зондирования / Е. Н. Демишева // Труды Поволжского государственного технологического университета. Серия: Технологическая. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016. – Вып. 4. – С. 10-16.
5. Демишева, Е.Н. Методика дистанционной оценки влияния изменения климата на фенологию лесов республики Марий Эл / Е.Н. Демишева, О.Н. Воробьев // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг: сборник научных статей. – Йошкар-Ола, 2016. – С. 180-192.
6. Курбанов, Э.А. Моделирование бюджета углерода лесных насаждений на примере сосняков Поволжья / Э.А. Курбанов // Лесной журнал. – 2009. – № 2. – С. 7-15.
7. Курбанов, Э.А. Два десятилетия исследований растительного покрова по MODIS / Э.А. Курбанов // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг: сборник научных статей. – Йошкар-Ола, 2016. – С. 123-132.
8. Курбанов, Э.А. Четыре десятилетия исследований лесов по снимкам Landsat / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова, Е.Н. Демишева // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 1. – С. 18-32.

9. Курбанов, Э.А. Тематическое картирование растительного покрова по спутниковым снимкам: валидация и оценка точности: монография / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, С.А. Лежнин, А.В. Губаев, Ю.А. Полевщикова // Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015. – 131 с.
10. Муратова, Н. Р. Оценка состояния естественной растительности Прикаспийского региона в зависимости от погодных и ландшафтных особенностей / Н. Р. Муратова, С. Северская, А. Г. Терехов, Н. Т. Аманова, Н. Цычуева // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2006. – Т. 2. – №. 3. – С. 351-358.
11. Пропастин, П. А. Анализ многолетних рядов NOAA/AVHRR/NDVI и гидрометрических условий южной части Казахского мелкосопочника / П. А. Пропастин, Н. Р. Муратова // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2006. – Т. 3. – №. 2. – С. 366-374.
12. Chapin III, F. S. Arctic and boreal ecosystems of western North America as components of the climate system / F.S. Chapin III, E.B. Rastetter, S.A. Zimov, S.W. Running, A.D. McGuire, J.T. Randerson, R.A. Pielke, D. Baldocchi, S. Hobbie, N. Roulet, W. Eugster, E.S. Kasischke // Global Change Biology. – 2000. – Т. 6. – №. 1. – P. 211-223.
13. Gilman, E. Threats to mangroves from climate change and adaptation options: A review. / E. L. Gilman, J. Ellison, N. C. Duke, C. Field // Aquatic botany. – 2008. – Т. 89. – №. 2. – P. 237-250.
14. Julien, Y. Temporal analysis of normalized difference vegetation index (NDVI) and land surface temperature (LST) parameters to detect changes in the Iberian land cover between 1981 and 2001 / Y. Julien, J. A. Sobrino, C. Mattar, A. B. Ruescas, J. C. Jiménez-Muñoz, G. Soria, V. Hidalgo, M. Atitar, B. Franch, J. Cuenca // International Journal of Remote Sensing. – 2011. – Т. 32. – №. 7. – P. 2057-2068.
15. Kurbanov, E. Assessment of burn severity in Middle Povolzhje with Landsat multi-temporal data/ E. Kurbanov, O. Vorobyev, S. Leznin, Y. Polevshikova and E. Demisheva // International Journal of Wildland Fire. – 2017. – Т. 26. – № 9. – P. 772-782.
16. Laurance, W.F. The 10 Australian ecosystems most vulnerable to tipping points / W.F. Laurance, B. Dell, S.M. Turton, M. J.Lawes, L. B. Hutley, H.McCallum, P. Dale, M. Bird, G. Hardy, G. Prideaux, B. Gawne, C. R.McMahon, R. Yu, J.-M. Hero, L. Schwarzkopf, A. Krockenberger, S. A. Setterfield, M. Douglas, E. Silvester, M. Mahony, K. Vella, U. Saikia, C.-H. Wahren, Z. Xu, B. Smith, C. Cocklin // Biological Conservation. – 2011. – Т. 144. – №. 5. – P. 1472-1480.
17. Lindner, M. Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems / M. Lindner, M. Maroschek, S. Netherer, A. Kremer, A. Barbati, J. Garcia-Gonzalo, R. Seidl, S. Delzon, P. Corona, M. Kolström, M. J. Lexer, M. Marchetti // Forest Ecology and Management. – 2010. – Т. 259. – №. 4. – P. 698-709.
18. Loboda, T. Land Management and the Impact of the 2010 Extreme Drought Event on the Agricultural and Ecological Systems of European Russia/ T. Loboda, O. Krankina, I. Savin, E. Kurbanov, H. Joanne // Land-Cover and Land-Use Changes in Eastern Europe after the Collapse of the Soviet Union in 1991. – Springer International Publishing, 2017. – P. 173-192.
19. Los, S. Global interannual variations in sea surface temperature and land surface vegetation, air temperature, and precipitation / S. O. Los, G. J. Collatz, L. Bounoua, P. J. Sellers, C. J. Tucker // Journal of Climate. – 2001. – Т. 14. – №. 7. – P. 1535-1549.
20. Luo, L. Research on the correlation between NDVI and climatic factors of different vegetations in the northeast China / L. Luo, Z.M. Wang, K.S. Song, B. Zhang, D.W. Liu, C.Y. Ren, S.M. Zhang // Xibei Zhiwu Xuebao. – 2009. – Т. 29. – №4. – P. 800-808.
21. MODIS. Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m. MOD13Q1 [Electronic resource]. – URL: www.lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/modis_products_table/mod13q1. – 11.10.2017.
22. Nouri, H. High Spatial Resolution WorldView-2 Imagery for Mapping NDVI and its relationship to temporal urban landscape evapotranspiration factors / H. Nouri, S. Beecham, S. Anderson, P. Nagler // Remote Sensing. – 2014. – Т. 6. – №. 1. – P. 580-602.
23. Omuto, C.T. A new approach for using time-series remote sensing images to detect changes in vegetation cover and composition in drylands: a case study of eastern Kenya / C. T. Omuto // International Journal of Remote Sensing. – 2011. – Т. 32. – №. 21. – P. 6025-6045.
24. Rehfeldt, G. E. North American vegetation model for land-use planning in a changing climate: a solution to large classification problems / G. E. Rehfeldt, N. L. Crookston, C. Sáenz-Romero, E. M. Campbell // Ecological Applications. – 2012. – Т. 22. – №. 1. – P. 119-141.
25. Sahebjalal, E. Analysis of land use-land covers changes using normalized difference vegetation index (NDVI) differencing and classification methods / E. Sahebjalal, K. Dashtekian // African Journal of Agricultural Research. – 2013. – Т. 8. – №. 37. – P. 4614-4622.
26. Sun, D. Note on the NDVI-LST relationship and the use of temperature-related drought indices over North America / D. Sun, M. Kafatos // Geophysical Research Letters. – 2007. – Т. 34. – №24. – P. 24406.
27. U.S. Geological Survey. Digital Elevation [Electronic resource]. – URL: <https://earthexplorer.usgs.gov>. – 11.10.2017.
28. Vicharnakorn, P. Carbon Stock Assessment using Remote Sensing and Forest Inventory Data in Savannakhet, Lao PDR / P. Vicharnakorn, R. P. Shrestha, M. Nagai, A. P. Salam, S. Kiratiprayoon // Remote Sensing. – 2014. – Т. 6. – P. 5452-5479.
29. Wang, J. Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the central Great Plains, USA / J. Wang, P. M. Rich, K. P. Price // International journal of remote sensing. – 2003. – Т. 24. – №. 11. – P. 2345-2364.
30. Zhang, G.L. Responses of grassland vegetation to climatic variations on different temporal scales in Hulun Buir Grassland in the past 30 years / G.L. Zhang, X.L. Xu, C.P. Zhou, H.B. Zhang, H. Ouyang // Journal of Geographical Sciences. – 2011a. – Т. 21. – №4. – P. 634-650.

References

1. Varlamova, E.V. Issledovanie dinamiki indeksa rastitel'nosti arkticheskoy zony Vostochnoy Sibiri po sputnikovym dannym / E.V. Varlamova, V.S. Solov'ev // *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. – 2012. – T. 9. – № 1. – S. 65-70.
2. Vorobiev, O.N. Ocenka dinamiki i narushennosti lesnogo pokrova v Srednem Povolzh'e po snimkam Landsat / O.N. Vorobiev, E.A. Kurbanov, Yu.A. Polevshchikova, S.A. Lezhnin // *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. – 2016. – T. 13. – № 4. – S. 124-134.
3. Vorobiev, O.N. Metodika poshagovoy klassifikatsii sputnikovyyh snimkov dlya tematiceskogo kartirovaniya lesov / O.N. Vorobiev, E.A. Kurbanov, A.V. Gubaev, E.N. Demisheva // *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie*. – 2015. – T. 28. – № 4. – S. 57-69.
4. Demisheva, E. N. Ocenka vzaimosvyazi vegetatsionnogo indeksa NDVI i temperatury poverhnosti zemli po dannym distantsionnogo zondirovaniya / E. N. Demisheva // *Trudy Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Tekhnologicheskaya*. – Joshkar-Ola: PGU, 2016. – Vyp. 4. – S. 10-16.
5. Demisheva, E.N. Metodika distantsionnoy ocenki vliyaniya izmeneniya klimata na fenologiyu lesov respubliky Marij El / E.N. Demisheva, O.N. Vorobiev // *Lesnye ekosistemy v usloviyah izmeneniya klimata: biologicheskaya produktivnost' i distantsionnyy monitoring: sbornik nauchnyh statej*. – Joshkar-Ola, 2016. – S. 180-192.
6. Kurbanov, E.A. Modelirovanie byudzheta ugleroda lesnyh nasazhdenij na primere sosnyakov Povolzh'ya / E.A. Kurbanov // *Lesnoj zhurnal*. – 2009. – № 2. – S. 7-15.
7. Kurbanov, E.A. Dva desyatiletija issledovaniy rastitel'nogo pokrova po MODIS / E.A. Kurbanov // *Lesnye ekosistemy v usloviyah izmeneniya klimata: biologicheskaya produktivnost' i distantsionnyy monitoring: sbornik nauchnyh statej*. – Joshkar-Ola, 2016. – S. 123-132.
8. Kurbanov, E.A. CHetyre desyatiletija issledovaniy lesov po snimkam Landsat / E.A. Kurbanov, O.N. Vorobiev, A.V. Gubaev, S.A. Lezhnin, YU.A. Polevshchikova, E.N. Demisheva // *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie*. – 2014. – № 1. – S. 18-32.
9. Kurbanov, E.A. Tematiceskoe kartirovanie rastitel'nogo pokrova po sputnikovym snimkam: validatsiya i ocenka tochnosti: monografiya / E.A. Kurbanov, O.N. Vorobiev, S.A. Lezhnin, A.V. Gubaev, YU.A. Polevshchikova // Joshkar-Ola: PGU, 2015. – 131 s.
10. Muratova, N. P. Ocenka sostoyaniya estestvennoj rastitel'nosti Prikaspijskogo regiona v zavisimosti ot pogodnyh i landshaftnyh osobennostej / N. P. Muratova, C. Ceverskaya, A. G. Terekhov, N. T. Amanova, N. Cychueva // *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. – 2006. – T. 2. – № 3. – P. 351-358.
11. Propastin, P. A. Analiz mnogoletnih ryadov NOAA/AVHRR/NDVI i gidrometricheskikh uslovij yuzhnoj chasti Kazahskogo melkosopochnika / P. A. Propastin, N. P. Muratova // *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. – 2006. – T. 3. – № 2. – P. 366-374.
12. Chapin III, F. S. Arctic and boreal ecosystems of western North America as components of the climate system / F.S. Chapin III, E.B. Rastetter, S.A. Zimov, S.W. Running, A.D. McGuire, J.T. Randerson, R.A. Pielke, D. Baldocchi, S. Hobbie, N. Roulet, W. Eugster, E.S. Kasischke // *Global Change Biology*. – 2000. – T. 6. – № S1. – P. 211-223.
13. Gilman, E. Threats to mangroves from climate change and adaptation options: A review. / E. L. Gilman, J. Ellison, N. C. Duke, C. Field // *Aquatic botany*. – 2008. – T. 89. – № 2. – P. 237-250.
14. Julien, Y. Temporal analysis of normalized difference vegetation index (NDVI) and land surface temperature (LST) parameters to detect changes in the Iberian land cover between 1981 and 2001 / Y. Julien, J. A. Sobrino, C. Mattar, A. B. Ruescas, J. C. Jiménez-Muñoz, G. Sòria, V. Hidalgo, M. Atitar, B. Franch, J. Cuenca // *International Journal of Remote Sensing*. – 2011. – T. 32. – № 7. – P. 2057-2068.
15. Kurbanov, E. Assessment of burn severity in Middle Povolzhje with Landsat multi-temporal data/ E. Kurbanov, O. Vorobyev, S. Lezhnin, Y. Polevshikova and E. Demisheva // *International Journal of Wildland Fire*. – 2017. – T. 26. – № 9. – C. 772-782.
16. Laurance, W.F. The 10 Australian ecosystems most vulnerable to tipping points / W.F. Laurance, B. Dell, S.M. Turton, M. J. Lawes, L. B. Hutley, H. McCallum, P. Dale, M. Bird, G. Hardy, G. Prideaux, B. Gawne, C. R. McMahon, R. Yu, J.-M. Hero, L. Schwarzkopf, A. Krockenberger, S. A. Setterfield, M. Douglas, E. Silvester, M. Mahony, K. Vella, U. Saikia, C.-H. Wahren, Z. Xu, B. Smith, C. Cocklin // *Biological Conservation*. – 2011. – T. 144. – № 5. – P. 1472-1480.
17. Lindner, M. Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems / M. Lindner, M. Maroschek, S. Netherer, A. Kremer, A. Barbat, J. Garcia-Gonzalo, R. Seidl, S. Delzon, P. Corona, M. Kolström, M. J. Lexer, M. Marchetti // *Forest Ecology and Management*. – 2010. – T. 259. – № 4. – P. 698-709.
18. Loboda, T. Land Management and the Impact of the 2010 Extreme Drought Event on the Agricultural and Ecological Systems of European Russia/ T. Loboda. O. Krankina, I. Savin, E. Kurbanov, H. Joanne // *Land-Cover and Land-Use Changes in Eastern Europe after the Collapse of the Soviet Union in 1991*. – Springer International Publishing, 2017. – C. 173-192.
19. Los, S. Global interannual variations in sea surface temperature and land surface vegetation, air temperature, and precipitation / S. O. Los, G. J. Collatz, L. Bounoua, P. J. Sellers, C. J. Tucker // *Journal of Climate*. – 2001. – T. 14. – № 7. – P. 1535-1549.
20. Luo, L. Research on the correlation between NDVI and climatic factors of different vegetations in the northeast China / L. Luo, Z.M. Wang, K.S. Song, B. Zhang, D.W. Liu, C.Y. Ren, S.M. Zhang // *Xibei Zhiwu Xuebao*. – 2009. – T. 29. – №4. – P. 800-808.
21. MODIS. Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m. MOD13Q1 [Electronic resource]. – URL: www.lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/modis_products_table/mod13q1. – 11.10.2017.

22. Nouri, H. High Spatial Resolution WorldView-2 Imagery for Mapping NDVI and its relationship to temporal urban landscape evapotranspiration factors / H. Nouri, S. Beecham, S. Anderson, P. Nagler // Remote Sensing. – 2014. – Т. 6. – №. 1. – P. 580-602.
23. Omuto, C.T. A new approach for using time-series remote sensing images to detect changes in vegetation cover and composition in drylands: a case study of eastern Kenya / C. T. Omuto // International Journal of Remote Sensing. – 2011. – Т. 32. – №. 21. – P. 6025-6045.
24. Rehfeldt, G. E. North American vegetation model for land-use planning in a changing climate: a solution to large classification problems / G. E. Rehfeldt, N. L. Crookston, C. Sáenz-Romero, E. M. Campbell // Ecological Applications. – 2012. – Т. 22. – №. 1. – P. 119-141.
25. Sahebjalal, E. Analysis of land use-land covers changes using normalized difference vegetation index (NDVI) differencing and classification methods / E. Sahebjalal, K. Dashtekian // African Journal of Agricultural Research. – 2013. – Т. 8. – №. 37. – P. 4614-4622.
26. Sun, D. Note on the NDVI-LST relationship and the use of temperature-related drought indices over North America / D. Sun, M. Kafatos // Geophysical Research Letters. – 2007. – Т. 34. – №24. – P. 24406.
27. U.S. Geological Survey. Digital Elevation [Electronic resource]. – URL: <https://earthexplorer.usgs.gov>. – 11.10.2017.
28. Vicharnakorn, P. Carbon Stock Assessment using Remote Sensing and Forest Inventory Data in Savannakhet, Lao PDR / P. Vicharnakorn, R. P. Shrestha, M. Nagai, A. P. Salam, S. Kiratiprayoon // Remote Sensing. – 2014. – Т. 6. – P. 5452-5479.
29. Wang, J. Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the central Great Plains, USA / J. Wang, P. M. Rich, K. P. Price // International journal of remote sensing. – 2003. – Т. 24. – №. 11. – P. 2345-2364.
30. Zhang, G.L. Responses of grassland vegetation to climatic variations on different temporal scales in Hulun Buir Grassland in the past 30 years / G.L. Zhang, X.L. Xu, C.P. Zhou, H.B. Zhang, H. Ouyang // Journal of Geographical Sciences. – 2011a. – Т. 21. – №4. – P. 634-650.

УДК 528.9:630.*1

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА СИРИЙСКОЙ АРАБСКОЙ РЕСПУБЛИКИ ПО ДАННЫМ СПУТНИКА MODIS

М.С. Али

Поволжский государственный технологический университет

Анализ характеристик поверхности земли и их сезонных изменений с использованием многолетних временных рядов, полученных по данным ДЗЗ, позволяет проводить мониторинг количественных и качественных характеристик растительного покрова на региональном уровне. Целью работы явилась оценка пространственно-временной динамики площади растительного покрова Сирийской Арабской Республики (САР). Основное внимание уделено возможности картографирования растительного покрова по данным MODIS с использованием готовых индексных тематических материалов. В статье приведена методика оценки изменений площади растительного покрова на территории Сирийской Арабской Республики за семнадцатилетний период. Динамика растительного покрова оценена по готовым тематическим картам усовершенствованного индекса вегетации EVI, полученным по данным спектрорадиометра MODIS с 2000 по 2017 год. Полигональные слои класса «растительный покров» на базе EVI за каждый временной период были выделены с применением метода «дерево целей» в программном пакете ENVI-5. На основе полученных результатов был проведен количественный анализ изменений в растительном покрове за оцениваемый период. Разработанные тематические карты показывают максимальные запасы древесно-кустарниковой растительности и травянистого покрова на участках вдоль западной границы Сирии: на побережье Средиземного моря, в предгорье и горах Латакии и Тартус, вдоль побережья р. Евфрат и на участках плодородных земель административного района Хасака. Результаты этого исследования могут способствовать повышению точности оценки количественных характеристик и динамики растительного покрова за оцениваемый период, а также помочь сформировать тематические карты растительного покрова САР.

Ключевые слова: Modis, геоинформационные системы, дистанционное зондирование Земли, Сирийская Арабская Республика, тематическое картографирование, растительный покров, EVI.

VEGETATION COVER MAPPING OF THE SYRIAN ARAB REPUBLIC BASED ON MODIS SATELLITE DATA

M.S. Ali

Volga State University of Technology

The analysis of ground surface characteristics and their seasonal changes using perennial time series obtained based on the Earth remote sensing data enables monitoring of quantity and quality characteristics of vegetation on the regional level. The work aims to evaluate spatiotemporal dynamics of vegetation cover in the Syrian Arab Republic. The research focuses on the possibility of vegetation cover mapping based on MODIS data and ready indexed thematic materials. The paper presents the methodology for evaluation of changes of vegetation cover in the Syrian Arab Republic over a period of 17 years. The dynamics of the vegetation cover is evaluated using the ready thematic maps with improved vegetation index EVI, obtained from the data of a MODIS spectral radiometer over a period from 2000 to 2017. Polygonal layers of EVI-based vegetation cover class for each period were extracted using the objective "tree method" of ENVI-5 application package. Based on the research results the author carried out a quality analysis of changes occurring in the vegetation cover within the period under study. The developed thematic maps reveal maximum grass canopy, shrub and arboreal stock alongside the western border of Syria: coastline of the Mediterranean, in the foothill and mountains Lattakia and Tartus, along the Euphrates riverbank and on fertile lands of Hasakah Governorate. The research results may improve the accuracy of evaluation of quality characteristics and dynamics of vegetation cover for the period under study, and also create thematic maps of vegetation cover of the Syrian Arab Republic.

Key words: MODIS, GIS, Earth remote sensing, the Syrian Arab Republic, thematic mapping, vegetation cover, EVI.

Введение. В последние годы картографирование растительного покрова Земли по спутниковым изображениям относится к числу интенсивно развивающихся и приоритетных научных направлений дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) (Барталев и др., 2016; Курбанов и др., 2015). Спутниковые изображения повсеместно используются для составления карт наземного покрова, в лесоустройстве, природопользовании и экологии. Они предоставляют возможность для проведения дистанционного мониторинга природных ландшафтов, лесного покрова, сельскохозяйственных угодий, лесопарковых зон и других объектов (Курбанов и др., 2010; Воробьев и др., 2012; Курбанов и др., 2013). Кроме того, данные ДЗЗ применяются при оценке чрезвычайных ситуаций и их последствий и могут быть использованы в качестве важного материала для общей системы оценки, планирования и координации природоохранных мероприятий (Курбанов и др., 2014; Воробьев и др., 2015). ДЗЗ и географические информационные системы (ГИС) также широко используются для прогнозирования уровня пожарной опасности лесов (Ghobadi et al., 2012) и в совокупности с точными данными наземной инвентаризации могут быть использованы для принятия решений при ведении лесного хозяйства (Воробьев и Курбанов, 2013).

Средиземноморские леса, подвергшиеся в последнее тысячелетие существенным антропогенным воздействиям, состоят из низкорослых хвойных и лиственных пород. Такие леса характеризуются пространственно-временной гетерогенностью, которая обусловлена субтропическим климатом, высоким уровнем биоразнообразия и топографической изменчивостью. Большинство таких растительных участков находятся под угрозой опустынивания (Hill et al., 1994). Поэтому небольшие участки древесно-кустарниковой растительности представляют собой важный элемент устойчивости земель к процессам опустынивания (Calvaio and Palmeirim, 2004). Лесные пожары также являются одним из основных природных рисков в Средиземноморском бассейне. В частности, в САР лесные пожары по-прежнему представляют собой один из самых больших рисков (FAO, 2013). Сирийские леса также играют важную

роль в охране почв от эрозии, регулировании водных ресурсов и обеспечении других различных экологических функций.

В этих условиях спутниковые изображения могут служить эффективным инструментом для определения состояния и мониторинга пространственного распределения древесно-кустарниковой растительности (Etteieb et al., 2013) средиземноморского региона. При работе со сложными гетерогенными ландшафтами методы классификации спутниковых снимков имеют решающее значение для создания точных и недорогих карт землепользования (Koutsias and Karteris, 2003). При этом оценка фитомассы растительного покрова представляет собой ключевой элемент исследований при планировании защитных мероприятий (Курбанов, 2002) и оценке риска опустынивания (Moleele et al., 2001).

Успешное развитие глобального спутникового картографирования лесов связано с использованием данных спектрорадиометра MODIS, спутников Terra и Aqua, имеющего широкий диапазон спектральных каналов с пространственным разрешением 250 м, 500 м и 1 км (Барталев и др., 2011). В то же время результаты научных исследований показывают, что комбинирование спутниковых снимков MODIS и Landsat может быть успешно использовано для картирования лесного покрова и мониторинга его динамики на региональном уровне (Курбанов, 2016). Применение многолетних временных рядов для оценки наземного покрова по данным MODIS позволяет проводить мониторинг растительного покрова с высокой эффективностью (Yudi and Kunishiko, 2012; Loboda et al., 2017).

Цель и задачи исследования. Основной целью работы явилась оценка динамики растительного покрова Сирийской Арабской Республики по данным спутниковой съемки. Для достижения данной цели были решены следующие задачи:

- подбор спутниковых данных MODIS на территорию исследования за оцениваемый временной период;
- выделение тематического слоя «растительный покров» на всю территорию САР;
- анализ динамики растительного покрова.

Объект и область исследования. Областью исследований является территория Сирийской Арабской Республики, расположенная в западной Азии и на восточном побережье Средиземного моря. На севере Сирия граничит с Турцией, на востоке – с Ираком, на юге – с Иорданией и Палестиной и на западе – с Ливаном по границе Средиземного моря (рис.1).



Рис. 1. Границы САР (Ресурс: Yandex.Карты)

Горные цепи тянутся с севера на юг страны и включают холмистую местность, расположенную параллельно границе побережья Средиземного моря, разделяющего страну на влажную западную часть и засушливую восточную. Внутренняя территория Сирии представлена обширными равнинами, расположенными к востоку от горной местности. Пустынные территории находятся на юго-востоке страны, вдоль границы с Иорданией и Ираком. Большая часть территории Сирии представлена участками, характерными для степных зон. Лесные территории расположены в основном в прибрежной зоне (Азия – географический атлас, 2017).

Землепользование во многом зависит от ежегодных климатических условий. Западное побережье входит в зону субтропического средиземноморского пояса, восточная часть страны находится в пустынно-степной и пустынной зонах (FAO, 2013). Структурно территория республики подразделяется на следующие категории: лесные районы, занимающие более 3 % территории страны, плодородные земли – 32 %, пастбища, занимающие 45 % территории страны, и 20 % – это площадь, занятая пустынями. Водные ресурсы страны достаточно ограничены. Из крупных водных источников особо можно отметить пересекающую территорию Сирии реку Ефрат, имеющую растительный покров, сосредоточенный вдоль русла (Al-Fares, 2013). Древесно-кустарниковая растительность Сирии расположена в зоне произрастания жестколистных лесов и кустарников и представлена основными видами, включающими **хвойные** породы деревьев: пихта киликийская (*Abies cilicica*), кипарис вечнозелёный (*Cupressus sempervirens*) кедр ливанский (*Cedrus libani*), сосна калабрийская (*Pinus Brutia*); **лиственные**: клён критский (*Acer sempervirens*), дуб каллепринский (*Quercus calliprinos*), эвкалипт (*Eucalyptus*), а также **кустарниковые** породы: можжевельник колючий (*Juniperus oxycedrus*), черноголовник колючий (*Sarcopoterium spinosum*) и др.; **кустарничковые**: Саксаул (*Halóxylon*), биюргун (*Anabasis salsa*) (Forests of Syria, 2009). Травянистый покров обычно появляется после обильных осадков. Площади, занятые плодовыми культурами, представлены яблоневыми, апельсиновыми и оливковыми садами. Вдоль побережья Средиземного моря тянутся плантации сахарного тростника, табака. В долинах рек выращиваются тутовое дерево (*Morus*), инжир (*Ficus Carica*), цитрусовые (*Citrus*) и плантации хлопчатника (*Gossypium sturtianum*). На пологих склонах выращивают оливки и виноград. Сельскохозяйственные культуры представлены пшеницей, кукурузой и ячменем. Также здесь выращивают картофель и овощи. В условиях искусственного орошения выращивается рис (FAO, 2016).

Методика исследования и материалы. Нами разработан метод регионального мониторинга растительного покрова территории Сирийской Арабской Республики на основе данных спутниковых наблюдений среднего пространственного разрешения MODIS.

Для анализа изменений растительного покрова САР были использованы готовые тематические продукты MOD13Q1 (Vegetation Indices), полученные на базе разновременной серии данных спектрорадиометра MODIS/Terra (250 м). Данные тематические карты являются результатом классификации 16-дневных композитных изображений, позволяющих оценить уровень и плотность растительного покрова (фитомассы) на основе усовершенствованного индекса вегетации (1):

$$EVI = G * \frac{NIR - RED}{NIR + C1 * RED - C2 * BLUE + L}, \quad (1)$$

где RED, NIR и Blue – значения в красной, инфракрасной и синей зонах спектра; L – поправочный коэффициент, позволяющий учесть излучение, прошедшее сквозь полог растительного покрова; C₁ и C₂ – коэффициенты, учитывающие влияние аэрозолей в красной и синей зонах спектра; G – коэффициент усиления.

Для алгоритма EVI приняты следующие значения: $L = 1$; $C_1 = 6$; $C_2 = 7,5$ и $G = 2,5$ (Kamel, 2015). Диапазон значений индекса от -1 до +1, для растительного покрова значения индекса начинаются от 0,2 и выше. Наряду с широко распространенным индексом вегетации NDVI, индекс EVI часто используется для оценки пространственно-временных изменений растительного покрова и анализа взаимосвязи проективного покрытия LAI, а также плотности фитомассы растительного покрова. Чувствительность значений показателя EVI к условиям среды, в которых произрастает растительность, чрезвычайно важна при оценке динамического ряда изменений в структуре полога этого растительного покрова (Shwan, 2017).

Для мониторинга растительного покрова были использованы тематические растровые изображения MODIS, серии – MOD13Q1 за 2000, 2010 и 2017 гг. (табл. 1). Для полного покрытия территории исследования были использованы пары сцен MODIS h20v05 (западная часть CAP) и h21v05C (центральная и восточная части CAP) за каждый оцениваемый промежуток времени (рис. 2).

Таблица 1

Данные MODIS, серии - MOD13Q1 (Ресурс: <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/>)

№	Индекс изображения	Время съемки
1	MOD13Q1.A2000209.h20v05.006.2015138074234	27.07.2000
2	MOD13Q1.A2000209.h21v05.006.2015138073918	27.07.2000
3	MOD13Q1.A2010209.h20v05.006.2015209150345	28.07.2010
4	MOD13Q1.A2010209.h21v05.006.2015209150356	28.07.2010
5	MOD13Q1.A2017193.h20v05.006.2017209233103	28.07.2017
6	MOD13Q1.A2017193.h21v05.006.2017209233226	27.07.2017

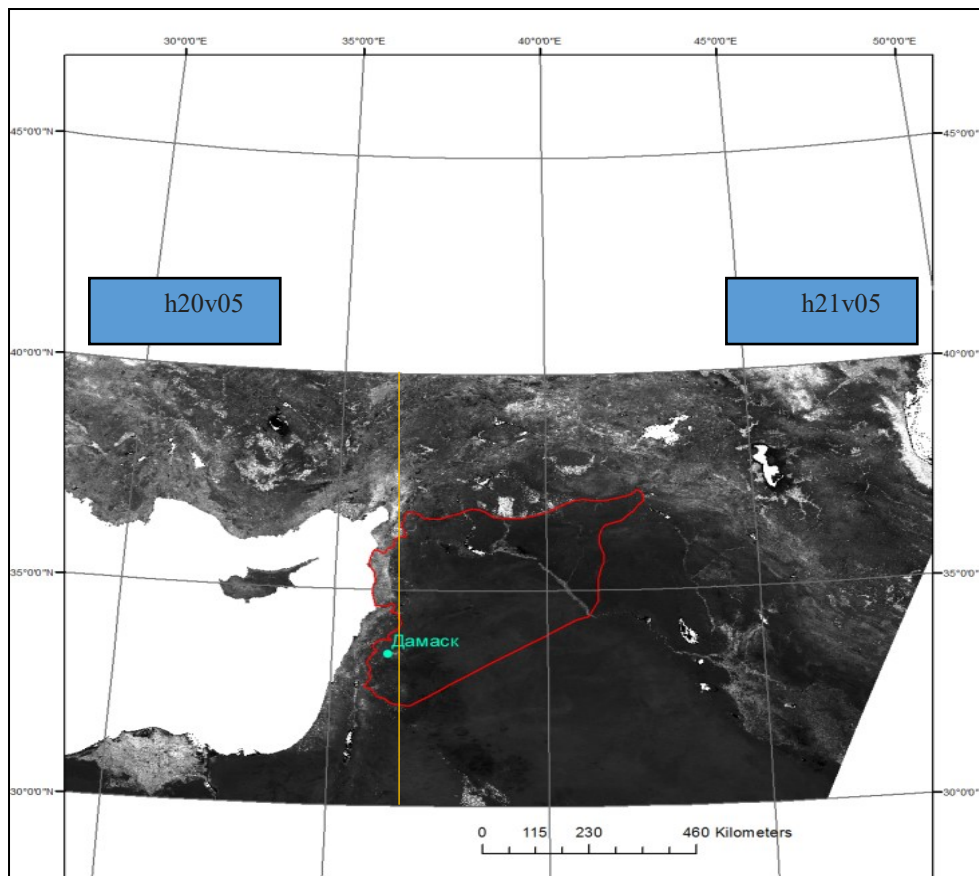


Рис. 2. Покрывание композитными изображениями EVI района исследований (желтая линия - граница сцен MODIS)

Тематический слой «растительный покров», в который вошли древесно-кустарниковая растительность и травянистый покров, был получен путем разделения тематических классов методом «дерево целей» в программном пакете ENVI -5.2. За основу выделения тематических классов было взято положение, по которому все значения тематического слоя EVI, имеющие показатель более 0,2, относятся к классу «растительный покров», а значения менее 0,2 относятся к тематическому классу без растительного покрова (открытые участки, водные объекты, транспортные пути и т.п.) (рис. 3). Оценка значений EVI по спутниковым данным при мониторинге растительного покрова с применением методики «дерева решений» была основана на подходах других исследователей (Huttich et al., 2009; Gond et al., 2013, Mertes et al., 2015).

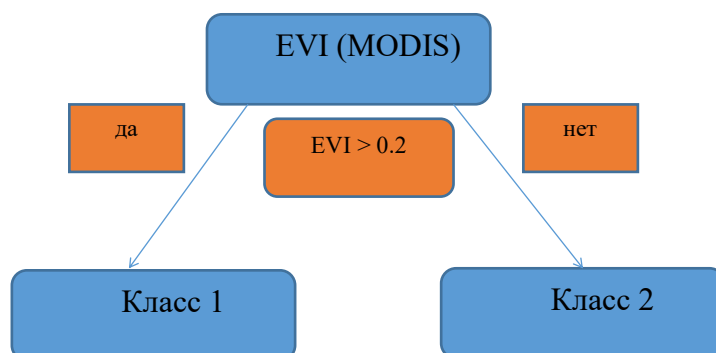


Рис. 3. Блок-схема «дерево целей» для выделения класса «растительный покров»

В результате все объекты растительного происхождения были выделены в виде отдельного тематического растрового слоя – «класс 1» «растительный покров». Для получения количественных характеристик и оценки пространственного распределения растительного покрова на территории САР из сцен MODIS были выделены фрагменты оцениваемой территории с помощью векторного полигонального слоя по границам республики (рис. 4).

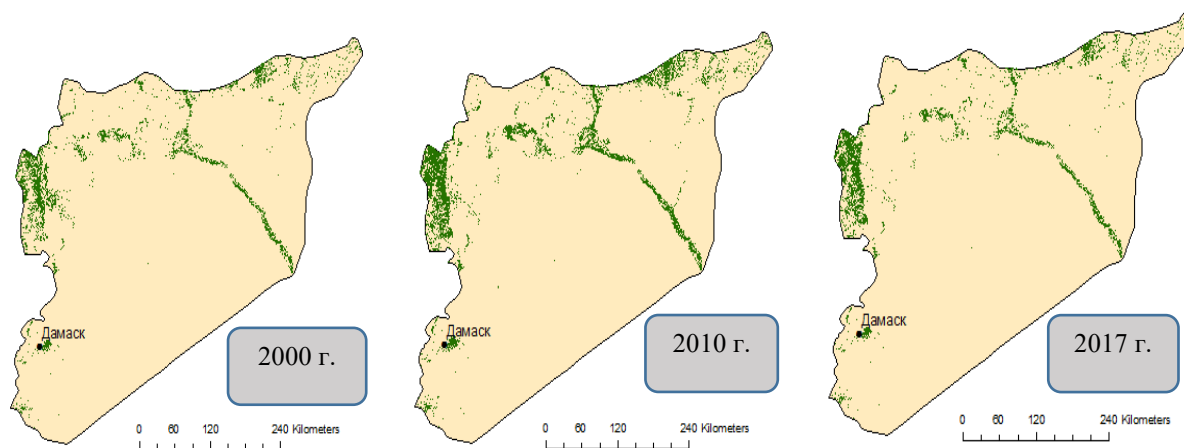


Рис. 4. Пространственно-временная динамика древесно-растительного покрова (зеленый) на территории Сирии

Вновь полученные тематические растровые слои 2000, 2010 и 2017 гг. «растительный покров» на территорию САР были трансформированы в векторный формат. Анализ тематических карт по данным MODIS в среде ArcGis для каждого оцениваемого периода позволил получить данные по динамике площадей растительного покрова (табл. 2).

Площадь тематического класса «растительный покров» на территории САР

Год	Площадь, тыс. га
2000	760,3
2010	784,7
2017	755

Результаты и их обсуждение. Пространственно-временной анализ динамики по площади растительного покрова на территории САР на основе спутниковых данных MODIS показал незначительные его изменения за семнадцатилетний период (рис. 4).

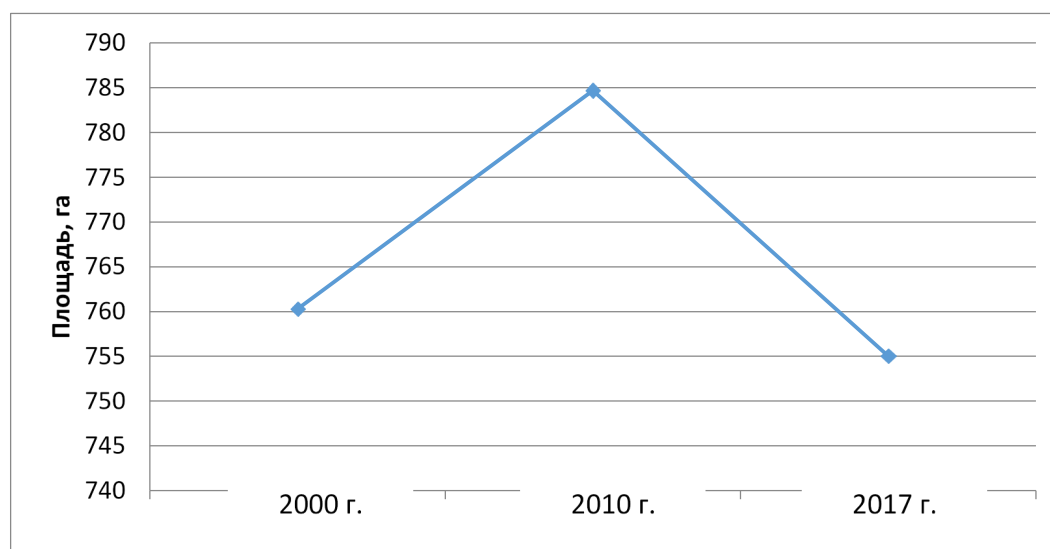


Рис. 4. Динамика площади растительного покрова САР

С 2000 по 2010 гг. в САР наблюдается увеличение общей площади растительного покрова на 24,4 тыс. га (на 3,2%). Такую динамику класса «растительный покров» можно объяснить увеличением осадков за исследуемый период, что подтверждается также ростом среднего значения NDVI между 2000 и 2010 гг., особенно в 2003 году (Iyad and Warda, 2016). Кроме того, в те годы в САР активно выполнялись мероприятия по восстановлению лесов (FAO, 2013). Между тем с 2010 по 2017 гг. наблюдается снижение площади растительного покрова в связи с ростом интервалов засушливых периодов, а также резким уменьшением площадей сельскохозяйственных угодий. Это объясняется падением на 50% сельхозпроизводства, нарушением и деградацией древостоев (вырубка и пожары), а также в связи негативными последствиями сирийского конфликта (Al-Mahmoud, 2015).

Полученные на основе данных MODIS карты растительного покрова Сирийской Арабской Республики за период с 2000 по 2017 гг. позволяют проводить региональный мониторинг динамики наземного покрова с высокой периодичностью. Разработанная методика является универсальной возможностью оценки состояния и динамики пространственно-временных изменений в растительном покрове на территории исследования.

Проведенное тематическое картирование позволило также выявить участки максимальной кластеризации фитомассы (NDVI) растительного покрова в САР. Максимальная концентрация площади древесно-кустарниковой растительности и травянистого покрова приходится на участки вдоль западной границы Сирии: на побережье Средиземного моря, в предгорье и горах Латакии и Тартус, вдоль побережья р. Евфрат и на участках плодородных земель административного района Хасака. По данным FAO, общая площадь древесно-кустарниковой

растительности в 2010 г. составила свыше 500000 га. Наше исследование по данным MODIS показало, что за период с 2010 по 2017 гг. средняя площадь растительного покрова составила свыше 750 тыс. га. Существенная разница (250 тыс. га) может быть объяснена тем, что данные спутникового наблюдения включают не только площади лесов и кустарниковой растительности, но и данные площадей, покрытых травянистым покровом, включая пастбища, сельскохозяйственные угодья и участки задержания.

Результаты оценки спутниковых данных при проведении мониторинга территории Сирийской Арабской Республики будут полезны при изучении влияния различных антропогенных и природных факторов на состояние растительного покрова и в особенности при оценке лесных экосистем. Применение данных дистанционного зондирования и геоинформационных технологий на примере оценки площади растительного покрова САР за семнадцатилетний период времени показало важность использования данной технологии для изучения состояния и динамики лесного покрова. Полученные результаты могут способствовать выработке национальной программы по сохранению и восстановлению лесных насаждений Сирии.

Работа выполнена по проекту № 574894-EPP-1-2016-1-RU-EPPJMO-CoE программы Жана Монне Erasmus+ Европейского Союза.

Библиографический список

1. Атлас Мира. Азия: географический атлас [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://world-karta.ru/syria-map.html>. – 10.09.2017.
2. Барталев, С.А. Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS / С.А. Барталев, В.А. Егоров, Д.В. Ершов, А.С. Исаев, Е.А. Лупян, Д.Е. Плотников, И.А. Уваров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2011. – № 4(8). – С. 285-302.
3. Барталев, С.А. Спутниковое картографирование растительного покрова России / С.А. Барталев, В.А. Егоров, В.О. Жарко, Е.А. Лупян, Д.Е. Плотников, С.А. Хвостиков, Н.В. Шабанов: М.: ИКИ РАН, 2016. – 208 с.
4. Воробьев, О.Н. Дистанционный мониторинг городских лесов / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, А.В. Губаев, Ю.А. Полевщикова, Е.Н. Демишева, О.В. Коптелов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 1(25). – С. 5-21.
5. Воробьев, О.Н. Дистанционный мониторинг лесных гарей в Марийском Заволжье / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. – № 1. – 2012. – С. 12-22.
6. Воробьев, О.Н. Мониторинг состояния растительного покрова на территории Республики Марий Эл с использованием ENVISAT MERIS / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов // Вестник МГУЛ. – М.: Московский государственный университет леса. – 2013. – № 7(99). – С. 42-45.
7. Курбанов Э.А. Бюджет углерода сосновых экосистем Волго-Вятского района / Э.А. Курбанов // Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. – 300 с.
8. Курбанов, Э.А. Два десятилетия исследований растительного покрова по MODIS // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг: сборник научных статей / Э.А. Курбанов. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016. – С. 123-132.
9. Курбанов, Э.А. Оценка зарастания земель запаса Республики Марий Эл лесной растительностью по спутниковым снимкам / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, С.А. Незамаев, Т.А. Александрова // Вестник МарГТУ. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2010. – № 2(9). – С. 14-20.
10. Курбанов, Э.А. Оценка точности и сопоставимости тематических карт лесного покрова разного пространственного разрешения на примере Среднего Поволжья / Курбанов, Э.А. Воробьев, О.Н. Губаев, А.В. Лежнин, С.А. Полевщикова, Ю.А. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2016. – № 1(13). – С. 36-48.
11. Курбанов, Э.А. Тематическое картирование и стратификация лесов Марийского Заволжья по спутниковым снимкам Landsat / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, С.А. Незамаев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2013. – № 3. – С. 72-82.
12. Курбанов, Э.А. Тематическое картирование растительного покрова по спутниковым снимкам: валидация и оценка точности: моногр. / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, С.А. Лежнин, А.В. Губаев, Ю.А. Полевщикова. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015. – 131 с.
13. Курбанов, Э.А. Четыре десятилетия исследований лесов по снимкам Landsat / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова, Е.Н. Демишева // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 1(21). – С. 18-32.

14. Al-Mahmoud, H. The War Economy in the Syrian Conflict [Electronic resource] / Al-M. Hamoud. – URL: <http://carnegie.ru/2015/12/15/war-economy-in-syrian-conflict-government-s-hands-off-tactics-pub-62202>. – 11.09. 2017.
15. Al-Fares, W. A case study of the Euphrates river basin in Syria / W. Al-Fares / *Historical Land Use/Land Cover Classification Using Remote Sensing*. – 2013. – P.1-204.
16. Calvao, T. Mapping Mediterranean scrub with satellite imagery: biomass estimation and spectral behavior / T. Calvao, J.M. Palmeirim // *International journal of remote sensing*. – 2004. – Vol. 25. – P. 3113-3126.
17. Forests of Syria. United Nation Development Programme (UNDP) / Report. 2009. INC-SY_V&A_Forest-Ar. – 2009. – GCEA. – 41 p.
18. Etteieb, S. Mediterranean forest mapping using hyper-spectral satellite imagery / S. Etteieb, M. Louhaichi, C. Kalaitzidis, I.Z. Gitas // *Arabian journal of geosciences*. – 2013. – Vol. 6. – Issue 12. – P. 5017–5032.
19. FAO. State of Mediterranean Forests 2013 / FAO, 2013. – P. 1-173.
20. FAO. FAO/WFP crop and food security assessment mission to the Syrian Arab Republic / FAO, 2016. – P. 1-91.
21. Ghobadi, G.J. Forest Fire Risk Zone Mapping From Geographic Information in Northern Forests of Iran (Case study, Golestan province) / G.J. Ghobadi, B. Gholizadeh, O.M. Dashliburun // *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. – 2012. – 4 (18). – P. 818-824.
22. Gond, G. Vegetation structure and greenness in Central Africa from Modis multi-temporal data / V. Gond, A. Fayolle, A. Pennec, G. Cornu, P. Mayaux, P. Camberlin et al. // *Philosophical transactions of the royal society* (open access). – 2013. – 8 p.
23. Hill, J. Land degradation and soil erosion mapping in a Mediterranean ecosystem / J. Hill, W. Mehl, M. Altherr // *Imaging spectrometry – a tool for environmental observations. Eurocourses: Remote Sensing*. – 1994. – Vol 4.
24. Huttich, C. On the suitability of MODIS time series metrics to map vegetation types in dry savanna ecosystems: a case study in the Kalahari of NE Namibia / C. Huttich, U. Gessner, M. Herold, B. Strohbach, M. Schmidt, M. Keil, S. Dech // *Remote Sensing*. – 2009. – Vol. 1. – P. 620-643.
25. Iyad, Al-K. NDVI Monitoring changes in vegetation cover in the areas of agricultural stability of Syria using plant culture 2012-2000 for the time series MODIS/ Al-K. Iyad, K. Warda // *Syrian Journal of Agricultural Research*. – 2016. – Vol 3. – P. 188-205.
26. Kamel, D. Vegetation Index User's Guide / D. Kamel, B.M. Armando, S. Ramon, H. Alfredo // (MOD13 Series). 2015. – Version 3. – Collection 6. – P. 1-32.
27. Koutsias, N. Classification analyses of vegetation for delineating forest fire fuel complexes in a Mediterranean test site using satellite remote sensing and GIS / N. Koutsias, M. Kareris // *International Journal of Remote Sensing*. – 2003. – Vol. 24. – № 15. – P. 3093-3104.
28. Loboda, T. Land Management and the Impact of the 2010 Extreme Drought Event on the Agricultural and Ecological Systems of European Russia/ T. Loboda, O. Krankina, I. Savin, E. Kurbanov, H. Joanne // *Land-Cover and Land-Use Changes in Eastern Europe after the Collapse of the Soviet Union in 1991*. Eds. G. Gutman, R. Volker. – Springer International Publishing. – 2017. – Pp. 173-192.
29. Martini, G. (2007). Vegetation: The Mediterranean Forests of Coastal Mountains. / G. Martini // Faculty of Agriculture, Aleppo University. Accessed March 2015.
30. Mertes, C.M. Detecting change in urban areas at continental scales with MODIS data / C.M. Mertes, A. Schneider, D. Sulla-Menashe, A.J. Tatem, B. Tan // *Remote Sensing of Environment*. – 2015. – Vol. 158. – P. 331-347.
31. Moleele, N. Assessment of vegetation indexes useful for browse (forage) prediction in semi-arid rangelands / N. Moleele, S. Ringrose, W. Arnberg, B. Lunden, and C. Vanderpost // *International Journal of Remote Sensing*. – 2001. – Vol. 22. – P. 741–756.
32. Shwan, O.H. Spatiotemporal assessment of vegetation indices and land cover for Erbil city and its surrounding using Modis imageries/ O.H. Shwan, K. Ferenc, T. Zalán // *Journal of Environmental Geography*. – 2017. – Vol. 10 (1-2). – P. 31-39.
33. Vieira, I.G.C. Classifying successional forests using Landsat spectral properties and ecological characteristics in eastern Amazonia / I.G.C. Vieira, A.S. De Almeida, E.A. Davidson, A. Stone, C.J.R. De Carvalho, J.B. Guerrero // *Remote Sensing of Environment*. – 2003. – Vol. 87. – P. 470-481.
34. Yudi, S. Change detection in land-use and land-cover dynamics at a regional scale from MODIS time-series imagery/ S. Yudi, Y. Kunihiro // *ISPRS. Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. – 2012. – Vol. I(7). – P. 243-248.

References

1. Atlas Mira. Aziya: geograficheskij atlas [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://world-karta.ru/syria-map.html>. – 10.09.2017.
2. Bartalev, S.A. Sputnikovoe kartografirovaniye rastitel'nogo pokrova Rossii po dannym spektrometrii MODIS / S.A. Bartalev, V.A. Egorov, D.V. Ershov, A.S. Isaev, E.A. Lupyan, D.E. Plotnikov, I.A. Uvarov // *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. – 2011. – № 4(8). – S. 285-302.
3. Bartalev, S.A. Sputnikovoe kartografirovaniye rastitel'nogo pokrova Rossii / S.A. Bartalev, V.A. Egorov, V.O. Zhar'ko, E.A. Lupyan, D.E. Plotnikov, S.A. Hvoshtikov, N.V. Shabanov: M.: IKI RAN, 2016. – 208 s.
4. Vorobiev, O.N. Distantsionnyy monitoring gorodskih lesov / O.N. Vorobiev, E.A. Kurbanov, A.V. Gubaev, Yu.A. Polevshchikova, E.N. Demisheva, O.V. Koptelov // *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta*. Ser: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie. – 2015. – № 1(25). – S. 5-21.
5. Vorobiev, O.N. Distantsionnyy monitoring lesnykh garej v Marijskom Zavolzh'e / O.N. Vorobiev, E.A. Kurbanov, A.V. Gubaev, S.A. Lezhnin, Yu.A. Polevshchikova // *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta*. – № 1. – 2012. – S. 12-22.

6. Vorobiev, O.N. Monitoring sostoyaniya rastitel'nogo pokrova na territorii Respubliki Marij El s ispol'zovaniem ENVISAT MERIS / O.N. Vorobiev, E.A. Kurbanov // Vestnik MGUL. – M.: Moskovskij gosudarstvennyj universitet lesa. – 2013. – № 7(99). – S. 42-45.
7. Kurbanov E.A. Byudzhety ugleroda sosnovykh ekosistem Volgo-Vyatskogo rajona / E.A. Kurbanov // Joshkar-Ola: MarGTU, 2002. – 300 s.
8. Kurbanov, E.A. Dva desyatiletija issledovanij rastitel'nogo pokrova po MODIS // Lesnye ekosistemy v usloviyah izmeneniya klimata: biologicheskaya produktivnost' i distancionnyj monitoring: sbornik nauchnykh statej / E.A. Kurbanov. – Joshkar-Ola: PGU, 2016. – S. 123-132.
9. Kurbanov, E.A. Ocenka zarastaniya zemel' zapasa Respubliki Marij El lesnoj rastitel'nost'yu po sputnikovym snimkam / E.A. Kurbanov, O.N. Vorobiyov, A.V. Gubaev, S.A. Lezhnin, S.A. Nezamaev, T.A. Aleksandrova // Vestnik MarGTU. – Joshkar-Ola: Marijskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie. – 2010. – № 2(9). – S. 14-20.
10. Kurbanov, E.A. Ocenka tochnosti i sopostavimosti tematiceskikh kart lesnogo pokrova raznogo prostranstvennogo razresheniya na primere Srednego Povolzh'ya / Kurbanov, E.A. Vorobiev, O.N. Gubaev, A.V. Lezhnin, S.A. Polevshchikova, Yu.A. // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. – 2016. – № 1 (13). – S. 36-48.
11. Kurbanov, E.A. Tematicheskoe kartirovanie i stratifikaciya lesov Marijskogo Zavolzh'ya po sputnikovym snimkam Landsat / E.A. Kurbanov, O.N. Vorobiev, S.A. Nezamaev, A.V. Gubaev, S.A. Lezhnin, YU.A. Polevshchikova // Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie. – 2013. – № 3. – S. 72-82.
12. Kurbanov, E.A. Tematicheskoe kartirovanie rastitel'nogo pokrova po sputnikovym snimkam: validaciya i ocenka tochnosti: monogr. / E.A. Kurbanov, O.N. Vorobiev, S.A. Lezhnin, A.V. Gubaev, YU.A. Polevshchikova. – Joshkar-Ola: PGU, 2015. – 131 s.
13. Kurbanov, E.A. CHetyre desyatiletija issledovanij lesov po snimkam Landsat / E.A. Kurbanov, O.N. Vorobiev, A.V. Gubaev, S.A. Lezhnin, YU.A. Polevshchikova, E.N. Demisheva // Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie. – 2014. – № 1(21). – S. 18-32.
14. Al-Mahmoud, H. The War Economy in the Syrian Conflict [Electronic resource] / Al-M. Hamoud. – URL: <http://carnegie.ru/2015/12/15/war-economy-in-syrian-conflict-government-s-hands-off-tactics-pub-62202>. – 11.09. 2017.
15. Al-Fares, W. A case study of the Euphrates river basin in Syria / W. Al-Fares / Historical Land Use/Land Cover Classification Using Remote Sensing. – 2013. – P.1-204.
16. Calvao, T. Mapping Mediterranean scrub with satellite imagery: biomass estimation and spectral behavior / T. Calvao, J.M. Palmeirim // International journal of remote sensing. – 2004. – Vol. 25. – P. 3113-3126.
17. Forests of Syria. United Nation Development Programme (UNDP) / Report. 2009. INC-SY_V&A_Forest-Ar. – 2009. – GCEA. – 41 p.
18. Etteieb, S. Mediterranean forest mapping using hyper-spectral satellite imagery / S. Etteieb, M. Louhaichi, C. Kalaitzidis, I.Z. Gitas // Arabian journal of geosciences. – 2013. – Vol. 6. – Issue 12. – P. 5017-5032.
19. FAO. State of Mediterranean Forests 2013 / FAO, 2013. – P. 1-173.
20. FAO. FAO/WFP crop and food security assessment mission to the Syrian Arab Republic / FAO, 2016. – P. 1-91.
21. Ghobadi, G.J. Forest Fire Risk Zone Mapping From Geographic Information in Northern Forests of Iran (Case study, Golestan province) / G.J. Ghobadi, B. Gholizadeh, O.M. Dashliburun // International Journal of Agriculture and Crop Sciences. – 2012. – 4 (18). – P. 818-824.
22. Gond, G. Vegetation structure and greenness in Central Africa from Modis multi-temporal data / V. Gond, A. Fayolle, A. Pennec, G. Cornu, P. Mayaux, P. Camberlin et al. // Philosophical transactions of the royal society (open access). – 2013. – 8 p.
23. Hill, J. Land degradation and soil erosion mapping in a Mediterranean ecosystem / J. Hill, W. Mehl, M. Altherr // Imaging spectrometry – a tool for environmental observations. Eurocourses: Remote Sensing. – 1994. – Vol 4.
24. Huttich, C. On the suitability of MODIS time series metrics to map vegetation types in dry savanna ecosystems: a case study in the Kalahari of NE Namibia / C. Huttich, U. Gessner, M. Herold, B. Strohbach, M. Schmidt, M. Keil, S. Dech // Remote Sensing. – 2009. – Vol. 1. – P. 620-643.
25. Iyad, Al-K. NDVI Monitoring changes in vegetation cover in the areas of agricultural stability of Syria using plant culture 2012-2000 for the time series MODIS/ Al-K. Iyad, K. Warda // Syrian Journal of Agricultural Research. – 2016. – Vol 3. – P. 188-205.
26. Kamel, D. Vegetation Index User's Guide / D. Kamel, B.M. Armando, S. Ramon, H. Alfredo // (MOD13 Series). 2015. – Version 3. – Collection 6. – P. 1-32.
27. Koutsias, N. Classification analyses of vegetation for delineating forest fire fuel complexes in a Mediterranean test site using satellite remote sensing and GIS / N. Koutsias, M. Karteris // International Journal of Remote Sensing. – 2003. – Vol. 24. – № 15. – P. 3093-3104.
28. Loboda, T. Land Management and the Impact of the 2010 Extreme Drought Event on the Agricultural and Ecological Systems of European Russia/ T. Loboda. O. Krankina, I. Savin, E. Kurbanov, H. Joanne // Land-Cover and Land-Use Changes in Eastern Europe after the Collapse of the Soviet Union in 1991. Eds. G. Gutman, R. Volker. – Springer International Publishing. – 2017. – Pp. 173-192.
29. Martini, G. (2007). Vegetation: The Mediterranean Forests of Coastal Mountains. / G. Martini // Faculty of Agriculture, Aleppo University. Accessed March 2015.
30. Mertes, C.M. Detecting change in urban areas at continental scales with MODIS data / C.M. Mertes, A. Schneider, D. Sulla-Menasse, A.J. Tatem, B. Tan // Remote Sensing of Environment. – 2015. – Vol. 158. – P. 331-347.
31. Moleele, N. Assessment of vegetation indexes useful for browse (forage) prediction in semi-arid rangelands / N. Moleele, S. Ringrose, W. Arnberg, B. Lunden, and C. Vanderpost // International Journal of Remote Sensing. – 2001. – Vol. 22. – P. 741-756.

32. Shwan, O.H. Spatiotemporal assessment of vegetation indices and land cover for Erbil city and its surrounding using Modis imageries/ O.H. Shwan, K. Ferenc, T. Zalán // Journal of Environmental Geography. – 2017. – Vol. 10 (1-2). – P. 31-39.
33. Vieira, I.G.C. Classifying successional forests using Landsat spectral properties and ecological characteristics in eastern Amazonia / I.G.C. Vieira, A.S. De Almeida, E.A. Davidson, A. Stone, C.J.R. De Carvalho, J.B. Guerrero // Remote Sensing of Environment. – 2003. – Vol. 87. – P. 470-481.
34. Yudi, S. Change detection in land-use and land-cover dynamics at a regional scale from MODIS time-series imagery/ S. Yudi, Y. Kunihiro // ISPRS. Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2012. – Vol. I(7). – P. 243-248.

УДК 630*5:630*17:582.795

СОСТОЯНИЕ НАСАЖДЕНИЙ ЛИПЫ МЕЛКОЛИСТНОЙ В ЗЕЛЕННОЙ ЗОНЕ Г. УФЫ

А.К. Габделхаков¹, Г.В. Сабирова¹, И.И. Фазлутдинов²

¹Башкирский государственный аграрный университет

²Уфимский межрайонный территориальный отдел федерального государственного
лесного и пожарного надзора

В статье по данным учета государственного лесного фонда за период с 1939 по 2014 г. проанализирована динамика изменения основных таксационных показателей насаждений липы мелколистной бывшего Учебно-опытного лесхоза БГАУ. Липняки рассматриваемой территории являются порослевыми с участием в составе насаждений от 4 до 10 единиц. Наиболее распространенный тип условий местопроизрастания этих липняков – свежая сложная суборь. Самый распространенный тип леса этих древостоев – снытьевый. Преобладают древостои III-х классов бонитета. Отмечается, что с принятием Лесного кодекса 2006 г., ограничивающего рубку в защитных лесах, произошло снижение доли молодняков при значительном увеличении спелых и перестойных древостоев. Материалы дополнены данными наблюдений 25-летнего периода за древостоем липы мелколистной 9 класса возраста на постоянной пробной площади. Показано увеличение средних диаметра (до 37 см) и высоты (до 22,9 м), суммы площадей сечения (до 29,48 м²/га), запаса (313 м³/га). Средний прирост составил 4,9 м³/га в год. Отмечается значительный отпад (в среднем 2,6 м³/га в год) за счет подверженности старых деревьев липы стволовой гнили и в результате неблагоприятных погодных условий. На основании результата исследований рекомендовано уделять больше внимания повышению производительности и улучшению возрастной структуры насаждений липы путем своевременного проведения рубок ухода и обновления в них, создания условий семенного размножения и возобновления.

Ключевые слова: древостои, липа мелколистная, постоянная пробная площадь, таксационные показатели, рубки ухода, защитные леса, порослевые насаждения.

CONDITION OF MATURE *TILIA CORDATA* MILL. STANDS IN THE GREEN BELT OF UFA

A.K. Gabdelkhakov¹, G.V. Sabirova¹, I.I. Fazludinov²

¹Bashkir State Agrarian University

²Ufa Interdistrict Territorial Department of the Federal State Forestry and Fire Supervision

*Based on the State Forest Fund data taken for the period from 1939 to 2014, the paper analyzes the change dynamics in core inventory indicators of *tilia cordata* grown on the area of former forestry enterprise of Bashkir State Agrarian University. The area under study represents a coppice *tilia cordata* stand with 4-10 planted trees. The most typical site condition for this stand is fresh mixed subor. The most typical forest type is goutweed stand. Forest stands of the III site class prevail. The authors emphasize that the adoption of the Forest Code in 2006 restricted felling in protection forest, which resulted in a significant increase of mature and overmature stands and a de-*

crease of young stands. The research is supplemented with the 25-year period data observation over a *tilia cordata* stand of a 9th age class growing on a permanent sampling plot. The research revealed an increase in the average diameter (up to 37 cm), height (up to 22.9 m), basal area (up to 29.48 m²/ha) and stock (313 m³/ha). The average increment reached 4.9 m³/ha per year. There was a considerable mortality of the stand (on average 2.6 m³/ha per year) caused by stem rot of aged trees and adverse weather conditions. Based on research findings the authors recommend to pay more attention to enhancement of the yield and improvement of the age structure of *tilia cordata* plantations by means of appropriate and timely thinning operations, regeneration cuttings, and also by creating favourable conditions for seed propagation and forest regeneration.

Key words: stands, *tilia cordata* stands, permanent sampling plot, taxation indicators, clearing, protective forests, coppice plantations

Липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.) является одной из самых распространенных пород Предуралья, уступая лишь осине и березе. В Республике Башкортостан по данным учета лесного фонда на 01.01.2016 г. липняки занимают 1127,3 тыс. га, что на 77,1 тыс. га больше, чем по данным 2007 года (Габделхаков и др., 2010). Липа мелколистная – листопадное дерево, в лучших условиях местопроизрастания, как правило, дерево первой величины со стройным стволом (20-30 м высотой и до 100 см в диаметре), доживает до возраста 300 и более лет (Мурахтанов, 1972; Рысин, 1983; Гроздова и др., 1986; Sokolov, Kurbanov, 1999).

По данным Гордиенко (1979), у липы мелколистной стержневой корень отсутствует, но на рыхлых и плодородных почвах она развивает глубокую корневую систему. В худших условиях роста ее корни располагаются преимущественно в верхних горизонтах почвы, распространяясь в радиусе 3-4 м (Колыбина, 1970). Это свидетельствует о пластичности корней липы и о том, что их строение зависит от условий местопроизрастания, происхождения и возраста дерева.

По морфолого-анатомическим и физиологическим показателям липа мелколистная относится к типичной теневыносливой породе (Цельникер, 1978). К почве, по свидетельству большинства авторов (Белостоков, 1980; Мурахтанов, 1972), она требовательна: лучше всего растет на относительно богатых серых и темно-серых лесных свежих суглинистых и супесчаных почвах.

Естественное возобновление и размножение липы в условиях леса идет главным образом за счет ее обильной порослевой способности (Баталов, 1985), которая зависит от типа леса, возраста, класса бонитета, среднего диаметра насаждения (Рябчинский, 1964; Баталов, 1985). По данным М. К. Литвякова (1957), на вырубках липняковых типов леса к 4-5 годам образуется более 300 тыс.шт/га стволиков, которые к возрасту 12 лет, изреживаясь на 80%, приобретают собственные корни, ничем не отличающиеся от семенных. Семенное же размножение на площадях, занятых липой, несмотря на обильное плодоношение (Сидиков 1971; Мушинская, 1977), несравненно уступает порослевому (Соколов, 1975), а порослевая способность, хоть и падает с возрастом, но остается достаточно интенсивной до 100-110 лет.

Экологическая пластичность липы обуславливает разнообразие типов липняков, изучением которых занимались многие исследователи: в Саратовской области – А.С. Барabanщиков (1970), в Марийской АССР – А.Р. Чистяков и А.К. Денисов (1959), в широколиственных лесах средней части Русской равнины – С.Ф.Курнаев (1980), в Башкирском Предуралье – А.Е. Рябчинский (1964), С.Н. Козьяков (1964), П.Л. Горчаковский (1972). Систематизируя распространение типов леса по лесорастительным зонам, П.А. Соколов (1978) объединяет их в шесть групп.

Добротность условий местопроизрастания липняков в восточных районах европейской части Российской Федерации варьирует от первого до пятого классов бонитета (Мурахтанов, 1972) в зависимости как от почв, так и климата: в хвойно-широколиственных лесах средний класс бонитета составляет II,8, в широколиственных – II,7, в лесостепной – III,3 и в горных

лесах – III,8 (Соколов, 1978). Причем с увеличением возраста древостоев происходит снижение классов бонитета: на темно-серых лесных почвах – со второго в 10 лет до третьего в 130 лет и на серых лесных – с третьего в 10 лет до четвертого в 130 лет (Соколов, 1974). Запасы древесины, накапливаемые липняками, возрастают от светло-серых лесных до оподзоленных черноземов и темно-серых лесных почв (Богомолов, 1954; Винокуров и др., 1962; Рябчинский, 1964; Хайретдинов и др., 1981).

Липа как порода теневыносливая принадлежит к относительно медленно растущим и уступает в скорости роста осине и березе, а иногда – ильмовым, клену и дубу. Используя возрастные изменения средних высот, можно проследить динамику конкурентных отношений этих пород (Фалалеев, 1980). Так, в насаждениях с преобладанием дуба липа сохраняет активный рост до старших возрастов, уступая по темпам роста лишь осине и березе, и только со 110 лет дуб начинает обгонять ее в росте. Подобные темпы роста в высоту у липы сохраняются и в липняках, а в насаждениях с преобладанием осины линии роста березы, осины и липы идут почти параллельно, с небольшим отставанием у липы. В березняках липа в стадии молодняка растет быстрее, чем в липняках, но с 40-50 лет резко снижает темпы роста. Тем не менее, к 50-60 годам на темно-серых лесных суглинках Татарии она достигает 18-19 м в высоту и имеет запас свыше 300 м³/га, что превосходит запас осины, березы и дуба в таком возрасте (Мурахтанов, 1972). На черноземах и темно-серых лесных почвах Предуралья липняки в возрасте 70-75 лет имеют запас стволовой древесины 430-450 м³, уступая лишь некоторым видам тополей (Хайретдинов, 1990). Аналогичных запасов достигают липняки в Московской области на подзолистых почвах (Леса восточного..., 1979).

Биологические особенности липы, выражающиеся в ее теневыносливости, способности размножаться отводками и сохранять интенсивную порослевую способность до глубокой старости, способствуют ее распространению. Однако сама природа леса, его биологические закономерности роста таковы, что со временем древостои липы, достигая значительного возраста, снижают свои полезные функции. Ситуация с распространением и динамикой таксационных показателей, в частности, накопление спелых и перестойных древостоев липы в зеленой зоне обращает на себя определенное внимание. Для сохранения высокой степени средообразующей и стабилизирующей роли, повышения продуктивности совершенно очевидна необходимость изучения динамики развития насаждений зеленых зон городов для принятия соответствующих решений по осуществлению комплекса лесохозяйственных мероприятий (Курбанов, Воробьев, 2014; Воробьев и др., 2015). Актуальность данной тематики также неоднократно обсуждалась на конференциях «Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг» (Loboda et al., 2012; Курбанов, 2016).

Цель настоящей работы – проанализировать динамику таксационных показателей насаждений липы мелколистной зеленой зоны города Уфы.

Методика и объект исследования. Исследования проведены на примере бывшего Учебно-опытного лесхоза БГАУ, в настоящее время представленного Дмитриевским, Красноярским и Нурлинским участковыми лесничествами Уфимского лесничества площадью 11577 га, в том числе 10132 га покрытые лесом, составляющими часть зеленой зоны города Уфы. Для анализа динамики изменения основных таксационных показателей насаждений липы мелколистной использованы данные учета государственного лесного фонда за период с 1939 по 2014 гг.

Для детального изучения динамики таксационных показателей липняков зеленой зоны города Уфы, их структуры и состояния сотрудниками кафедры лесоводства Башкирского

СХИ в 80-х годах были заложены постоянные пробные площади (ППП). В этой статье в качестве примера рассматриваются данные исследования на одной из этих ППП, заложенной в Дмитриевском участковом лесничестве Уфимского лесничества в квартале 6 выделе 7 площадью 2,4 га. На ППП изучение таксационных показателей, структуры древостоя произведены с использованием материалов таксации 1991, 2007 и 2015 гг.

Строение древостоя рассматривалось по данным распределения деревьев по ступеням толщины. При этом применялась общепринятая в лесной таксации методика (Курбанов, 2002; Верхунов, 2007). Полевые материалы обработаны стандартными методами вариационной статистики (Лакин, 1990) с применением компьютерной программы Microsoft Excel и STATISTICA.

Интерпретация результатов исследований и их анализ. Древостои липы мелколистной рассматриваемой территории являются вторичными, порослевыми с участием в составе насаждений от 4 до 10 единиц. Чистые липовые насаждения составом 10ЛП с единичной примесью других пород встречаются редко (учтено 770 га или 22%). В большинстве случаев к липе примешиваются ильм (*Ulmus scabra* Mill.), дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), клен остролистный (*Acer platanoides* L.), вяз гладкий (*Ulmus laevis* Pall.), береза повислая (*Betula pendula* Roth.) и осина (*Populus tremula* L.). Примесь других пород бывает тем больше, чем лучше лесорастительные условия (Мурахтанов, 1972).

Отличаясь разнообразием состава, липняки имеют часто простое одноярусное строение. Однако встречаются и сложные, многоярусные древостои, возникшие благодаря биолого-экологическим и лесоводственным свойствам составляющих их пород, хозяйственной деятельности человека (Мурахтанов, 1972; Габделхаков и др., 2004).

Средняя высота спелых липняков изучаемой территории не превышает 26 м. Подрост в липняках представлен кленом остролистным, липой мелколистной, вязом гладким, ильмом. Подлесок, как правило, густой и средней густоты представлен лещиной обыкновенной (*Corylus avellana* L.), черемухой обыкновенной (*Padus avium* Mill.) и реже – бересклетом бородавчатым (*Euonymus verrucosa* Scop.), рябиной обыкновенной (*Sorbus aucuparia* L.) (Мурахтанов, 1972).

Наиболее распространенным типом условий местопроизрастания липняков изучаемой территории является С₂ (свежая сложная суборь). Самый распространенный тип леса этих древостоев – снытьевый (96% от общей площади липняков), встречаются снытьевостояничниковые, ежевиковые, широколиственные и крапиво-таволговые липняки.

В травяном покрове липняков наиболее обильны (обилие от sp. до сор₁₋₃), преобладают по массе и чаще всего встречаются растения неморального флористического комплекса: сныть обыкновенная (*Aegopodium podagraria* L.), образующая мощные, в основном вегетативные побеги высотой до 40 см; подмаренник душистый (*Galium odoratum* L.); крапива двудомная (*Urtica dioica* L.). В небольшом количестве участвует щитовник мужской (*Dryopteris filix-mas* L.), копытень европейский (*Asarum europaeum* L.). Единично, но довольно постоянно в составе травяного покрова встречаются вороний глаз (*Paris quadrifolia* L.), будра плющевидная (*Glechoma hederacea* L.), купена многоцветковая (*Polygonatum multiflorum* L.). Весною в большом количестве встречаются ветреница лютиковидная (*Anemonoides ranunculoides* L.), чистяк весенний (*Ficaria verna* Huds.).

Липа является требовательной породой к богатству и влажности почв, чем объясняется преобладание насаждений III (72% площади) и II (19%) классов бонитета (табл. 1). Доля липняков III класса бонитета с 1962 по 2014 г. возросла на 35% за счет снижения доли насаждений I-II классов.

Таблица 1

Распределение липняков по классам бонитета, га

Год учета	I	II	III	IV	Всего	Средний
1962	34	1868	1121	2	3025	II,4
1972	20	1314	1776	5	3115	II,5
1983	11	1437	2113	8	3569	II,6
1995	-	502	3397	8	3907	II,9
2014	28	822	3168	367	4385	II,9

Распределение покрытой липой лесной площади по запасам и классам возраста (табл. 2) свидетельствуют, что с 1962 по 2014 г. произошло увеличение доли насаждений старших возрастов. Относительно низкая доля площадей под молодняками в 70-80 годах объясняется тем, что, во-первых, снижением объемов лесовосстановительных рубок липняков за счет отнесения их к нектарной секции, во-вторых, вырубки культивировались хвойными породами. После пересмотра возраста лесовосстановительной рубки липы с 1983 по 1995 г. доля молодняков возросла вдвое как за счет рубки перестойной липы, так и за счет смены пород: на рубках липа постепенно вытесняет дуб, березу и осину. Однако, с принятием Лесного кодекса в 2006 г., ограничивающего рубку в защитных лесах, снова произошло снижение доли молодняков при значительном увеличении спелых и перестойных древостоев.

Таблица 2

Распределение липняков по классам возраста и запасам, га / тыс. м³

Год учета	Классы возраста								Всего	Средние возраст, лет запас, м ³ /га
	I - II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX и >		
1962	<u>616</u> 35,1	<u>393</u> 35,7	<u>395</u> 55,0	<u>966</u> 176,7	<u>304</u> 66,3	<u>332</u> 86,7	<u>17</u> 3,8	<u>1</u> 0,2	<u>3025</u> 459,5	<u>38</u> 91
1972	<u>160</u> 8,5	<u>377</u> 44,7	<u>373</u> 58,0	<u>376</u> 66,4	<u>919</u> 187,1	<u>473</u> 93,2	<u>268</u> 59,7	<u>169</u> 36,1	<u>3115</u> 553,7	<u>56</u> 177
1983	<u>160</u> 5,0	<u>176</u> 18,1	<u>300</u> 49,3	<u>442</u> 83,2	<u>608</u> 125,3	<u>800</u> 172,7	<u>654</u> 147,5	<u>429</u> 107,3	<u>3569</u> 708,4	<u>61</u> 198
1995	<u>346</u> 12,4	<u>186</u> 19,2	<u>256</u> 38,4	<u>183</u> 34,1	<u>569</u> 115,9	<u>486</u> 104,4	<u>1069</u> 229,0	<u>812</u> 203,8	<u>3907</u> 757,2	<u>65</u> 194
2014	<u>172</u> 7,9	<u>140</u> 16,9	<u>123</u> 20,0	<u>255</u> 41,5	<u>185</u> 35,1	<u>337</u> 77,0	<u>1003</u> 246,2	<u>2170</u> 589,6	<u>4385</u> 1034,1	<u>82</u> 236

В таблице 3 приведено распределение липняков по классам относительной полноты. Наиболее распространены древостои с полнотой 0,6, низкополнотные древостои (0,3-0,5) занимают 21%, а высокополнотные (с относительной полнотой 0,9-1,0) занимают менее 3%. Данные таблицы 3 показывают, что за 50-летний период произошло увеличение доли низкополнотных древостоев за счет снижения среднеполнотных.

Таблица 3

Распределение липняков по полнотам, га

Год учета	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	Всего	Средний
1962	15	46	253	681	1236	754	40	-	3025	0,68
1972	41	187	644	1389	667	161	25	1	3115	0,60
1983	58	328	842	1339	816	150	27	9	3569	0,59
1995	127	290	1264	1326	550	319	12	19	3907	0,57
2014	76	199	642	1834	937	582	109	7	4385	0,63

Таким образом, при рассмотрении основных таксационных показателей липняков изучаемой территории в динамике (табл. 4) видно, что за период с 1939 года площади насаждений с преобладанием липы увеличились более чем на 1700 га, или почти на 18%. Прослеживается тенденция снижения среднего класса бонитета, полноты и среднего прироста. Значительно увеличился средний возраст насаждений, наблюдается неравномерность распределения липняков по группам возраста.

Динамика изменения основных таксационных показателей липняков

Таблица 4

Год учета	Покрытая лесом площадь, га	Площадь липняков		Средние				
		га	%	возраст, лет	запас, м ³ /га	класс бонитета	полнота	прирост м ³ /га в год
1939	10389	2651	25,5	35	127	II,9	0,8	3,6
1951	10377	2869	27,6	36	118	II,7	0,7	3,3
1962	10383	3025	29,1	38	91	II,4	0,7	2,4
1972	10706	3115	29,1	56	177	II,5	0,6	3,2
1983	10393	3569	34,3	61	198	II,6	0,6	3,2
1995	10537	3907	37,1	64	194	II,9	0,6	3,0
2014	10132	4385	43,3	82	236	II,9	0,6	2,9

Краткая таксационная характеристика ППП в Дмитриевском участковом лесничестве представлена в таблице 5 (результаты таксации 1991, 2007 и 2015 гг.).

Динамика таксационных показателей спелого древостоя липы мелколистной

Таблица 5

Таксационный показатель	Элементы леса					Всего на ППП
	липа	береза	дуб	ильм	клен	
Таксация 1991 г.						
Количество стволов, экз./ га	315	33	1	1	3	352
Сумма площадей сечений, м ²	19,80	5,11	0,07	0,07	0,10	25,13
Состав по сумме площадей сечений, %	78,7	20,3	0,3	0,3	0,4	100,0
Средний диаметр, см	28,3	44,7	45,0	26,3	20,4	30,2
Запас, м ³ /га	196	59	1	1	1	258
Состав по запасу, %	76,0	22,9	0,4	0,3	0,4	100,0
Отпад, м ³ /га	5	1				6
Таксация 2007 г.						
Количество стволов, экз./ га	285	23	1	1	3	312
Сумма площадей сечений, м ²	23,91	4,08	0,07	0,07	0,13	28,25
Состав по сумме площадей сечений, %	84,6	14,4	0,3	0,2	0,5	100,0
Средний диаметр, см	32,7	47,6	46,0	31,8	25,7	34,0
Запас, м ³ /га	244	48	1	1	1	294
Состав по запасу, %	82,7	16,3	0,3	0,3	0,4	100,0
Отпад, м ³ /га	16	19				35
Таксация 2015 г.						
Количество стволов, экз./ га	255	19		1	2	277
Сумма площадей сечений, м ²	25,30	3,97		0,08	0,13	29,48
Состав по сумме площадей сечений, %	85,8	13,5		0,3	0,4	100,0
Средний диаметр, см	35,6	51,9		34,0	28,6	36,8
Запас, м ³ /га	263	48		1	1	313
Состав по запасу, %	84,0	15,3		0,3	0,4	100,0
Отпад, м ³ /га	18	8	1			27

В настоящее время древостой относится к IX классу возраста. По данным таблицы 5 видно, что количество деревьев на единице площади снижается с 352 шт./га в 1991 г. до 312 и 277 шт./га соответственно в 2007 и 2015 гг. Сумма площадей сечения возрастала с 25,13 и 28,25 до 29,48 м²/га соответственно в 1991, 2007 и 2015 гг. Произошло закономерное увеличение среднего диаметра с 30 до 37 см. Средняя высота липы возросла с 22,2 до 22,9 м, березы с 26 до 28 м, а клена – с 14 до 18 м. Запас в 1991 г. составлял 258 м³/га, в 2015 году – 313 м³/га. Среднее увеличение запаса составило 4,9 м³/га в год.

За 25 лет относительная полнота древостоя повысилась с 0,6 до 0,7 единиц. Из состава выпал дуб (изменился от 8Лп2Б+Д+В+Кл и составил 8Лп2Б+В+Кл). В образовавшихся нишах вываленных деревьев естественно возобновился ильм. Возобновление липы отсутствует.

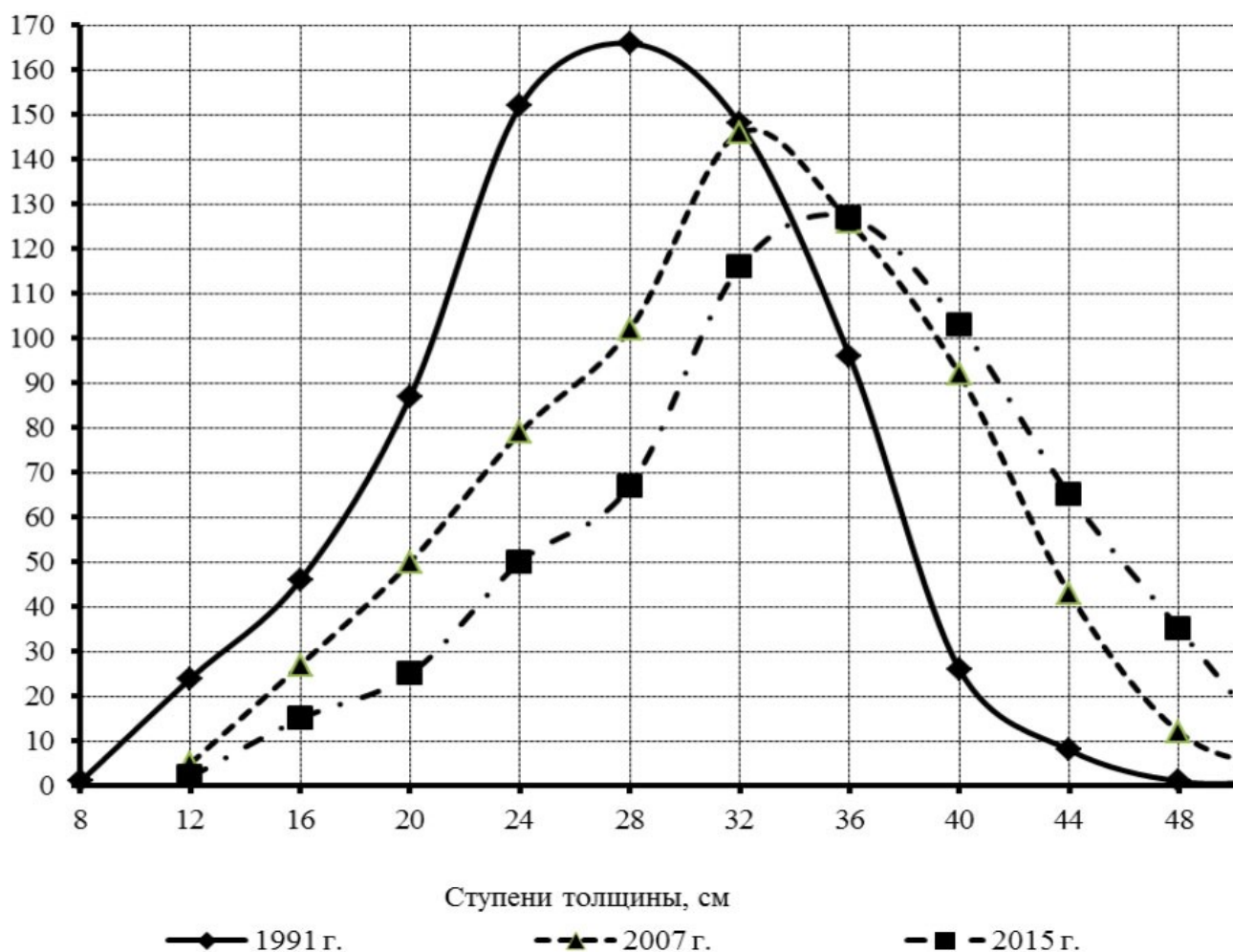
Отпад деревьев по времени не равномерен, т.к. связан не только с естественной дифференциацией деревьев, т.е. перехода отставших в росте экземпляров в разряд сухостоя и последующего отпада стволов (валежник), но, в первую очередь, подверженностью старых деревьев липы стволовой гнили, а во-вторых, неблагоприятными погодными условиями. В результате сильных порывов ветра происходил слом как вышеперечисленных стволов, так и здоровых деревьев, в том числе и березы, имеющих очень крупные кроны. При этом за 1991-2015 гг. количество берез сократилось в 1,7 раз. В целом на пробной площади величина отпада с 1991 по 2015 г. составила 68 м³/га (в среднем 2,6 м³/га в год).

Диаметр дерева, являясь основным таксационным показателем, по которому изучается структура древостоя, в среднем варьирует на пробной площади от 8 до 64 см. Статистическая обработка итогов сплошного перечета деревьев по диаметру пробной площади показала, что коэффициенты асимметрии по всем годам учета близки к нулю и статистически не превышают критических точек. Коэффициенты эксцесса также невелики, и их стандартные ошибки не превышают 5%. Основным показателем однородности строения – коэффициент изменчивости диаметра дерева на высоте 1,3 м варьирует в пределах от 26% до 31%, в то время как нормальным считается 25%. Такая вариация диаметра является следствием присутствия в насаждении как старых, в том числе единичных крупных экземпляров березы, так и молодых деревьев второго яруса, в основном представленных кленом и вязом. Варьирование диаметров только лип не превышает 25%.

Динамика количества деревьев и их распределение по ступеням толщины на пробной площади представлены на рисунке, по которому наглядно видно, что за 25 лет произошло смещение распределения стволов липы в сторону увеличения их размера при одновременном снижении количества деревьев. Несмотря на снижение количества стволов и увеличение диаметров деревьев липы мелколистной, распределение их по естественным ступеням толщины остается относительно стабильным.

Выводы. Насаждения липы мелколистной зеленой зоны г.Уфы имеют важное рекреационное значение. Однако наблюдается постепенное снижение их продуктивности и защитных свойств. Изменение лесного законодательства способствовало сокращению рубок в этой целевой категории лесов, что приводит к накоплению спелых и перестойных древостоев.

Сравнение выявленных тенденций изменений таксационных показателей липняков в динамике дают основание считать, что необходимо уделять больше внимания повышению производительности и принять меры по улучшению возрастной структуры. Со всей остротой встает вопрос решения проблемы семенного размножения и возобновления. С целью сохранения защитных функций в спелых липняках зеленой зоны г. Уфы, создания условий для естественного возобновления и своевременного изъятия спелой древесины рекомендуется своевременно проводить рубки ухода и обновления.



Динамика распределения деревьев липы на ППП по ступеням толщины

Результаты многолетних наблюдений динамики таксационных показателей насаждений липы мелколистной могут быть использованы для разработки научно-методических и практических рекомендаций ведения лесного хозяйства в условиях зеленой зоны г.Уфы.

Библиографический список

1. Барабанщиков, А.С. Березовые, осиновые и липовые типы леса Саратовской области / А. С. Барабанщиков // Тр. Сарат. СХИ, 1970. – Т. 25. – С. 138-197.
2. Баталов, А. А. Возобновление широколиственных древесных пород / А. А. Баталов // Возобновительные процессы в горных широколиственно-хвойных лесах. – Уфа: БФАН СССР, 1981. – С.15-32.
3. Белостоков, Г. П. Морфогенез кустовидного подроста липы сердцевидной / Г. П. Белостоков // Лесоведение. – 1980. – №6. – С. 53-59.
4. Богомолов, Д. В. Почвы Башкирской АССР / Д. В. Богомолов. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. – 296 с.
5. Верхунов, П. М. Таксация леса. / П.М. Верхунов, В.Л. Черных. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2007. – 396 с.
6. Винокуров, М.А. Лесные почвы Татарии / М. А. Винокуров, П.В. Гришин. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1962. – 70 с.
7. Воробьев, О.Н. Дистанционный мониторинг городских лесов / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, А.В. Губаев, Ю.А. Полевщикова, Е.Н. Демишева, О.В. Коптелов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 1(25).– С. 5-21.
8. Габделхаков, А. К. Рост разновозрастного липняка / А.К.Габделхаков, М.М. Имангулов // Лесохозяйственная информация. – 2004. – №5. – С. 11-16.
9. Габделхаков, А. К. Структура и годичная продуктивность фитомассы в культурах липы мелколистной / А. К. Габделхаков, К.М. Габдрахимов, А.А. Арсланов, М. Р. Ситдилов // Аграрный вестник Урала. – 2010. – №3. – С. 90-93.
10. Гордиенко, М. И. Лесоводственная оценка липы мелколистной, клена остролистного и граба обыкновенного / М. И. Гордиенко // Лесоведение. – 1979. – №1. – С. 59-67.
11. Горчаковский, П. Л. Широколиственные леса и их место в растительном покрове Южного Урала / П. Л. Горчаковский. – М.: Наука, 1972. – 47 с.

12. Гроздова, Н. Б. Деревья, кустарники и лианы / Н. Б. Гроздова, В. И. Некрасов, Д. А. Глоба-Михайленко. – М.: Лесн. пром-сть, 1986. – 349 с.
13. Козьяков, С. Н. Использование аэроснимков для изучения распространения широколиственных лесов в условиях Башкирской АССР: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / С. Н. Козьяков. – Свердловск, 1964. – 19 с.
14. Колыбина, Н. Ф. Биологические особенности видов рода *Tilia* L. в лесостепи УССР: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Н. Ф. Колыбина. – Киев, 1970. – 21 с.
15. Курнаев, С. Ф. Теневые широколиственные леса Русской равнины и Урала / С. Ф. Курнаев. – М.: Наука, 1980. – 316 с.
16. Курбанов Э.А. Бюджет углерода сосновых экосистем Волго-Вятского района: монография / Э.А. Курбанов. – Йошкар-Ола, 2002. – 300 с.
17. Курбанов Э.А. Лесоводство. Международное лесное хозяйство: учебное пособие / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2014. – 254 с.
18. Курбанов, Э.А. Итоги международной конференции «Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг» / Э.А. Курбанов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2016. – № 1 (29). – С. 87-89.
19. Лакин, Г. Ф. Биометрия / Г.Ф. Лакин. – М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.
20. Леса Восточного Подмосквья / Академия наук СССР, Лаборатория лесоведения; [отв. ред. С. Ф. Курнаев]. – М.: Наука, 1979. – 184 с.
21. Литвяков, М. К. Естественное размножение липы в условиях Брянского лесного массива / М. К. Литвяков // Сб. аспирантских работ №2, Брянский ЛХИ, 1957. – С. 87-100.
22. Мурахтанов, Е. С. Основы организации комплексного хозяйства в липняках Средней Волги / Е.С. Мурахтанов. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1972. – 302 с.
23. Мушинская, Н. И. Экология семенного размножения клена остролистного и липы мелколистной в Башкирском Предуралье: автореф. дис. ... канд. биол. наук. / Н. И. Мушинская. – Свердловск, 1977. – 24 с.
24. Рысин, Л. П. Липа сердцевидная / Л. П. Рысин // Биол. флора Моск. обл. – М.: Изд-во МГУ, 1983. – Вып. 7. – С. 128-152.
25. Рябчинский, А. Е. Типы леса и естественное возобновление липы в БАССР / А. Е. Рябчинский // Тр. БашЛЮС. – Уфа, 1964. – Вып. 7. – С. 10-23.
26. Ситдинов, Р. Г. Естественное и искусственное восстановление липовых насаждений в Башкирской АССР: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Р. Г. Ситдинов. – Л., 1971. – 20 с.
27. Соколов П. А. Состояние и теоретические основы формирования липняков / П. А. Соколов. – Йошкар-Ола: Марийск. кн. изд-во, 1978. – 208 с.
28. Соколов, П. А. Выявление оптимальных возрастов спелости и полноты липняков Башкирии с учетом комплексного их использования / П. А. Соколов // Растительные ресурсы Южного Урала и Среднего Поволжья и вопросы их рационального использования: тезисы докладов и сообщений. – Уфа: БФАН СССР, 1974. – С. 86-88.
29. Соколов, П. А. Выявление особенностей строения древостоев порослевых липняков / П. А. Соколов // Лесоведение, 1975. – №2. – С. 80-82.
30. Фалалеев, Э. Н. Обоснование возраста защитной спелости леса по комплексным показателям / Э. Н. Фалалеев, И.П. Гордина // Лесное хозяйство. – 1980. – №7. – С. 47-48.
31. Хайретдинов, А. Ф. Природа и насаждения зеленой зоны города Уфы / А. Ф. Хайретдинов, М. Р. Хамзин, У. И. Янбухтин. – Уфа: Баш. кн. изд-во, 1981. – 80 с.
32. Хайретдинов, А.Ф. Повышение продуктивности рекреационных лесов Южного Урала / А. Ф. Хайретдинов. – Уфа : Баш. кн. изд-во, 1990. – 280 с.
33. Цельникер, Ю. Л. Физиологические основы теневыносливости древесных растений / Ю. Л. Цельникер. – М.: Наука, 1978. – 215 с.
34. Чистяков, А.Р. Типы леса Марийской АССР (и сопредельных районов) / А. Р. Чистяков, А. К. Денисов. – Йошкар-Ола: Марийск. кн. изд-во, 1959. – 75с.
35. Loboda, T. Understanding Origins and Impacts of Drought / T.V. Loboda, O.N. Krankina, E.A. Kurbanov // Eos, Transactions American Geophysical Union. – 2012. – Vol. 93(42). – P. 417.
36. Sokolov, P. A. Estimation of crown biomass in the lime stands of the European part of Russia / P. A. Sokolov, E. A. Kurbanov // Forestry. – 1999. – Vol. 72. – № 1. – P. 75 – 77.

References

1. Barabanshchikov, A.S. Berezovye, osinovyie i lipovyie tipy lesa Saratovskoj oblasti / A. S. Barabanshchikov // Tr. Sarat. SKHI, 1970. – T. 25. – S. 138-197.
2. Batalov, A. A. Vozobnovlenie shirokolistvennyh drevesnyh porod / A. A. Batalov // Vozobnovitel'nye processy v gornyh shirokolistvenno-hvojnyh lesah. – Ufa: BFAN SSSR, 1981. – S.15-32.
3. Belostokov, G. P. Morfogenez kustovidnogo podrosta lipy serdcevidnoj / G. P. Belostokov // Lesovedenie. – 1980. – №6. – S. 53-59.
4. Bogomolov, D. V. Pochvy Bashkirskoj ASSR / D. V. Bogomolov. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. – 296 с.
5. Verhunov, P. M. Taksaciya lesa. / P.M. Verhunov, V.L. Chernyh. – Yoshkar-Ola: PG TU, 2007. – 396 s.
6. Vinokurov, M.A. Lesnye pochvy Tatarii / M. A. Vinokurov, P.V. Grishin. – Kazan': Izd-vo Kazan. un-ta, 1962. – 70 s.

7. Vorobiev, O.N. Distancionnyj monitoring gorodskih lesov / O.N. Vorobiev, E.A. Kurbanov, A.V. Gubaev, YU.A. Polevshchikova, E.N. Demisheva, O.V. Koptelov // Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie. – 2015. – № 1(25). – S. 5-21.
8. Gabdelhakov, A. K. Rost raznovozrastnogo lipnyaka / A.K.Gabdelhakov, M.M. Imangulov // Lesohozyajstvennaya informaciya. – 2004. – №5. – S. 11-16.
9. Gabdelhakov, A. K. Struktura i godichnaya produktivnost' fitomassy v kul'turah lipy melkolistnoj / A. K. Gabdelhakov, K.M. Gabdrahimov, A.A. Arslanov, M. R. Sitdikov // Agrarnyj vestnik Urala. – 2010. – №3. – S. 90-93.
10. Gordienko, M. I. Lesovodstvennaya ocenka lipy melkolistnoj, klena ostrolistnogo i graba obyknovennogo / M. I. Gordienko // Lesovedenie. – 1979. – №1. – S. 59-67.
11. Gorchakovskij, P. L. SHirokolistvennye lesa i ih mesto v rastitel'nom pokrove YUzhnogo Urala / P. L. Gorchakovskij. – M.: Nauka, 1972. – 47 s.
12. Grozdova, N. B. Derev'ya, kustarniki i liany / N. B. Grozdova, V. I. Nekrasov, D. A. Globa-Mihajlenko. – M.: Lesn. prom-st', 1986. – 349 s.
13. Koz'yakov, S. N. Ispol'zovanie aerosnimkov dlya izucheniya rasprostraneniya shirokolistvennyh lesov v usloviyah Bashkirskoj ASSR: avtoref. dis. ... kand. s.-h. nauk / S. N. Koz'yakov. – Sverdlovsk, 1964. – 19 s.
14. Kolybina, N. F. Biologicheskie osobennosti vidov roda Tilia L. v lesostepi USSR: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk / N. F. Kolybina. – Kiev, 1970. – 21 s.
15. Kurnaev, S. F. Tenevyje shirokolistvennye lesa Russkoj ravniny i Urala / S. F. Kurnaev. – M.: Nauka, 1980. – 316 s.
16. Kurbanov E.A. Byudzhety ugleroda osnovnyh ekosistem Volgo-Vyatskogo rajona: monografiya / E.A. Kurbanov. – Joshkar-Ola, 2002. – 300 s.
17. Kurbanov E.A. Lesovodstvo. Mezhdunarodnoe lesnoe hozyajstvo: uchebnoe posobie / E.A. Kurbanov, O.N. Vorobiev. – Joshkar-Ola: PGU, 2014. – 254 s.
18. Kurbanov, E.A. Itogi mezhdunarodnoj konferencii «Lesnye ekosistemy v usloviyah izmeneniya klimata: biologicheskaya produktivnost' i distancionnyj monitoring» / E.A. Kurbanov // Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie. – 2016. – № 1(29). – S. 87-89.
19. Lakin, G. F. Biometriya / G.F. Lakin. – M.: Vysshaya shkola, 1990. – 352 s.
20. Lesa Vostochnogo Podmoskov'ya / Akademiya nauk SSSR, Laboratoriya lesovedeniya; [otv. red. S. F. Kurnaev]. – M.: Nauka, 1979. – 184 s.
21. Litvyakov, M. K. Estestvennoe razmnzhenie lipy v usloviyah Bryanskogo lesnogo massiva / M. K. Litvyakov // Sb. aspirantskih rabot №2, Bryanskij LHI, 1957. – S. 87-100.
22. Murahtanov, E. S. Osnovy organizacii kompleksnogo hozyajstva v lipnyakah Srednej Volgi / E.S. Murahtanov. – L.: Izd-vo LGU, 1972. – 302 s.
23. Mushinskaya, N. I. Ekologiya semennogo razmnzheniya klena ostrolistnogo i lipy melkolistnoj v Bashkirskom Predural'e: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. / N. I. Mushinskaya. – Sverdlovsk, 1977. – 24 s.
24. Rysin, L. P. Lipa serdcevidnaya / L. P. Rysin // Biol.flora Mosk.obl. – M.: Izd-vo MGU, 1983. – Vyp. 7. – S. 128-152.
25. Ryabchinskij, A. E. Tipy lesa i estestvennoe vozobnovlenie lipy v BASSR / A. E. Ryabchinskij // Tr. BashLOS. – Ufa, 1964. – Vyp. 7. – S. 10-23.
26. Sitdikov, R. G. Estestvennoe i iskusstvennoe vosstanovlenie lipovyh nasazhdenij v Bashkirskoj ASSR: avtoref. dis. ... kand. s.-h. nauk / R. G. Sitdikov. – L., 1971. – 20 s.
27. Sokolov P. A. Sostoyanie i teoreticheskie osnovy formirovaniya lipnyakov / P. A. Sokolov. – Joshkar-Ola: Marijsk. kn. izd-vo, 1978. – 208 s.
28. Sokolov, P. A. Vyyavlenie optimal'nyh vozrastov spelosti i polnoty lipnyakov Bashkirii s uchetom kompleksnogo ih ispol'zovaniya / P. A. Sokolov // Rastitel'nye resursy YUzhnogo Urala i Srednego Povolzh'ya i voprosy ih racional'nogo ispol'zovaniya: tezisy dokladov i soobshchenij. – Ufa: BFAN SSSR, 1974. – S. 86-88.
29. Sokolov, P. A. Vyyavlenie osobennostej stroeniya drevostoev poroslevykh lipnyakov / P. A. Sokolov // Lesovedenie, 1975. – №2. – S. 80-82.
30. Falaleev, E. N. Obosnovanie vozrasta zashchitnoj spelosti lesa po kompleksnym pokazatelyam / E. N. Falaleev, I.P. Gordina // Lesnoe hozyajstvo. – 1980. – №7. – S. 47-48.
31. Hajretdinov, A. F. Priroda i nasazhdeniya zelenoj zony goroda Ufy / A. F. Hajretdinov, M. R. Hamzin, U. I. YAnbuhtin. – Ufa: Bash. kn. izd-vo, 1981. – 80 s.
32. Hajretdinov, A.F. Povyshenie produktivnosti rekreacionnyh lesov YUzhnogo Urala / A. F. Hajretdinov. – Ufa : Bash. kn. zd-vo, 1990. – 280 s.
33. Cel'niker, YU. L. Fiziologicheskie osnovy tenevynoslivosti drevesnyh rastenij / YU. L. Cel'niker. – M.: Nauka, 1978. – 215 s.
34. CHistyakov, A.R. Tipy lesa Marijskoj ASSR (i sopredel'nyh rajonov) / A. R. CHistyakov, A. K. Denisov. – Joshkar-Ola: Marijsk. kn. izd-vo, 1959. – 75s.
35. Loboda, T. Understanding Origins and Impacts of Drought / T.V. Loboda, O.N. Krankina, E.A. Kurbanov // Eos, Transactions American Geophysical Union. – 2012. – Vol. 93(42). – P. 417.
36. Sokolov, P. A. Estimation of crown biomass in the lime stands of the European part of Russia / P. A. Sokolov, E. A. Kurbanov // Forestry. – 1999. – Vol. 72. – № 1. – P. 75 – 77.

ДИНАМИКА ЛЕСНЫХ РЕСУРСОВ И ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Л.В. Стоноженко, С.А. Коротков, О.А. Теплов
Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

Проанализирована динамика лесистости и породного состава лесов Московской области с конца XVII века. Показаны основные причины снижения лесистости Московского региона и факторы последующего её восстановления. Приведены данные по состоянию земель лесного фонда на 01.01.2016 года. Проанализированы показатели по видам лесопользования и лесохозяйственной деятельности в Московской области за период с 1946 по 2015 г. Рассмотрены основные виды антропогенного воздействия на лес. Дана оценка возможных рисков воздействия на леса Московского региона, связанных со строительством Центральной кольцевой автомобильной дороги. Необходимость проведения сплошных санитарных рубок крайне возросла после экстремальных засух 2010-2011 гг. и связанных с этим пожаров и усыхания ельников из-за массового размножения короеда-типографа. Отмечено запаздывание сплошных санитарных рубок. Показано, что естественное возобновление с участием древесных пород широколиственных лесов отличается большим породным разнообразием, чем лесные культуры. Выявлены различные стадии смены еловых лесов липовыми в НП «Лосиный остров» и Щелковском учебно-опытном лесхозе. Предложены варианты организации лесопользования и лесовосстановления. Показана необходимость разработки лесоводственных систем для защитных лесов. Рекомендовано проведение выборочных рубок с целью использования естественного возобновления для формирования устойчивых насаждений. Отмечена необходимость создания смешанных лесных культур с приоритетом на высокую устойчивость формируемых насаждений. Показана необходимость создания условий для переработки значительных объёмов низкокачественной древесины и древесных отходов для достижения экономической эффективности интенсивной лесохозяйственной деятельности в защитных лесах. Рекомендована разработка единой стратегии развития лесного сектора Московской области, которая позволит снизить разобщённость управления лесами и лесопромышленной деятельностью.

Ключевые слова: Московская область, смена пород, динамика лесистости, лесопользование, защитные леса.

DYNAMICS OF FOREST RESOURCES AND FOREST USE IN THE MOSCOW REGION

L. V. Stonozhenko, S.A. Korotkov, O.A. Teplov
Mytishchi Branch, Bauman Moscow State Technical University

*The paper analyses the dynamics of forest cover and species composition in the Moscow region forests beginning from the late 17th century. Authors determine the key reasons of forest cover reduction and regeneration to follow. The data are provided as of 01.01.2016. The paper analyses the characteristics of forest harvesting and forest management in the Moscow region over the period from 1946 to 2015. There is a review of the major types of anthropogenic impact on forest. The paper also assesses the potential impact risks affecting the Moscow region forests caused by the Central Ringroad construction. The necessity to conduct sanitary clear-cuts became evident after extreme draughts of 2010-2011, related forest fires, spruce stands decline caused by extreme expansion of bark beetle (*Ips typographus*). The fact of delay in sanitary clear-cuts is emphasized. The paper proves that the natural forest regeneration with inclusion of broad-leaved species is characterized by higher species diversity as compared to forest plantations. Various stages of spruce replaced with linden are observed in the national park 'Losiny Ostrov' and on the territory of Shchelkovo experimental forestry enterprise. The paper suggests forest use and regeneration organization patterns and highlights the necessity for the development of special forestry systems for*

protective forest. Selective cuts are recommended in order to use natural regeneration in creating sustainable forest stands. The authors emphasize the necessity of creating mixed forests plantations aimed at establishing sustainable stands. The authors also point out the need for creating conditions to process large volumes of low-quality wood and wastage in order to achieve economic efficiency of intensive forest management activities in protective forests. The development of a unified strategy of forest sector development in the Moscow region is recommended. The authors argue it will enhance coordination between forest management and forest processing.

Key words: *the Moscow region, succession, dynamics of forest cover, forest management, protection forest.*

Введение. Антропогенное воздействие на леса Московской области – одно из самых высоких в Российской Федерации. Оно складывается из рубок леса, массового искусственного лесовосстановления, рекреационной нагрузки, загрязнения атмосферного воздуха и почвы, лесных пожаров, фрагментации лесных массивов из-за строительства линейных объектов (дорог, ЛЭП, путепроводов и др.) и связанной с ней увеличенной мозаичности, отчуждения лесных земель и перевода их в другие категории, локальных изменений температур под влиянием мегаполиса, изменения гидрологического режима.

В настоящее время все леса Московской области отнесены к защитным лесам и в соответствии с частью 4 статьи 12 Лесного кодекса (Лесной кодекс, 2006) подлежат освоению в целях сохранения средообразующих, водоохраных, защитных, санитарно-гигиенических, оздоровительных и иных полезных функций лесов с одновременным использованием лесов при условии, если это использование совместимо с целевым назначением защитных лесов и выполняемыми ими полезными функциями. В соответствии со статьёй 105 Лесного кодекса в лесах, выполняющих функции защиты природных и иных объектов, запрещены сплошные рубки спелых и перестойных древостоев. Из-за отсутствия регламентирующих документов не проводятся выборочные рубки в данной категории защитных лесов Московской области. Ограничен ряд других видов использования лесов, таких как ведение сельского хозяйства, осуществление видов деятельности в сфере охотничьего хозяйства, разработка месторождений полезных ископаемых и др., однако при этом проводятся рубки для обеспечения функционирования линейных объектов.

В настоящее время в Московской области заготовка древесины при осуществлении рубок спелых и перестойных насаждений не производится, объем сплошных санитарных рубок за 2015 год составил 1 588 тыс. м³ ликвидной древесины на площади 6 тыс. га (Korotkov et al., 2016). Такое использование лесов Московской области не может считаться рациональным.

Целью исследования является выявление основных природных, антропогенных и исторических факторов, влияющих на динамику лесистости и состояния лесных сообществ Подмоскovie, и разработка рекомендаций по совершенствованию ведения хозяйства в защитных лесах.

Объекты исследования и методика. Данные исследования основаны на статистических данных, начиная с Генерального межевания. Используются данные ФГБУ «Рослесинфорг» и Комитета лесного хозяйства Московской области. Объектами исследования являлись 103 постоянные пробные площади (ППП), заложенные в лесах Подмоскovie. Пробные площади заложены в сложных и зеленомошных типах леса (ТУМ В2-В3; С2-С3), в соответствии с ОСТ 56-69-83 «Площади пробные лесоустroительные». На ППП наряду с детальной характеристикой древостоя производился сплошной пересчет подроста и подлеска на 5 учетных площадках размером 5х5 м каждая, распределенных по пробной площади

«конвертом». Учитывали жизнеспособный подрост, подразделяя его на категории крупности с последующим пересчетом на крупный (Стоноженко и др., 2017).

Результаты исследования. Использование лесов Московской области и воздействие на них человека на протяжении многих лет является исключительно интенсивным, что не могло не привести к изменениям в их породном составе, структуре и состоянии. Зональной растительностью большей части области являются хвойно-широколиственные и широколиственно-хвойные леса с характерным для естественных лесов смешанным составом древостоя, хорошо развитым подлеском, участием в травяном покрове элементов флоры, типичных для смешанных и таёжных лесов (Коротков и др., 2015). Но в результате интенсивной обработки этих земель, начиная с периода первого их освоения, значительная часть их замещена производными лесами из берёзы и осины.

К началу XVII в. лесистость многих западных уездов Московии уменьшилась до 10%, но после событий Смутного времени заброшенными оказались 85-90% пашни, которые стали зарастать мелколесьем и кустарником. За счет этого лесистость Московской губернии в середине XVII в. поднялась до 48%. После войны 1812 г. и начала поставок зерновых из южных районов многие пахотные земли в Центре Русской равнины забрасываются и зарастают мелколесьем. Лесистость Московской области постепенно снижалась на всём протяжении XVIII и XIX вв. (рис. 1), но в конце XIX - начале XX вв. уничтожение лесов приняло угрожающий характер (Лагунов, Гусев, 2015). Основные причины две: необходимость земель для ведения сельского хозяйства и потребность в древесине для развивающейся промышленности. В XVIII и XIX вв. сильно изменился породный состав лесов. Усилившееся потребление населением липового корья (за год крестьянин снашивал до 45 пар лаптей) привело к почти повсеместному исчезновению липы в густонаселенных районах Московской губернии. Доля мягколиственных насаждений возросла: хвойные и дубовые высокоствольные древостои сменялись корнеотпрысковыми осинниками и порослевыми березняками (Коротков и др., 2015).

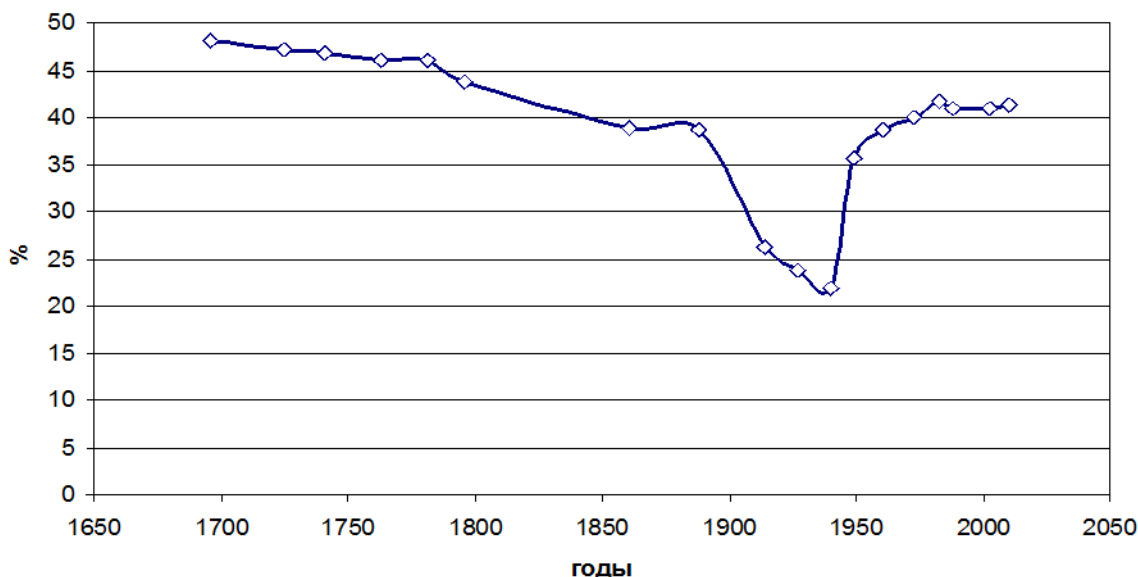


Рис. 1. Динамика лесистости Московской области

Существенным фактором влияния на состояние лесов стало строительство железных дорог. Значительное количество деловой древесины требовалось для шпал, телеграфных столбов, станционных и служебных построек, а затем огромных количеств дровяного топлива (в период Первой мировой и Гражданской войн пришлось вновь вернуться к использованию дров). Прокладка железнодорожных линий стимулировала более интенсивное воздействие на

прилегающие к ним леса. В 1917-1923 годах во время топливного голода в Московской области были вырублены леса на площади 268 тыс. га, а в 1920 и 1921 годах уничтожены пожарами еще 50 тыс. га. К 1927 году площадь насаждений хвойных и широколиственных пород сократилась с 51 % (1910 г.) до 33 %, а мягколиственных (березы и осины) увеличилось с 49 % до 67 % (Korotkov et al., 2016). К 1932 году половину всех лесов Московской области стали составлять молодняки возрастом до 10-20 лет. Интенсивные рубки в 20-40-е годы XX века привели к снижению лесистости области до 21 % в 1938 г. и образованию к 1949 г. 173 тыс. га не покрытых лесом лесных земель, уменьшению в 2,4 раза площади спелых насаждений и сокращению на 22 % среднего запаса насаждений (по сравнению с 1927 годом). В годы Великой Отечественной войны в области было вырублено 50 расчетных лесосек. Увеличение площади лесов, особенно в 1960-е гг., связано с активным забрасыванием полей, а также общим снижением спроса на древесину, на дрова в связи с газификацией (Голубчиков, 2011).

Начиная с 50-х годов по 90-е годы XX века количественные показатели состояния лесов Московской области улучшаются. Это вызвано обширным созданием лесных культур. Повысился средний бонитет насаждений, увеличилась средняя полнота, средний прирост вырос с 3,3 до 3,9 м³/га, а также увеличились площади, занимаемые хвойными породами.

В определенной степени увеличение лесистости связано также с изменением границ области. Так, с 1 июля 2012 г. значительная часть территории Московской области была передана в состав Москвы. Вследствие этой передачи территория Московской области уменьшилась на 144 тыс. га (из них лесных земель 71,1 тыс. га), а население – на 230 тыс. человек. За период с 2013 по 2016 год постановлениями Правительства Российской Федерации для федеральных нужд изъяты земли лесного фонда общей площадью 361 га, в том числе по лесничествам: Виноградовское – 41 га, Звенигородское – 93 га, Клинское – 74 га, Орехово-Зуевское – 117 га, Подольское – 34 га, Московское учебно-опытное – 2 га. Дополнительным фактором интенсивного воздействия на подмосковные леса представляется строительство центральной кольцевой автомобильной дороги (ЦКАД). Значительная часть запроектированной автомагистрали затронет земли лесного фонда. Согласно проекту маршрута ЦКАД, из 525 км трассы более 200 км проходят по лесным землям. Строительство ЦКАД непременно повлечет за собой застройку прилегающих зон и приведет к дальнейшей урбанизации территории (Korotkov et al., 2016).

Лесосырьевые ресурсы Московской области по состоянию на 01.01.2016 г. характеризуются площадью, покрытой лесной растительностью в размере 1761,1 тыс. га, и общим запасом 372,8 млн м³, в том числе 113,1 млн м³ спелых и перестойных насаждений, средним приростом 6,67 млн м³ (что составляет 3,8 м³ на 1 га в год). Распределение лесопокрытой площади по породам и группам возраста показано в таблице 1. Среди сосняков и березняков преобладают средневозрастные насаждения. Наибольшее количество ельников представлено молодняками 1 и 2 классов возраста, а в осинниках преобладают спелые и перестойные насаждения.

Все леса Московской области отнесены к защитным. С учетом особенностей правового режима защитных лесов области и с целью оптимальной организации ведения хозяйства (Приказ Рослесхоза от 14.12.2010 г. № 485) выделены категории защитных лесов (табл. 2).

В настоящее время отличия в правовых режимах различных категорий не в полной мере оправдывают такое дробное деление. Режимы должны отличаться в зависимости от целевого назначения и полезных функций лесов. Так, к примеру, в зелёных зонах, по нашему мнению, необходимо снять ряд ограничений на использование лесов (ведение сельского хозяйства, осуществление видов деятельности в сфере охотничьего хозяйства, разработка месторождений полезных ископаемых).

Таблица 1

Распределение основных лесообразующих пород Московской области, расположенных на землях лесного фонда по группам возраста по состоянию на 01.01.2016

Основные лесообразующие породы	Покрытые лесной растительностью земли, тыс. га					
	всего	в том числе по группам возраста лесных насаждений				
		молодняки	средне-возрастные	приспевающие	спелые и перестойные	в т.ч. перестойные
Сосна	355,7	54,7	230,4	49,6	21,0	4,1
Ель	425,1	161,3	96,6	96,4	70,8	0,1
Лиственница	2,5	1,1	1,3	-	0,1	-
Кедр	0,1	0,1	-	-	-	-
Итого хвойных	783,4	217,2	328,3	146,0	91,9	4,2
Береза	704,6	45,6	337,7	122,7	198,6	12,9
Осина	152,5	8,8	5,6	7,2	130,9	79,8
Ольха серая	45,5	2,3	20,7	15,2	7,3	0,3
Ольха черная	32,0	0,8	20,4	5,7	5,1	0,1
Липа	11,2	0,3	6,3	1,7	2,9	0,5
Тополь	0,1	-	-	0,1	-	-
Ива древовидная	2,5	0,7	0,8	0,3	0,7	0,3
Итого мягколиственных	948,4	58,5	391,5	152,9	345,5	93,9
Дуб высокостовольный	14,1	1,0	10,7	1,7	0,7	0,1
Дуб низкостовольный	14,0	-	3,2	2,1	8,7	3,2
Ясень	0,3	0,1	0,2	-	-	-
Клен	0,5	-	0,4	0,1	-	-
Вяз и др. ильмовые	0,4	-	0,2	0,1	0,1	-
Итого твердолиственных	29,3	1,1	14,7	4,0	9,5	3,3

Таблица 2

Распределение земель лесного фонда Московской области по категориям защитности

Категории защитных лесов	Площадь, тыс. га	% от общей площади земель лесного фонда
Леса, выполняющие функции защиты природных и иных объектов:	1895,8	97,7
Леса, расположенные в первом и втором поясах зон санитарной охраны источников питьевого и хозяйственно бытового водоснабжения	249,4	12,85
Защитные полосы лесов, расположенные вдоль железнодорожных путей, федеральных автомобильных дорог, автомобильных дорог, находящихся в собственности субъектов Российской Федерации	54,2	2,79
Зеленые зоны	1031,7	53,17
Лесопарковые зоны	560,4	28,88
Леса, расположенные в первой, второй и третьей зонах округов санитарной охраны лечебно-оздоровительных местностей и курортов	0,1	0,01
Ценные леса:	44,7	2,3
Запретные полосы лесов, расположенные вдоль водных объектов	0,6	0,03
Леса, имеющие научное или историческое значение	43,5	2,24
Нерестоохраняемые полосы лесов	0,6	0,03

Допустимый ежегодный объем изъятия древесины в эксплуатационных и защитных лесах определяет расчетная лесосека (Орлов, 1927). Расчетная лесосека исчисляется по каждому лесничеству отдельно по хозяйствам (хвойному, твердолиственному и мягколиственному) и по преобладающим породам. Исчисление расчетной лесосеки осуществляется отдельно для проведения сплошных рубок, выборочных рубок, вырубки погибших и поврежденных лесных насаждений, ухода за лесом и пр. Размер расчётной лесосеки зависит от множества факторов: размеров наличного эксплуатационного фонда, суммарного размера прироста древесины в объекте, установленного возраста рубки и др. По нашим оценкам, при условии отнесения всех лесов Московской области к эксплуатационным, расчётная лесосека только по руб-

кам спелых и перестойных насаждений может достигать от 6 до 10 млн м³, в том числе лесосека по среднему приросту 6,7 млн м³/год.

Период после Великой Отечественной войны отмечался относительно высокой интенсивностью лесопользования и ведения лесохозяйственной деятельности. На протяжении 35 лет объем лесопользования всеми видами рубок оставался достаточно стабильным и составлял чуть более 2 млн м³/год. При этом от 50 до 65 % объема заготовленной древесины приходилось на рубки главного пользования в эксплуатационных частях зеленых зон (табл. 3). Необходимо также отметить, что с 1943 г. все леса Московской области были отнесены к первой группе лесов с ограниченным режимом пользования, что не исключило организации активной лесохозяйственной деятельности в них.

Таблица 3

Объемы использования древесины в Московской области в период с 1946 по 1990 гг.

Года	Рубки главного пользования, тыс.м ³	Рубки ухода, тыс.м ³	Прочие рубки, тыс.м ³	Итого, тыс.м ³
1946	3 065	1 484	62	4611
1950	339	787	268	1394
1955	1 114	783	266	2163
1960	1 311	568	207	2086
1970	1 384	660	126	2170
1980	1 070	799	175	2044
1990	1 309	687	139	2135

Заготовка древесины рубками спелых и перестойных насаждений продолжалась в Московской области до принятия Лесного кодекса (2006), а после прекратилась (табл. 4). Период 2008-2010 гг. характеризуется снижением объемов всех видов рубок.

Таблица 4

Объемы изъятия древесины в Московской области в период 2005-2015 гг. по всем видам рубок

Показатели лесопользования	Объемы изъятия древесины в Московской области по годам учета, тыс. м ³										
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Допустимый объем изъятия древесины (расчетная лесосека) - всего	2028,3	2 026,5	2 026,5	1 417,5	480,8	1 182,1	2 044,3	2 364,3	2 988,4	2 988,5	8 438,0
Объем заготовки ликвидной древесины при рубках спелых и перестойных насаждений	515,8	463,5	288,5	—	—	—	—	—	—	—	—
Объем заготовки ликвидной древесины при санитарных рубках, рубках ухода, рубках лесных насаждений для строительства, реконструкции и эксплуатации объектов	1 323,3	1 187,8	1 297,5	113,5	211,9	352,3	829,9	1 117,1	2 747,8	2 957,1	1 635,7
Объем заготовки ликвидной древесины при проведении сплошных санитарных рубок	917,2	807,3	895,6	93,2	163,4	270,2	796,2	1 063,0	2 667,2	2 856,5	1 588,3
Объем заготовки ликвидной древесины при проведении выборочных санитарных рубок	107,6	82,2	101,9	20,3	46,6	56,4	33,6	24,5	24,1	47,4	20,8
Итого	1 839,1	1 651,3	1 586,0	113,5	211,9	352,3	829,9	1 117,1	2 747,8	2 957,1	1 635,7

Сплошные санитарные рубки в 2008-2009 гг. проводились в крайне небольших объемах 113,5-211,9 тыс. м³. Необходимость проведения сплошных санитарных рубок крайне возросла после экстремальных засух 2010-2011 гг. и связанных с этим пожаров и усыхания ельников из-за массового размножения короеда типографа (рис. 2).

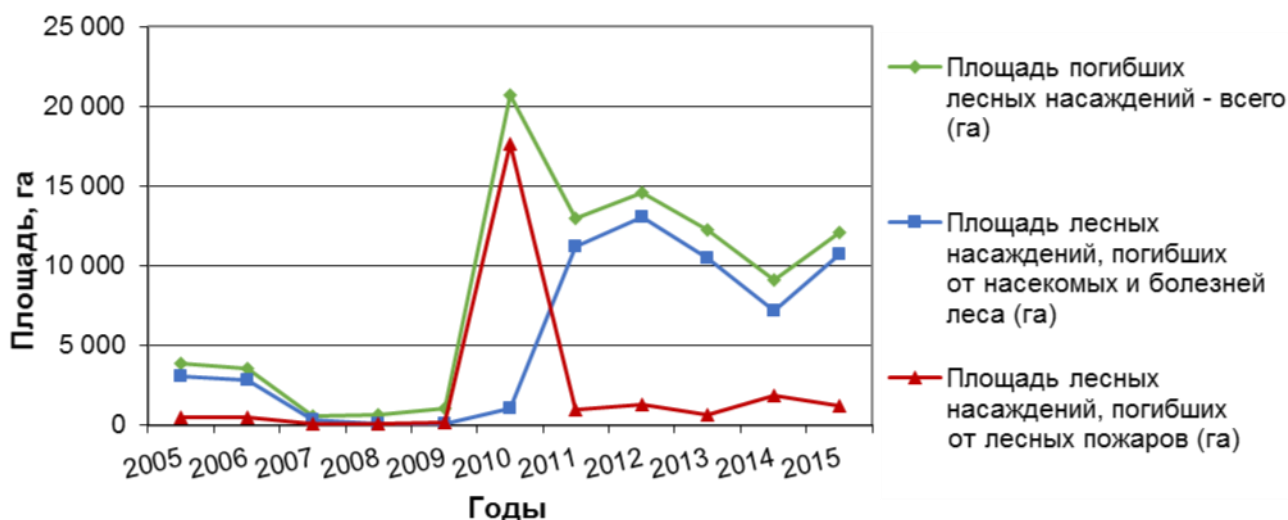


Рис. 2. Площади погибших лесных насаждений в Московской области

Размер сплошных санитарных рубок резко увеличился с 2011 до 2014 года, в котором достиг максимума – 2957,1 тыс. м³. Общий объем заготовки древесины в 2014 году превысил расчётную лесосеку в целом по Московской области (рис. 3). Превышение объёмов заготовки древесины над расчётной лесосекой по отдельным лесничествам с большим количеством очагов короеда-типографа в 2014 году достигло значительных размеров за счёт проведения сплошных санитарных рубок. После этого расчётная лесосека по Московской области в 2015 году была директивно увеличена более чем в два раза.

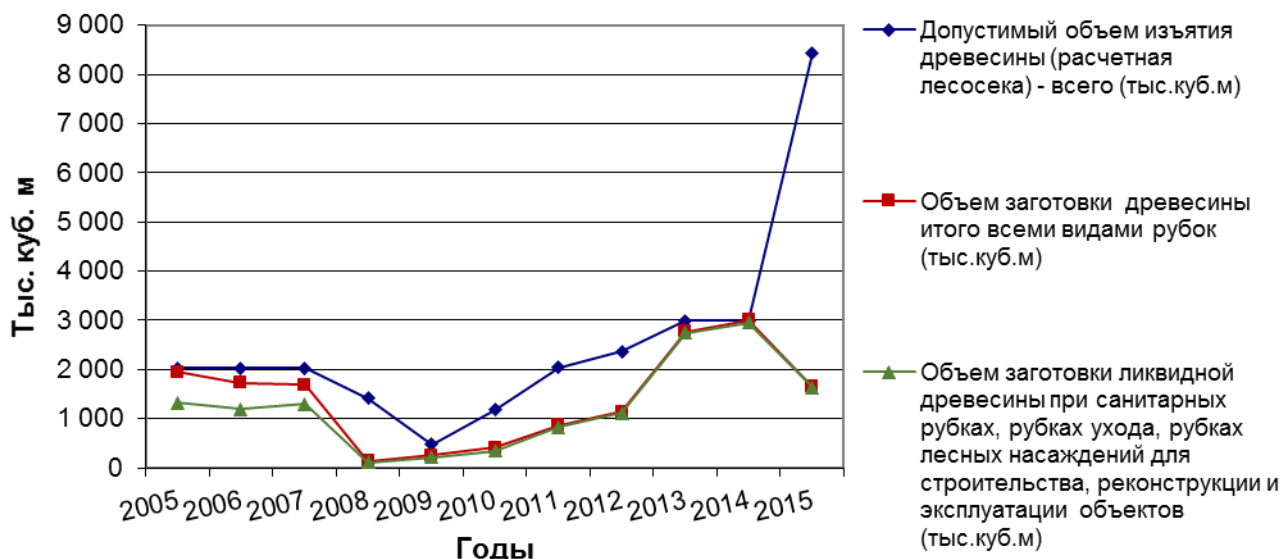


Рис. 3. Расчетная лесосека и объем заготовки древесины в Московской области

Расходы на проведение сплошных санитарных рубок в 2013-2014 гг. активно покрывались специальными субвенциями. Это является причиной их резкого увеличения. Однако необходимо отметить запаздывание сплошных санитарных рубок как для решения проблемы борьбы с распространением вредителей и болезней, так и для сохранения доли деловой древесины в объеме лесозаготовок. В настоящее время она при проведении санитарных рубок в среднем по Московской области составляет 15 %. На переработку предприятиям лесопромышленного комплекса области поступает лишь незначительная часть древесины, заготов-

ленной при проведении санитарных рубок, что связано с низкой долей деловой древесины в ее составе. Сортиментная структура заготавливаемой древесины не позволяет за счет областных ресурсов древесного сырья обеспечить загрузку производственных мощностей деревообрабатывающих производств, действующих на территории региона. Неоправданно высоки объемы завоза на территорию региона малоценного древесного сырья для производства плитной продукции при его наличии в достаточном количестве в лесном фонде области (Саханов и др., 2016).

После изменения лесного законодательства, начиная с 2007 года, ограничения были наложены не только на рубки спелых и перестойных насаждений, но и на ряд других видов использования лесов (Лесной кодекс, 2006; Приказ Рослесхоза от 14.12.2010 г. № 485). Так, в лесах, выполняющих функции защиты природных и иных объектов в соответствии со статьей 105 ЛК РФ, запрещаются осуществление видов деятельности в сфере охотничьего хозяйства, разработка месторождений полезных ископаемых, сильно ограничено ведение сельского хозяйства (разрешены только сенокошение и пчеловодство). Динамика размеров использования лесов, не связанных с заготовкой древесины, приведена в таблице 5.

Таблица 5

Площадь лесных участков, переданных в аренду для осуществления видов пользования, не связанных с заготовкой древесины за 2005-2015 годы (тыс. га)

Виды использования лесов	Площадь по годам учёта, тыс. га										
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Ведение охотничьего хозяйства и осуществление охоты	68,6	178,2	141,5	—	—	—	—	5,8	5,8	5,8	5,8
Осуществление рекреационной деятельности	3,1	3,1	4,7	5,2	5,6	5,4	5,9	6,0	5,3	4,9	4,6
Ведение сельского хозяйства	0,0200	0,0622	0,0002	н.д.	0,0022	0,0014	0,0008	0,0008	0,0002	0,0002	0,0004

Одним из важнейших видов лесопользования в Московском регионе продолжает оставаться рекреационное (Стоноженко, Деева, 2016). Для осуществления этого вида деятельности в Московской области заключено 1,34 тыс. договоров аренды, на площади 4,6 тыс. га. При этом ежегодные платежи за осуществление рекреационной деятельности составляют более 600 млн руб. (Деева, 2017). В настоящее время платежи за данный вид использования лесов являются основной составляющей общей платы за использование лесов Московской области (рис. 4).

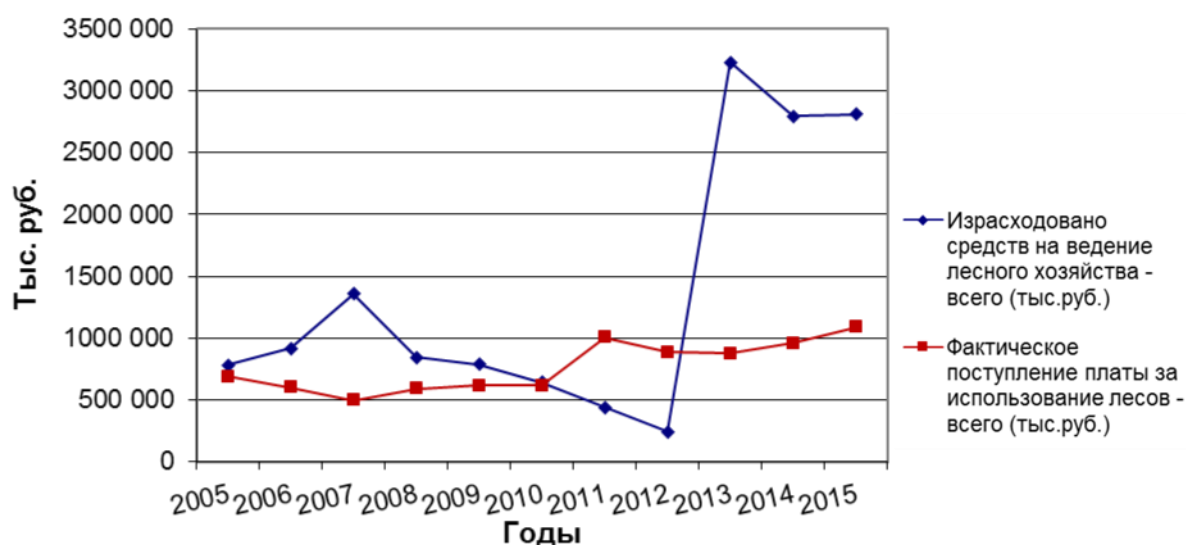


Рис. 4. Поступление платы за использование лесов и расходы на ведение лесного хозяйства

Увеличение объемов лесокультурных работ и, как следствие, возросшая потребность в посадочном материале (рис. 5) связаны с резким увеличением финансирования лесного хозяйства Московской области, начиная с 2013 г., увеличением размеров сплошных санитарных рубок и лесовосстановлением на образовавшихся вырубках. Работа лесных питомников носит более инерционный характер, отсутствует возможность резкого увеличения объема производства посадочного материала. В 2016 г. дефицит посадочного материала достиг 30,7 млн шт., в то время как до изменения лесного законодательства в 2007 году Московская область была донором в производстве посадочного материала для других регионов. Объем производства составлял 42-50 млн шт. в год при собственном потреблении 23-26 млн шт. в год.

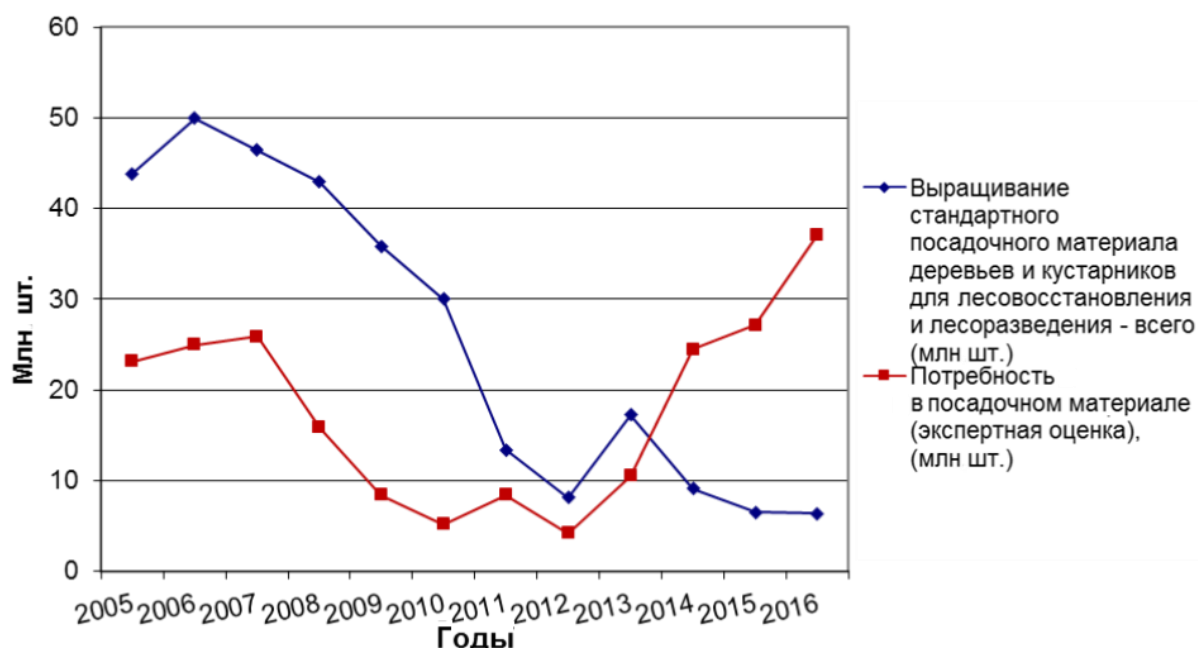


Рис. 5. Выращивание посадочного материала для лесовосстановления и лесоразведения

В соответствии с п. 11 приказа Рослесхоза от 14 декабря 2010 г. №485, «при выполнении работ по лесовосстановлению в лесопарковых зонах и зеленых зонах, городских лесах используются древесные и кустарниковые породы, отличающиеся большой долговечностью, высокими эстетическими качествами, декоративностью, устойчивостью к неблагоприятным антропогенным и техногенным факторам, особенно к значительным рекреационным нагрузкам». Однако реально выращиваемый ассортимент посадочного материала (табл. 6) и создание чистых по породному составу лесных культур не могут в полной мере соответствовать предъявленным требованиям. Необходимо предусмотреть возможность создания смешанных культур, включающую комплекс по расширению ассортимента питомников, технологию создания смешанных искусственных насаждений и последующего ухода за ними с целью формирования устойчивых насаждений, как правило, со сложной формой и структурой.

Необходимость составления прогноза динамики лесов как в процессе естественного хода их развития, так и под воздействием антропогенных факторов, возникает постоянно при решении задач развития лесного покрова. Без воспроизведения восстановительно-возрастной динамики насаждений, возникающей после воздействия наиболее распространенных природных факторов, не может быть никакой корректной оценки возможных последствий антропогенного влияния на леса (Седых, 2010).

Направление смены пород достаточно полно характеризует комплекс проблем в современном ведении лесного хозяйства, в первую очередь отсутствие лесоводственных рубок в защитных лесах Московской области. Предотвращение нежелательной смены пород на сего-

Таблица 6

**Выращивание стандартного посадочного материала (тыс. шт.) и закладка лесных культур (га)
в период 2013-2016 гг.**

Порода	2013		2014		2015		2016	
	Закладка лесных культур, га	Выращивание стандартного посадочного материала, тыс. шт.	Закладка лесных культур, га	Выращивание стандартного посадочного материала, тыс. шт.	Закладка лесных культур, га	Выращивание стандартного посадочного материала, тыс. шт.	Закладка лесных культур, га	Выращивание стандартного посадочного материала, тыс. шт.
Сосна	1300,2	9244,6	3408,3	4 788,0	3509,5	3353,5	5302,4	5232,3
Ель	1328,7	7952,0	2702,7	4 060,1	3255,4	2909,3	3963,3	1099,0
Лиственница	–	30,0	–	–	–	8,0	–	8,0
Дуб	17,5	–	1,5	249,0	26,4	227,3	6,7	17,7
Другие	–	1,8	–	–	–	30,1	–	15,3
Всего	2646,4	17228,4	6112,5	9097,1	6791,3	6528,2	9272,4	6372,3

дняшний день должно являться одной из важнейших задач на всех стадиях при ведении лесохозяйственной деятельности. При этом необходимо в вопросах лесовосстановления ориентироваться не только на создание лесных культур, но и на естественное возобновление. Как показывают результаты нашего исследования, оно отличается большим породным разнообразием с участием древесных пород широколиственных лесов. Вопрос самовосстановления крайне сложен и имеет ряд особенностей, неотъемлемо связанных с почвенно-климатическими условиями. Так, например, в последние десятилетия в НП «Лосиный остров» происходит смена сложных ельников широколиственными сообществами. В целом, в Лосином острове с 1891 года площадь древостоев с господством липы, их возраст и запас постоянно растут (Коротков и др., 2015). Начальные стадии смены еловых лесов липовыми отмечаются и на территории Щелковского учебно-опытного лесхоза. Результаты наших исследований показывают, что в ряде насаждений, где еловая часть древостоя практически полностью выпала, формируются сообщества с преобладанием липы (Коротков и др., 2014). При этом в насаждениях НП «Лосиный остров» наблюдается более высокое видовое разнообразие, а неморализация состава подроста объясняется локальными микроклиматическими условиями. НП «Лосиный остров» находится в границах температурной аномалии, которую создает московская городская агломерация, что благоприятствует развитию пород широколиственных лесов. В Щелковском учебно-опытном лесхозе, не испытывающем влияния мегаполиса, эта тенденция выражена слабее.

Выводы. Необходима разработка лесоводственных систем для защитных лесов, позволяющих использовать древесину до распада насаждения. Проведение выборочных рубок позволит использовать естественное возобновление для формирования устойчивых насаждений. В случае изменения законодательства для ряда насаждений по лесоводственным требованиям вполне уместно применение узколесосечных рубок. Создание лесных культур должно быть с приоритетом на высокую устойчивость формируемых насаждений. Экономическая эффективность интенсивной лесохозяйственной деятельности в защитных лесах может быть достигнута лишь при создании условий для переработки значительных объёмов низкокачественной древесины и древесных отходов. Требуется разработка единой стратегии развития лесного сектора Московской области, которая позволит снизить разобщенность управления лесами и лесопромышленной деятельностью.

Библиографический список

1. Голубчиков, С.Н. Изменение гидроэкологических свойств ландшафтов центра Русской равнины в результате многовекового лесопользования / С.Н. Голубчиков // Актуальные проблемы экологии и природопользования: сб. науч. тр. – М.: РУДН, 2011. – Вып. 13. – Ч. 2. – С. 45-53.
2. Деева, А.К. Анализ рекреационного лесопользования в Московской области / А.К. Деева // Forest complex today, view of young researchers: forest industry and engineering, landscape architecture, wood-working technology, management and economics Proceedings of the International scientific and practical conference. – 2017. – С.110-113.
3. Коротков, С.А. О направлениях лесообразовательного процесса в северо-восточном Подмоскowie / С.А. Коротков, В.В. Киселёва, Л.В. Стоноженко, С.К. Иванов, Е.В. Найдёнова // Лесотехнический журнал. – 2015. – Т. 5. – № 3 (19). – С. 41-54.
4. Коротков, С.А. Устойчивость и динамика еловых и липовых насаждений северо-восточного Подмоскowie / С.А. Коротков, Л.В. Стоноженко, Е.В. Ерасова, С.К. Иванов // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2014. – № 4 (103). – С. 13-21.
5. Лагунов, П.М. Динамика лесов Подмоскowie / П.М. Лагунов, Е.Н. Гусев // Лесное хозяйство. – 1990. – №8. – С. 51-54.
6. Лесной кодекс Российской Федерации с последними изменениями и дополнениями на 2017 год. – М.: Эксмо-Пресс, 2017. – 112 с.
7. Об утверждении Особенности использования, охраны, защиты, воспроизводства лесов, расположенных в водоохранных зонах, лесов, выполняющих функции защиты природных и иных объектов, ценных лесов, а также лесов, расположенных на особо защитных участках лесов: приказ Рослесхоза от 14.12.2010 г. № 485 // Российская газета. – 2011. – №8.
8. Орлов, М.М. Лесостроительство / М.М. Орлов // Элементы лесного хозяйства. – 1927. – Т. 1. – 428 с.
9. Саханов, В.В. Лесопромышленный комплекс центрального региона: состояние, проблемы и перспективы инновационного обновления / В.В. Саханов, С.А. Коротков, А.А. Фитчин // Научное обозрение: теория и практика. – 2016. – № 7. – С.129-140.
10. Седых, В.Н. Генетическая типология Б.П. Колесникова в решении задач антропогенных изменений в развитии лесного покрова / В.Н. Седых // «ГЕО-Сибирь 2010». – Новосибирск, 2010. – С.260-263.
11. Стоноженко, Л.В. К вопросу регулирования лесных отношений в лесах Московской области при организации рекреационного лесопользования / Л.В. Стоноженко, А.К. Деева // Лесной вестник. – 2016. – Т.20. – № 5. – С.85-95.
12. Стоноженко, Л.В. Тенденции естественного возобновления в хвойно-широколиственных лесах (на примере Щелковского учебно-опытного лесхоза, Национальных парков «Лосиный остров» и «Утра») / Л.В. Стоноженко, С.А. Коротков, В.В. Киселева // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2017. – Т. 5. – № 1 (27). – С. 116-119.
13. Korotkov, S.A. Forest-Use Issues in Moscow Region at the Beginning of 21st Century / S.A. Korotkov, V.A. Makuev, M.V. Lopatnikov, V.V. Nikitin, A.V. Sirotoy, L.V. Stonozhenko / Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II – Forestry. Wood Industry. Agricultural Food Engineering. – 2016. – Vol. 9 (58). – № 2. – P. 17-24.

References

1. Golubchikov, S.N. Izmenenie gidroekologicheskikh svoystv landshaftov centra Russkoj ravniny v rezul'tate mnogovekovogo lesopol'zovaniya / S.N. Golubchikov // Aktual'nye problemy ekologii i prirodopol'zovaniya: sb. nauch. tr. – M.: RUDN, 2011. – Vyp. 13. – CH. 2. – S. 45-53.
2. Deeva, A.K. Analiz rekreacionnogo lesopol'zovaniya v Moskovskoj oblasti / A.K. Deeva //
3. Forest complex today, view of young researchers: forest industry and engineering, landscape architecture, wood-working technology, management and economics Proceedings of the International scientific and practical conference. – 2017. – S.110-113.
4. Korotkov, S.A. O napravleniyah lesoobrazovatel'nogo processa v severo-vostochnom Podmoskov'e / S.A. Korotkov, V.V. Kiselyova, L.V. Stonozhenko, S.K. Ivanov, E.V. Najdyonova // Lesotekhnicheskij zhurnal. – 2015. – Т. 5. – № 3 (19). – S. 41-54.
5. Korotkov, S.A. Ustojchivost' i dinamika elovyh i lipovyh nasazhdenij severo-vostochnogo Podmoskov'ya / S.A. Korotkov, L.V. Stonozhenko, E.V. Erasova, S.K. Ivanov // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoj vestnik. – 2014. – № 4 (103). – S. 13-21.
6. Lagunov, P.M. Dinamika lesov Podmoskov'ya / P.M. Lagunov, E.N. Gusev / Lesnoe hozyajstvo. – 1990. – №8. – S. 51-54.
7. Lesnoj kodeks Rossijskoj Federacii s poslednimi izmeneniyami i dopolneniyami na 2017 god. – M.: Eksmo-Press, 2017. – 112 s.
8. Ob utverzhdenii Osobennostej ispol'zovaniya, ohrany, zashchity, vosproizvodstva lesov, raspolozhennyh v vodoohrannyyh zonah, lesov, vypolnyayushchih funkci zashchity prirodnyh i inyh ob"ektov, cennyh lesov, a takzhe lesov, raspolozhennyh na osobo zashchitnyh uchastkah lesov: prikaz Rosleskhoza ot 14.12.2010 g. № 485 // Rossijskaya gazeta. – 2011. – №8.
9. Orlov, M.M. Lesoustroystvo / M.M. Orlov // Elementy lesnogo hozyajstva. – 1927. – Т. 1. – 428 s.
10. Sahanov, V.V. Lesopromyshlennij kompleks central'nogo regiona: sostoyanie, problemy i perspektivy innovacionnogo obnoveniya / V.V. Sahanov, S.A. Korotkov, A.A. Fitchin // Nauchnoe obozrenie: teoriya i praktika. – 2016. – № 7. – S.129-140.

11. Sedyh, V.N. Geneticheskaya tipologiya B.P. Kolesnikova v reshenii zadach antropogennyh izmenenij v razvitii lesnogo pokrova / V.N. Sedyh // «GEO-Sibir' 2010». – Novosibirsk, 2010. – S.260-263.
12. Stonozhenko, L.V. K voprosu regulirovaniya lesnyh otnoshenij v lesah Moskovskoj oblasti pri organizacii rekreacionnogo lesopol'zovaniya / L.V. Stonozhenko, A.K. Deeva // Lesnoj vestnik. – 2016. – T.20. – № 5. – S.85-95.
13. Stonozhenko, L.V. Tendencii estestvennogo vozobnovleniya v hvojno-shirokolistvennyh lesah (na primere SHCHelkovskogo uchebno-opytного leskhoza, Nacional'nyh parkov «Losinyj ostrov» i «Ugra») / L.V. Stonozhenko, S.A. Korotkov, V.V. Kiseleva // Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovanij XXI veka: teoriya i praktika. – 2017. – T. 5. – № 1 (27). – S. 116-119.
14. Korotkov, S.A. Forest-Use Issues in Moscow Region at the Beginning of 21st Century / S.A. Korotkov, V.A. Markuev, M.V. Lopatnikov, V.V. Nikitin, A.V. Sirotov, L.V. Stonozhenko / Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II – Forestry. Wood Industry. Agricultural Food Engineering. – 2016. – Vol. 9 (58). – № 2. – P. 17-24.

УДК 574.36:574.45:630*114.351

ЗАПАСЫ И ПОТОКИ УГЛЕРОДА В ХВОЙНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ И НА ВЫРУБКАХ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ

А.Ф. Осипов, М.А. Кузнецов, К.С. Бобкова

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН

Приводятся результаты исследований запасов и потоков углерода в сосняках, ельниках и вырубках ельников на лесных стационарах в условиях средней тайги. Показано распределение общих запасов углерода по отдельным пулам. Установлено, что в сосновых экосистемах и на вырубках среднетаежных ельников основным пулом углерода является верхний метровой (включая постилку) слой почвы. Фитомасса концентрирует более половины запасов углерода в перестойных ельниках. Основной фракцией фитомассы в насаждениях является древесина ствола. Участие крупных древесных остатков в общем пуле углерода незначительно. Дана оценка интенсивности надземной нетто-продукции углерода. Более высокая скорость фиксации углерода (около $3,2 \text{ тСга}^{-1}$) отмечена в средневозрастном сосняке черничном, менее ($1,4\text{--}1,8 \text{ тСга}^{-1} \text{ год}^{-1}$) в средневозрастных сосняках сфагнового типа. Перестойные ельники аккумулируют $2,4\text{--}2,6 \text{ тСга}^{-1} \text{ год}^{-1}$, а вырубки ельников сходных типов несколько меньше $1,8\text{--}2,2 \text{ тСга}^{-1} \text{ год}^{-1}$. В надземной нетто-продукции сосняков значима роль древесины ствола и растений напочвенного покрова, в ельниках – хвоя, вырубках ельников – напочвенного покрова. Интенсивность поступления опада на поверхность почвы в 1,2–2,5 раза меньше, чем надземная продукция исследованных сообществ. В опаде преобладает активная фракция, которую образуют хвоя, листья деревьев и кустарничков. Участие неактивных фракций (ветви, кора, шишки) 20–25 %. Установлены закономерности эмиссии диоксида углерода в атмосферу. Выявлена тесная взаимосвязь дыхания почвы и ее температуры. По этим данным был рассчитан вынос углерода с потоком CO_2 , который изменяется в широких пределах в зависимости от типа леса и погодных условий в течение вегетационного периода.

Ключевые слова: органический углерод, хвойные экосистемы, вырубки, запасы углерода, нетто-продукция, опад, эмиссия CO_2 .

CARBON STOCKS AND FLUXES IN CONIFEROUS ECOSYSTEMS AND SPRUCE FELLING SITES IN THE MIDDLE TAIGA

A.F. Osipov, M.A. Kuznetsov, K.S. Bobkova

Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences

The paper presents the research findings of carbon stocks and fluxes on coniferous forests and spruce felling sites in forest stations under middle taiga climatic conditions. The paper demonstrates distribution of carbon stocks for selected pools. The upper soil layer (1 meter including for-

est floor) is the main carbon pool in pine stands and on spruce felling sites. Biomass contains over a half of the total carbon stock in overmature spruce stands. Most biomass is concentrated in a stem. The carbon pool of coarse woody debris is insignificant. Aboveground net primary production (ANPP) is estimated. A higher ANPP ($3.2 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$) is observed in the middle-aged pine forest of Myrtillus type, a lower ANPP is observed in the middle-aged pine forest of Sphagnosa type. Overmature spruce forests accumulates $2.4\text{-}2.6 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$, while spruce felling site indicator is a little less ($1.8\text{-}2.2 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$). The role of separate components changes in different ecosystems. Stem and ground vegetation are very important for ANPP in pine forests, needles are important in spruce forests, ground vegetation is important on spruce felling sites. Carbon flux with forest litter is 1.2-2.5 times less, than ANPP. Active fraction formed by needles, leaves and ground vegetation prevail in forest litter. The share of inactive fraction (branches, cones, bark) is 20-25 %. The regularities of carbon dioxide emission into the atmosphere were established. We observed close correlation between CO_2 flux and soil temperature. Using these data, we calculated the release of carbon and CO_2 into atmosphere.

Keywords: organic carbon, coniferous ecosystems, felling site, carbon stocks, net primary production, forest litter, CO_2 emission.

Введение. Бореальные леса, занимая значительные площади, являются крупнейшим резервуаром углерода органического вещества. По оценкам У. Рэн с соавт. (2011), они аккумулируют 22 % его мировых запасов. Определение депонирования диоксида углерода атмосферы и тем самым регулирование изменения климата с помощью лесохозяйственных мероприятий – актуальная задача современного лесоведения (Швиденко, Щепаченко, 2014). По мнению экспертов, именно в бореальной зоне можно ожидать значительных последствий климатических изменений, обусловленных ростом промышленной эмиссии парниковых газов и повышением антропогенной нагрузки (Bradshaw, Warkentin, 2015).

Изменения климата, вызванные накоплением в атмосфере парниковых газов, привели к принятию ряда межправительственных соглашений, последним из которых стало Парижское соглашение (United Nations, 2015). По сообщениям в СМИ, в случае его принятия Российская Федерация планирует снизить выбросы парниковых газов до 70-75% от уровня 1990 г. и в первую очередь за счет максимального учета при оценках бюджета углерода поглощающей способности лесов.

К настоящему времени выполнен ряд оценок бюджета углерода лесного фонда как на уровне страны (Замолотчиков и др., 2013; Schaphoff et al., 2016 и др.), ее крупных экорегионов (Курбанов, 2002), так и отдельных его компонентов (Кудеяров, Курганова, 2005; Щепаченко и др., 2013). Исследователи приводят достаточно близкие сведения по запасам углерода в биомассе и почвах лесного фонда страны. Вместе с тем, сведения о пуле крупных древесных остатков, а также потоках углерода при связывании в нетто-продукции, отмирании и поступлении с растительным опадом, а также выделение в атмосферу с дыханием почвы характеризуются значительной вариацией для территории страны по данным разных авторов.

Решить эту проблему возможно методами дистанционного зондирования, которые все чаще используются для оценок бюджета углерода и фитомассы лесных экосистем (Курбанов и др., 2014; Курбанов, 2016; Fritz et al., 2016; Щепаченко и др., 2017). Они рассматриваются как альтернатива данных учета лесного фонда. Однако эти методы требуют проведения наземных исследований для верификации полученных данных (Воробьев и др., 2016; Елсаков и др., 2016). В связи с этим получение дополнительных экспериментальных данных на уровне пробной площади с точными географическими координатами позволит снизить неопределенности модельных оценок при оценке круговорота парниковых газов на территории страны (Щепаченко и др., 2017).

Еловые и сосновые леса являются доминирующими экосистемами европейского Северо-востока. Хвойные сообщества оказывают мощное воздействие на все природные процессы.

Одной из важнейших экологической функций является регулирование газового состава атмосферы за счет связывания углерода в процессе фотосинтеза, аккумуляции его в живых растениях, их остатках, подстилке, почве и выделения кислорода (Углерод..., 2014).

Промышленная рубка является наиболее значимым антропогенным фактором, ведущим к значительной трансформации цикла углерода лесных экосистем. В результате образуются нарушенные насаждения, которые превращаются в источник углерода по отношению к атмосфере. Сохранившиеся значительные площади спелых и перестойных насаждений в Республике Коми рассматриваются как главный источник развития лесозаготовок. В настоящее время в республике ежегодно заготавливается 5-6 млн м³ древесины, а площадь рубок составляет около 50 тыс. га (Государственный доклад, 2016). Поэтому изучение запасов и потоков углерода (как естественных, так и в нарушенных хозяйственной деятельностью экосистемах) позволит охарактеризовать влияние рубок на цикл углерода и разработать мероприятия по смягчению последствий снижения выноса углерода в атмосферу.

Цель работы – дать характеристику запасам и потокам углерода в среднетаежных хвойных экосистемах и вырубках европейского Северо-Востока России.

Объекты исследования. Исследования были проведены на серии постоянных пробных площадей (ППП), расположенных на территории Чернамского (62°00' с.ш., 50°20' в.д.) и Ляльского (62°17' с.ш., 52°40' в.д.) стационаров Института биологии Коми НЦ УрО РАН в подзоне средней тайги. Объектами послужили старовозрастные ельники разнотравно-черничный, чернично-сфагновый, средневозрастные и спелые сосняки черничные, чернично-сфагновые, а также вырубки ельников черничного и долгомошно-сфагнового.

Методы исследования. Запасы и нетто-продукцию древостоев определяли при помощи 5-10 модельных деревьев. Продукцию стволовой древесины оценивали по ее текущему приросту на модельных деревьях при помощи прибора LINTAB 5. Прирост коры принимали равным ее опад. Были выведены регрессионные уравнения зависимости массы и прироста отдельных фракций от диаметра ствола на высоте 1.3 (Бобкова, Лиханова, 2012; Бобкова и др., 2014; Осипов, Бобкова, 2016). Массу растений напочвенного покрова определяли методом укосов на площади 50×50 см в 10-кратной повторности (Методы изучения..., 2002), а их продукцию, отделяя побеги растений текущего года у 30-50 модельных особей.

Сбор древесного опада осуществляли с помощью опадоуловителей размером 50×50 см в 15-20-кратной повторности вдоль границ ППП. Содержание углерода отдельных фракций фитомассы и опада рассчитывали согласно данным К.С. Бобковой, В. В. Тужилкиной (2001). Описание почвы и отбор образцов для анализа проводили общепринятыми методами (Розанов, 2004). Расчет запасов углерода в почвах (C_{org}) осуществляли по данным объемного веса, содержания углерода и мощности почвенных горизонтов (Смагин и др., 2001). Подстилку отбирали металлическим шаблоном площадью 98 см² в 25-кратной повторности.

При измерении эмиссии CO₂ с поверхности почвы использовали инфракрасный газоанализатор LI-COR 8100 (LI-COR Biosciences, США) с почвенной камерой 20 см и Infralit 4. Методика измерения описана нами ранее (Osipov, 2016). Расчет потоков CO₂ выполняли по уравнению Вант-Гоффа (Davidson et al., 2006) и данным среднесуточной температуры почвы на глубине 10 см, непрерывно измеренных регистраторами НОВО (США). Содержание углерода в растениях, подстилке и почве определяли методом газовой хроматографии на анализаторе элементном EA 1110 (CHNS-O) (фирма CE Instruments, Италия) в экоаналитической лаборатории Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Реализация статистического анализа и построение регрессионных уравнений выполнены в среде Microsoft Excell и STATISTICA при заданном уровне достоверности 95%.

Результаты исследования и их обсуждение. *Запас углерода в фитомассе.* Определена фитомасса древостоев сосняков на разных стадиях их развития. В 45-летнем возрасте сосновые фитоценозы накапливают 43.0 тСга^{-1} , в 60-летних – от 52.3 до 58.6 тСга^{-1} , а спелые в 118-летнем насаждении – от 60.5 до 69.3 тСга^{-1} . В сосновых экосистемах запасы углерода по фракциям являются достаточно стабильной величиной. Более половины (54-63%) от общих запасов углерода аккумулируется в стволовой древесине. На долю хвой приходится 3-4%, коры – 6-7%, ветвей – 3-7%, корней – 17-24 %. Участие растений напочвенного покрова в 60-летних сосняках невелико и составляет 6-11% от общих запасов.

Запас углерода в фитомассе древостоев еловых сообществ составил $87.4\text{--}91.7 \text{ тСга}^{-1}$, из них на долю стволовой древесины приходится 53-58%, корней древесных растений 20-23%. Участие коры ствола, ветвей и хвой примерно одинаково и составляет по 7-8% на каждую фракцию. Исследуемые ельники характеризуются небольшой массой растений напочвенного покрова (1.8-2.3% от общих запасов фитомассы).

После сплошнолесосечной рубки количество растущих деревьев, оставленных в недорубе и семенниках, составляет 400 экз. га^{-1} в ельнике черничном и 588 экз. га^{-1} в долгомошно-сфагновом, в которых концентрируется $14.2\text{--}15.5 \text{ тСга}^{-1}$. Участие растений напочвенного покрова составляет 14-18% от общих запасов углерода фитомассы, которые на вырубках ельников равны $25\text{--}33 \text{ тСга}^{-1}$.

Крупные древесные остатки. Крупные древесные остатки (КДО), представленные сухостойными деревьями, валежом и пнями, являются важным компонентом лесных экосистем (Курбанов, Воробьев, 2008; Russel et al., 2015). В данном пуле сосняков густота сухостойных деревьев варьирует от 27 до 100 экз. га^{-1} . В КДО сосняков аккумулировано $0.1\text{--}4.9 \text{ тСга}^{-1}$. Такой разброс оценок связан со стадией развития древостоев. Более высокие значения данного показателя отмечены в спелом сосняке черничном, менее – в средневозрастном сосняке чернично-сфагновом. В старовозрастных еловых сообществах концентрация углерода в КДО составляет $9.8\text{--}11.2 \text{ тСга}^{-1}$. На вырубках пул крупных древесных остатков представлен сухостойными деревьями, а также порубочными остатками вершин и обломков деревьев. Сухостойные деревья (30 экз. га^{-1}) вырубки ельника черничного влажного образуют массу 0.1 тСга^{-1} , а в порубочных остатках вершин и обломков деревьев концентрируется 5.08 тСга^{-1} . В ельнике долгомошно-сфагновом сухостойные деревья 212 экз. га^{-1} аккумулируют 2.05 тСга^{-1} . Запасы порубочных остатков древесных растений на вырубке данного ценоза составляют 6.76 тСга^{-1} .

Запас органического углерода в почве. Почвы бореальных лесов служат одним из главных и долговременных резервуаров углерода. Основным его источником в почвенном профиле бореальных лесов являются гумус почвы и лесная подстилка. Учет содержания углерода в подстилке бореальных лесов крайне важен при оценке углерод-депонирующей роли почв Севера. Известно, что мощность, состав и запасы подстилки определяются главным образом условиями произрастания фитоценоза, в частности, типом леса, составом и бонитетом древостоя. Режим увлажнения почвы является решающим фактором, обуславливающим интенсивность и направленность процессов минерализации и накопления лесной подстилки (Карпачевский, 2005). В исследуемых хвойных экосистемах в лесной подстилке аккумулируется $25\text{--}33 \text{ тСга}^{-1}$. Наиболее высокие запасы углерода подстилки отмечены в 118-летнем чернично-сфагновом сосняке и ельнике чернично-разнотравном.

Показана значительная вариация запасов органического углерода в метровом профиле почв, развитых под хвойными насаждениями средней тайги. Так, в почве спелого сосняка чернично-сфагнового сосредоточено 66.4 тСга^{-1} , тогда как в средневозрастных сосняках этого же типа – 112.6 и 117.0 тСга^{-1} соответственно. Существенная разница обусловлена механическим составом почвенного профиля, который в спелом сосняке сложен песками. В 45- и

60-летнем сосняках песками сложен верхний 50-сантиметровый слой, который затем подстилается суглинками. В результате на границе песков и суглинков отмечается накопление $C_{орг}$. Кроме того, значительная вариация в содержании углерода почвы в сосновых насаждениях, видимо, объясняется происхождением фитоценозов. В почвах средневозрастных древостоев послепожарного происхождения отмечается более высокое содержание органического углерода за счет накопления его в результате деструкции погибших от воздействия огня древесных растений. Запасы углерода еловых сообществ развитых как на автоморфных, так и на полугидроморфных почвах варьируют незначительно: от 63 в 180-летнем ельнике чернично-сфагновом до 85 $tCга^{-1}$ в 180-летнем ельнике разнотравном черничном.

Нетто-продукция углерода фитомассы. Нетто-продукция углерода представляет собой фотосинтетический связанный и закрепленный за текущий период вегетации в составе органического вещества углерод. Продукция органической массы фитоценозов сосняков чернично-сфагновых разного возраста составляет 1.2-2.1 $tCга^{-1} год^{-1}$, из которых 71-81 % формируют древостои. В сосняках черничного типа продукция углерода более высокая и составляет 2.1-3.2 $tCга^{-1} год^{-1}$.

В старовозрастных ельниках годовичное депонирование углерода составляет 2.4-2.6 $tCга^{-1}$, из них 87-91% приходится на древостой, 9-13% – на растения мохового и травяно-кустарничкового ярусов. В нетто-продукции органического вещества на вырубках ельников ежегодно связывается 1.8-2.2 $tCга^{-1}$. В структурном составе прироста фитомассы преобладают растения напочвенного покрова (75-79 %), древесные растения занимают 21-25 %.

Опад. Поступление углерода на поверхность подстилки является важнейшим звеном в биологическом круговороте веществ между фитоценозом и почвой (Portillo-Estrada et al., 2013). С растительным опадом на поверхность почвы ельников поступает 1.2-2.0, сосняков – 0.9-1.3 $tCга^{-1}$. Основную часть его формирует древесный опад, доля которого составляет 58-86 %. Следует отметить, что в ельниках и сосняках сходных типов выявлены одинаковые тенденции во вкладе отдельных компонентов фитоценоза в общую массу опада. Так, в сосняке и ельнике черничного типа участие древесных растений составляет 82-86 %, а в более увлажненных хвойных насаждениях чернично-сфагнового типа – 58-67 %.

На вырубках ельников интенсивность возврата углерода органического вещества с растительным опадом в 1.3-1.9 раза ниже по сравнению с ненарушенными сообществами и составляет около 1.0 $tCга^{-1}$. В связи с рубкой древостоя и улучшением условий освещенности большую часть (82-83 %) формируют растения напочвенного покрова.

Эмиссия CO_2 . Поступающий лесной опад подвергается биологической трансформации различными группами почвенных беспозвоночных, грибов и микроорганизмов. При этом одна часть закрепляется в гумусе и подстилке, а другая выделяется в виде CO_2 в атмосферу.

Установлено, что выделение диоксида углерода с поверхности почв старовозрастных ельников средней тайги Республики Коми составляет 2.3-2.7 $tCга^{-1}$ в течение вегетационного периода, а из почвы вырубок ельников около 3.0 $tCга^{-1}$. Небольшой (0.7-1.0 $tCга^{-1}$) интенсивностью эмиссии CO_2 в течение вегетационных периодов характеризовалась торфянисто-подзолисто-глееватая иллювиально-железистая почва спелого сосняка черничного, тогда как в спелом сосняке черничном эта величина составила 2.83-3.24 $tCга^{-1}$. Большой разброс оценок дыхания почвы связан с особенностями лесорастительных условий и характеристиками насаждений. Более низкая эмиссия CO_2 отмечается в заболоченных сосняке и ельнике, в которых разложение растительных остатков заторможено.

Заключение

На севере таежной зоны значительную роль в накоплении углерода лесных экосистем выполняет верхний метровый (включая подстилку) слой почвы. Фитомасса и КДО являются

достаточно динамичными пулами, роль которых в общих запасах углерода изменяется по мере развития древесного яруса. Исследованные хвойные и производные насаждения характеризуются невысокой ($1.2-3.2 \text{ тСга}^{-1}\text{год}^{-1}$) продуктивностью. Однако нетто-продукция фитоценозов превышает ежегодное отмирание и поступление органического вещества на поверхность почвы с опадом в 1.4-2.3 раза. Недостаток тепла и избыточное увлажнение обуславливают низкую скорость деструкции растительных остатков, накапливающихся на поверхности почвы в виде лесной подстилки, мощность которой обусловлена условиями увлажнения почвы. Поток CO_2 с поверхности почвы в атмосферу варьирует в широких пределах и зависит от условий произрастания насаждений.

Работа выполнена при поддержке грантов Президента Российской Федерации МК-6670.2016.5 и Комплексной программы УрО РАН 15-12-4-39.

Библиографический список

1. Бобкова, К.С. Содержание углерода и калорийность органического вещества в лесных экосистемах Севера / К.С. Бобкова, В.В. Тужилкина // Экология. – 2001. – № 1. – С. 69-71.
2. Бобкова, К.С. Динамика содержания углерода органического вещества в среднетаежных ельниках на автоморфных почвах / К.С. Бобкова, А.В. Машика, А.В. Смагин. – СПб.: Наука, 2014. – 270 с.
3. Бобкова, К.С. Вынос углерода и элементов минерального питания при сплошнолесосечных рубках ельников средней тайги / К.С. Бобкова, Н.В. Лиханова // Лесоведение. – 2012. – №5. – С. 44-54.
4. Воробьев, О.Н. Оценка динамики и нарушенности лесного покрова в Среднем Поволжье по снимкам Landsat / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, Ю.А. Полевщикова, С.А. Лежнин // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2016. – № 4 (13). – С. 124-134.
5. Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Республики Коми в 2015 году» / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми, ГБУ РК «ТФИ РК». – Сыктывкар, 2016. – 173 с.
6. Елсаков, В.В. Изменения предгорных лесов бассейна р. Щугор по материалам спутниковой съемки периода 1986-2016 гг. / В.В. Елсаков, В.М. Щанов, В.С. Бирюкова, Е.Е. Кулюгина, Ю.А. Дубровский // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг: сборник научных статей. – Йошкар-Ола, 2016. – С. 51-567.
7. Замолодчиков, Д. Г., Влияние пожаров и заготовок древесины на углеродный баланс лесов России / Д.Г. Замолодчиков, В.И. Грабовский, П.П. Шуляк, О.В. Честных // Лесоведение. – 2013. – № 5. – С. 36-49.
8. Карпачевский, Л.О. Экологическое почвоведение / Л.О. Карпачевский. – М., 2005. – 336 с.
9. Кудяров, В.Н. Дыхание почв России: анализ базы данных, многолетний мониторинг, моделирование, общие оценки / В.Н. Кудяров, И.Н. Курганова // Почвоведение. – 2005. – № 9. – С. 1112-1121.
10. Курбанов Э.А. Бюджет углерода сосновых экосистем Волго-Вятского района / Э.А. Курбанов. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. – 300 с.
11. Курбанов, Э.А. Пространственное распределение крупного древесного детрита в сосняках Марийского Заволжья / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев // Экология. – 2008. – №2. – С. 103-109.
12. Курбанов, Э.А. Четыре десятилетия исследований лесов по снимкам Landsat / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова, Е.Н. Демишева // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 1(21). – С. 18-32.
13. Курбанов, Э.А. Два десятилетия исследований растительного покрова по MODIS / Э.А. Курбанов // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016. – С. 123-132.
14. Лесотаксационный справочник для Северо-Востока европейской части СССР / Г.С. Войнов. – Архангельск, 1986. – 357 с.
15. Методы изучения лесных сообществ / отв. ред. Ярмишко В.Т., Лянгузова И.В. – СПб., 2002. – 240 с.
16. Осипов, А.Ф. Биологическая продуктивность и фиксация углерода среднетаежными сосняками при переходе из средневозрастных в спелые / А.Ф. Осипов, К.С. Бобкова // Лесоведение. – 2016. – № 5. – С. 346-354.
17. Розанов, Б.Г. Морфология почв: учебник для высшей школы / Б.Г. Розанов. – М., 2004. – 432 с.
18. Смагин, А.В. Моделирование динамики органического вещества почв / А.В. Смагин, Н.Б. Садовникова, М.В. Смагина, М.В. Глаголев и др. – М., 2001. – 120 с.
19. Углерод в лесных и болотных экосистемах особо охраняемых природных территорий Республики Коми / отв. ред. Бобкова К.С., Загирова С.В. – Сыктывкар, 2014. – 202 с.
20. Швиденко, А.З. Углеродный бюджет лесов России / А.З. Швиденко, Д. Г. Щепашенко // Сибирский лесной журнал. – 2014. – № 1. – С. 69-92.
21. Щепашенко, Д.Г. Изучение фитомассы лесов: текущее состояние и перспективы / Д.Г. Щепашенко, А.З. Швиденко, К. Пергер, К. Дресел, Ш. Фриц, П. И. Лакида и др. // Сибирский лесной журнал. – 2017. – № 4. – С. 3-11.
22. Bradshaw, C.J.A. Global estimates of boreal forest carbon stocks and flux / C.J.A. Bradshaw, I.G. Warkentin // Global and Planetary Change. – 2015. – Vol. 128. – P. 24-30.

23. Davidson, E.A. On the variability of respiration in terrestrial ecosystems: moving beyond Q10 / E.A. Davidson, I.A. Janssens, Y. Luo // *Global Change Biology*. – 2006. – Vol.12. – P. 154-164.
24. Fritz, S. Carbon tracking: Limit uncertainties in land emissions/ S. Fritz, D. Schepaschenko, L.M. See // *Nature*. – 2016. – V. 534(7609). – P. 621-621.
25. Osipov, A.F. Carbon emission from the soil surface in a mature blueberry pine forest of the middle taiga (Kерpublic of Komi) / A.F. Osipov // *Eurasian Soil Science*. – 2016. – T. 49. – № 8. – С. 926-933.
26. Pan, Y. A large and persistent carbon sink in the world's forests / Y. Pan, R.A. Birdsey, J. Fang, R. Houghton, P.E. Kauppi, W.A. Kurz et al. // *Science*. – 2011. – Vol. 333. – P. 988-993.
27. Portillo-Estrada, M. Inter- and intra-annual variations in canopy fine litterfall and carbon and nitrogen inputs to the forest floor in two European coniferous forests / M. Portillo-Estrada, J. F. J. Korhonen, M. Pihlatie, J. Pumpanen, A. K. F. Frumau, L. Morillas, T. Tosens, Ü.Niinemets // *Annals Forest Science*. – 2013. – Vol. 70. – P. 367-379.
28. Russell, M.B. Quantifying carbon stores and decomposition in dead wood: A review / M.B. Russell, S. Praver, T. Aakala, J.H. Gove, C.W. Woodall, A.W. D'Amato, M.J. Ducey // *Forest Ecology and Management*. – 2015. – Vol.350. – P. 107-128.
29. Scharapoff, S. Review: Observed and projected climate change impacts on Russia's forests and its carbon balance / Schaphoff S., Reyer C. P.O., Schepaschenko D., Gerten D., Shvidenko A. Tamm // *Forest Ecology and Management*. – 2016. – Vol. 361. – P. 432-444.
30. Schepaschenko, D.G. The pool of organic carbon in the soils of Russia / D.G. Schepaschenko, A.Z. Shvidenko, L.V. Mukhortova, E.F. Vedrova // *Eurasian Soil Science*. – T. 46. – № 2. – P. 107-116.
31. United Nations, United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), Conference of the parties, Report of the conference of the parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November to 13 December 2015. Available at: (<http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/10a01.pdf>).

References

1. Bobkova, K.S. Soderzhanie ugleroda i kalorijnost' organicheskogo veshchestva v lesnyh ekosistemah Severa / K.S. Bobkova, V.V. Tuzhilkina // *Ekologiya*. – 2001. – № 1. – S. 69-71.
2. Bobkova, K.S. Dinamika soderzhaniya ugleroda organicheskogo veshchestva v srednetaezhnyh el'nikah na avtomorfnyh pochvah / K.S. Bobkova, A.V. Mashika, A.V. Smagin. – SPb.: Nauka, 2014. – 270 s.
3. Bobkova, K.S. Vynos ugleroda i elementov mineral'nogo pitaniya pri sploshnolesosechnykh rubkakh el'nikov srednej tajgi / K.S. Bobkova, N.V. Lihanova // *Lesovedenie*. – 2012. – №5. – S. 44-54.
4. Vorobiev, O.N. Ocenka dinamiki i narushennosti lesnogo pokrova v Srednem Povolzh'e po snimkam Landsat / O.N. Vorobiev, E.A. Kurbanov, Yu.A. Polevshchikova, S.A. Lezhnin // *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. – 2016. – № 4 (13). – S. 124-134.
5. Gosudarstvennyj doklad «O sostoyanii okruzhayushchej sredy Respubliki Komi v 2015 godu» / Ministerstvo prirodnyh resursov i ohrany okruzhayushchej sredy Respubliki Komi, GBU RK «TFI RK». – Syktyvkar, 2016. – 173 s.
6. Elsakov, V.V. Izmeneniya predgornykh lesov bassejna r. SHCHugor po materialam sputnikovoj s"emki perioda 1986-2016 gg. / V.V. Elsakov, V.M. SHCHANov, V.S. Biryukova, E.E. Kulyugina, YU.A. Dubrovskij // *Lesnye ekosistemy v usloviyah izmeneniya klimata: biologicheskaya produktivnost' i distancionnyj monitoring: sbornik nauchnykh statej*. – Joshkar-Ola, 2016. – S. 51-567.
7. Zamolodchikov, D. G., Vliyanie pozharov i zagotovok drevesiny na uglerodnyj balans lesov Rossii / D.G. Zamolodchikov, V.I. Grabovskij, P.P. SHulyak, O.V. CHestnyh // *Lesovedenie*. – 2013. – № 5. – S. 36-49.
8. Karpachevskij, L.O. Ekologicheskoe pochvovedenie / L.O. Karpachevskij. – M., 2005. – 336 s.
9. Kudеyarov, V.N. Dyhanie pochv Rossii: analiz bazy dannyh, mnogoletnij monitoring, modelirovanie, obshchie ocenki / V.N. Kudеyarov, I.N. Kurganova // *Pochvovedenie*. – 2005. – № 9. – S. 1112-1121.
10. Kurbanov E.A. Byudzhет ugleroda osnovnyh ekosistem Volgo-Vyatskogo rajona / E.A. Kurbanov. – Joshkar-Ola: MarGTU, 2002. – 300 s.
11. Kurbanov, E.A. Prostranstvennoe raspredelenie krupnogo drevesnogo detrita v sosnyakah Marijskogo Zavolzh'ya / E.A. Kurbanov, O.N. Vorobiev // *Ekologiya*. – 2008. – №2. – S. 103-109.
12. Kurbanov, E.A. CHetyre desyatiletija issledovanij lesov po snimkam Landsat / E.A. Kurbanov, O.N. Vorobiev, A.V. Gubaev, S.A. Lezhnin, YU.A. Polevshchikova, E.N. Demisheva // *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie*. – 2014. – № 1(21). – S. 18-32.
13. Kurbanov, E.A. Dva desyatiletija issledovanij rastitel'nogo pokrova po MODIS / E.A. Kurbanov // *Lesnye ekosistemy v usloviyah izmeneniya klimata: biologicheskaya produktivnost' i distancionnyj monitoring*. – Joshkar-Ola: PGTU, 2016. – S. 123-132.
14. Lesotaksacionnyj spravочnik dlya Severo-Vostoka evropejskoj chasti SSSR / G.S. Vojnov. – Arhangel'sk, 1986. – 357 s.
15. Metody izucheniya lesnyh soobshchestv / otv. red. YArmishko V.T., Lyanguzova I.V. – SPb., 2002. – 240 s.
16. Osipov, A.F. Biologicheskaya produktivnost' i fiksaciya ugleroda srednetaezhnyimi sosnyakami pri perekhode iz srednevoznostnyh v spelye / A.F. Osipov, K.S. Bobkova // *Lesovedenie*. – 2016. – № 5. – S. 346-354.
17. Rozanov, B.G. Morfologiya pochv: uchebnyk dlya vysshej shkoly / B.G. Rozanov. – M., 2004. – 432 s.
18. Smagin, A.V. Modelirovanie dinamiki organicheskogo veshchestva pochv / A.V. Smagin, N.B. Sadovnikova, M.V. Smagina, M.V. Glagolev i dr. – M., 2001. – 120 s.
19. Uglerod v lesnyh i bolotnyh ekosistemah osobo ohranyaemyh prirodnyh territorij Respubliki Komi / otv. red. Bobkova K.S., Zagirova S.V. – Syktyvkar, 2014. – 202 s.

20. SHvidenko, A.Z. Uglerodnyj byudzhel lesov Rossii / A.Z. SHvidenko, D. G. SHCHepashchenko // Sibirskij lesnoj zhurnal. – 2014. – № 1. – S. 69-92.
21. SHCHepashchenko, D.G. Izuchenie fitomassy lesov: tekushchee sostoyanie i perspektivy / D.G. SHCHepashchenko, A.Z. SHvidenko, K. Perger, K. Dresel, SH. Fric, P. I. Lakida i dr. // Sibirskij lesnoj zhurnal. – 2017. – № 4. – S. 3–11.
22. Bradshaw, C.J.A. Global estimates of boreal forest carbon stocks and flux / C.J.A. Bradshaw, I.G. Warkentin // Global and Planetary Change. – 2015. – Vol. 128. – R. 24-30.
23. Davidson, E.A. On the variability of respiration in terrestrial ecosystems: moving beyond Q10 / E.A. Davidson, I.A. Janssens, Y. Luo // Global Change Biology. – 2006. – Vol.12. – P. 154-164.
24. Fritz, S. Carbon tracking: Limit uncertainties in land emissions/ S. Fritz, D. Schepaschenko, L.M. See // Nature. – 2016. – V. 534(7609). – P. 621-621.
25. Osipov, A.F. Carbon emission from the soil surface in a mature blueberry pine forest of the middle taiga (Kерpublic of Komi) / A.F. Osipov // Eurasian Soil Science. – 2016. – T. 49. – № 8. – S. 926-933.
26. Pan, Y. A large and persistent carbon sink in the world's forests / Y. Pan, R.A. Birdsey, J. Fang, R. Houghton, P.E. Kauppi, W.A. Kurz et al. // Science. – 2011. – Vol. 333. – P. 988-993.
27. Portillo-Estrada, M. Inter- and intra-annual variations in canopy fine litterfall and carbon and nitrogen inputs to the forest floor in two European coniferous forests / M. Portillo-Estrada, J. F. J. Korhonen, M. Pihlatie, J. Pumpanen, A. K. F. Frumau, L. Morillas, T. Tosens, Ü.Niinemets // Annals Forest Science. – 2013. – Vol. 70. – P. 367-379.
28. Russell, M.B. Quantifying carbon stores and decomposition in dead wood: A review / M.B. Russell, S. Fraver, T. Aakala, J.H. Gove, C.W. Woodall, A.W. D'Amato, M.J. Ducey // Forest Ecology and Management. – 2015. – Vol.350. – P. 107-128.
29. Scharapoff, S. Review: Observed and projected climate change impacts on Russia's forests and its carbon balance / Schapoff S., Reyer C. P.O., Schepaschenko D., Gerten D., Shvidenko A. Tamm // Forest Ecology and Management. – 2016. – Vol. 361. – P. 432-444.
30. Schepaschenko, D.G. The pool of organic carbon in the soils of Russia / D.G. Schepaschenko, A.Z. Shvidenko, L.V. Mukhortova, E.F. Vedrova // Eurasian Soil Science. – T. 46. – № 2. – P. 107-116.
31. United Nations, United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), Conference of the parties, Report of the conference of the parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November to 13 December 2015. Available at: (<http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/10a01.pdf>).

УДК 528.88

ДИНАМИКА ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДУБРАВ ВСЛЕДСТВИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ИХ НАРУШЕННОСТИ И ВОЗРАСТА

Э.А. Терехин

Белгородский государственный национальный исследовательский университет

В статье представлены результаты анализа изменений в спектрально-отражательных характеристиках лесных массивов, типичных для Белгородской области и условий юга лесостепи, обусловленные изменением нарушенности древостоя вследствие сплошных лесосечных рубок. На основе разновременных многозональных спутниковых снимков Landsat изучена динамика спектрально-отражательных признаков для лесных насаждений с разной степенью нарушенности древостоя. Изменения в возрасте, высоте и других параметрах лесных насаждений обуславливают динамику их коэффициентов спектральной яркости, рассчитанных на основе спутниковых данных. На примере дубрав исследована динамика коэффициентов отражения в средней инфракрасной спектральной области, обусловленная повышением среднего возраста лесных насаждений. Установлено, что уменьшение нарушенности лесных массивов вследствие влияния сплошных лесосечных рубок привело к снижению среднего и максимального значений коэффициентов отражения в инфракрасной зоне, рассчитанных на основе снимков Landsat TM. Снижение максимальной величины коэффициента отражения наблюдалось практически постоянно с середины 1990-х гг. За это же время доля лесных насаждений возрастом до 20 лет снизилась в 4,6 раза. При этом значительно выросла площадь средневозрастных и приспевающих лесных массивов. Минимальные выборочные значения коэффициентов отражения выросли вследствие увеличения площади более старовозрастных насаждений. За период в 25 лет произошло снижение среднего возраста лесных насаждений. За это же время коэффициент вариации спектрального показателя снизился с 12,1 % до 7,5 %. Со снижением нарушенности лесных массивов статистическое распределение коэффициентов спектральной яркости становится более близким к нормальному.

Ключевые слова: лесные экосистемы, дубравы, возраст лесных насаждений, спутниковые снимки, Landsat, нарушенность древостоя, сплошнолесосечные рубки.

DYNAMICS OF SPECTRAL REFLECTIVE PARAMETERS IN OAK FOREST CAUSED BY DISTURBANCES AND AGE CHANGES

E.A. Terekhin

Belgorod State National Research University

The paper presents the results of analysis of changes occurring in spectral-reflectance characteristics of forest stands typical for the Belgorod region and southern forest-steppe, and emerging as a result of stand disturbances caused by clear cuts. The dynamic spectral reflectance properties of forest stands featuring a different degree of disturbance was studied using Landsat multi-temporal multispectral satellite images. Changes in age, height and other parameters of a forest stand determine the dynamics of their surface reflectance, calculated on the basis of remote sensing data. In the context of oak forest the author carried out research into dynamics of surface reflectance in the infrared band determined by the increasing of forest stand age. It has been revealed that the decreasing forest stands disturbance emerging as a result of clear felling caused a decrease in both mean and maximal values of surface reflectance calculated using Landsat TM data. A decrease in the maximum forest reflectance value has been continuously observed since the mid-1990s. The share of forest stands under the age of 20 decreased by 4.6 times over the same period. During this time, the area of both the middle-aged forest stand and the mature forest increased significantly. Reduction of young forest area caused an increase of minimal surface reflectance values of forest stands. The average age of a forest stand has significantly decreased for the past 25 years. Over the same period of time, the coefficient of variation of the surface reflectance decreased from 12.1% to 7.5%. The reduction of forest ecosystems disturbance resulted in statistical distribution of spectral brightness, thus approaching the standard value.

Key words: forest ecosystems, oak forest, age of a forest stand, satellite images, disturbance of forest ecosystems, clear felling.

Введение. Использование данных дистанционного зондирования к настоящему времени является ключевым компонентом при оценке состояния лесных экосистем. Материалы спутниковой съемки благодаря периодичности, многозональному режиму и одновременному охвату значительных территорий позволяют решать ряд задач, связанных с изучением пространственно-временных изменений в структуре лесопокрытых земель и оценкой параметров лесных насаждений.

Основной теоретической предпосылкой использования аэрокосмических данных для исследования состояния лесов является влияние параметров лесных насаждений на их спектральный отклик (Hall, 2006; Lutz, 2008; Марущак, 2010; Тюкавина, 2014). Вследствие этого по данным дистанционного зондирования Земли появляется возможность изучения биофизических характеристик древостоя, лесообразовательного процесса и нарушенности лесных экосистем (DeVries, 2015; Frantz, 2016).

Оценка нарушенности лесных массивов вследствие влияния различных факторов, например, сплошных лесосечных рубок или пожаров, в значительной степени может отражать текущее состояние лесных насаждений. Информация о ней необходима для эффективного управления лесными ресурсами и принятия решений при лесопользовании. В свою очередь, изучение нарушенности лесных сообществ может быть выполнено на основе разновременных спутниковых данных при их соответствующей обработке (Trigg, 2006; Baumann, 2014, Курбанов, 2015), к которой, в частности, относятся радиометрическая и геометрическая коррекция снимков, тематический анализ.

Изучение нарушенности представляет интерес как для интенсивно эксплуатирующихся лесных массивов, так и для лесов, в которых значительное воздействие нарушающих факторов прекратилось с определенного времени. Во втором случае ее анализ может дать представление об особенностях восстановления лесных экосистем на местах бывших рубок главного пользования.

Леса лесостепной зоны, расположенные в пределах Среднерусской возвышенности, включая ее южную часть, претерпели существенные изменения в процессе освоения региона. За время хозяйственного освоения Белгородской области, площади покрытых лесом земель сократились в несколько раз (Чендев, 2004). При этом в настоящее время на территории области наблюдаются процессы увеличения лесистости (Chendev, 2016), обусловленные в значительной степени естественными факторами.

Среди лесных массивов получили наиболее широкое распространение нагорные дубравы с доминированием дуба черешчатого и ясеня в верхних ярусах. Намного меньшие площади занимают хвойные (сосновые) леса (Терехин, 2016), имеющие преимущественно искусственное происхождение.

Другой особенностью лесопокрытых земель является высокая степень их фрагментированности, обусловленная естественными и антропогенными причинами. К естественным причинам относится наличие разветвленной овражно-балочной сети, условия в верховьях которой в настоящее время способствуют появлению лесных насаждений. По территории области леса значительной частью представлены небольшими урочищами, расположенными по балкам и оврагам. Наиболее крупные лесные массивы располагаются на водоразделах и правых берегах рек. Леса, имея важное водоохранное и защитное значение, являются ключевым элементом экологического каркаса региона.

До начала 1990-х гг. в лесных массивах региона проводились рубки главного пользования, но с 1991 года промышленных лесозаготовок в лесах не ведется, а осуществляются только рубки промежуточного пользования. С этого времени должно отмечаться снижение нарушенности лесных экосистем вследствие влияния фактора рубок, а кроме того, должно наблюдаться повышение среднего возраста лесных насаждений, обусловленное формированием лесных массивов на местах проводившихся ранее сплошных лесосечных рубок. Анализ разновременных космических снимков может дать возможность количественно оценить изменения в нарушенности лесных насаждений. При этом необходима оценка влияния фактора изменения нарушенности на соответствующую ей динамику спектрально-отражательных признаков, которыми могут выступить коэффициенты спектральной яркости, вычисляемые на основе космических снимков. Статистический анализ выборки разнорушенных лесных массивов и соответствующих им значений спектральных характеристик может дать возможность применения динамики яркостных признаков для изучения изменений в нарушенности лесных экосистем, выявления ареалов более или менее нарушенных лесных массивов.

Цель исследования заключалась в анализе изменений спектрально-отражательных свойств лесных массивов, типичных для территории юга лесостепи Русской равнины, вследствие изменения нарушенности их верхних ярусов.

Материалы, объект и методы исследования. В работе было выдвинуто предположение о том, что динамика спектрально-отражательных характеристик лесов и их статистических параметров может быть использована для количественной оценки нарушенности верхнего яруса лесных экосистем. В ряде исследований показано, что возрастная структура ненарушенного или малонарушенного лесного массива должна характеризоваться распределением, близким к нормальному (Шевелев, 2008; Красиков, 2009). Соответственно нами было вы-

сказано предположение, что степень нормальности распределения спектрально-отражательных характеристик, например, коэффициентов спектральной яркости (КСЯ) может быть применена для анализа нарушенности древостоя. Повышение отклонения от нормальности должно быть следствием роста нарушенности лесных экосистем. В то же время подобное исследование требовало анализа репрезентативной выборки таксационно-биометрических параметров и соответствующих им спектрально-яркостных признаков лесных сообществ.

Исследование было выполнено на примере лесного массива «Мелкий Лес», представляющего собой нагорную дубраву, расположенную в юго-западной части Белгородской области на правом берегу реки Ворсклы (рис. 1).

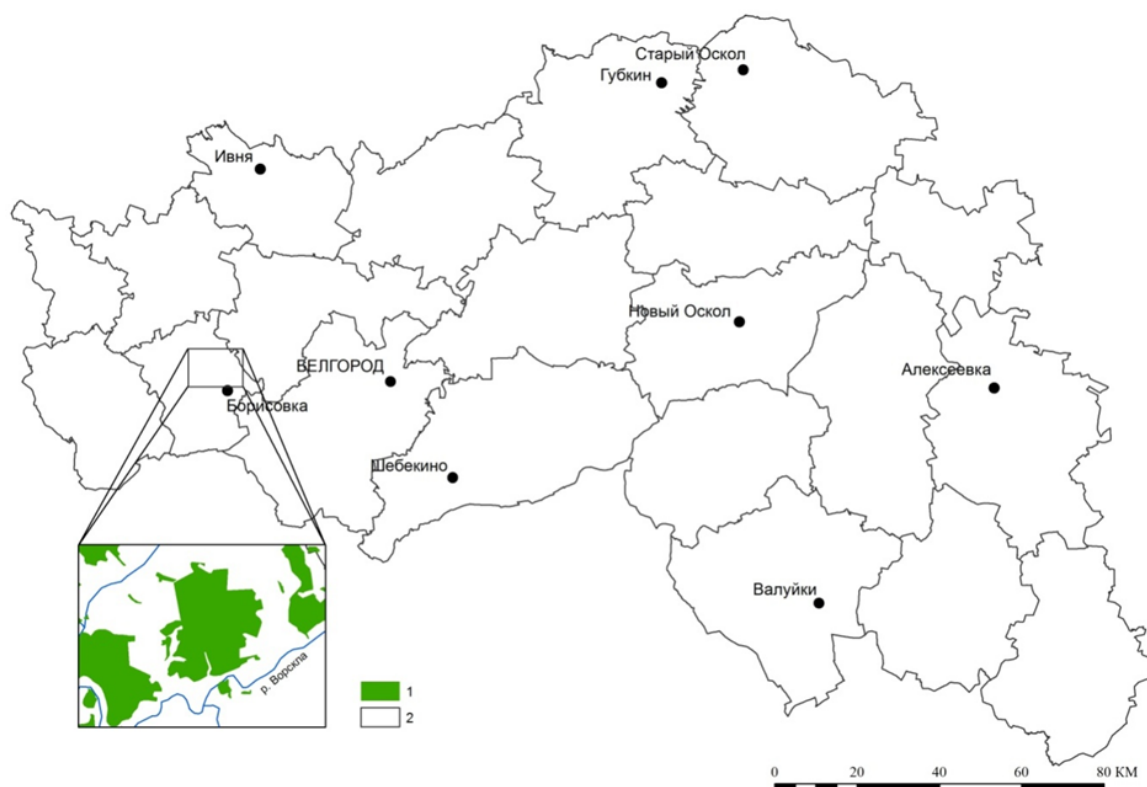


**Рис. 1. Местоположение объекта исследования на территории Белгородской области:
1 – лесопокрытые земли, 2 – границы административных районов**

Общая площадь лесного массива – 1741 га, а основу древостоя и верхних ярусов составляют дуб и ясень. Лесной массив включал 444 таксационных выдела. Объект исследования был выбран таким образом, чтобы наглядно отображать характеристики лиственных лесов Белгородской области, включая их породный состав, особенности использования в прошлом и настоящем.

На первом этапе были получены и проанализированы данные лесоустройства по состоянию на середину 1990-х годов. Они прошли геоинформационную обработку в программе ArcGIS, включающую подготовку векторного слоя лесотаксационных выделов и заполнение его атрибутивной таблицы таксационной информацией. Для каждого выдела была рассчитана площадь, указаны данные о породном составе, возрасте, высоте, диаметре стволов и других показателях.

Следующий этап состоял в подборке, радиометрической коррекции разновременных спутниковых данных на объект исследования. Она заключалась в пересчете исходных значений яркостей изображений в коэффициенты спектральной яркости, что необходимо для объек-

тивного анализа изменений спектрального отклика. Нами использованы многозональные космические снимки Landsat TM с пространственным разрешением 30 м/пиксель. Изображения были получены 13.06.1986 г., 21.06.1992 г., 24.06.1996 г., 06.07.2006 г., 28.06.2009 г., 02.06.2011 года с ресурса Национальной геологической службы (USGS Global Visualization Viewer). При этом максимально старались сделать подборку снимков на один и тот же месяц, чтобы фенологические различия в сопоставляемых датах были минимальными.

Затем в программе ERDAS IMAGINE методом зональной статистики для каждого лесотаксационного выдела были рассчитаны коэффициенты спектральной яркости в средней инфракрасной зоне спектра (1,55-1,75 мкм, 5-й канал Landsat TM) в период 1986-2011 годов, т.е. на шесть временных срезов. Значения этого диапазона спектра были выбраны по причине того, что они характеризуются наиболее тесной связью с возрастом и другими параметрами насаждений по сравнению с остальными каналами сенсора TM (Терехин, 2012), а также с рядом вегетационных индексов. Наличие разновременных спутниковых данных позволило для каждого выдела провести оценку изменения возраста с 1996 по 2011 годы. Она заключалась в выявлении выделов, где проводились за этот период сплошные лесосечные рубки. Их отсутствие на конкретных участках указывало на соответствующее повышение возраста насаждений.

На следующем этапе был выполнен статистический анализ полученных данных, проведенный в программе STATISTICA. Он включал оценку изменений основных статистических параметров, рассчитанных за временные срезы для коэффициентов отражения, анализ гистограмм их распределения, применение полученных результатов для анализа нарушенности лесных экосистем. Стоит отметить, что на этом этапе, вследствие ограничений пространственного разрешения исходных спутниковых данных, из анализа были исключены выделы, площадью менее 1 га, т.к. для них оказалась высока вероятность недостоверного расчета коэффициентов отражения. Поэтому непосредственно в анализе было задействовано 314 выделов.

Результаты исследования. В прошлом на территории лесного массива производились сплошные лесосечные рубки на достаточно больших площадях. В настоящее время на их местах происходит лесовосстановление. Таким образом, в лесном массиве представлены участки разновозрастных лесных насаждений, которые также характеризуются различной степенью нарушенности вследствие фактора рубок за последние несколько десятилетий.

Анализ распределения выделов лесного массива по возрасту и высоте на середину 1990-х годов (рис. 2) показал, что оно существенно отличается от нормального.

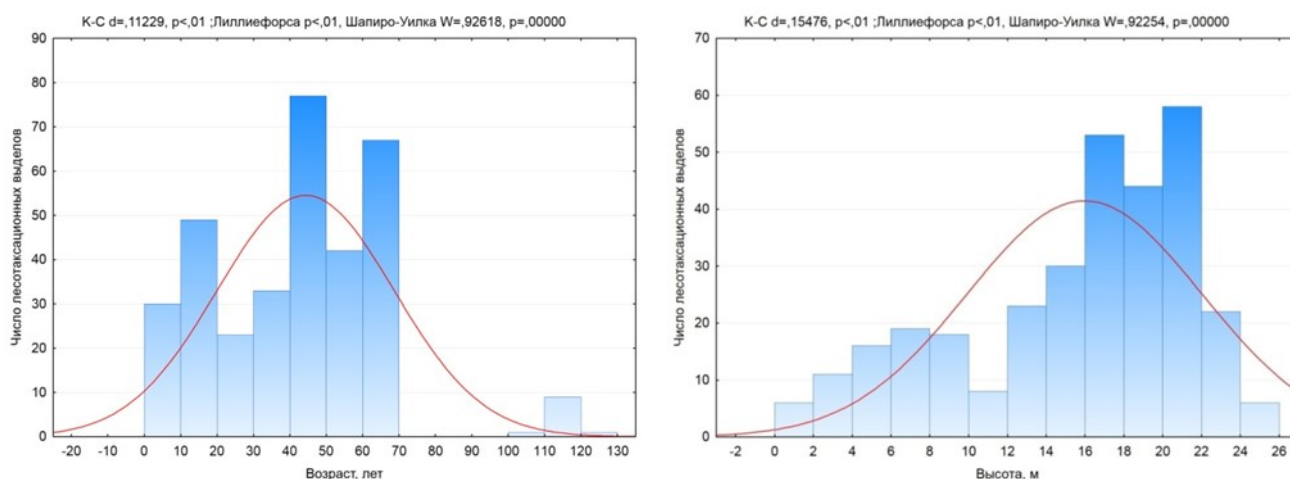


Рис. 2. Гистограмма возраста и высоты анализируемых лесных насаждений

На это указывают внешний вид гистограммы и три статистических теста (Колмогорова-Смирнова, Лиллиефорса, Шапиро-Уилка). Все они оказались статистически значимы, и соответственно нулевая гипотеза о нормальности была отклонена. Подобное распределение выделов по возрасту и высоте является следствием нарушенности лесов из-за сплошных рубок, достаточно интенсивно проводившихся в относительно больших массивах региона, включая массив «Мелкий Лес» до начала 1990-х годов. После этого времени практически все леса Белгородской области были отнесены к первой группе (водоохранные и защитные).

Отсутствие в середине 1990-х годов участков с возрастом старше 70, но моложе 100 лет, по всей видимости, обусловлено тем, что по достижении деревьями этого возраста, выполнение рубок является наиболее целесообразным и они проводились на выделах. На рисунке 2 видно, что в лесном массиве наблюдалась повышенная доля насаждений высотой до 12 м, что является следствием рубок и обусловленной ими высокой доли молодых насаждений.

Проведение сплошных рубок на значительных площадях длительное время выступало важным фактором нарушенности лесов. Но к настоящему времени, по причине их снижения, которое наглядно отражается на разновременных снимках (рис. 3), в лесах должно произойти повышение среднего возраста, которое отразится и на их спектрально-отражательных характеристиках.

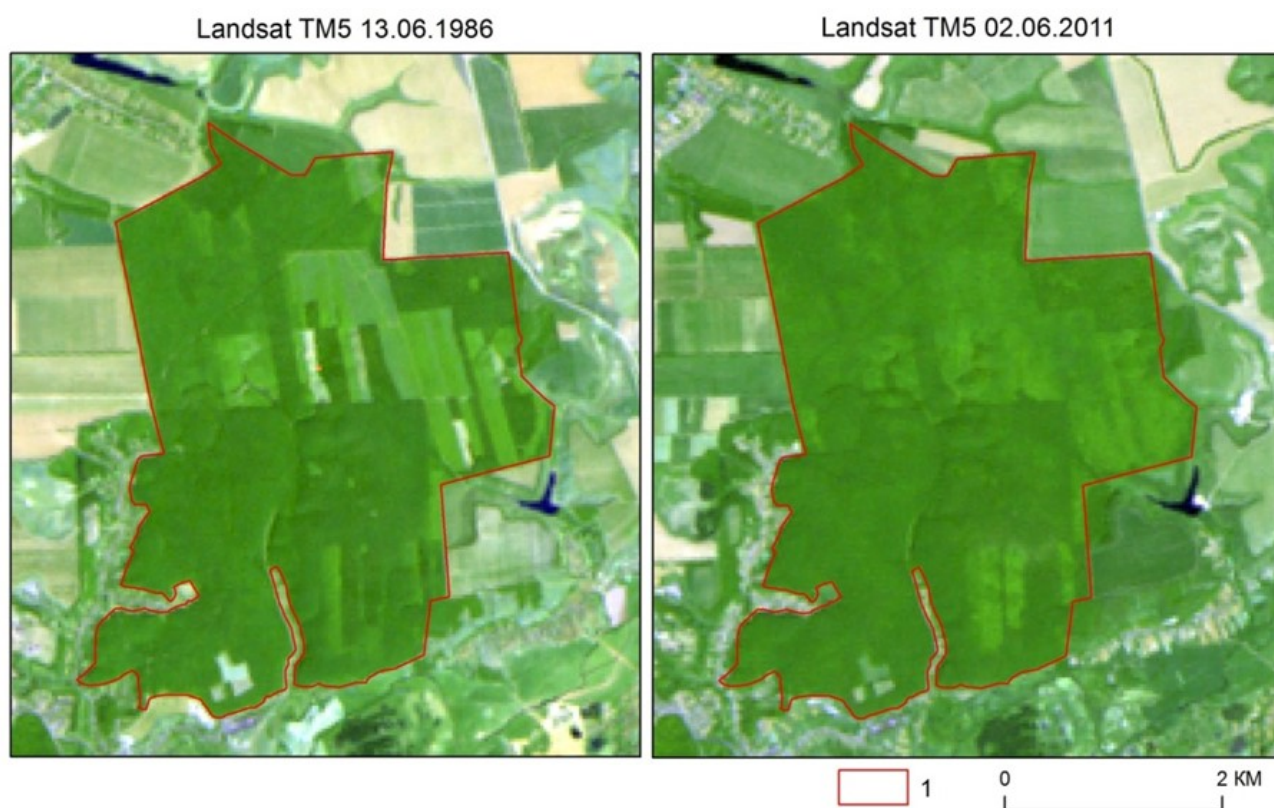


Рис. 3. Снижение масштабов сплошных рубок, отображающееся на разновременных снимках (фрагменты Landsat 5TM, синтез каналов 7-5-3): 1 – граница анализируемого лесного массива

Оценка изменения среднего возраста лесного массива с середины 1990-х гг. по 2011 г. с использованием данных лесоустройства и серии разновременных спутниковых данных показала (табл. 1), что он вырос с 45,7 лет до 59 лет. Использование снимков за этот период времени позволило выявить лесотаксационные выделы, в которых за это время проводились рубки.

Таблица 1

Изменение статистических характеристик возраста лесного массива в период 1994-2011 гг.

Год	Среднее	Минимум	Максимум	Ст. откл.	Коэф. вар., %
1994	45,7	1,0	130,0	23,4	51,3
2011	59,0	2,0	147,0	21,5	36,4

Из таблицы 1 видно, что одновременно произошло заметное снижение величины стандартного отклонения и коэффициента вариации, что указывает на повышение однородности выборки.

Проведенный анализ динамики статистических параметров для инфракрасного коэффициента отражения (табл. 2), показал, что с начала 1990-х гг. происходило практически постоянное снижение его максимального значения. За это же время наблюдался рост минимальной величины. Заметное снижение среднего значения произошло между 1992 и 1996 гг. Более высокие значения коэффициента отражения в средней инфракрасной спектральной области соответствуют более молодым лесным насаждениям, а более низкие величины – спелым и старовозрастным (Жири́н, 2011). В связи с этим можно отметить, что динамика коэффициентов спектральной яркости отражает изменения в возрасте лесного массива за это время и снижение его нарушенности, обусловленное влиянием сплошных лесосечных рубок.

Таблица 2

Статистические характеристики коэффициентов спектральной яркости в диапазоне 1,55-1,75 мкм

Дата	Среднее	Минимум	Максим.	Ст. откл.	Коэф. вар.,%
13.06.1986	0,152	0,113	0,234	0,018	12,1
21.06.1992	0,157	0,129	0,195	0,015	9,3
24.06.1996	0,146	0,115	0,185	0,013	9,1
06.07.2006	0,146	0,117	0,183	0,012	8,3
28.06.2009	0,147	0,124	0,175	0,009	6,4
02.06.2011	0,148	0,120	0,177	0,011	7,5

Оценка нормальности распределения коэффициентов спектральной яркости путем анализа статистических тестов Колмогорова-Смирнова, Лиллиефорса, Шапиро-Уилка и гистограмм (рис. 4) показала, что во все анализируемые годы (1986-2011 гг.) оно отличалось от нормального. Тем не менее, из сравнения гистограмм крайних анализируемых дат – 1986 г. и 2011 г., величины асимметрии и эксцесса, можно сделать вывод, что оно постепенно приближается к нему.

Таким образом, за анализируемый интервал времени в лесном массиве произошло снижение воздействия сплошных лесосечных рубок, одновременно с этим наблюдалось повышение среднего возраста насаждений. Динамика коэффициентов спектральной яркости в среднем инфракрасном диапазоне за этот же период также претерпела изменения в сторону снижения средних и максимальных значений. Но при этом выросли минимальные значения. Статистические характеристики выборки спектральных показателей за это время изменились в сторону повышения ее однородности.

Выводы. Изменение основных статистических параметров для коэффициентов отражения в средней инфракрасной области, вычисленное на основе спутниковых данных, может быть использовано для оценки степени повышения или снижения нарушенности лесных экосистем вследствие сплошных лесосечных рубок. Исследование, проведенное на примере дубрав, типичных для юга лесостепной зоны, показало, что уменьшение площадей сплошно-

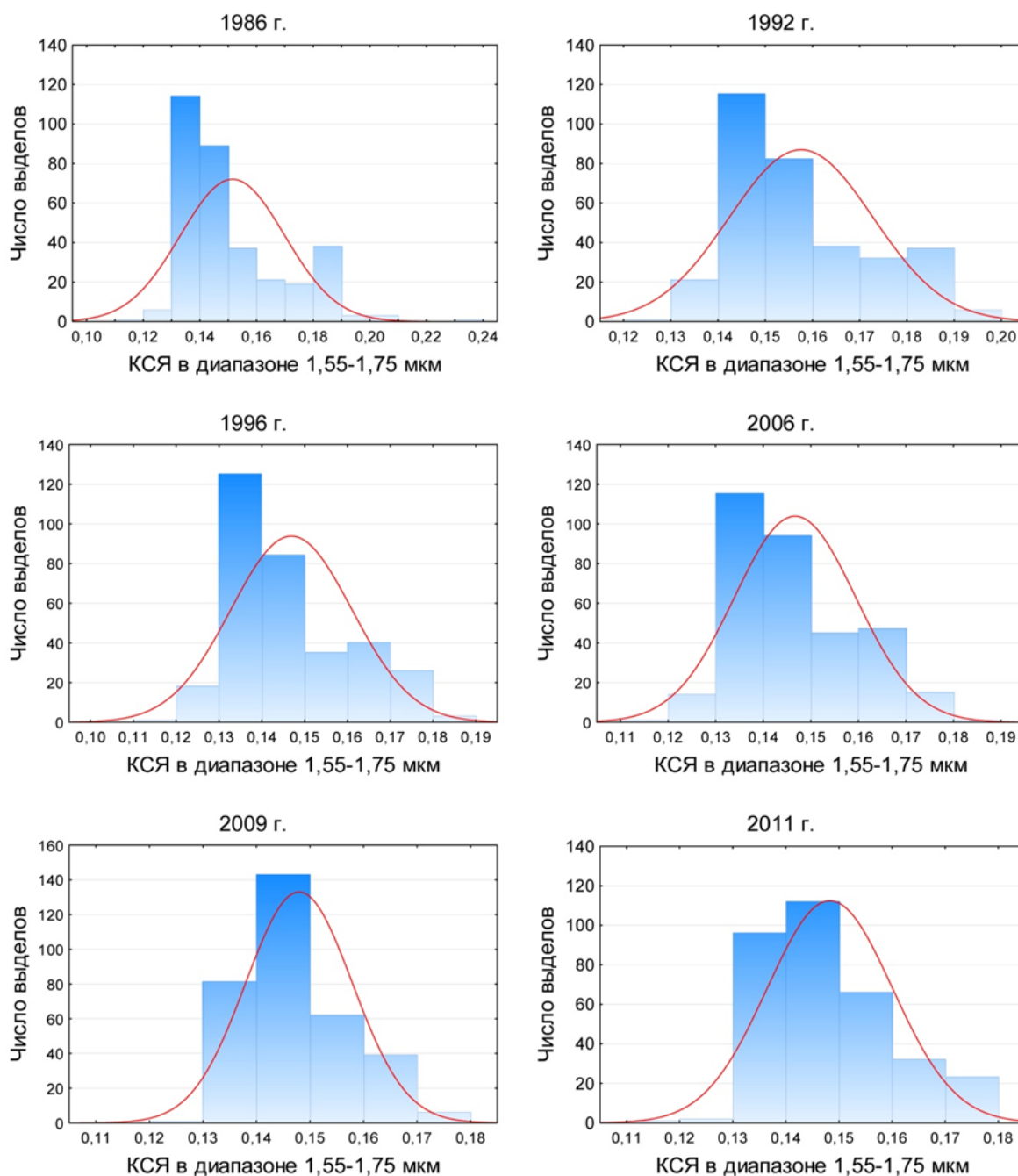


Рис. 4. Изменения в распределении коэффициентов отражения лесного массива в средней инфракрасной области спектра с 1986 по 2011 год

лесосечных рубок и повышение среднего возраста лесных массивов за период с 1986 по 2011 год, привело к снижению среднего и максимального значения коэффициентов спектральной яркости в инфракрасной зоне. При этом выросло их минимальное (по выборке из таксационных выделов) значение. В связи с тем, что более высокие значения коэффициентов отражения в этой области спектра характерны для молодых насаждений, их изменение за 25 лет наглядно показало увеличение среднего возраста лесного массива, являющегося следствием уменьшения масштабов сплошных лесосечных рубок.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект №14-17-00171.

Библиографический список

1. Жирин, В.М. Дистанционное сопровождение лесообразовательного процесса в послерубочных таежных лесах Русской равнины / В.М. Жирин, С.В. Князева, С.П. Эйлина // Лесоведение. – 2011. – № 6. – С. 29-38.
2. Красиков, И.И. Структура лесных массивов по средним диаметрам древостоев / И.И. Красиков, С.Л. Шевелев // Лесная таксация и лесоустройство. – 2009. – № 2 (42). – С. 34-39.
3. Марущак, И.О. Материалы спутникового мониторинга в анализе сомкнутости лесных фитоценозов приполярного Урала / И.О. Марущак, В.В. Елсаков // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2010. – Т. 7. – № 1. – С. 310-318.
4. Терехин, Э.А. Анализ каналов спутниковых данных Landsat TM для оценки характеристик лесных насаждений лесостепной провинции Среднерусской возвышенности / Э.А. Терехин // Исследование Земли из космоса. – 2012. – № 2. – С. 53-61.
5. Тюкавина, А.Ю. Определение сомкнутости крон редкостойных лиственничников Таймыра по космическим снимкам разного разрешения / А.Ю. Тюкавина // Исследование Земли из космоса. – 2012. – № 5. – С. 64-74.
6. Шевелев, С.Л. Некоторые закономерности строения лесных массивов Каа-Хемского округа горно-таежных лесов Республики Тыва / С.Л. Шевелев, И.И. Красиков // Хвойные бореальной зоны. – 2008. – Т. XXV. – № 1-2. – С. 84-88.
7. Курбанов, Э.А. Тематическое картирование растительного покрова по спутниковым снимкам: валидация и оценка точности / Э. А. Курбанов, О. Н. Воробьев, С. А. Лежнин, А. В. Губаев, Ю. А. Полевщикова. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015. – 131с.
8. Терехин, Э.А. Геоинформационное картографирование изменений в лесах на основе спутниковых снимков (на примере Белгородской области) / Э.А. Терехин // География и природные ресурсы. – 2016. – № 4. – С. 174-181.
9. Чендев, Ю. Г. Естественная эволюция почв Центральной лесостепи в голоцене / Ю.Г. Чендев. – Белгород: Изд-во Белгор. ун-та, 2004. – 200 с.
10. Baumann, M. Landsat remote sensing of forest windfall disturbance / M. Baumann, M. Ozdogan, P. T. Wolter, A. Krylov, N. Vladimirova, V. C. Radeloff // Remote Sensing of Environment – 2014. – Vol. 143. – P.171-179.
11. Chendev, Y.G. Recent afforestation in the Iowa river and Vorskla river basins: A comparative trends analysis / Y. G. Chendev, J. A. Hubbart, E. A. Terekhin, A. R. Lupo, T. J. Sauer, C. L. Burras // Forests. – 2016. – Vol. 7. – № 11. – P. 278.
12. DeVries, B. Tracking disturbance-regrowth dynamics in tropical forests using structural change detection and Landsat time series / B. DeVries, M. Decuyper, J. Verbesselt, A. Zeileis, M. Herold, S. Joseph // Remote Sensing of Environment. – 2015. – Vol. 169. – P. 320-334.
13. Frantz, D. Forest Disturbance Mapping Using Dense Synthetic Landsat/MODIS Time-Series and Permutation-Based Disturbance Index Detection / D. Frantz, A. Röder, T. Udelhoven, M. Schmidt // Remote Sensing. – 2016. – Vol. 8. – № 4. – P. 277-299.
14. Hall, R.J. Modeling forest stand structure attributes using Landsat ETM+ data: Application to mapping of above-ground biomass and stand volume / R. J. Hall, R. S. Skakun, E. J. Arsenault, B. S. Case // Forest Ecology and Management. – 2006. – Vol. 225. – № 1-3. – P. 378-390.
15. Lutz, D.A. Remote sensing of boreal forest biophysical and inventory parameters: a review / D.A Lutz., R. A. Washington-Allen, H.H Shugart // Canadian Journal Remote Sensing. – 2008. – Vol. 34. – No. 2. – P. 286-313.
16. Trigg, S.N. Utility of Landsat 7 satellite data for continued monitoring of forest cover change in protected areas in Southeast Asia / S. N. Trigg, L. M. Curran, A. K. McDonald // Singapore Journal of Tropical Geography. – 2006. – Vol. 27. – № 1. – P. 49-66.
17. USGS Global Visualization Viewer [Electronic resource]. – URL: <http://glovis.usgs.gov/>.

References

1. Zhirin, V.M. Distancionnoe soprovozhdenie lesoobrazovatel'nogo processa v poslerubochnyh taezhnyh lesah Russkoj ravniny / V.M. Zhirin, S.V. Knyazeva, S.P. Ejdlina // Lesovedenie. – 2011. – № 6. – S. 29-38.
2. Krasikov, I.I. Struktura lesnyh massivov po srednim diametram drevostoev / I.I. Krasikov, S.L. SHevelev // Lesnaya taksaciya i lesoustrojstvo. – 2009. – № 2 (42). – S. 34-39.
3. Marushchak, I.O. Materialy sputnikovogo monitoringa v analize somknutosti lesnyh fitocenozov pripolyarnogo Urala / I.O. Marushchak, V.V. Elsakov // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. – 2010. – T. 7. – № 1. – S. 310-318.
4. Terekhin, E.A. Analiz kanalov sputnikovyh dannyh Landsat TM dlya ocenki harakteristik lesnyh nasazhdenij lesostepnoj provincii Srednerusskoj vozvyshennosti / E.A. Terekhin // Issledovanie Zemli iz kosmosa. – 2012. – № 2. – S. 53-61.
5. Tyukavina, A.YU. Opredelenie somknutosti kron redkostojnyh listvennichnikov Tajmyra po kosmicheskim snimkam raznogo razresheniya / A.YU. Tyukavina // Issledovanie Zemli iz kosmosa. – 2012. – № 5. – S. 64-74.
6. Shevelev, S.L. Nekotorye zakonomernosti stroeniya lesnyh massivov Kaа-Hemskogo okruga gorno-taezhnyh lesov Respubliki Tyva / S.L. Shevelev, I.I. Krasikov // Hvojnye boreal'noj zony. – 2008. – T. XXV. – № 1-2. – S. 84-88.

7. Kurbanov, E.A. Tematicheskoe kartirovanie rastitel'nogo pokrova po sputnikovym snimkam: validaciya i ocenka tochnosti / E. A. Kurbanov, O. N. Vorobiev, S. A. Lezhnin, A. V. Gubaev, YU. A. Polevshchikova. – Joshkar-Ola: PGU, 2015. – 131с.
8. Terekhin, E.A. Geoinformacionnoe kartografirovaniye izmeneniy v lesah na osnove sputnikovyyh snimkov (na primere Belgorodskoy oblasti) / E.A. Terekhin // Geografiya i prirodnye resursy. – 2016. – № 4. – С. 174-181.
9. CHendev, YU. G. Estestvennaya evolyuciya pochv Central'noj lesostepi v golocene / YU.G. CHendev. – Belgorod: Izd-vo Belgor. un-ta, 2004. – 200 s.
10. Baumann, M. Landsat remote sensing of forest windfall disturbance / M. Baumann, M. Ozdogan, P. T. Wolter, A. Krylov, N. Vladimirova, V. C. Radeloff // Remote Sensing of Environment – 2014. – Vol. 143. – R.171-179.
11. Chendev, Y.G. Recent afforestation in the Iowa river and Vorskla river basins: A comparative trends analysis / Y. G. Chendev, J. A. Hubbart, E. A. Terekhin, A. R. Lupo, T. J. Sauer, C. L. Burras // Forests. – 2016. – Vol. 7. – №. 11. – R. 278.
12. DeVries, B. Tracking disturbance-regrowth dynamics in tropical forests using structural change detection and Landsat time series / B. DeVries, M. Decuyper, J. Verbesselt, A. Zeileis, M. Herold, S. Joseph // Remote Sensing of Environment. – 2015. – Vol. 169. – R. 320-334.
13. Frantz, D. Forest Disturbance Mapping Using Dense Synthetic Landsat/MODIS Time-Series and Permutation-Based Disturbance Index Detection / D. Frantz, A. Röder, T. Udelhoven, M. Schmidt // Remote Sensing. – 2016. – Vol. 8. – №. 4. – R. 277-299.
14. Hall, R.J. Modeling forest stand structure attributes using Landsat ETM+ data: Application to mapping of above-ground biomass and stand volume / R. J. Hall, R. S. Skakun, E. J. Arsenault, B. S. Case // Forest Ecology and Management. – 2006. – Vol. 225. – № 1-3. – R. 378-390.
15. Lutz, D.A. Remote sensing of boreal forest biophysical and inventory parameters: a review / D.A Lutz., R. A. Washington-Allen, H.H Shugart // Canadian Journal Remote Sensing. – 2008. – Vol. 34. – No. 2. – R. 286-313.
16. Trigg, S.N. Utility of Landsat 7 satellite data for continued monitoring of forest cover change in protected areas in Southeast Asia / S. N. Trigg, L. M. Curran, A. K. McDonald // Singapore Journal of Tropical Geography. – 2006. – Vol. 27. – № 1. – R. 49-66.
17. USGS Global Visualization Viewer [Electronic resource]. – URL: <http://glovis.usgs.gov/>.

УДК 630*237.2

ОЦЕНКА СООТНОШЕНИЯ ЛЕСНОГО И ДРУГИХ ТИПОВ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В СЕВЕРНЫХ РАЙОНАХ РЕСПУБЛИКИ КОМИ В КОНЦЕ XX – НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

В.В. Пахучий, В.М. Щанов

Сыктывкарский лесной институт Санкт-Петербургского лесотехнического университета,
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

Ведущее место по удельному участию в лесном покрове Европейского севера занимает Республика Коми. Общая площадь земель лесного фонда составляет 36,3 млн га, или 87,2 % территории республики. Лесистость в отдельных районах республики различна, зависит от физико-географических условий и составляет в среднем 79 %. Из общей площади земель лесного фонда лесные земли занимают 29,0 млн га, болота – около 17 %, а тундра и лесотундра – около 10 % площади лесного фонда. В статье приведены результаты оценки соотношения лесного и других типов растительности в северных районах Усть-Цилемского лесничества Республики Коми на основе дистанционных методов. С 1989 по 2010 г. на территории около 928000 га площадь лесных ландшафтов, представленных насаждениями с преобладанием сосны и ели и лиственными древостоями на дренированных территориях увеличилась на 29345,51 га или 3,15 %. При этом площадь ельников и сосняков уменьшилась соответственно на 1,57 и 0,06 %. В Усть-Цилемском лесничестве рубки ограничены выборочной заготовкой древесины для нужд местного населения. Поэтому основная причина уменьшения площади насаждений с преобладанием хвойных пород связана с увеличением количества и площади лесных пожаров. В рассматриваемый период времени на исследуемой территории наблюдалось смещение зоны с преобладанием лесных ландшафтов в северном направлении. Причина значительного уменьшения площади мягколиственных лесов на заболоченных землях может быть связана с разболачиванием таких территорий в результате повышения средней годовой и особенно летней температуры, частичного перехода данной категории в класс мягколиственных лесов на дренированных почвах или категорию не покрытых лесом лесных земель «гари». Увеличение площади гарей на 11457 га (1,24 %) и площади мягколиственных лесов на дренированных почвах на 44356 га (4,78 %) согласуется с этим предположением.

Ключевые слова: Республика Коми, Северный полярный круг, лес, болото, тундра, спутниковый снимок.

ASSESSMENT OF THE RATIO OF FOREST AND OTHER TYPES OF VEGETATION IN THE NORTHERN REGIONS OF THE KOMI REPUBLIC AT THE TURN OF THE XXI CENTURY

V. V. Pakhuchiy, V. M. Shchanov

Syktyvkar Forest Institute, branch of Saint-Petersburg State Forest Technical University,
Institute of Biology of Komi SC UD RAS

The Komi Republic takes a leading share in the wooded area of the European North. The total forest area covers 36.3 million hectares or 87.2 % of the territory of the republic. The ratio of forest land to the total area varies in different regions depending on physiographic conditions; on average 79% of the total area is covered with forests. Wooded lands cover about 29.0 million hectares, bogged lands cover about 17 %, and tundra and the forest-tundra cover about 10% of the overall forest area.

The paper presents the ratio estimate of forest and other types of vegetation in the northern regions of the Komi Republic using remote sensing methods. From 1989 to 2010 on the territory of 928,000 hectares the area of forest landscapes represented by plantations with the prevalence of pine, spruce and deciduous forest stands on naturally drained territories has increased by 29,345.51 hectares or by 3.15 %. At the same time, the area of spruce and pine stands decreased by 1.57 % and 0.06 % respectively. On the territory of Ust-Tsilemsky forestry enterprise thinning is limited to selective cuttings for the needs of local population. The reduction of the area of stands with the prevalence of coniferous species is attributed to the growing number and expanding area of forest fires. During the period under study on the territories explored we observed the shift of wooded zone towards the north. The reason of considerable reduction of deciduous stand area on boggy lands can be associated with the natural drainage of such territories as a result of an increase in the average annual and especially summer temperatures, partial transition of this category into the category of soft-leaved forest on the drained soils or the category of burned areas. An increase of burned areas by 11,457 hectares (1.24 %) and of deciduous stands on the naturally drained soils by 44,356 hectares (4.78 %) is consistent with this assumption.

Keywords: the Komi Republic, Arctic Circle, forest, bogged areas, tundra, satellite image.

Введение. Ведущее место по удельному участию в лесном покрове Европейского севера занимает Республика Коми. Общая площадь земель лесного фонда составляет 36,3 млн га, или 87,2% территории республики. Лесистость в отдельных районах республики различна, зависит от физико-географических условий и составляет в среднем 79 %. Из общей площади земель лесного фонда лесные земли занимают 29,0 млн га, болота – около 17 %, а тундра и лесотундра – около 10 % площади лесного фонда (Лесной план ..., 2008). По данным лесоустройства за период с 1961 г. покрытая лесом площадь увеличилась на 1,6 млн га, а не покрытая лесом уменьшилась на 0,9 млн га, площадь болот увеличилась на 1,5 млн га. С одной стороны, это может свидетельствовать о положительной роли лесного хозяйства республики в области лесовосстановления и изменении структуры лесопользования, с другой – о возможном влиянии на состояние лесов изменения климата.

Сравнение климатических характеристик в Республике Коми в середине прошлого (Атлас Коми АССР, 1964) и начале текущего века (Атлас по климату и гидрологии Республики Коми, 1997) показывает, что для данного периода наблюдается увеличение средней годовой температуры и годового количества осадков. Наиболее существенно при сравнении климатических показателей отличаются количество атмосферных осадков и величина испарения. Годовая сумма осадков в целом по республике увеличилась на 29 %.

Последнее указывает на целесообразность оценки взаимодействия лесного и других типов растительности, прежде всего тундрового и болотного, в условиях изменения климата. Особое значение это может иметь для территории республики, расположенной севернее Полярного круга и составляющей около 8 % ее площади, так как влияние глобального изменения климата на состав и структуру лесных экосистем и их пространственно-временную динамику может быть наиболее сильно выражено в районах с экстремальными климатическими и почвенно-грунтовыми условиями (Муратова и др., 2007).

Вопрос о возможности глобального изменения климата обсуждается с конца прошлого столетия. По мнению ряда авторов, наиболее вероятно повышение средней температуры воздуха на 3-5°С и увеличение количества осадков на 7-16 %. Предполагается, что в Канаде и Скандинавии северная граница бореальных лесов может переместиться на север на расстояние до 700 км (Andrasko, 1990). В Финляндии разработаны модели, позволяющие прогнозировать изменение продуктивности лесов в связи с ожидаемым изменением климата, даны соответствующие рекомендации о целесообразности коррекции программ рубок ухода, охраны лесов от энтомовредителей, грибных заболеваний и т.д. (Kellomäki et al., 1988).

Мониторинг динамики северной границы леса и изменений соотношения тундровых и лесных ландшафтов в России осуществляется для решения фундаментальных и прикладных эколого-климатических вопросов (Горбачкий, 1964), в связи с проблемами притундрового лесоводства (Чертовский и др., 1987; Мелехов, Чибисов, 1995), уточнением границ зоны притундровых лесов (Цветков и др., 1995), организацией в них хозяйства (Абаимов, Бондарев, 1995).

При оценке взаимодействия тундры и тайги отмечается, что породы, формирующие северную границу леса, очень чувствительны к изменениям климата. Моделирование динамических процессов, описывающих такое взаимодействие, показывает, что возможно достаточно быстрое внедрение таежной растительности в область тундры, отражающее развитие процесса потепления климата. Этому способствует также антропогенное и техногенное воздействие, приводящее к деградации переходной зоны между тундрой и лесом и формированию тундроподобных территории (Callaghan et. al., 2002). Несмотря на то, что многие исследователи отмечают смещение границы между тундрой и лесом на север, следует учитывать, что этот процесс в действительности может быть более сложным. Региональные особенности взаимодействия тундры и тайги отличаются высокой вариабельностью. Это обусловлено местными особенностями климата, спецификой почвенно-грунтовых условий и гидрологии рассматриваемой территории и т.д. Имеется указание на то, что вблизи океана потепление климата может проявляться в перемещении границы леса в южном направлении с одновременным увеличением площади болот. В условиях антропогенного и техногенного воздействия эти тенденции могут усиливаться, что характерно, например, для лесотундры России. Это свидетельствует о необходимости выполнения исследований в данной области на региональном уровне для целей планирования экономического развития регионов и решения проблем охраны окружающей среды в них (Skre et. al., 2002).

В Республике Коми оценка взаимодействия лесной и тундровой растительности ранее была выполнена для Усть-Цилемского лесхоза (Пахучий, 1995). На основе сравнения лесоустроительных планово-картографических материалов оценено изменение соотношения тундровой и лесной растительности за период с 1960 по 1983 гг. Сравнение выполнено на 9 трансектах широтного направления. Установлено, что за рассматриваемый период доля тундровых ландшафтов в протяженности трансект уменьшилась. На севере Республики Коми в нижнем течении р. Печоры в рассматриваемый период более вероятным было уменьшение площади тундровых и увеличение площади лесных растительных сообществ.

В настоящее время развитие методов дистанционного зондирования позволяет выполнить аналогичное сравнение на основе тематического картирования растительного покрова по спутниковым снимкам (Курбанов и др., 2015, 2016; Курбанов, 2016). В Республике Коми методы спутниковых технологий применялись при изучении растительного покрова и его картировании (Елсаков и др., 2006, 2009, 2011; Экологический мониторинг ..., 2007), а также при гидrolесомелиоративных исследованиях (Пахучий и др., 2016).

Цель исследований – изучение динамики лесного, тундрового и болотного типов растительности в северных районах Республики Коми на основе сравнения спутниковых снимков, оценка возможных причин установленных тенденций и их последующее использование при разработке рекомендаций по организации и ведению лесного хозяйства в регионе.

Объекты и методика исследований. С целью оценки возможного влияния изменения климата на структуру растительного покрова и лесного фонда использовали дистанционные методы (Курбанов и др., 2014).

Исследования выполнили для северной части территории Усть-Цилемского лесничества Республики Коми, включающей урочища 1-7, 9-16, 18-23 Бугаевского участкового лесничества и урочища 2, 3 Усть-Цилемского участкового лесничества. Оценку изменения соотношения лесного и других типов растительности выполнили на основе сравнения космических снимков Landsat TM-5: 03.08.1989 г. и 28.07.2010 г. Изображения, полученные с сайта USGS.GOV, прошли предварительную обработку: ортотрансформацию с учетом цифровой модели рельефа местности, геометрическую коррекцию (привязку) и радиометрическую калибровку данных. В связи с тем, что изображения подбирались для дней без облачности и дымки, атмосферная коррекция не выполнялась. Для анализа снимков использован программный пакет ERDAS Imagine. Для снимков выполнена управляемая классификация растительности на основе опыта аналогичных исследований в Республике Коми (Елсаков и др., 2006, 2009, 2011; Экологический мониторинг ..., 2007). В работе выделены 10 тематических классов, включающих нелесные земли, лесные покрытые и не покрытые лесом лесные земли: водные поверхности, территории без растительности, гари, травяные сообщества, тундра, болота, заболоченные лиственные леса, дренированные лиственные леса, ельники и сосняки (рис. 1). Воды представлены водной поверхностью р. Печоры, ее протоков и притоков и озерами. Травяные сообщества – мелкотравные, крупнотравные, осоковые луга с фрагментарными вкраплениями деревьев и кустарников. Тундры – равнинные ивняково-крупноерниковые. Болота – сфагновые верховые, переходные и низинные в зависимости от типа водно-минерального питания. Заболоченные лиственные леса представлены березовыми и ивовыми редколесьями, дренированные лиственные леса – смешанными насаждениями

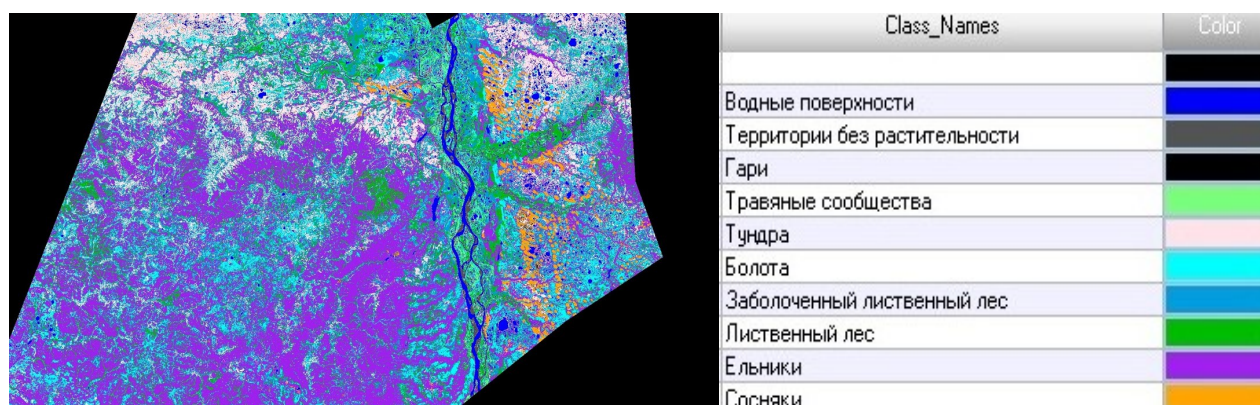


Рис. 1. Карта растительности северной части Усть-Цилемского лесничества (дата съемки 03.08.1989 г.)

с преобладанием березы и древовидных форм ивы. Ельники и сосняки – это, как правило, смешанные насаждения с преобладанием этих пород в составе насаждений. Сосновые леса приурочены к борovým террасам р. Печоры и ее крупных притоков.

Результаты исследования. Примеры таксационного описания насаждений, полученные по данным полевых таксационных работ в Усть-Цилемском лесничестве, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика ярусов и общая характеристика насаждений

Номер пробной площади	Состав яруса	Запас яруса, м ³ /га	Высота яруса, м	Относительная полнота	Класс возраста	Класс бонитета по шкале М. М. Орлова	Тип леса по В.Н. Сукачеву
1	8Е2Б	157	12,8	1,01	VIII	Va	Е.тр.
2	I 10Б II 10Е	25 25	11,5 7,2	0,21 0,36	VI	Vб	Е.ч.-зм.
3	10Е ед.Б., Ос.	70	10,2	0,59	VII	Va	Е.хв.-сф.
5	10Е	35	9,5	0,35	VII	Va- Vб	Е.ч.-зм.
6	I 10Б II 10Е	9 49	11,0 8,0	0,08 0,61	VI	Vб	Е.ч.-зм.
10	9Е1Б	62	7,7	0,80	VI	Vб	Е.ос.-сф.
11	I 10Б II 10Е	7 55	10,4 8,3	0,07 0,62	VII	Vб	Е.ч.вл.
12	I 7БЗС II 10Е	8 37	8,6 7,2	0,11 0,52	VI	Vб	Е.ч.-зм.
13	9Е1Б	51	8,8	0,56	VII	Vб	Е.ч.-зм.
14	I 10Б II 10Е	15 56	12,2 9,6	0,11 0,56	VII	Va- Vб	Е.ч.-зм.
15	I 10Б II 10Е	14 29	11,5 6,4	0,12 0,49	V	Vб	Е.ч.-зм.
16	I 10Б II 10Е	8 35	9,1 7,2	0,09 0,50	VI	Vб	Е.ч.-зм.
17	I 10Б II 10Е	6 24	10,0 7,0	0,06 0,35	V	Vб	Е.ч.-зм.
18	I 10Б II 10Е	6 48	11,2 8,4	0,05 0,62	VI	Vб	Е.ч.-зм.
19	10Е+Б	18	6,2	0,34	V	Vб	Е.ч.вл.
20	9Е1Б	46	8,6	0,52	VI	Vб	Е.ч.-зм.
24	I 10 Ос II 10Б III 10Е	47 8 53	16,0 10,8 8,6	0,20 0,07 0,61	VII	Vб	Е.ч.-зм.
25	I 10С II 10Лц III 10Б	33 25 2	12,7 8,7 6,2	0,21 0,29 0,04	III	III	С.бр.-зм.
26	8С2Лц	50	9,5	0,46	III	IV	С.лиш.
27	I 10Лц II 9С1Ос	10 58	12,6 10,0	0,07 0,49	IV	IV	С.лиш.
28	I 10С II 9Е1Б	17 58	11,5 9,1	0,12 0,61	IV	Va	Е.ч.-зм.
29	4Е2С4Б+Ос	71	8,0	1,03	IV	Va	Б.ч.-зм.

Примечание: Е – ельник, С – сосняк, Б – березняк; ч.-зм. – чернично-зеленомошный, ос.-сф. – осоково-сфагновый, лиш. – лишайниковый, тр. – травяной, хв.-сф. – хвощево-сфагновый, ч.вл. – черничник влажный, бр.-зм. – бруснично-зеленомошный.

Пробная площадь 4 представлена низинным болотом, пробные площади 7-9 – это вырубки конца 80-х годов, пробные площади 21-23 – осоково-сфагновое болото.

Исходные данные, характеризующие перечисленные выше тематические классы по результатам анализа космических снимков 03.08.1989 г. и 28.07.2010 г., были представлены в двух матрицах. Размер каждой матрицы – 10 граф, соответствующих наименованиям классов, 23 строки, соответствующие урочищам включенной в обработку части территории Усть-Цилемского лесничества и итоговые строки. В ячейках каждой строки матрицы было приведено количество пикселей, соответствующее участию каждого из 10 тематических классов в сложении площади урочища. В итоговых строках приведены суммы пикселей по каждому тематическому классу для 23 урочищ, позволяющие получить соотношение классов различных типов растительности в процентах. Сравнивая суммарное участие тематических классов в сложении исследуемой территории можно оценить направленность этих изменений как в абсолютном, так и относительном выражении.

Итоговые данные, характеризующие соотношение классов различных типов растительности, а также отдельных категорий нелесных земель и не покрытых лесом лесных земель в 1989 и 2010 гг. приведены в табл. 2.

Таблица 2

Соотношение классов нелесной, лесной не покрытой лесом и лесной покрытой лесом площади (%)

Показатели (год)	Классификационные единицы					
	Воды	Территории без расти- тельности	Гари	Травяные сообщества	Тундра	Болота
Доля классов (%), 1989	2,00	0,13	0,18	0,49	10,81	8,74
Доля классов (%), 2010	1,92	1,87	1,42	1,86	13,58	10,12
Изменение пло- щадей, %	-0,08	1,74	1,24	1,37	2,77	1,38

Окончание таблицы 2

Соотношение классов нелесной, лесной непокрытой лесом и лесной покрытой лесом площади (%)

Показатели (год)	Классификационные единицы				Всего
	Заболоченные лиственные леса	Дренажные лиственные леса	Ельники	Сосняки	
Доля классов (%), 1989	20,84	11,73	42,03	3,05	100,00
Доля классов (%), 2010	9,27	16,51	40,46	2,99	100,00
Изменение площа- дей, %	-11,57	4,78	-1,57	-0,06	0,00

Примечание: Общая площадь включенной в обработку территории (урочища 1 – 7, 9 – 16, 18 – 23 Бугаевского участкового лесничества и урочища 2, 3 Усть-Цилемского участкового лесничества) – 928111,50 га.

Согласно данным табл. 2 за период, близкий к ревизионному (21 год), произошло уменьшение площади водных поверхностей (на 721 га – 0,08 %), насаждений с преобладанием сосны (536 га – 0,06%), насаждений с преобладанием ели (14476 га – 1,57 %) и мягколиственных насаждений на заболоченных землях (107401 га – 11,57 %).

В связи с тем, что рубки на рассматриваемой территории ограничены выборочной заготовкой древесины для нужд местного населения, предварительно можно допустить, что основной вклад в изменения данной направленности связан именно с климатическими изменениями. При этом возможно уменьшение площади хвойных древостоев – это прежде всего следствие увеличения площади лесных пожаров в результате увеличения среднегодовой тем-

пературы и температуры в летние месяцы. Причина значительного уменьшения площади мягколиственных лесов на заболоченных землях, видимо, в определенной степени может быть связана с разболачиванием таких территорий также в результате повышения средней годовой и особенно летней температуры, частичного перехода данной категории в класс мягколиственных лесов на дренированных почвах или категорию не покрытых лесом лесных земель «гари». Увеличение площади гарей на 11457 га (1,24 %) и площади мягколиственных лесов на дренированных почвах на 44356 га (4,78 %) согласуется с этим предположением.

На рис. 2 показан результат сравнения классифицированных изображений исследуемой территории в 1989 и 2010 г. Здесь желтым цветом обозначены площади, которые в 1989 г. были представлены насаждениями с преобладанием ели, а в 2010 к таковым уже не относились. Одна из вероятных причин таких изменений – лесные пожары. В группу лесных ландшафтов объединили площади, представленные мягколиственными лесами на дренированных землях, ельники и сосняки. Для каждого урочища площадь представленных в нем лесных ландшафтов выразили в процентах от площади урочищ. Выполнили оценку связи между участием лесных ландшафтов в сложении площади урочищ и географической широтой положения урочищ. Последнюю принимали как среднюю величину из крайних значений широты южных и северных границ урочища. Аппроксимацию связи выполнили на основе уравнений линейной регрессии (рис. 3, 4).

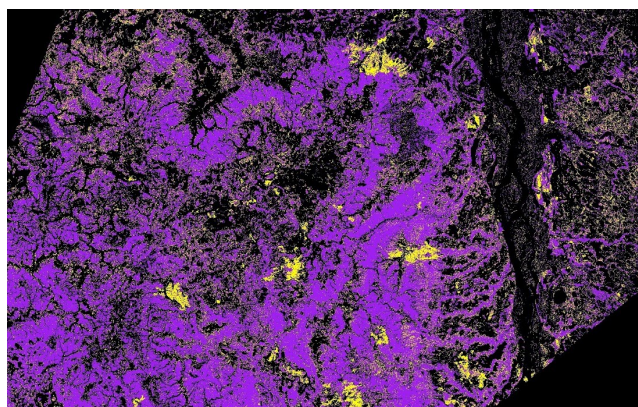


Рис. 2. Сопоставление изображений территории исследования в 1989 и 2010 гг. (Малиновым цветом обозначены насаждения с преобладанием ельников, желтым – участки, где в 1989 г. выделен класс растительности «ельники», а в 2010 г. этот класс не идентифицирован)

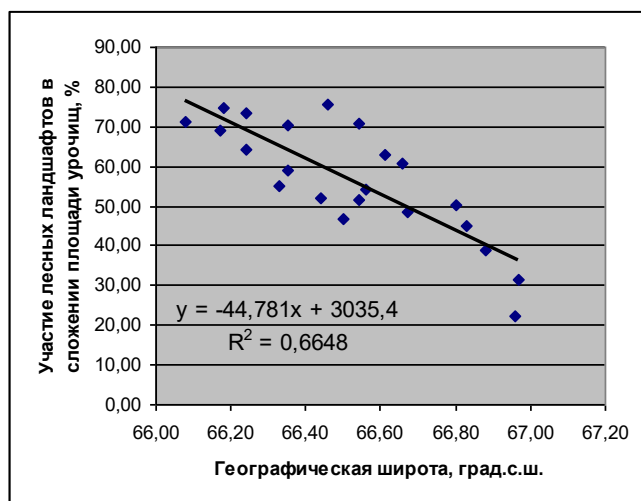


Рис. 3. Зависимость участия лесных ландшафтов в сложении площади урочищ (%) от географической широты их положения (град. с.ш.) в 1989 г. ($R = 0,82$; $R_{0,01} = 0,54$)

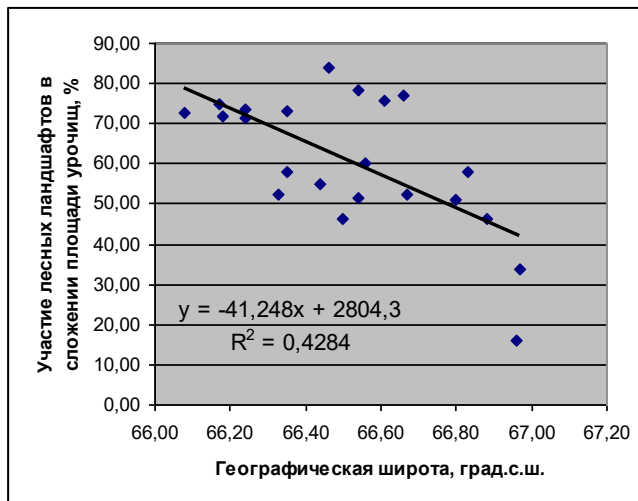


Рис. 4. Зависимость участия лесных ландшафтов в сложении площади урочищ (%) от географической широты их положения (град. с.ш.) в 2010 г. ($R = 0,65$; $R_{0,01} = 0,54$)

Связь между участием лесных ландшафтов в сложении площади урочищ и географической широтой положения урочищ достоверна на высоком уровне значимости. Расчеты по уравнениям зависимости на рис. 3, 4 показывают, что доля лесных ландшафтов 50 %, в 1989 г. соответствует 66,667 град. с.ш., а в 2010 г. – 66,774 град. с.ш. Таким образом, для рассматриваемого периода времени для северной части Усть-Цилемского лесничества наблюдается смещение расчетной границы, соответствующей 50 % участию лесных ландшафтов в сложении площади урочищ на 0,107 град. с.ш. на север. Это согласуется с общепринятым представлением о направлении смещения северной границы таежных лесов в результате изменения климата (Callaghan et al., 2002).

В то же время необходимо учитывать, что в данном случае рассматривалась относительно небольшая территория, ограниченная 49-53 град. в.д., а период сравнения ограничен двумя десятилетиями. Видимо, для ограниченных территорий и отрезков времени в условиях антропогенного и техногенного воздействия на леса, увеличения количества и площади лесных пожаров, вызванных именно климатическими изменениями, могут наблюдаться и отличающиеся от установленной тенденции флуктуации.

Заключение. На основе методов дистанционного зондирования выполнена оценка соотношения лесного и других типов растительности, а также нелесных и лесных не покрытых лесом земель в северных районах Республики Коми (Усть-Цилемское лесничество). С 1989 по 2010 г. на территории около 928000 га площадь лесных ландшафтов, представленных насаждениями с преобладанием сосны и ели и мягколиственными древостоями на дренированных территориях увеличилась на 29345,51 га или 3,15 %. При этом площадь ельников и сосняков уменьшилась соответственно на 1,57 и 0,06 %, а площадь мягколиственных древостоев увеличилась на 4,78 %.

Причина значительного уменьшения площади мягколиственных лесов на заболоченных землях может быть связана с разболачиванием таких территорий в результате повышения средней годовой и особенно летней температуры, частичного перехода данной категории в класс мягколиственных лесов на дренированных почвах или категорию не покрытых лесом лесных земель «гари». Увеличение площади гарей на 11457 га (1,24 %) и площади мягколиственных лесов на дренированных почвах на 44356 га (4,78 %) согласуется с этим предположением.

В Усть-Цилемском лесничестве рубки ограничены выборочной заготовкой древесины для нужд местного населения. Их влияние на динамические процессы ограничено. Поэтому основной причиной уменьшения площади насаждений с преобладанием хвойных пород для рассматриваемого периода здесь следует считать увеличение количества и площади лесных пожаров, связанное с изменением климата.

В рассматриваемый период времени на исследуемой территории наблюдалось смещение зоны с преобладанием лесных ландшафтов в северном направлении. Для ограниченных территорий и отрезков времени в условиях антропогенного и техногенного воздействия на леса, увеличения количества и площади лесных пожаров, видимо, могут наблюдаться флуктуации, отличающиеся от установленной тенденции. Поэтому целесообразно развитие исследований, связанных с изучением динамических процессов в лесах на северном пределе их распространения. Особого внимания заслуживает исследование динамических процессов в заболоченных лесах, т.к. на долю именно этого класса для периода исследования приходится около 88 % общего уменьшения площади классификационных единиц растительности.

Библиографический список

1. Абаимов, А.П. Эколого-географические особенности притундровых лесов Средней Сибири и организация хозяйства в них / А.П. Абаимов, А.И. Бондарев // Проблемы притундрового лесоводства: сб. научн. тр. АИЛиЛХ. – Архангельск, 1995. – С. 42-55.

2. Атлас Коми АССР. – М.: ГУТК ГГК СССР, 1964. – 112 с.
3. Атлас по климату и гидрологии Республики Коми. – М.: Дрофа; Д и К, 1997. – 116 с.
4. Горбачкий, Г.В. Северная полярная область (общая физико-географическая характеристика) / Г. В. Горбачкий. – Ленинград: Изд-во. Лен. университета, 1964. – 234 с.
5. Елсаков, В.В. Технологии дистанционного зондирования в исследовании свойств растительных сообществ бассейна р. Новая Нерута / В. В. Елсаков, С. Н. Плюснин, В. М. Щанов // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. – 2006. – № 2 (100). – С. 315-319.
6. Елсаков, В.В. Картирование растительного покрова бассейна р. Кожим (Приполярный Урал) с использованием материалов дистанционного зондирования / В.В. Елсаков, И.О. Марущак, В.М. Щанов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2009. – Т.2. – С. 360-364.
7. Елсаков, В. В. Спутниковые методы исследований в мониторинге и картировании пастбищных угодий северного оленя / В.В. Елсаков, В.М. Щанов, Н.В. Беляева // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2011. – Т.8. – №2. – С. 201-207.
8. Курбанов, Э.А. Четыре десятилетия исследований лесов по снимкам Landsat / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова, Е.Н. Демишева // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 1(21). – С. 18-32.
9. Курбанов, Э.А. Тематическое картирование растительного покрова по спутниковым снимкам: валидация и оценка точности / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, С.А. Лежнин, А.В. Губаев, Ю.А. Полевщикова. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015. – 131 с.
10. Курбанов, Э.А. Оценка точности и сопоставимости тематических карт лесного покрова разного пространственного разрешения на примере Среднего Поволжья / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2016. – № 1(13). – С. 36-48.
11. Курбанов, Э.А. Два десятилетия исследований растительного покрова по MODIS // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг: сборник научных статей / Э.А. Курбанов. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016. – С. 123-132.
12. Лесной план Республики Коми. Книга 2. Приложение 1. Вологда: Комитет лесов Республики Коми, 2008. – 329 с.
13. Мелехов, И.С. Притундровые леса / И.С. Мелехов, Г.А. Чибисов // Проблемы притундрового лесоводства: сб. научн. тр. АИЛиЛХ. – Архангельск, 1995. – С.8-12.
14. Муратова, Е. Н. Международная конференция «Влияние изменений климата на бореальные и углеродные леса» / Е.Н. Муратова, С.Г. Шиятов, С.В. Залесов, С.А. Мочалов // Лесоведение. – 2007. – № 1. – С. 74-76.
15. Пахучий, В.В. Динамика тундровых и лесных ландшафтов на севере Республики Коми / В. В. Пахучий // Проблемы притундрового лесоводства: сб. научн. тр. АИЛиЛХ. – Архангельск, 1995. – С.147-152.
16. Пахучий, В.В. Использование вегетационных индексов для целей гидролесомелиоративных исследований / В.В. Пахучий, Л.М. Пахучая, Д.А. Шевелев // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2016. – Том 20. – № 1. – С. 17-23.
17. Цветков, В.Ф. К уточнению границы притундровых лесов Архангельской области / В.Ф. Цветков, С.В. Торхов, Б.А. Семенов // Проблемы притундрового лесоводства: сб. научн. тр. АИЛиЛХ. – Архангельск, 1995. – С.13-29.
18. Чертовский, В.Г. Предтундровые леса / В.Г. Чертовский, Б.А. Семенов, В.Ф. Цветков, Е. П. Смолоногов, Е.А. Тихменев, А.А. Листов и др. – М.: ВО «Агропромиздат», 1987. – 168 с.
19. Экологический мониторинг межпромыслового нефтепровода Южно-Низевое-Макарельское нефтяные месторождения – терминал Израель // Отчет по договору 81 – 2007. Институт биологии Коми НЦ УрО РАН. – Заказчик – ООО Экологический центр «Аквилон», 2007. – Т.1. – 210 с.
20. Andrasko, K. Global warming and forests: an overview of current knowledge / K. Andrasko // Unasylva. – 1990. – Vol. 41 (163). – P. 3-11.
21. Callaghan, T.V. The dynamics of the tundra-taiga boundary: an overview and suggested coordinated and integrated approach to research / T.V. Callaghan, R.M. Crawford, M. Eronen, A. Hofgaard, S. Payette, W.G. Rees, et al. // Ambio. – 2002. – Vol. 31. – Special issue. – № 12. – P. 3-5.
22. Kellomäki, S. Model computations on the impacts of the climatic change on the productivity and silvicultural management of the forest ecosystem / S. Kellomäki, H. Hanninen, T. Kolström // Silva fennica. – 1988. – Vol. 22 (4). – P. 293-305.
23. Sere, O. How will the tundra-taiga interface respond to climate change? / O. Sere, R. Baxter, R. M. Crawford, T. V. Callaghan, A. Fedorkov // Ambio. – 2002. – Vol.31. – Special issue. – № 12. – P. 37-46.

References

1. Abaimov, A.P. Ekologo-geograficheskie osobennosti pritundrovyyh lesov Srednej Sibiri i organizaciya hozyajstva v nih / A.P. Abaimov, A.I. Bondarev // Problemy pritundrovogo lesovodstva: sb. nauchn. tr. AILiLH. – Arhangel'sk, 1995. – С. 42-55.
2. Atlas Komi ASSR. – М.: GUGK GKG SSSR, 1964. – 112 с.
3. Atlas po klimatu i gidrologii Respubliki Komi. – М.: Drofa; D i K, 1997. – 116 с.
4. Gorbackij, G.V. Severnaya polyarnaya oblast' (obshchaya fiziko-geograficheskaya harakteristika) / G. V. Gorbackij. – Leningrad: Izd-vo. Len. universiteta, 1964. – 234 с.

5. Elsakov, V.V. Tekhnologii distancionnogo zondirovaniya v issledovanii svojstv rastitel'nyh soobshchestv bassejna r. Novaya Neruta / V. V. Elsakov, S. N. Plyusnin, V. M. SHCHanov // Vestnik Instituta biologii Komi NC UrO RAN. – 2006. – № 2 (100). – S. 315-319.
6. Elsakov, V.V. Kartirovanie rastitel'nogo pokrova bassejna r. Kozhim (Pripolyarnyj Ural) s ispol'zovaniem materialov distancionnogo zondirovaniya / V.V. Elsakov, I.O. Marushchak, V.M. SHCHanov // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. – 2009. – T.2. – S. 360-364.
7. Elsakov, V. V. Sputnikovye metody issledovanij v monitoringe i kartirovanii pastbishchnyh ugodij severnogo olenya / V.V. Elsakov, V.M. SHCHanov, N.V. Belyaeva // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. – 2011. – T.8. – №2. – S. 201-207.
8. Kurbanov, E.A. CHetyre desyatiletija issledovanij lesov po snimkam Landsat / E.A. Kurbanov, O.N. Vorobiev, A.V. Gubaev, S.A. Lezhnin., YU.A. Polevshchikova, E.N. Demisheva // Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie. – 2014. – № 1(21). – S. 18-32.
9. Kurbanov, E.A. Tematicheskoe kartirovanie rastitel'nogo pokrova po sputnikovym snimkam: validaciya i ocenka tochnosti / E.A. Kurbanov, O.N. Vorobiev, S.A. Lezhnin, A.V. Gubaev, YU.A. Polevshchikova. – Joshkar-Ola: PGU, 2015. – 131 s.
10. Kurbanov, E.A. Ocenka tochnosti i sopostavimosti tematicheskikh kart lesnogo pokrova raznogo prostranstvennogo razresheniya na primere Srednego Povolzh'ya / E.A. Kurbanov, O.N. Vorobiev, A.V. Gubaev, S.A. Lezhnin, YU.A. Polevshchikova // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. – 2016. – № 1(13). – S. 36-48.
11. Kurbanov, E.A. Dva desyatiletija issledovanij rastitel'nogo pokrova po MODIS // Lesnye ekosistemy v usloviyah izmeneniya klimata: biologicheskaya produktivnost' i distancionnyj monitoring: sbornik nauchnyh statej / E.A. Kurbanov. – Joshkar-Ola: PGU, 2016. – S. 123-132.
12. Lesnoj plan Respubliki Komi. Kniga 2. Prilozhenie 1. Vologda: Komitet lesov Respubliki Komi, 2008. – 329 s.
13. Melekhov, I.S. Pritundrovye lesa / I.S. Melekhov, G.A. CHibisov // Problemy pritundrovogo lesovodstva: sb. nauchn. tr. AILiLH. – Arhangel'sk, 1995. – S.8-12.
14. Muratova, E. N. Mezhdunarodnaya konferenciya «Vliyanie izmenenij klimata na boreal'nye i uglerodnye lesa» / E.N. Muratova, S.G. SHiyatov, S.V. Zalesov, S.A. Mochalov // Lesovedenie. – 2007. – № 1. – S. 74-76.
15. Pahuchij, V.V. Dinamika tundrovyh i lesnyh landshaftov na severe Respubliki Komi / V. V. Pahuchij // Problemy pritundrovogo lesovodstva: sb. nauchn. tr. AILiLH. – Arhangel'sk, 1995. – S.147-152.
16. Pahuchij, V.V. Ispol'zovanie vegetacionnyh indeksov dlya celej gidrolesomeliorativnyh issledovanij / V.V. Pahuchij, L.M. Pahuchaya, D.A. SHEvelev // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoj vestnik. – 2016. – Tom 20. – № 1. – S. 17-23.
17. Cvetkov, V.F. K utochneniyu granicy pritundrovyh lesov Arhangel'skoj oblasti / V.F. Cvetkov, S.V. Torhov, B.A. Semenov // Problemy pritundrovogo lesovodstva: sb. nauchn. tr. AILiLH. – Arhangel'sk, 1995. – S.13-29.
18. CHertovskij, V.G. Predtundrovye lesa / V.G. CHertovskij, B.A. Semenov, V.F. Cvetkov, E. P. Smolonogov, E.A. Tihmenev, A.A. Listov i dr. – M.: VO «Agropromizdat», 1987. – 168 s.
19. Ekologicheskij monitoring mezhpromyslovogo nefteprovoda YUzhno-Nizevoe-Makar'el'skoe neftyanye mestorozhdeniya – terminal Israel' // Otchet po dogovoru 81 – 2007. Institut biologii Komi NC UrO RAN. – Zakazchik – OOO Ekologicheskij centr «Akvilon», 2007. – T.1. – 210 s.
20. Andrasko, K. Global warming and forests: an overview of current knowledge / K. Andrasko // Unasylva. – 1990. – Vol. 41 (163). – P. 3-11.
21. Callaghan, T.V. The dynamics of the tundra-taiga boundary: an overview and suggested coordinated and integrated approach to research / T.V. Callaghan, R.M. Crawford, M. Eronen, A. Hofgaard, S. Payette, W.G. Rees, et al. // Ambio. – 2002. – Vol. 31. – Special issue. – № 12. – P. 3-5.
22. Kellomäki, S. Model computations on the impacts of the climatic change on the productivity and silvicultural management of the forest ecosystem / S. Kellomäki, H. Hanninen, T. Kolström // Silva fennica. – 1988. – Vol. 22 (4). – P. 293-305.
23. Sere, O. How will the tundra-taiga interface respond to climate change? / O. Sere, R. Baxter, R. M. Crawford, T. V. Callaghan, A. Fedorkov // Ambio. – 2002. – Vol.31. – Special issue. – № 12. – P. 37-46.

УДК 630*182.21

ПИРОГЕННЫЕ СУКЦЕССИИ В МАРИЙСКОМ ЛЕСНОМ ЗАВОЛЖЬЕ

И.А. Головенкина

Поволжский государственный технологический университет,
Министерство лесного и охотничьего хозяйства Республики Марий Эл

Пожары – один из наиболее мощных экологических факторов, оказывающих многогранное влияние на лесные биогеоценозы. Лесные гари в Марийском Заволжье во многих случаях успешно возобновляются естественным путем, причем довольно часто без смены вида-эдификатора или с коротким его замещением березняками и осинниками. Целью исследования является оценка естественного возобновления живого напочвенного покрова (ЖНП) на горельниках 2010 года и выявление сукцессионных изменений на территории Куярского лес-

ничества Республики Марий Эл. В лесопирологическом отношении исследуемая территория характеризуется высокой пожарной опасностью и горимостью. Для оценки влияния способа расчистки на естественное возобновление были заложены 9 пробных площадей (трансект) на территории Устье-Кундышского участкового лесничества Куярского лесничества. На исследованной территории обнаружено 36 видов дикорастущих сосудистых растений 18-и семейств. Флористический состав исследованных пирогенных сообществ отличается крайней бедностью: в каждом обнаружено всего лишь 12-18 видов сосудистых растений и до 6 видов моховидных. Доминируют виды семейств сложноцветные, злаки, бобовые, вересковые. На гарях в течение периода исследований произошло статистически значимое увеличение общего покрытия травостоя, которое возросло в среднем с 10,2 до 25,6%. Изменение структурного разнообразия на гарях Марийского Заволжья происходит за счет резкого увеличения доли боровых видов после пожара и уменьшения количества бореальных видов. Установлено, что площади горельников Устье-Кундышского лесничества в основном восстанавливаются лесной растительностью естественным путем. Все это позволит до минимума снизить затраты на лесовосстановление и обеспечить в дальнейшем формирование устойчивых хозяйственно ценных лесов.

Ключевые слова: лесные гари, пожары, изменение климата, сукцессия, лесовозобновление, сосна, береза, Марийское Заволжье.

PYROGENIC SUCCESSION IN MARI ZAVOLZHYE

I.A. Golovenkina

Volga State University of Technology

Ministry of Forestry and Game Management of Mari El Republic

Environmental impact of fires on forest biogeocenoses is both powerful and disastrous. Burnt forest areas in Mari Zavolzhye naturally regenerate often without the change of edificatory species or with their short-term replacement with birch or aspen. The research aims to evaluate natural regeneration of live ground cover on the area damaged by 2010 forest fires. The research also means to detect succession changes on the territory of Kuyar forestry enterprise in Mari El Republic. With regard to forest pyrology the area under study is characterized as highly fire-hazardous and produces disappointing forest fire statistics. In order to evaluate the impact of the clearing method on natural regeneration we explored 9 sampling areas within the territory of Ust-Kundyshskoe forestry enterprise, a constituent of Kuyar forestry enterprise. On the area under study, we reveled 36 types of vascular plants from 18 families. Floristic composition of pyrogenic community is fairly poor: each plot features only 12-18 vascular plant species and up to 6 moss species. Dominating species prevailing on these areas include composite, grass, pea, and heather families. Over the period under study there was a statistically important increase in the overall grass canopy cover, which increased on average from 10.2 to 25.6%. Changes in the structural diversity on the burnt areas of Mari Zavolzhye occurred due to a sharp increase in pine forest vegetation after a forest fire and a decrease in boreal species. It was revealed that the burnt area in Ust-Kundyshskoe forestry enterprise had naturally regenerated. It allows to minimize forest regeneration costs and ensure sustainable and economically viable forest stand.

Key words: burnt area, forest fires, climate change, succession, forest regeneration, pine, birch, Mari Zavolzhye.

Введение. Лесоводственно-экологические последствия пожаров, в зависимости от их силы и времени действия, структуры лесных экосистем и особенностей ландшафтов региона, могут быть как отрицательными, так и положительными (Мелехов, 1948; Демаков, Калинин, 2003). Леса во многих случаях успешно возобновляются после пожаров естественным путем, причем довольно часто без смены вида-эдификатора или с коротким его замещением березняками и осинниками (Денисов и др. 2012; Воробьев, Курбанов, 2017).

Способность к сменам – одно из важнейших свойств фитоценозов, так как это открытые системы, находящиеся под влиянием внешних (экзодинамические сукцессии) и внутренних (эндодинамические сукцессии) факторов (Сукачев, 1964; Работнов, 1992). При этом лесоводы выделяют несколько типов смен фитоценозов, на основе которых была разработана классификация сукцессий: 1) автогенные (причина изменений растительности заключается во внутренних процессах); 2) аллогенные (причины изменений обусловлены внешними факторами) (Миркин, 2000). Наиболее широко представлены в природе и изучены автогенные сукцессии, возникающие после разрушения растительности: например, после лесных пожаров (Методика..., 1994; Воробьев и др., 2014) или на заброшенных сельскохозяйственных угодьях (Курбанов и др., 2010).

Процесс восстановления леса после пожара или вырубki относится ко вторичной сукцессии. Вторичная сукцессия протекает обычно с большей скоростью, нежели первичная, поскольку на территории, которая ранее была занята сообществом, уже имеются биогены, некоторые организмы, необходимые для обмена веществ со средой, более благоприятной для развития сообщества (Работнов, 1995).

Пожары оказывают большое влияние на характер отпада и товарности древостоев как основного компонента лесных экосистем, причем это влияние зависит от вида пожара и его интенсивности. Установлены зависимости отпада сосны от толщины дерева и максимальной высоты нагара, разработаны методы его прогнозирования (Коротков, 2002). Характер развития живого напочвенного покрова определяется типом леса, видом и интенсивностью пожара. Он в сильной степени влияет на успешность естественного возобновления (Чижов, 2000).

В результате многолетних исследований влияния лесных пожаров на основные компоненты лесных экосистем и лесовозобновительные процессы в них в Среднем Заволжье К.К. Калинин (2002) установлено: лесное Среднее Заволжье по климатическим и природным условиям характеризуется возможностью наступления часто повторяющихся длительных весенне-летних засух, что создает препятствия успешному ходу лесовозобновительных процессов, вызывает повышенную пожарную опасность и способствует быстрому распространению лесных пожаров. Естественное возобновление главной породой обеспечивается лишь при наличии обсеменителей. Характер возобновления зависит от типа леса и вида пожара (Коротков, 2002).

В современных научных исследованиях большой интерес приобретает характер восстановления нарушенных участков древесной растительностью и динамика ее роста по данным спутниковых изображений (Chen et al., 2014; Ireland, Petropoulos, 2015; Курбанов и др., 2015; Воробьев и др., 2012). Быстрое развитие спутниковых сенсоров среднего и высокого пространственного разрешения позволяет проводить такую оценку динамики возобновления растительности на лесных гарях (Lhermitte et al., 2011; Курбанов и др., 2014; Курбанов, 2016).

Целью настоящей работы является определение успешности естественного возобновления ЖНП на горельниках 2010 года и установление возможных сукцессионных изменений на территории Куярского лесничества Республики Марий Эл.

Объект и методика исследований. Республика Марий Эл является одним из наиболее экологически чистых районов европейской части России. Она находится на границе лесной и лесостепной зон. Смешанные леса занимают свыше 57% территории. Общая площадь лесов на территории Республики Марий Эл составляет 1 млн 422 тыс. гектаров (Государственный доклад..., 2016).

Общая площадь Куярского лесничества составляет 51745 га, в него входят 3 участковых лесничества, одно из которых (Сурокское) делится на 2 лесных участка. Основной лесобра-

зующей породой в Куярском лесничестве является сосна, на долю которой приходится 70 % земель, покрытых лесной растительностью. Далее следуют: береза (*Betula pendula*) – 25 %, липа (*Tilia cordata*) – 2 %, ель (*Picea abies*) – 1 % и остальные породы (2 %) (Государственный доклад..., 2016). Общий состав лесного фонда характеризуется следующей формулой: 6СЗБ1Ос+Лп,Е,Олч,Ивд. В лесничестве более 69 % составляют высокопродуктивные насаждения IА–II классов бонитета. Средний класс бонитета в целом по территории лесничества составляет 2,1 %, что свидетельствует о сравнительно высокой продуктивности насаждений для условий Республики Марий Эл.

Основные лесообразующие древесные породы (сосна, береза) имеют средний возраст, близкий к половине возраста рубки. Так, если в целом на территории лесничества средний возраст сосняков не должен превышать 50 лет, то его фактическая величина равняется 55 годам. Особенностью лесов РМЭ является большая доля хвойных насаждений. В Куярском лесничестве доля хвойных пород составляет 72 %, из них на сосну (*Pinus sylvestris*) приходится 70 %. Она имеет средний возраст 55 лет и занимает площадь 32698 га, при общей площади лесных насаждений в лесничестве 46549 га. Довольно значительна площадь лесных культур – 24,3 %.

Большое влияние на леса республики оказывают лесные пожары, которые издавна охватывали хвойные массивы. Особенно памятны всемирно известные огромные гари 1921, 1972, 2010 годов (Kurbanov et al., 2017; Воробьев и др., 2012). В лесопирологическом отношении арендуемая территория лесных насаждений ООО «Лес» характеризуется высокой пожарной опасностью и горимостью.

Наибольшая площадь (3483 га), имеющая первый класс пожарной опасности, находится в Сурокском лесном участке Сурокского участкового лесничества, а площадь (6983 га), имеющая второй класс пожарной опасности – в Силикатном лесном участке. Средний класс пожарной опасности Сурокского лесного участка – 2,1. Наибольшую опасность возникновения лесного пожара имеет Сурокское участковое лесничество.

Всего по лесничеству за 10 лет (с 2001 по 2010) наблюдений возникло 303 пожара, общая площадь пожаров составляет 11080,05 га, средняя площадь одного пожара по лесничеству – 36,568 га. При исключении данных за аномальный 2010 год показатель «средняя площадь одного пожара по лесничеству» составит 5,547 га.

Наибольшее количество пожаров за период с 2001 по 2010 год, а это 83,5 %, возникло из-за нарушения населением правил пожарной безопасности в лесах и неосторожного обращения с огнем.

Всего в 2010 году в Республике Марий Эл зарегистрирован 461 лесной пожар, из которых только 30 произошли по вине природной стихии, остальные – по вине человека. Площадь, пройденная огнем в сезоне 2010 года, составила более 76,5 тыс. га (76531,47).

Для оценки влияния способа расчистки на успешность естественного возобновления были заложены 9 пробных площадей (трансект) на территории Устье-Кундышского участкового лесничества Куярского лесничества. На каждой пробной площади были заложены по 10 учетных площадок, где производился учет возобновления. Пробные площади были заложены в разных типах лесорастительных условий и на разных видах расчистки. Размер круговых площадок – 10 м² в количестве 10 штук на трансекте. На них выполнялся пересчет самосева по древесным породам. Результаты оценки проективного покрытия на учетных площадках в пределах пробных площадей заносили в таблицу и обрабатывали статистически.

Результаты исследования. На всех трансектах, за исключением первой, подрост наблюдался густой, распределение по площади – равномерное. Лишь на трансекте №1 подрост редкий с групповым размещением на площади. При оценке густоты соснового подроста

получены следующие результаты: подрост редкий – на трансектах № 1, 4, 5, 9; подрост средней густоты – на трансекте №8; подрост густой – на трансектах № 2, 3, 6, 7.

По оценке встречаемости соснового подроста получены следующие данные: подрост распределен равномерно – на трансектах № 2, 4, 6, 7; на трансекте № 3 – неравномерно; на трансектах № 1, 5, 8, 9 отмечается групповое распределение по площади.

По результатам анализа встречаемости подроста практически на всех обследуемых участках мероприятий, направленных на улучшение процесса лесовозобновления, не требуется. Лишь на трансекте № 1, заложенной в кв. 49, выделе 25, необходима посадка лесных культур, которая и была произведена осенью 2011 года.

На трансекте № 7 анализ состава возобновления (состав – 4,6С3,5Ос1,9Б) показал, что в условиях В3 означает необходимость проведения осветлений с удалением лиственных пород, так как в данных условиях они могут заглушить сосну. В ТЛУ А₂ на трансектах № 3 и № 9, скорее всего, осина выпадет, произойдет смена на березу и сосну. В условиях В₂ и В₃ на трансектах № 2 и № 7 необходимо проведение осветлений с удалением лиственных пород. На трансектах № 4, 6, 8 в условиях влажной субори (В₃) также необходимо проведение осветлений с удалением осины. На данном участке возможно формирование смешанных березово-сосновых древостоев.

В условиях А₁ на трансекте № 5 (9Ос1С) осина выпадет. В данных ТЛУ может произрастать только сосна. Необходимо искусственное лесовосстановление.

Наибольшее возобновление сосны наблюдается на второй и шестой трансектах – там, где древостой пройден низовым пожаром и где древостой был вырублен сразу после пожара. Это означает, что процесс возобновления на вырубках 2010 года при наличии источников обсеменения происходит успешно и создавать лесные культуры на данной площади не требуется. Необходимыми мероприятиями в данных условиях являются уход за будущим составом насаждения. Анализ полученных результатов представлен на рисунках 1 и 2.

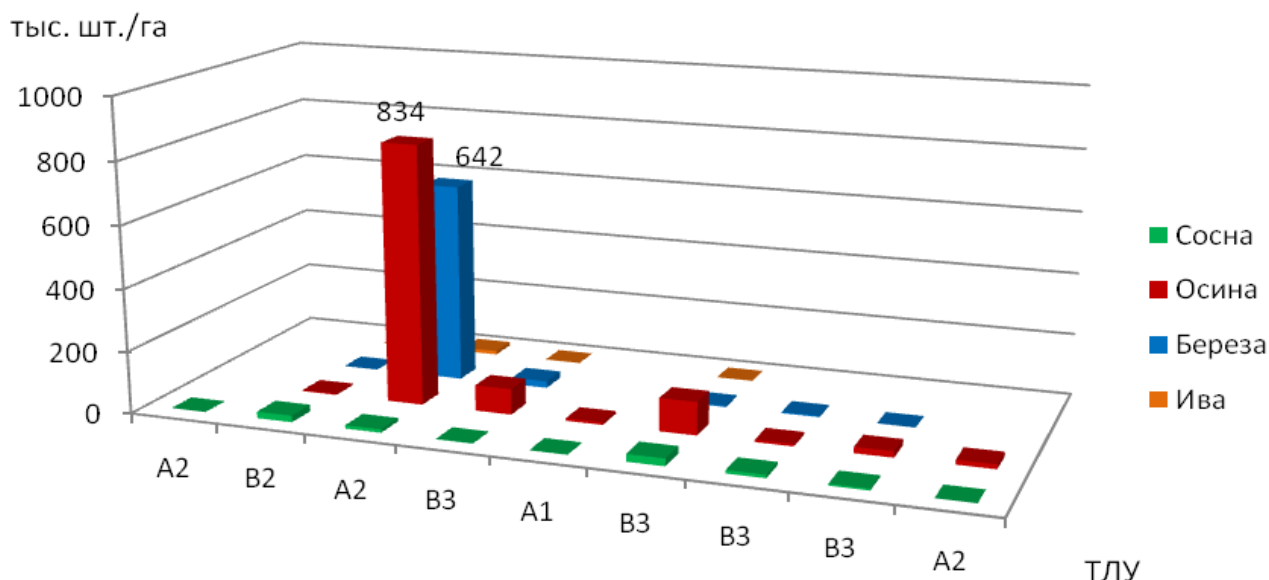


Рис. 1. Количество самосева на трансектах, тыс. шт./га

На территории Устье-Кундышского участкового лесничества после пожаров 2010 года в наибольшей степени повреждены огнем хвойные насаждения, в частности сосна. Наибольшая площадь насаждений пройдена верховым пожаром сильной интенсивности.

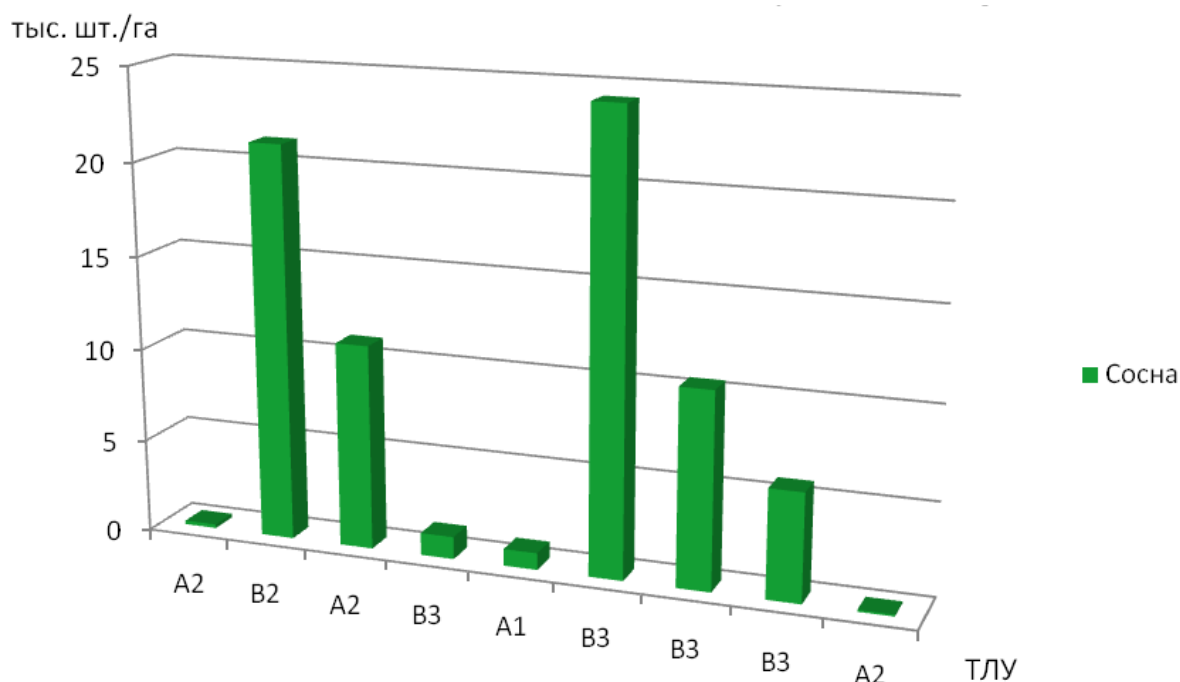


Рис. 2. Количество самосева сосны на трансектах, тыс. шт./га

По площади пожарами больше пройдены насаждения в типах лесорастительных условий: А₂, А₃, В₂, В₃. Пожар в участковом лесничестве прошел независимо от ТЛУ, что связано с жарким засушливым летом 2010 года.

Предварительный прогноз естественного возобновления леса на местах пожаров показал, что можно достаточно оптимистично оценивать успешность естественного возобновления практически на всех участках, где не проводилась вырубка товарных насаждений.

Участки гарей в условиях свежей субори, где сосна занимает лишь половину состава подроста, а остальная ее часть представлена лиственными породами, в первую очередь требуют проведения рубок ухода во избежание подавления сосны лиственными породами. В типе лесорастительных условий А₂ необходимо проведение рубок ухода лишь в том случае, если сосна занимает менее половины видового состава и появилась позже лиственных пород.

Участки гарей, где не проводилась вырубка товарных насаждений, но имеется достаточное количество самосева сосны, необходимо оставить под естественное заращивание. Насаждение должно быть разработано по удмуртской или костромской технологиям с сохранением подроста. В условиях влажных боров, а также в свежей и влажной суборях необходимо на 5...7 год после пожара проведение рубок ухода за сосновым молодняком. На участках гарей, где возобновление недостаточное (менее 4 тыс. шт. га⁻¹), требуется проведение частичных культур; на участках, где возобновление не обеспечено, необходимо создание лесных культур на всей площади.

При полосной расчистке насаждений трактором с бульдозерной лопатой на ширину до 2 м, с расстоянием междурядий до 4 м или лесным плугом и уборкой мотопилами единичных деревьев более 8 см в диаметре с вырубным запасом до 15 м³ га⁻¹ и при расчистке мотопилами, когда деревья складываются в валы с расстоянием между ними до 10 м, при отсутствии обсеменителей следует создавать лесные культуры, поскольку сгоревшие насаждения еще не достигли возраста плодоношения и не могут обеспечить обсеменение данных площадей.

Выводы:

1. На исследованной территории обнаружено 36 видов дикорастущих сосудистых растений 18-ти семейств. Флористический состав исследованных пирогенных сообществ отлича-

ется крайней бедностью: в каждом обнаружено всего лишь 12-18 видов сосудистых растений и до 6 видов моховидных. Доминируют виды семейств сложноцветные, злаки, бобовые, вересковые. Только на контрольном участке встречаются представители семейств, розоцветные, лютиковые, миртовые.

2. Коэффициент общности флористического состава контрольного и исследуемых участков равен 0,3-0,4, что свидетельствует о существенном изменении флористического состава березняков после пожара.

3. На гарях в течение периода исследований произошло статистически значимое увеличение общего покрытия травостоя, которое возросло в среднем с 10,2 до 25,6%. На контрольном участке изменения проективного покрытия незначительны.

4. В исследуемых сообществах были обнаружены растения, относящиеся к 8 эколого-ценотическим группам (ЭЦГ). Изменение структурного разнообразия на гарях происходит за счет резкого увеличения доли боровых видов после пожара и уменьшения количества бореальных видов.

Рекомендации. При обследовании обширных площадей гарей, возникших после пожара 2010 года рекомендуется проводить глазомерный учет естественного возобновления. При глазомерной оценке возобновления, при количестве 1 экземпляра сосны на 2...4 м², данную территорию необходимо относить к площадям, где возможно естественное формирование хозяйственно ценных древостоев. В дальнейшем на таких площадях требуется ежегодный мониторинг сохранности подроста сосны и высотной динамики участвующих в возобновлении леса древесно-кустарниковых видов. На основе данных мониторинга в дальнейшем должны планироваться мероприятия по формированию хозяйственно целесообразных насаждений.

После разработки товарных горелых древостоев, как правило, уничтожается весь наличный самосев. Здесь возникает необходимость создания лесных культур. Нужно иметь в виду, что отсутствие контроля за соблюдением технологий разработки горелых древостоев и сохранения имеющегося самосева сосны и лиственных приводит к финансовым потерям в дальнейшем при искусственном облесении гарей.

При разработке усыхающих древостоев на лесных участках, пройденных пожарами, нельзя допускать повреждения самосева. В обязательном порядке должны применяться технологии разработки древостоев с сохранением подроста (костромская, удмуртская и производные от них). При разработке ликвидных горелых древостоев с помощью агрегатной техники (харвестер-форвардер) необходимо обратить повышенное внимание на минимизацию технологических площадей (волоков, погрузочных площадок и др.) и желательную выноску спеленных деревьев манипулятором харвестера на волок или рядом с волоком (объемы вырубемых деревьев, как правило, много меньше грузоподъемности стрелы харвестеров).

Необходимо проведение ухода за составом формирующихся молодняков, особенно в первые годы после пожара, по причине начинающейся во многих типах леса смены пород. В первую очередь рубки ухода должны проводиться на участках, где наиболее вероятно заглушение соснового подроста лиственными породами.

Возраст начала рубок ухода в молодняках составляет 4...5 лет – в черничном типе леса субборевого ряда (В₃), 6...7 лет – в черничном борового ряда (А₃) и 9...10 лет в брусничном типе леса (А₂) (Калинин, 2002).

Таким образом, площади горельников Устье-Кундышского лесничества в основном восстанавливаются лесной растительностью естественным путем. Регулярное обследование площадей гарей и анализ процесса возобновления леса должны являться основой для принятия решений по ликвидации последствий лесных пожаров в лесном фонде лесничества. В любом случае, наличие источников семян в горелых древостоях, подлежащих разработке, определя-

ет технологию разработки горельников с сохранением подроста. Все это позволит до минимума снизить затраты на лесовосстановление и обеспечить в дальнейшем формирование устойчивых хозяйственно ценных лесов.

Заключение. Проблема ликвидации последствий лесных пожаров является для лесного хозяйства России общей. Леса горят и в европейской части страны, и в Сибири, и на Дальнем Востоке. Главным вопросом для регионов, где были крупные лесные пожары, является лесовосстановление. Из результатов исследования гарей 2010 года в Республике Марий Эл и публикаций по проблемам лесовосстановления гарей 1972 года следует, что значительная часть их может восстановиться естественным путем, без смены пород, другая часть требует проведения лесоводственных уходов за составом молодняков, а третья часть площадей нуждается в искусственном лесовосстановлении.

Предлагаемый мониторинг за лесовосстановительными процессами и выявленные лесоводственно-биологические особенности лесовозобновления на крупных гарях в зависимости от вида расчистки, являются базой для обоснования методов лесовосстановления хозяйственно ценными древесными породами и способны обеспечить снижение затрат на эту дорогостоящую работу. Изучение процессов естественного лесовозобновления на гарях и формирование молодняков на них имеет большое практическое значение.

Библиографический список

1. Воробьев, О.Н. Дистанционный мониторинг восстановительной динамики растительности на гарях Марийского лесного Заволжья / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2017. – № 2 (14). – С. 124-134.
2. Воробьев, О.Н. Дистанционный мониторинг лесных гарей в Марийском Заволжье / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2012. – № 1. – С. 12-22.
3. Воробьев, О.Н. Методика выявления степени повреждения древостоев после пожаров 2010 года в Среднем Поволжье / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова, Е.Н. Демишева // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2014. – № 4 (11). – С. 217-229.
4. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Марий Эл в 2016 году. – Йошкар-Ола, 2016. – 179 с.
5. Демаков, Ю.П. Лесоводство. Ведение хозяйства в лесах, повреждённых пожарами/ Ю.П. Демаков, К.К. Калинин. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2003. – 136 с.
6. Денисов, С.А. Проблемы воспроизводства сосновых лесов среднего Поволжья / С.А. Денисов, К.К. Калинин, В.П. Бессчетнов, Н.В. Демичева, Т.С. Батухтина, В.В. Самоделкина // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2012. – № 1. – С. 12-23.
7. Калинин, К.К. Воздействие крупных пожаров на лесные фитоценозы и система л/х мероприятий по ликвидации их последствий (на примере лесных пожаров 1921 и 1972 гг. в лесном среднем Заволжье): дисс...-др с.-х. наук / К.К. Калинин. – Йошкар-Ола, 2002.
8. Коротков, В.Н. Биоразнообразие растительного покрова при разных типах пожарных нарушений: результаты наблюдений на стационарных пробных площадях в Окском заповеднике / В.Н. Коротков // Мониторинг сообществ на гарях и управление пожарами в заповедниках; отв. ред. Л.В. Кулешова. – М.: ВНИИприроды, 2002. – С. 47-56.
9. Курбанов, Э.А. Два десятилетия исследований растительного покрова по MODIS [Электронный ресурс] / Э.А. Курбанов // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг: сборник научных статей. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016. – С. 123-132.
10. Курбанов, Э.А. Оценка зарастания земель запаса Республики Марий Эл лесной растительностью по спутниковым снимкам / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, С.А. Незамаев, Т.А. Александрова // Вестник МарГТУ. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2010. – № 2(9). – С. 14-20.
11. Курбанов, Э.А. Тематическое картирование растительного покрова по спутниковым снимкам: валидация и оценка точности: монография / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, С.А. Лежнин, А.В. Губаев, Ю.А. Полевщикова. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015. – 131 с.
12. Курбанов, Э.А. Четыре десятилетия исследований лесов по снимкам Landsat / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова, Е.Н. Демишева // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 1(21). – С. 18-32.
13. Мелехов, И.С. Влияние пожаров на лес / И.С. Мелехов. – М.-Л.: Гослестехиздат, 1948. – 126 с.
14. Методика оценки последствий лесных пожаров: сборник методик по прогнозированию возможных аварий, катастроф, стихийных бедствий в РСЧС (книга 2). – М.: МЧС России, 1994. – 11 с.

15. Миркин, Б.М. Современная наука о растительности / Б.М. Миркин, Л.Г. Наумова, А.И. Соломешч. – М.: Логос, 2000. – 264 с.
16. Работнов, Т.А. История фитоценологии / Т.А. Работнов. – М.: Аргус, 1995. – 157с.
17. Работнов, Т.А. Фитоценология / Т.А. Работнов. – 3-е изд. – М.: МГУ, 1992. – 349 с.
18. Сукачев, В.Н. Основы лесной биогеоценологии / В.Н. Сукачев, Н.В. Дылис. – М.: Наука, 1964. – 574 с.
19. Чижов, Б.Е. Биоморфологическая и экотопическая обусловленность пожароустойчивости лесных растений / Б.Е. Чижов // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. – 2000. – № 1. – С. 106-114.
20. Chen, W. Monitoring of post-fire forest recovery under different restoration modes based on time series Landsat data / W. Chen, K. Moriya, T. Sakai, L. Koyama, C. Cao // European Journal of remote Sensing. – 2014. – № 47. – P. 153-168.
21. Ireland, G., Exploring the relationships between postfire vegetation regeneration dynamics, topography and burn severity: A case study from the montane cordillera ecozones of western Canada / G. Ireland, G.P. Petropoulos // Applied Geography. – 2015. – №. 56. – P. 232–248.
22. Kurbanov, E. Assessment of burn severity in Middle Povolzhje with Landsat multi-temporal data/ E. Kurbanov, O. Vorobyev, S. Lezhnin, Y. Polevshchikova, and E. Demisheva // International Journal of Wildland Fire. – 2017. – Vol. 26. – № 9. – P. 772-782.
23. Lhermitte, S. Assessing intra-annual vegetation regrowth after fire using the pixel based regeneration index / S. Lhermitte, J. Verbesselt, W.W. Verstraeten, S. Veraverbeke, P. Coppin // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2011. – №. 66(1). – P. 17-27.

References

1. Vorobiev, O.N. Distancionnyj monitoring vosstanovitel'noj dinamiki rastitel'nosti na garyah Marijskogo lesnogo Zavolzh'ya / O.N. Vorobiev, E.A. Kurbanov // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. – 2017. – № 2 (14). – S. 124-134.
2. Vorobiev, O.N. Distancionnyj monitoring lesnyh garej v Marijskom Zavolzh'e / O.N. Vorobiev, E.A. Kurbanov, A.V. Gubaev, S.A. Lezhnin, YU.A. Polevshchikova // Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie. – 2012. – № 1. – S. 12-22.
3. Vorobiev, O.N. Metodika vyavleniya stepeni povrezhdeniya drevostoev posle pozharov 2010 goda v Srednem Povolzh'e / O.N. Vorobiev, E.A. Kurbanov, S.A. Lezhnin, YU.A. Polevshchikova, E.N. Demisheva // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. – 2014. – № 4 (11). – S. 217-229.
4. Gosudarstvennyj doklad o sostoyanii okruzhayushchej prirodnoj sredy Respubliki Marij El v 2016 godu. – Yoshkar-Ola, 2016. – 179 s.
5. Demakov, YU.P. Lesovodstvo. Vedenie hozyajstva v lesah, povrezhdennykh pozharami/ YU.P. Demakov, K.K. Kalinin. – Yoshkar-Ola: MarGTU, 2003. – 136 s.
6. Denisov, S.A. Problemy vosproizvodstva sosnovykh lesov srednego Povolzh'ya / S.A. Denisov, K.K. Kalinin, V.P. Besschetnov, N.V. Demicheva, T.S. Batuhina, V.V. Samodelkina // Vestnik Marijskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie. – 2012. – № 1. – S. 12-23.
7. Kalinin, K.K. Vozdejstvie krupnykh pozharov na lesnye fitocenozy i sistema l/h meropriyatij po likvidacii ih posledstvij (na primere lesnykh pozharov 1921 i 1972 gg. v lesnom srednem Zavolzh'e): diss...d-ra s.-h. nauk / K.K. Kalinin. – Yoshkar-Ola, 2002.
8. Korotkov, V.N. Bioraznootbrazie rastitel'nogo pokrova pri raznykh tipakh pozharnykh narushenij: rezul'taty nablyudenij na stacionarnykh probnykh ploshchadnykh v Okskom zapovednike / V.N. Korotkov // Monitoring soobshchestv na garyah i upravlenie pozharami v zapovednikah; otv. red. L.V. Kuleshova. – M.: VNIIPrirody, 2002. – S. 47-56.
9. Kurbanov, E.A. Dva desyatiletija issledovanij rastitel'nogo pokrova po MODIS [Elektronnyj resurs] / E.A. Kurbanov // Lesnye ekosistemy v usloviyakh izmeneniya klimata: biologicheskaya produktivnost' i distancionnyj monitoring: sbornik nauchnykh statej. – Yoshkar-Ola: PGTU, 2016. – S. 123-132.
10. Kurbanov, E.A. Ocenka zarastaniya zemel' zapasa Respubliki Marij El lesnoj rastitel'nost'yu po sputnikovym snimkam / E.A. Kurbanov, O.N. Vorob'yov, A.V. Gubaev, S.A. Lezhnin, S.A. Nezamaev, T.A. Aleksandrova // Vestnik MarGTU. – Yoshkar-Ola: Marijskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie. – 2010. – № 2(9). – S. 14-20.
11. Kurbanov, E.A. Tematicheskoe kartirovanie rastitel'nogo pokrova po sputnikovym snimkam: validaciya i ocenka tochnosti: monografiya / E.A. Kurbanov, O.N. Vorobiev, S.A. Lezhnin, A.V. Gubaev, YU.A. Polevshchikova. – Yoshkar-Ola: PGTU, 2015. – 131 s.
12. Kurbanov, E.A. CHetyre desyatiletija issledovanij lesov po snimkam Landsat / E.A. Kurbanov, O.N. Vorobiev, A.V. Gubaev, S.A. Lezhnin, YU.A. Polevshchikova, E.N. Demisheva // Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie. – 2014. – № 1(21). – S. 18-32.
13. Melekhov, I.S. Vliyanie pozharov na les / I.S. Melekhov. – M.-L.: Goslestekhzdat, 1948. – 126 s.
14. Metodika ocenki posledstvij lesnykh pozharov: sbornik metodik po prognozirovaniyu vozmozhnykh avarij, katastrof, stihijnykh bedstvij v RSCHS (kniga 2). – M.: MCHS Rossii, 1994. – 11 s.
15. Mirkin, B.M. Sovremennaya nauka o rastitel'nosti / B.M. Mirkin, L.G. Naumova, A.I. Solomeshch. – M.: Logos, 2000. – 264 s.
16. Rabotnov, T.A. Istoriya fitocenologii/ T.A. Rabotnov. – M.: Argus, 1995. – 157s.
17. Rabotnov, T.A. Fitocenologiya / T.A. Rabotnov. – 3-e izd. – M.: MGU, 1992. – 349 s.
18. Sukachev, V.N. Osnovy lesnoj biogeocenologii / V.N. Sukachev, N.V. Dylis. – M.: Nauka, 1964. – 574 s.
19. CHizhov, B.E. Biomorfologicheskaya i ekotopicheskaya obuslovlennost' pozharoustojchivosti lesnykh rastenij / B.E. CHizhov // Vestnik ekologii, lesovedeniya i landshaftovedeniya. – 2000. – № 1. – S. 106-114.

20. Chen, W. Monitoring of post-fire forest recovery under different restoration modes based on time series Landsat data / W. Chen, K. Moriya, T. Sakai, L. Koyama, C. Cao // *European Journal of remote Sensing*. – 2014. – № 47. – P. 153-168.
21. Ireland, G., Exploring the relationships between postfire vegetation regeneration dynamics, topography and burn severity: A case study from the montane cordillera ecozones of western Canada / G. Ireland, G.P. Petropoulos // *Applied Geography*. – 2015. – № 56. – P. 232–248.
22. Kurbanov, E. Assessment of burn severity in Middle Povolzhje with Landsat multi-temporal data/ E. Kurbanov, O. Vorobyev, S. LezninA, Y. Polevshikova, and E. Demisheva // *International Journal of Wildland Fire*. – 2017. – Vol. 26. – № 9. – P. 772-782.
23. Lhermitte, S. Assessing intra-annual vegetation regrowth after fire using the pixel based regeneration index / S. Lhermitte, J. Verbesselt, W.W. Verstraeten, S. Veraverbeke, P. Coppin // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. – 2011. – №. 66(1). – P. 17-27.

УДК 630*237

ИЗУЧЕНИЕ ЛЕСОВОДСТВЕННОГО ЭФФЕКТА ОСУШЕНИЯ СОСНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ И ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Д.А. Шевелев

Сыктывкарский лесной институт

Приведены результаты исследований на осушенных водораздельных территориях в Корткеросском лесничестве Республики Коми. Рассмотрена возможность использования данных космической съемки и геоинформационных технологий для анализа влияния осушения на рост леса. Предложено использовать при исследованиях различные по площади и форме опытные объекты: пробные площади, лесные массивы в кварталах (полигоны), узкие трансекты и участки в границах объектов лесосоушения. Показана целесообразность применения при гидролесомелиоративных исследованиях вегетационных индексов, в т.ч. NDVI – нормализованный разностный индекс растительности. Установлено, что средние значения индекса NDVI для сосновых насаждений средней тайги Республики Коми увеличиваются по мере приближения к осушительному каналу, что свидетельствует о большем запасе фитомассы вблизи каналов. Использование вегетационного индекса NDVI как относительного показателя продуктивности древостоя позволяет получать дополнительную информацию об эффективности осушения, выявлять участки вторичного заболачивания. Индекс NDVI целесообразно использовать и для выявления участков с недостаточным эффектом осушения, где в будущем можно рекомендовать сгущение гидромелиоративной сети. Сделан вывод о том, что на староосушенном верховом торфянике с глубиной торфа 0,2-0,3 м лучший рост сосны наблюдается на пробных площадях, где торф подстиляется супесью при условии залегания среднего уровня грунтовых вод за вегетационный период в минеральных грунтах, а не в торфе. Средняя прямая связь наблюдается между удаленностью от канала и уровнем почвенно-грунтовых вод, близкая к средней связь между мощностью торфа и уровнем почвенно-грунтовых вод.

Ключевые слова: Республика Коми, гидролесомелиорация, вегетационные индексы, WorldView-2, Канопус-В, ДЗЗ.

STYDING EFFECTIVENESS OF HYDROTECHNICAL MELIORATION OF PINE TREES USING GIS TECHNOLOGIES AND REMOTE SENSING METHODS

D.A. Shevelev

Syktyvkar Forest Institute

The paper presents the results of research carried out on drained watershed areas in Kortkerosskoe forestry enterprise in the Republic of Komi. For the purpose of the present research we used satellite data and GIS technology solutions in order to analyze the impact of drainage on forest growth. In order to obtain objective data it is recommended to use testing sites various in form and

area: sampling plots, forest stands arranged in compartments, narrow transects and plots within forest drainage objects. The paper proves the relevance of vegetation indices application while carrying out hydrological forest ameliorative research, including Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). It has been revealed that the mean values of NDVI index for pine plantations in the middle taiga of the Komi Republic are increasing on drawing near the drainage canal, which proves there is a large phytomass stock in the canal proximity. Application of NDVI vegetation index as a relative forest stand production index provides supplementary data on the drainage efficiency and allows to detect plots of repeated swamping. NDVI index is also appropriate for the use in the areas with insufficient drainage effect, which in future could be recommended for thickening of drainage network. The author draws a conclusion that pine trees grow better in a high 0.2-0.3 m. deep moorland, drained a long time ago, where peat is underlain by sandy loam, provided the mean level of ground waters during the vegetation period is found within the mineral grounds rather than in a peat layer. The mean direct correlation is observed between the remoteness from the channel and the level of ground waters, the correlation nearing the mean direct correlation is observed between the peat layer thickness and the level of ground waters.

Key words: the Komi Republic, hydro amelioration of forest, vegetation indices, WorldView-2, Kanopus-B, remote earth sensing.

Введение. Основной функцией осушения избыточно увлажненных земель является создание оптимальных водно-воздушных режимов почв, создающих благоприятные условия для произрастания древостоя. Действие осушительных систем направлено на отведение избыточной влаги из корнеобитаемого горизонта. Осушение в сочетании с лесоводственными и лесокультурными мероприятиям приводит к повышению плодородия лесных почв и производительности лесонасаждений (Писарьков, Тимофеев, 1964).

Сущность процесса осушения заключается в удалении избытка гравитационной влаги, благодаря чему в поры почвы проникает воздух, меняется термический режим. Улучшение аэрации почвы приводит к тому, что закисные процессы, происходящие в избыточно увлажненных почвах, сменяются окислыми, меняется направление микробиологических процессов, зольные элементы почвы переходят в формы, доступные для усвоения корневыми системами растений (Пьявченко и др., 1980).

Гидролесомелиоративные исследования направлены на обоснование научных подходов рационального осушения для различных лесорастительных условий. Объективной оценкой успешности мероприятий по гидромелиорации лесных земель является лесоводственная эффективность осушения, в первую очередь отражающая динамику производительности древостоев. Основными показателями эффективности осушения являются прирост, запас древостоя и бонитет.

Гидролесомелиорация оказывает сильное влияние на почву и почвенные процессы. После осушения существенно меняются характеристики торфяной залежи, прежде всего степени разложения и объемной массы торфа, происходит уплотнение торфа и осадка поверхности осушаемого участка. Торф оседает длительное время, но более всего в первые 3 года после осушения и вблизи каналов (Писарьков, Тимофеев, 1964). Процессы торфообразования замедляются, начинается медленный процесс образования почвы (Бабилов, Пахучий, 2014).

Исследователи установили, что на болотах на эффект осушения в значительной степени влияют зольность торфяного горизонта, степень его разложения, ботанический состав и кислотность (Писарьков, 1964).

В Республике Коми влияние осушения заболоченных земель на водный режим и рост леса в условиях средней подзоны тайги изучается с 1982 г. В настоящее время возможно уточнение полученных ранее данных на основе исследований объектов старого осушения. Определенный интерес представляют результаты исследований заболоченных земель на водораздельных территориях с характерными верховыми торфяно-глебовыми почвами.

Оценка эффективности гидромелиоративных работ, приведение в известность объектов лесосушения, мониторинг за состоянием осушительных систем с использованием традиционных наземных методов – всё это довольно затруднительно и трудоемко. Для решения этих задач может быть перспективно использование методов дистанционного зондирования (Курбанов и др., 2014; Курбанов, 2016; Шевелев, 2013) и ГИС-технологий, в том числе и с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), наряду с традиционными лесоводственными и таксационными методами.

При современном технологическом и информационном уровне развития ДЗЗ может быть самым эффективным практическим способом предоставления необходимых данных для ведения устойчивого лесопользования (Чандра, Гош, 2008). Данные дистанционного зондирования в оценке лесных ресурсов обеспечивают по крайней мере три уровня информации: лесистость территории, тип леса, биофизические и биохимические свойства лесов (Shao, Keith, 2006).

Многочисленные исследования показывают целесообразность использования ДЗЗ и в частности вегетационных индексов NDVI и индекса содержания влаги в листьях (LWCI) при изучении растительного покрова на избыточно увлажненных лесных землях. В.В. Пахучим установлено, что нормализованный разностный индекс растительности NDVI увеличивается при приближении к осушительным каналам и с течением времени после осушения. Исследования В.В. Елсакова доказали возможность использования индекса LWCI для оценки состояния растительности на заболоченных участках (Елсаков и др., 2006). В.В. Пахучий установил, что индекс LWCI через три года после осушения достоверно положительно, а через 10 лет достоверно отрицательно зависит от расстояния до осушительных каналов. Им отмечается также целесообразность использования индекса LWCI для оценки адаптационных процессов в насаждениях на объектах гидромелиорации. Установлена качественная связь между индексом NDVI и общей густотой возобновления и между NDVI и запасом древесины темных пород, что свидетельствует о перспективности использования аналогичных зависимостей для оценки лесоводственной эффективности осушения (Пахучий, 2017).

Одним из главных преимуществ вегетационных индексов является легкость их получения и широкий диапазон решаемых с их помощью задач (Черепанов, Дружинина, 2009). Вегетационный индекс NDVI может использоваться как инструмент при проведении сложных типов анализа, например, при создании карты биологической продуктивности лесов и сельхозземель, карт ландшафтов и природных зон (Kurbanov et al., 2017; Воробьев, Курбанов, 2013). Также на его основе возможно получение численных данных для использования в расчетах оценки продуктивности, биологического разнообразия, степени нарушенности растительного покрова (Loboda et al., 2012; Воробьев и др., 2015; Воробьев, Курбанов, 2017). При гидроресурсомелиоративных комплексных исследованиях дополнительная информация также может быть с использованием вегетационных индексов (Пахучий, 2017).

Цель работы – изучение и анализ факторов, влияющих на рост сосны в связи с проведением осушительной гидроресурсомелиорации на водораздельных территориях в Корткеросском лесничестве Республики Коми, с использованием традиционных методов исследования, ГИС-технологий и данных дистанционного зондирования Земли.

Объекты и методика исследований. В качестве объекта исследования был выбран участок, осушение и сдача в эксплуатацию которого проводилась Корткеросской ЛММС в 1979 г. Климат района исследования умеренно-континентальный со средней годовой температурой +0,10 °С (Пахучий, 1991). Среднегодовое количество осадков составляет 537 мм и значительно преобладает над испарением. Рельеф объекта равнинный, имеет общее падение к водоприемникам р. Кия-Ю, р. Пожъян и характеризуется наличием понижений и повыше-

ний различной формы. Объект представлен мелкозалежным торфяником с толщиной слоя торфа до 0,5 м, подстилаемый суглинком и супесями с преобладанием в составе насаждения сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) (Пахучий, 1991).

Для изучения лесоводственной эффективности осушения было заложено 15 пробных площадей и 30 круговых реласкопических площадок в соответствии с общепринятыми методами и с учетом рекомендаций по закладке и обработке пробных площадей в осушенных насаждениях (Рубцов, Книзе, 1977). Пробные площади были размещены между осушителями сериями по 5 штук. На пробных площадях были выполнены лесоводственно-таксационные учеты.

По материалам лесоустройства и разновременным данным дистанционного зондирования были уточнены местоположения и лесоводственная характеристика пробных площадей. На основе данных дистанционного зондирования уточнена исходная граница заболоченного участка, установлена конфигурация мелиоративной сети. Изучены проекты лесоосушения и данные разведки торфяных месторождений.

Для наблюдения за уровнями почвенно-грунтовых вод были заложены гидрологические скважины. Глубину уровня грунтовых вод определяли в соответствии с существующей методикой (Вомперский, 1964). Наблюдения за уровнями почвенно-грунтовых вод проводили с 2014 по 2015 год в вегетационный период каждые 10-15 дней на пробных площадях № 1-8, 10-13, 15. На каждой пробной площади отобраны образцы торфа по слоям 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 см для установления вида, степени разложения и зольности торфа. Мощность торфяной залежи измеряли по периметру пробных площадей через каждые 10 м. Всего было проведено 182 измерения, затем для каждой пробной площади было выведено среднее значение мощности торфа. Для определения возраста деревьев на всех пробных площадях возрастным буравом взяты керны.

Наряду с анализом таксационных характеристик, изучение изменения запасов в зависимости от удаления от осушительных каналов возможно с использованием спутниковых данных и их последующей обработки и интерпретации. Одним из методов изучения растительности посредством данных дистанционного зондирования являются спектральные преобразования. Спектральные преобразования позволяют получать необходимое пространство признаков, имеющее определенное преимущество перед исходным спектральным пространством. Одним из способов спектральных преобразований является расчет вегетационных индексов (Курбанов и др., 2015; Loboda et al., 2017).

В данной работе использовали нормализованный разностный вегетационный индекс NDVI как наиболее подходящий для задач данного исследования. Для расчета NDVI использовали цветосинтезированный снимок WorldView-2 с разрешением пикселя 0,5 м за 17.07.2013 г. и спектрально-интегральный снимок Канопус-В с разрешением 10 м за 10.07.2013 г. Космический снимок WorldView-2 был получен из архива компании «Сканэкс» на коммерческой основе, снимок Канопус-В получен из архива НЦ ОМЗ безвозмездно на основании соглашения между правительством Республики Коми и Госкорпорацией «Роскосмос».

Расчет средних значений индекса производили для 191 трансекты, расположенных на различном удалении от каналов. Средние значения индекса для трансект 1-87 и 88-174 вычисляли на основе снимка WorldView-2, для трансект 175-191 – на основе снимка Канопус-В. Для сравнения численных значений индекса NDVI, полученных с разных спутников, предварительно перед расчетом индекса NDVI провели радиометрическую коррекцию, безразмерные значения пикселей Digital Number (DN) перевели в значения отражательной способности поверхности. Размер каждой трансекты составил 200x1 пиксель. Высокое и сверхвысокое разрешение снимка может дать определенные преимущества перед случаем, когда в границах пробных площадей учитывается несколько рядов пикселей с более низким разрешением.

В последнем случае может наблюдаться некоторая неопределенность в выяснении расстояния до ближайшего канала (Шевелев, 2014).

Все данные, полученные в ходе полевых работ и последующей камеральной обработки, были занесены в базу геоданных. Последующий анализ и визуализация данных были выполнены посредством инструментов Zonal statistic, Spatial Analyst, Function Template в программном обеспечении ESRI ArcGis и Scanex Image Processor.

Результаты исследования. Характер водного питания объекта исследования в основном атмосферный, в связи с чем высокие уровни почвенно-грунтовых вод наблюдаются, как правило, на слабоводопроницаемых грунтах, подстилающих торф. Наибольшие уровни почвенно-грунтовых вод наблюдаются на пробных площадях, где торф подстилается суглинком.

Кроме того, на уровень почвенно-грунтовых вод влияет удаленность от осушительного канала, наблюдается близкая к средней по полноте достоверная связь между уровнем грунтовых вод и удаленностью от канала ($R=0,41$; $R_{0.10}=0,41$; $N=15$; $y = -0,358x + 57,24$).

Анализ данных (см. таблицу) показывает, что с увеличением мощности торфа наблюдается увеличение среднего за период вегетации уровня почвенно-грунтовых вод. Между мощностью торфа и глубиной почвенно-грунтовых вод наблюдается отрицательная, близкая к средней по тесноте, достоверная на 10 % уровне значимости связь ($R=0,46$; $R_{0.10}=0,41$; $N=15$; $y = -82,46x + 63,42$).

Характеристика насаждений на пробных площадях № 1-15

№ п/п	Высота, м	Средний диаметр, см	Абсолютная полнота, м ² /га	Полнота относительная	Запас м ³ /га	Возраст, лет	Класс возраста	Класс бонитета	Тип леса	Мощность торфа, м	Степень разложения торфа, %	Удаленность центра ПП от осушителя, м	Подстилающий грунт	Средняя глубина ПГВ в 2014-2015 гг., см
1	12,2	14	25	0,9	121	130	7	Va	С.сф.	0,3	10-30	30	супесь	52
2	11,9	15	27	1	120	130	7	Va	С.сф.	0,3	15-40	60	суглинок	25
3	12,5	17	25	0,9	116	130	7	Va	С.сф.	0,3	35-55	60	супесь	28
4	12,5	17	27	1	174	130	7	Va	С.сф.	0,2	15	20	супесь	50
5	13,2	17	30	1	190	130	7	Va	С.дм.	0,2	30	40	супесь	57
6	13,4	19	31	1	138	130	7	Va	С.чер	0,2	5-55	25	супесь	63
7	15,1	23	35	1	263	130	7	V	С.дм.	0,2	5-30	50	супесь	63
8	14	18	37	1	138	130	7	V	С.дм.	0,2	10-40	70	супесь	42
9	14,4	19	34	1	168	130	7	V	С.дм.	0,2	5	40	супесь	55
10	14,6	17	37	1	274	150	8	V	С.дм.	0,2	10-30	20	супесь	57
11	14	22	22	0,8	202	160	8	V	С.сф.	0,5	5-20	20	суглинок	33
12	13	22	21	0,7	194	160	8	V	С.сф.	0,3	5-20	40	супесь	24
13	12,8	19	15	0,6	103	160	8	V	С.сф.	0,3	5-20	60	супесь	32
14	14	14	14	0,5	82	160	8	V	С.сф.	0,2	5-20	50	суглинок тяжелый	24
15	12,4	13	13	0,5	119	160	8	V	С.сф.	0,2	10-40	30	суглинок	33

Анализируя рост леса и влияющие на него факторы, можно сказать, что связь между запасом насаждений на пробных площадях и глубиной уровня почвенно-грунтовых вод положительная средняя достоверная на 5 % уровне значимости ($R=0,55$; $R_{0.05}=0,48$; $N=15$; $y = 0,141x + 19,85$), т.е. запас выше на тех пробных площадях, где ниже средние за вегетационный период уровни грунтовых вод, то же справедливо и для относительной полноты, связь положительная, средняя, достоверная ($R=0,65$; $R_{0.05}=0,48$; $N=15$; $y = 50,81x - 1,166$).

Понятие о том, что при движении от канала к межканальной полосе запасы уменьшаются подтверждается, связь отрицательная, близкая к средней, достоверная ($R=0,42$; $R_{0.10}=0,41$; $N=15$; $y = -1,407x + 217,8$).

На рисунках 1-3 приведены диаграммы зависимости изменения средних значений индекса NDVI от расстояния до ближайшего канала.

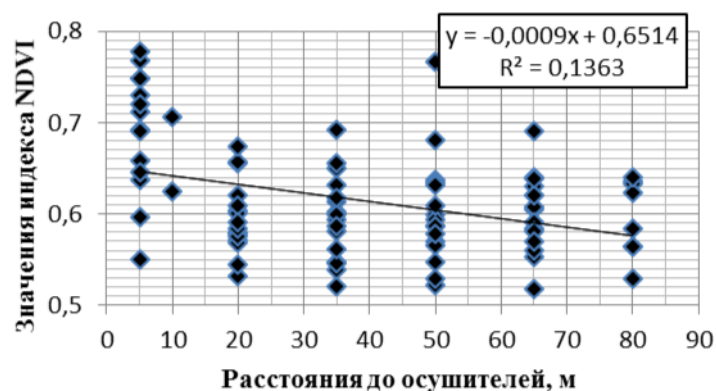


Рис. 1. Зависимость индекса NDVI от расстояния до осушительных каналов для трансект 1-87 ($R=0,37$; $R_{0,05}=0,21$; $N=87$)

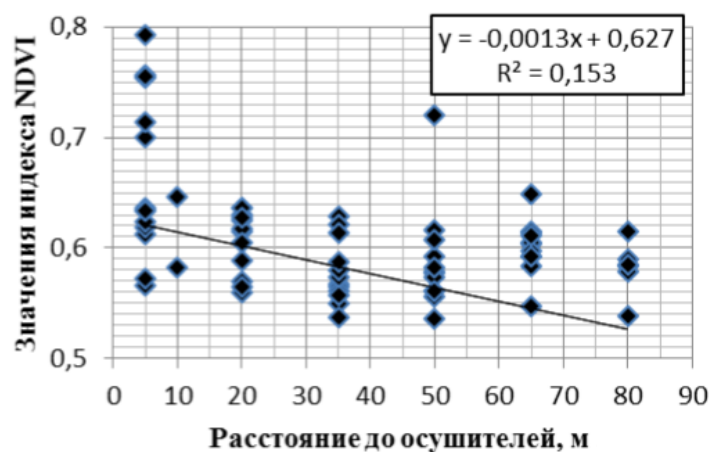


Рис. 2. Зависимость индекса NDVI от расстояния до осушительных каналов для трансект 88-174 ($R=0,39$; $R_{0,05}=0,21$; $N=86$)

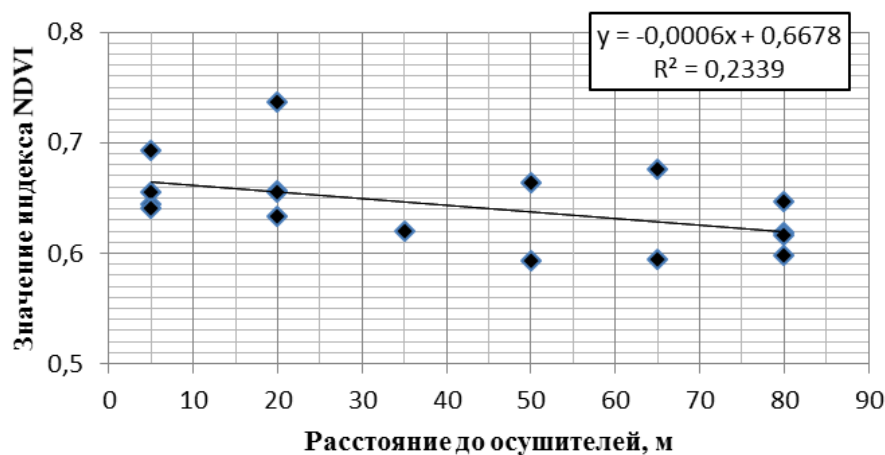


Рис. 3. Зависимость индекса NDVI от расстояния до осушительных каналов для трансект 175-191 ($R=0,48$; $R_{0,05}=0,47$; $N=16$)

Анализируя диаграммы, можно говорить о том, что для серии трансект 1-87 и 88-174 наблюдается уменьшение среднего значения индекса NDVI по мере удаления от осушитель-

ного канала. Коэффициент корреляции индекса NDVI от расстояния до осушительных каналов для трансект 1-87 – 0,37, для трансект 88-174 – 0,39, для трансект 175-191 – 0,48.

Данное положение согласуется с результатами ранее проводившихся исследований (Пахучий, Пахучая, 2014) и представлением о том, что при выраженном лесоводственном эффекте осушения количественные значения фитомассы больше вблизи каналов. Для серии трансект 175-191 прослеживается такая же закономерность. Во всех случаях связь отрицательная, теснота связи – средняя.

Аналогичные результаты были получены для пробных площадей 1-15. Между NDVI и расстоянием от середины пробной площади до ближнего канала установлена отрицательная связь, достигающая по тесноте средней величины ($R=0,36-0,56$) (Шевелев, 2014).

Заключение. Исследования гидролесомелиоративных объектов с использованием традиционных лесоводственных методов могут успешно дополняться информацией дистанционного зондирования, а использование геоинформационных технологий открывает новые возможности предоставления и анализа пространственной информации.

Средние значения индекса NDVI для сосновых насаждений средней тайги Республики Коми увеличиваются по мере приближения к осушительному каналу, что свидетельствует о большем запасе фитомассы вблизи каналов. Следует учитывать, что при расчете вегетационных индексов свой вклад в формирование значений индекса вносят подполюговая растительность и напочвенный покров. Поэтому есть смысл для хвойных насаждений производить расчет вегетационных индексов на основе зимних снимков.

Использование вегетационного индекса NDVI, как относительного показателя продуктивности древостоя позволяет получать дополнительную информацию об эффективности осушения, выявлять участки вторичного заболачивания. Индекс NDVI целесообразно использовать и для выявления участков с недостаточным эффектом осушения, где в будущем можно рекомендовать сгущение гидромелиоративной сети.

На староосушенном верховом торфянике с глубиной торфа 0,2-0,3 м лучший рост сосны наблюдается на пробных площадях, где торф подстиляется супесью при условии залегания среднего уровня грунтовых вод за вегетационный период в минеральных грунтах, а не в торфе. Средняя прямая связь наблюдается между удаленностью от канала и уровнем почвенно-грунтовых вод, близкая к средней связь между мощностью торфа и уровнем почвенно-грунтовых вод.

Библиографический список

1. Бабилов, Б.В. Гидротехнические мелиорации: учебное пособие / Б.В. Бабилов, В.В. Пахучий. – Сыктывкар: СЛИ, 2014. – 160 с.
2. Вомперский, С.Э. О методике наблюдений за почвенно-грунтовыми водами при гидролесомелиоративных исследованиях / С.Э. Вомперский // Лесной журнал. – 1964. – №1 – С.48-52.
3. Воробьев, О.Н. Дистанционный мониторинг восстановительной динамики растительности на гарях Марийского лесного Заволжья / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2017. – № 2 (14). – С. 124-134.
4. Воробьев, О.Н. Методика пошаговой классификации спутниковых снимков для тематического картирования лесов / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, А.В. Губаев, Е.Н. Демишева // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 4(28). – С. 57-69.
5. Воробьев, О.Н. Мониторинг состояния растительного покрова на территории Республики Марий Эл с использованием ENVISAT MERIS / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов // Вестник МГУЛ. – М.: Московский государственный университет леса. – 2013. – № 7(99). – С. 42-45.
6. Елсаков, В.В. Технологии дистанционного зондирования в исследовании свойств растительных сообществ бассейна р. Новая Нерута / В. В. Елсаков, С. Н. Плюсин, В. М. Щанов // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. – 2006. – № 2 (100). – С. 315-319.
7. Курбанов, Э.А. Два десятилетия исследований растительного покрова по MODIS [Электронный ресурс] / Э.А. Курбанов // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг: сборник научных статей. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016. – С. 123-132.

8. Курбанов, Э.А. Тематическое картирование растительного покрова по спутниковым снимкам: валидация и оценка точности: монография / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, С.А. Лежнин, А.В. Губаев, Ю.А. Полевщикова. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015. – 131 с.
9. Курбанов, Э.А. Четыре десятилетия исследований лесов по снимкам Landsat / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова, Е.Н. Демишева / Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 1(21). – С. 18-32.
10. Пахучий, В.В. Лесоводство / В.В. Пахучий. – Санкт-Петербург, 2017. – 231 с.
11. Пахучий, В.В. Опыт использования вегетационных индексов при комплексных исследованиях на объектах гидrolесомелиорации / В.В. Пахучий, Л.М. Пахучая // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – №1(21). – С. 33-41.
12. Пахучий, В.В. Факторы продуктивности осушенных насаждений Европейского Северо-Востока / В.В. Пахучий. – Сыктывкар, 1991. – 104 с.
13. Писарьков, Х.А. Гидротехнические мелиорации лесных земель / Х.А. Писарьков, А.Ф. Тимофеев. – М.: Лесная промышленность, 1964. – 275 с.
14. Пьявченко, Н.И. Мелиорация и природа Севера / Н.И. Пьявченко, И.М. Нестеренко, В.А. Чесноков. – Петрозаводск.: Карелия, 1980. – 77 с.
15. Рубцов, В.Г. Закладка и обработка пробных площадей в осушенных насаждениях / В.Г. Рубцов, А.А. Кнлизе. – Ленинград: ЛенНИИЛХ, 1977. – 44 с.
16. Чандра, А.М. Дистанционное зондирование и географические информационные системы / А.М. Чандра, С.К. Гош. – М., 2008. – 307 с.
17. Черепанов, А.С. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы / А.С. Черепанов, Е.Г. Дружинина // Геоматика (Geomatics). – 2009. – № 3. – С. 28-32.
18. Шевелев, Д.А. Исследование влияния осушения на рост сосны с использованием ГИС и ДДЗ // Сборник материалов научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава Сыктывкарского лесного института по итогам научно-исследовательской работы в 2013 г. – Сыктывкар. – 2014. – С. 283-286.
19. Kurbanov, E. Assessment of burn severity in Middle Povolzhje with Landsat multi-temporal data/ E. Kurbanov, O. Vorobyev, S. Leznin, A. Y. Polevshikova, and E. Demisheva // International Journal of Wildland Fire. – 2017. – Vol. 26. – № 9. – P. 772-782.
20. Loboda, T. Land Management and the Impact of the 2010 Extreme Drought Event on the Agricultural and Ecological Systems of European Russia/ T. Loboda, O. Krankina, I. Savin, E. Kurbanov, H. Joanne // Land-Cover and Land-Use Changes in Eastern Europe after the Collapse of the Soviet Union in 1991; eds. G. Gutman, R. Volker. – 2017, Springer International Publishing. – P. 173-192.
21. Loboda, T. Understanding Origins and Impacts of Drought / T.V. Loboda, O.N. Krankina, E.A. Kurbanov // Eos, Transactions American Geophysical Union. – 2012. – Vol. 93(42). – P. 417.
22. Shao, G. Digital forestry / G. Shao, M. Keith // Computer applications in sustainable forest management. – 2006. – P. 3-12.

References

1. Babikov, B.V. Gidrotekhnicheskie melioracii: uchebnoe posobie / B.V. Babikov, V.V. Pahuchij. – Syktyvkar: SLI, 2014. – 160 s.
2. Vomperskij, S.E. O metodike nablyudenij za pochvenno-gruntovymi vodami pri gidrolesomeliorativnyh issledovaniyah / S.E. Vomperskij // Lesnoj zhurnal. – 1964. – №1 – S.48-52.
3. Vorobiev, O.N. Distancionnyj monitoring vosstanovitel'noj dinamiki rastitel'nosti na garyah Marijskogo lesnogo Zavolzh'ya / O.N. Vorobiev, E.A. Kurbanov // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. – 2017. – № 2 (14). – S. 124-134.
4. Vorobiev, O.N. Metodika poshagovoj klassifikacii sputnikovyh snimkov dlya tematicheskogo kartirovaniya lesov / O.N. Vorobiev, E.A. Kurbanov, A.V. Gubaev, E.N. Demisheva // Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie. – 2015. – № 4(28). – S. 57-69.
5. Vorobiev, O.N. Monitoring sostoyaniya rastitel'nogo pokrova na territorii Respubliki Marij El s ispol'zovaniem ENVISAT MERIS / O.N. Vorobiev, E.A. Kurbanov // Vestnik MGUL. – M.: Moskovskij gosudarstvennyj universitet lesa. – 2013. – № 7(99). – S. 42-45.
6. Elsakov, V.V. Tekhnologii distancionnogo zondirovaniya v issledovanii svojstv rastitel'nyh soobshchestv bassejna r. Novaya Neruta / V. V. Elsakov, S. N. Plyusnin, V. M. SHCHanov // Vestnik Instituta biologii Komi NC UrO RAN. – 2006. – № 2 (100). – S. 315-319.
7. Kurbanov, E.A. Dva desyatiletija issledovanij rastitel'nogo pokrova po MODIS [Elektronnyj resurs] / E.A. Kurbanov // Lesnye ekosistemy v usloviyah izmeneniya klimata: biologicheskaya produktivnost' i distancionnyj monitoring: sbornik nauchnyh statej. – Yoshkar-Ola: PGU, 2016. – S. 123-132.
8. Kurbanov, E.A. Tematicheskoe kartirovanie rastitel'nogo pokrova po sputnikovym snimkam: validaciya i ocenka tochnosti: monografiya / E.A. Kurbanov, O.N. Vorobiev, S.A. Lezhnin, A.V. Gubaev, YU.A. Polevshchikova. – Yoshkar-Ola: PGU, 2015. – 131 s.
9. Kurbanov, E.A. CHetyre desyatiletija issledovanij lesov po snimkam Landsat / E.A. Kurbanov, O.N. Vorobiev, A.V. Gubaev, S.A. Lezhnin, YU.A. Polevshchikova, E.N. Demisheva / Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie. – 2014. – № 1(21). – S. 18-32.
10. Pahuchij, V.V. Lesovodstvo / V.V. Pahuchij. – Sankt-Peterburg, 2017. – 231 s.

11. Pahuchij, V.V. Opyt ispol'zovaniya vegetacionnyh indeksov pri kompleksnyh issledovaniyah na ob'ektah gidrolesomelioracii / V.V. Pahuchij, L.M. Pahuchaya // Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie. – 2014. – №1(21). – S. 33-41.
12. Pahuchij, V.V. Faktory produktivnosti osushennyh nasazhdenij Evropejskogo Severo-Vostoka / V.V. Pahuchij. – Syktyvkar, 1991. – 104 s.
13. Pisar'kov, H.A. Gidrotekhnicheskie melioracii lesnyh zemel' / H.A. Pisar'kov, A.F. Timofeev. – M.: Lesnaya promyshlennost', 1964. – 275 s.
14. P'yavchenko, N.I. Melioraciya i priroda Severa / N.I. P'yavchenko, I.M. Nesterenko, V.A. Chesnokov. – Petrozavodsk.: Kareliya, 1980. – 77 s.
15. Rubcov, V.G. Zakladka i obrabotka probnyh ploshchadej v osushennyh nasazhdeniyah / V.G. Rubcov, A.A. Knize. – Leningrad: LenNILH, 1977. – 44 s.
16. CHandra, A.M. Distancionnoe zondirovanie i geograficheskie informacionnye sistemy / A.M. CHandra, S.K. Gosh. – M., 2008. – 307 s.
17. CHerepanov, A.S. Spektral'nye svoystva rastitel'nosti i vegetacionnye indeksy / A.S. CHerepanov, E.G. Druzhinina // Geomatika (Geomatics). – 2009. – № 3. – S. 28-32.
18. SHevelev, D.A. Issledovanie vliyaniya osusheniya na rost sosny s ispol'zovaniem GIS i DDZ // Sbornik materialov nauchno-prakticheskoy konferencii professorsko-prepodavatel'skogo sostava Syktyvskarskogo lesnogo instituta po itogam nauchno-issledovatel'skoj raboty v 2013 g. – Syktyvkar. – 2014. – S. 283-286.
19. Kurbanov, E. Assessment of burn severity in Middle Povolzhje with Landsat multi-temporal data/ E. Kurbanov, O. Vorobyev, S. Leznina, Y. Polevshikova, and E. Demisheva // International Journal of Wildland Fire. – 2017. – Vol. 26. – № 9. – P. 772-782.
20. Loboda, T. Land Management and the Impact of the 2010 Extreme Drought Event on the Agricultural and Ecological Systems of European Russia/ T. Loboda, O. Krankina, I. Savin, E. Kurbanov, H. Joanne // Land-Cover and Land-Use Changes in Eastern Europe after the Collapse of the Soviet Union in 1991; eds. G. Gutman, R. Volker. – 2017, Springer International Publishing. – P. 173-192.
21. Loboda, T. Understanding Origins and Impacts of Drought / T.V. Loboda, O.N. Krankina, E.A. Kurbanov // Eos, Transactions American Geophysical Union. – 2012. – Vol. 93(42). – P. 417.
22. Shao, G. Digital forestry / G. Shao, M. Keith // Computer applications in sustainable forest management. – 2006. – R. 3-12.

УДК 630*182.21: 630.587

ОЦЕНКА ПОСТПОЖАРНОЙ СУКЦЕССИИ НА ЛЕСНЫХ ГАРЯХ ПО СПУТНИКОВЫМ СНИМКАМ

О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов

Поволжский государственный технологический университет

Лесные пожары являются ключевым фактором нарушения лесного насаждения, приводящим к изменениям его структуры и устойчивости. Исследование процессов восстановления лесного покрова в послепожарный период развития экосистемы по данным дистанционного зондирования являются наиболее эффективными способами современного технологического уклада общества. В работе приведены результаты тематического картографирования наземного покрова на гарях 2010 г. Республики Марий Эл, имеющих различную степень повреждения пожарами, по снимкам Landsat-8 OLI и полевым данным, проведенных на территории исследований в 2015-2016 гг. Для оценки послепожарной сукцессии (по границам ценопопуляций) на лесных гарях были выделены 9 классов наземного покрова. Оценка спектральной разделимости тестовых участков для каждого тематического класса разработанной легенды проводилась с использованием метода «Анализ спектральной смеси». Исследование показало, что в послепожарный период на изучаемой территории максимально представлены тематические классы «Лесовосстановление средней и низкой густоты», составляющие суммарно до 65 % от общей площади гарей. Мозаичность распределения растительного покрова наблюдается на участках гарей с дерново-подзолистыми песчаными почвами, а также на бывших участках произрастания сосновых насаждений на территории Куярского, Моркинского и частично Волжского лесничеств. Максимальная степень дифференциации наземного покрова по классам разработанной легенды наблюдается на крупных участках гарей, расположенных в условиях сухих и свежих боров. На этих же участках проводится больше искусственного лесовосстановления.

Ключевые слова: мониторинг лесов, Марий Эл, лесные пожары, изменение климата, GIS, Landsat, дистанционное зондирование Земли, классификация изображений, растительный покров, сукцессия.

USING SATELLITE IMAGES FOR THE ASSESSMENT OF POST-FIRE SUCCESSION IN BURNED AREAS

O.N. Vorobev, E.A. Kurbanov
Volga State University of Technology

Forest fires significantly disturb the growing stock, cause changes in its composition and sustainability. A research into the regeneration processes of forest vegetation during post-fire period of ecosystem development using remote sensing satellite data is one of the most effective methods of techno-economic paradigm of the contemporary society. The paper provides the results of thematic mapping of vegetation in the Mari El Republic damaged by the massive forest fires in 2010 based on Landsat-8 OLI satellite images and field data carried out in the area under study in 2015-2016. In order to evaluate post-fire succession (along the borders of cenopopulations) we marked out 9 classes of ground vegetation. Evaluation of the spectral separability of the test sites for every thematic class of the developed legend was carried out using the 'Analysis of the spectral mixture' method. The research proved that during post-fire period the area under study featured thematic classes of forest regeneration with medium and low density, which cumulatively make up to 65% of the total burned area. Patchiness of the vegetation distribution is found in the burned areas with sod podzol sandy soils and in the areas where there used to be pine plantations in Kuyar, Morki, and partly in Volzhsk forestry enterprises. The maximum degree of differentiation in the ground vegetation by classes of the developed legend is found in large burned areas located in dry and fresh pinewoods. These areas are characterized by intensive artificial reforestation.

Key words: forest monitoring, Mari El, forest fires, climate change, GIS, Landsat, earth remote sensing, image classification, vegetation, succession.

Введение. Пожары являются одним из ключевых факторов, влияющих на уровень нарушенности лесной экосистемы, динамику природных ландшафтов и лесного фонда в целом (Воробьев и др., 2014; Wenhua, 2013). Для бореальной зоны лесные пожары наряду с антропогенным вмешательством являются главным источником трансформации и изменений структуры лесного полога. Послепожарная динамика восстановления растительности на гарях представляет собой ряд последовательных сукцессионных процессов, взаимное пересечение и объединение которых может быть представлено в виде меняющихся спектральных характеристик ее полога (McMichael, 2004; Курбанов и др., 2012; Барталев и др., 2014; Иванова и др., 2017). Оценка восстановительной динамики растительного покрова после лесных пожаров должна учитывать многие внешние факторы: степень нарушенности наземного покрова после пожара, возможность возобновления той или иной породой, топографию местности, локальные климатические условия и другое (Калинин, 2010; Денисов и др., 2015; Малиновских, 2015, Усень и др., 2016). Изучение этих долговременных процессов с помощью данных дистанционного зондирования Земли может иметь первостепенное значение для понимания постстрессового состояния растительного покрова на нарушенных пожарами участках леса. Дистанционный мониторинг процесса сукцессий в первые годы становления новых на месте гарей и старых постпирогенных ценопопуляций является ключевым для прогнозирования динамики развития вновь формирующихся древостоев, их морфологической и пространственной структуры (Lee et al., 2008; Воробьев и др., 2012; Meng, 2015; Collins and Roller, 2013).

Детальный анализ такого рода исследований в лесах бореальной зоны проводится многими учеными (Mallinis, Koutsias, 2012; Chu, 2014; Курбанов, 2016). Результаты этих исследований представлены в виде обобщенного анализа состояния гарей на примере России, США и Канады (Pickell et al., 2016). Наряду с положительными факторами использования спутниковых данных для мониторинга послепожарных нарушений лесного покрова рассмотрены и

возможные ограничения, связанные, в первую очередь, с возможностями программных средств и алгоритмов (Liu et al., 2017; Loboda et al., 2016).

Исследовательскими коллективами из России прорабатывались вопросы применения неуправляемой классификации спутниковых данных для ускорения и оптимизации процессов картографирования гарей. Для анализа площадей пожаров использовались данные двух спутниковых систем MODIS (AQUA, TERRA) и VIIRS (NPP), а для уточнения контуров гарей по данным спутниковых систем OLI-TIRS (Landsat-8), ETM+(Landsat -7), Канопус-В (БКА) и данных со спутников Ресурс-П (Кашницкий и др., 2015). Другие ученые считают, что для детальной оценки сукцессионных процессов на гарях целесообразней использовать управляемую классификацию по спутниковым данным (Potter, 2014; Franks et al., 2013).

Мониторинг состояния наземного покрова по спутниковым данным на территории Среднего Поволжья является актуальной задачей в связи с многочисленными лесными пожарами на данной территории. Остаются недостаточно изученными вопросы классификации растительного покрова на зарастающих гарях, взаимосвязи процесса лесовозобновления со степенью их повреждения, а также использования снимков среднего и высокого пространственного разрешения при выполнении подобных исследований. Получение своевременной и точной информации о происходящих процессах сукцессии на всех участках позволит оперативно принимать решения при ведении и планировании лесохозяйственных мероприятий (Воробьев и др., 2016), способствующих решению задач по восстановлению нарушенных пожарами лесонасаждений.

Цель работы – оценка послепожарного состояния наземного покрова на гарях 2010 г. на примере Республики Марий Эл на основе данных спутниковых снимков Landsat-8 OLI, Ресурс П и Канопус-В.

Объекты и методика исследований. В работе исследовались площади лесных гарей 2010 г. на всей территории Республики Марий Эл (рис. 1), которые были ранее выявлены и описаны коллективом Центра устойчивого управления и дистанционного мониторинга лесов ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет» по данным спутников Landsat TM и ETM+ (Воробьев и др., 2012; Kurbanov et al., 2017).

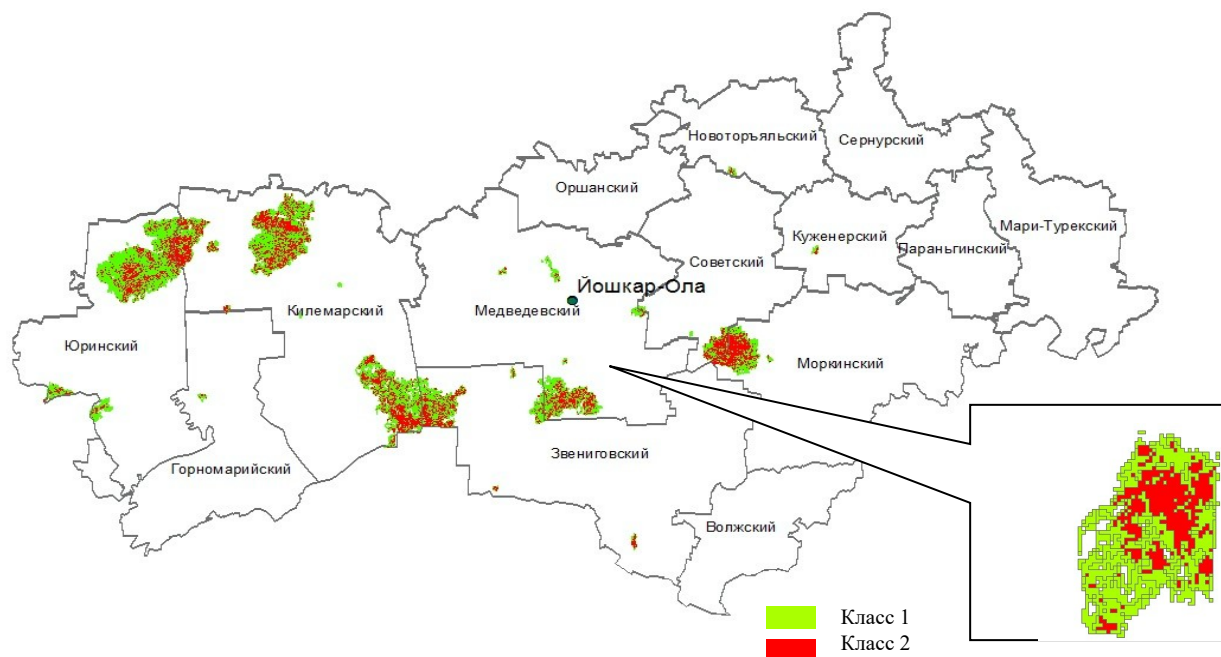


Рис. 1. Тематический слой «Гари 2010» распределения основных площадей лесных гарей в Республике Марий Эл по двум классам в зависимости от степени повреждения

Для оценки динамики лесовосстановления нами был использован векторный слой участков лесных гарей 2010 г. на территории Республики Марий Эл, разработанный нами ранее с использованием Нормализованного индекса гарей dNBR (Normalized Burned Index) (Воробьев и др., 2014). В работе были использованы безоблачные майские сцены мультиспектральных спутниковых снимков Landsat-8 OLI 2016 г., полностью покрывающие исследуемые площади гарей (табл. 1). Для валидации и оценки точности результатов тематического картографирования и выявления искусственных лесопосадок нами были использованы спутниковые данные более высокого пространственного разрешения с отечественных спутников Канопус-В и Ресурс-П.

Таблица 1

Основные характеристики используемых снимков Landsat 8 OLI

Номер сцены	Покрытие Path/Row	Покрытие облаками, %	Дата съемки
ID LC81720212016132LGN00	172/21	0	11.05.2016
ID LC81740202016130LGN00	174/20	0	11.05.2016
ID LC81740212016130LGN00	174/21	10	11.05.2016

На территории лесных гарей в 2016 г. были заложены 296 тестовых участков, которые в дальнейшем использованы для создания эталонных баз данных наземных наблюдений (Воробьев и Курбанов, 2017). 200 тестовых участков были использованы для формирования обучающей выборки при проведении классификации спутниковых снимков Landsat-8 OLI. Остальные 96 тестовых участков были включены в выборку для оценки точности тематического картографирования.

Оцениваемые постпирогенные сукцессии на гарях 2010 г. РМЭ характеризуются преобладанием светолюбивых древесно-кустарниковых пород деревьев. Явными доминантами среди них являются: береза (*Betula pendula*), в большинстве случаев равномерно занимающая до 80 % площади гари, а также сосна (*Pinus sylvestris*) и ива (*Salix caprea*).

Спутниковые изображения были подобраны приблизительно за один вегетационный период с учетом минимального облачного покрытия. Все используемые снимки Landsat 8 OLI на территорию исследований прошли радиометрическую, атмосферную и геометрическую коррекцию в программном пакете ENVI (рис. 2).

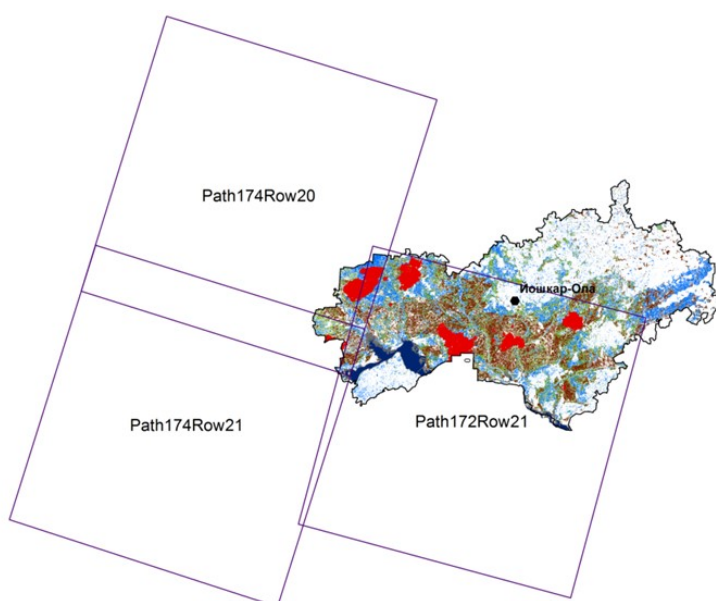


Рис. 2. Покрытие снимками Landsat 8 территории исследования

Формирование обучающей выборки. В работе на основании данных полевых исследований, экспертного анализа мультиспектральных и панхроматических снимков высокого разрешения российских спутниковых систем Ресурс-П и Канопус-В была разработана легенда (описание) классов наземного покрова для лесных гарей. Сложно классифицируемый тематический класс «лесные посадки» также был выделен на основе комплексного экспертного дешифрирования снимков высокого разрешения на большую часть лесных гарей и данных полевых исследований.

В конечном итоге, в исследовании для оценки послепожарной сукцессии (по границам ценопопуляций) на лесных гарях были выделены 9 классов (страт) наземного покрова, различающиеся проективным покрытием, породным составом, задернением и уровнем увлажнения (табл. 2).

Таблица 2

Легенда на 9 классов наземного покрова на примере гарей 2010 г.

№	Наименование тематического класса	Код	Описание класса
1	Лесовозобновление высокой густоты	(ЛВГ)	Смешанная древесно-кустарниковая растительность с проективным покрытием 85 % и выше.
2	Лесовозобновление средней густоты	(ЛСГ)	Смешанная древесно-кустарниковая растительность с проективным покрытием от 40 до 80 %
3	Лесовозобновление низкой густоты	(ЛНГ)	Древесно-кустарниковая растительность с проективным покрытием менее 40 % и частичным задернением, заболоченные и открытые участки.
4	Лес	(Л)	Участки сохранившегося древостоя лиственных и хвойных пород деревьев.
5	Сухостой	(С)	Участки сухостоя различных пород деревьев оставшихся после пожара 2010 г., частично или полностью задерненные.
6	Задернение	(З)	Полностью заросшие многолетними травами.
7	Открытые участки	(ОУ)	Выход песчаных почв, а также участки искусственного происхождения (дороги, шоссе и проселочные)
8	Лесные посадки	(ЛП)	Плантационные насаждения, в основном сосны.
9	Водные объекты	(ВО)	Озера, болота

Оценка спектральной разделимости тестовых участков для каждого тематического класса разработанной легенды проводилась с использованием метода «Анализ спектральной смеси» (Spectral Mixed Analysis), позволяющего повысить качество результатов классификации (Casals-Carrasco et al., 2000; Боролев, Елсаков, 2015). Анализ спектральной смеси (SMA) – это метод оценки доли каждого пикселя, который состоит из серии известных классов наземного покрова (иногда называемый подпиксельным анализом). Этот метод направлен на определение (анализ) состава каждого пикселя изображения (Hoster et al., 2003). Смешанные пиксели, покрывающие несколько классов наземного покрова, могут вызвать сложности при проведении классификаций изображений (управляемая или неконтролируемая классификация), поскольку такой пиксель относится к нескольким классам, но может быть отнесен только к одному из них (Peterson and Stow, 2003; Елсаков, 2014).

SMA выявляет составные части смешанных пикселей путем прогнозирования доли пикселя, принадлежащего определенному классу, на основе спектральных характеристик его конечных элементов (компонентов). Он преобразует яркость изображения в комплекс спектральных компонентов (endmembers - конечных элементов), которые соответствуют характеристикам исследуемых классов на земле. Спектральные «конечные элементы» (компоненты) – это «чистые» спектры, соответствующие каждому из классов наземного покрова (Kuemmerle et al., 2006).

Оценку доли отдельных компонент для линейного смешивания спектральных сигнатур проводили по уравнению

$$\bar{R}_i = \sum_{j=1}^n F_j R E_{ij} + E_j \text{ при } \sum_{i=1}^n F_i = 1,$$

где R_i – значение яркости пиксела смешанного спектра в канале i ; F_j – доля j -го компонент а в смеси; RE_{ij} – значение яркости j -й компонент ы в i -ом спектральном канале; n – количество компонентов; E_j – ошибка оценки яркости в i -ом спектральном канале.

Оптимальное решение при таком моделировании возможно при условии, что количество спектральных компонентов не превышает общее количество спектральных каналов плюс один дополнительный. Следует отметить высокую степень сложности подбора тестовых (эталонных) полигонов для каждого из оцениваемых тематических классов для проведения SMA, что объясняется ограничениями пределов спектральных параметров, представленных в приведенной выше формуле. Подобная сложность также вызвана высокой дифференциацией растительного покрова на гарях 2010 г. на территории исследований. Поэтому полигоны, репрезентативно представляющие каждый тематический класс оцениваемой ценопопуляции, были подобраны на снимках и исследуемой местности с однородной морфологической структурой (сомкнутость полога, проективное покрытие, состав и т.п.).

Метод SMA был применен для оценки относительного содержания в каждом пикселе спутникового изображения Landsat 8 OLI всех исследуемых компонентов (классов легенды). Разработанная обучающая выборка послужила основой для классификации подобранных фрагментов сцен Landast 8 OLI лесных гарей 2010 г. на территории РМЭ.

Классификация изображений. Каждый из полученных фрагментов сцен Landsat 2016 г. на территорию гарей был проклассифицирован с использованием метода управляемой классификации изображений «Максимальное правдоподобие» (Maximum likelihood) в программном комплексе ENVI-5.2. Далее было проведено объединение всех тематических слоев для формирования общей тематической карты на территорию Марий Эл в виде полноценной растровой мозаики площади гарей 2010 г. (рис. 3).

После генерализации растровой карты лесных гарей была сделана оценка точности управляемой классификации, которая позволила определить качество результатов тематического картографирования. В качестве входных параметров для оценки точности использовались данные независимой выборки эталонных участков (ТУ), которые не были задействованы при проведении процедуры классификации изображений Landsat. С целью повышения точности оценки тематического картографирования для каждого из тематических классов методом случайной выборки были набраны дополнительные тестовые участки. Анализ постпирогенной ситуации на лесных гарях 2010 проведен как для всей территории РМЭ, так и для каждого лесничества, пострадавшего от пожара. Количественная оценка тематического картографирования была выполнена на основе расчетных параметров векторных слоев каждого оцениваемого класса наземного покрова на гарях 2010 г. в среде ArcGis.

Одним из ключевых факторов, оказывающих влияние на сукцессионные процессы на лесных гарях, является характер и структура почв. В связи с этим в работе для более детального анализа этих процессов была использована тематическая карта почв РМЭ (Смирнов, 1968), адаптированная ЦУДМЛ Поволжского государственного технологического университета в среде ГИС с учетом других данных (Энциклопедия Марий Эл, 2009).

Результаты управляемой классификации показывают, что уровень точности (Accuracy assessment) по коэффициенту Каппа составляет 0,76 ($>0,75$), а общая точность классификации достигает 79 %, что свидетельствует о значительном соответствии проведенной классификации полевым данным (Курбанов и др., 2015). В работе получено распределение площадей тематических классов на участках крупных гарей в нескольких лесничествах

(табл. 3) для всей территории РМЭ (рис. 4). Общая площадь лесных гарей 2010 года на территории исследования составила около 104 тыс. га.

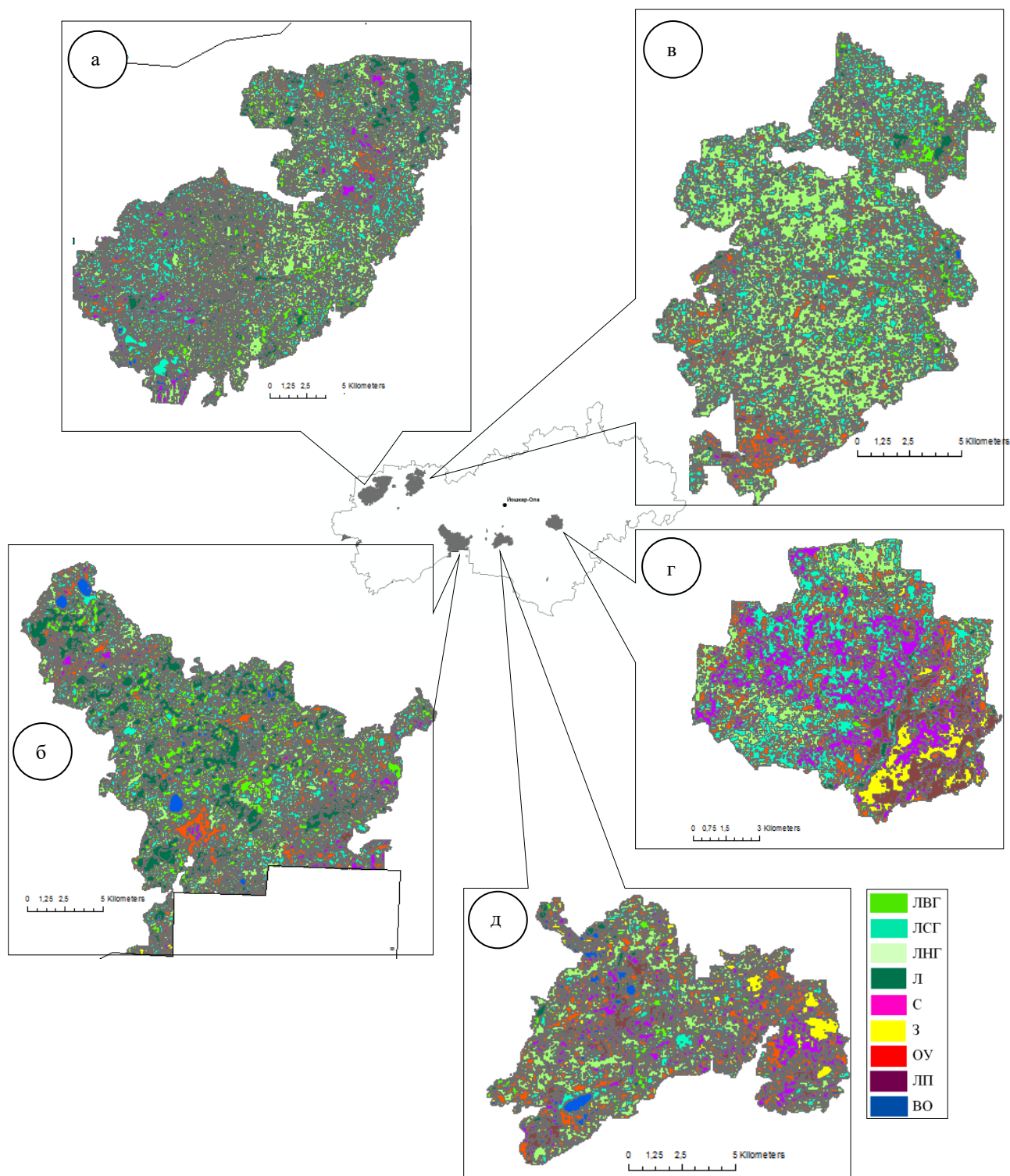


Рис. 3. Тематические карты наземного покрова 2016 г. на площади крупных участков гарей на территории лесничеств: а) Козиковского, б) Волжского, в) Килемарского, г) Моркинского, д) Куярского

Таблица 3

Площади (га) классов наземного покрова крупных участков гарей 2010 г.

Классы наземного покрова	Лесничества					
	Козиковское	Килемарское	Волжское	Куярское	Моркинское	Итого
ЛВГ	6501,9	2107,8	2659,4	801	264,1	12334,2
ЛСГ	11805,4	7794,2	11849,1	2502	2786	36736,7
ЛНГ	7040,4	8190,6	8816,9	2446	3618,8	30112,7
Л	928	528,84	1807,1	163	161	3587,94
С	987,4	314,1	1316,9	1643	2842,7	7104,1
З	14,94	103,5	1709,9	2077	736,6	4641,94
ОУ	1985,6	1581,5	314,3	1078	1940,8	6900,2
ЛП	52,5	85,23	64,2	180	911,7	1293,63
ВО	124,3	20,43	122,9	285,5	12,51	565,64
Всего	29440,44	20726,2	28660,7	11175,5	13274,21	103277,1

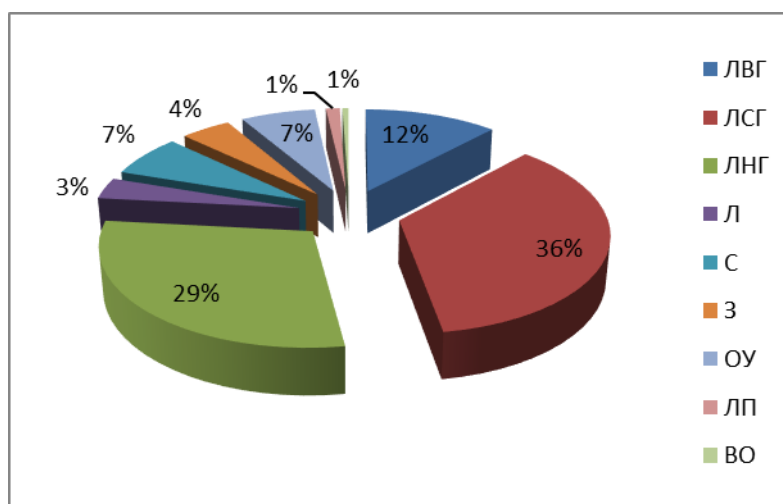


Рис. 4. Распределение классов наземного покрова на вновь полученных в 2016 г. тематических картах гарей 2010 г. для всей территории РМЭ

Очевидно (см. табл. 3 и рис. 4), что максимальная площадь приходится на участки с лесовозобновлением молодняками лиственных пород средней густоты (ЛСГ), достигая 36 % для всей исследуемой территории. Следующие доминирующие по площади тематические классы на лесных гарях 2010 г. – лесовозобновление низкой густоты (29 %) и лесовозобновление высокой густоты (12 %). При наложении вновь полученных тематических карт на карты распределения гарей по степени повреждения лесными пожарами 2010 г. (Воробьев и др., 2014) можно сделать вывод, что на классы нарушений «высокой интенсивности» приходится до 75 % участков, на которых происходит успешное естественное возобновление древесно-растительным покровом разной степени густоты. 3 % от общей площади гарей составляют участки лесных насаждений, которые устояли во время пожаров 2010 г. (Денисов и др., 2015).

Искусственное лесовосстановление на тематических картах 2016 года в основном наблюдается на площади гарей, где отсутствует или ограничено естественное возобновление. Лидерами по искусственному лесовосстановлению являются Моркинское и Куярское лесничества с площадью посадок 911,7 и 180 га. Доля лесных посадок, полученная по снимкам высокого

разрешения на всю территорию исследований, в 2016 г. на лесных гари составляла 1%. Стоит отметить, что в исследовании лесные посадки были выделены только на снимках высокого разрешения (Ресурс и Канопус).

Согласно приведенным данным (см. табл. 3), доля участков, с максимумом по площади зарастания высокой, средней и низкой густоты (ЛВГ, ЛСГ, ЛНГ) приходится на участки лесных гарей, расположенных в Козиковском, Килемарском и Волжском лесничествах. Анализ полученных данных и карты почв свидетельствует о том, что эти гари находятся на заболоченных участках (рис. 5). Считается, что на таких площадях огонь полностью уничтожает травяно-кустарничковый и моховой покров, что вызывает обугливание торфяного очеса на глубину 2-5 см. В постпирогенный период семена древесных пород находят здесь благоприятные условия для прорастания (Калинин, 2008).

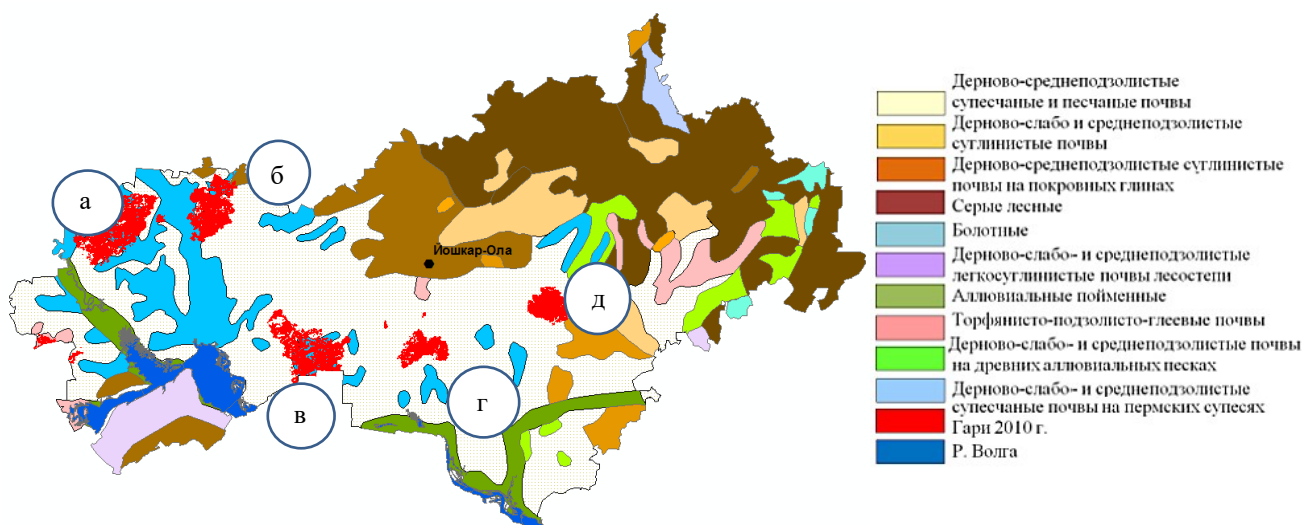


Рис. 5. Карта почв РМЭ с векторным слоем класса «Гари 2010 г.» для лесничеств: а) Козиковского, б) Килемарского, в) Волжского, г) Куярского, д) Моркинского

В то же время на площадях гарей Куярского, Моркинского и частично Волжского лесничеств наблюдается высокая степень мозаичности распределения классов растительного покрова (рис. 6). На участки гарей этих лесничеств, расположенных на дерново-среднеподзолистых супесчаных почвах на слоистых древнеаллювиальных песках и супесях, приходится максимальные площади сухостоя и зарастания многолетними травами. Процесс

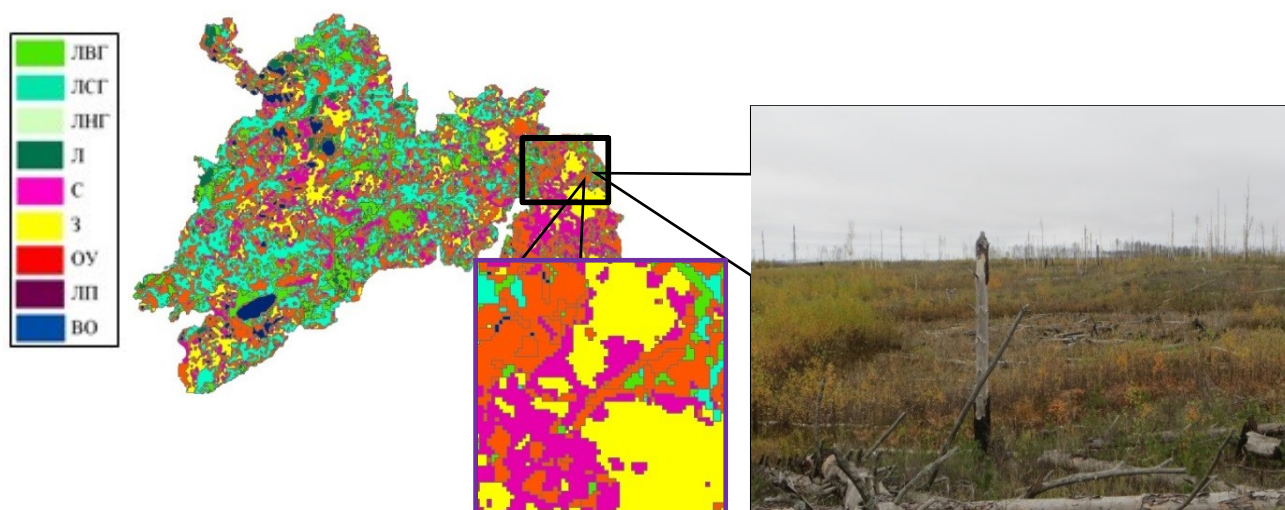


Рис. 6. Высокая степень мозаичности наземного покрова на гари 2010 г. Куярского лесничества

естественного лесовозобновления на таких почвах, после уничтожения пожарами высокой интенсивности гумусового слоя и ЖНП, резко снижается или протекает крайне неравномерно. В связи с этим на гарях Куярского и Моркинского лесничеств часто встречаются участки с частичным или полным отсутствием растительности, что подтверждает высокая степень мозаичности пространственного распределения классов наземного покрова на тематических картах гарей.

Фрагменты лесных участков, сохранившиеся после пожаров 2010 г., также широко представлены на тематических картах в Козиковском, Килемарском и Волжском лесничествах, где преобладают ландшафты с микропонижениями или частично заболочиваемые.

Приведенные результаты свидетельствуют, что для каждого этапа сукцессионной динамики на постпирогенных территориях характерны определенные закономерности распределения классов растительного покрова, которые зависят от многих факторов (интенсивность пожара, почвы, рельеф и т.п.). В целом можно сказать, что характер, структура и морфология растительности на шестилетних гарях 2010 г. РМЭ представляет собой серию переходных стадий развития послепожарных растительных сообществ. Этот этап (третья стадия) можно охарактеризовать как переход от восстановительно-возрастной стадии (зарастание травяно-кустарниковой растительностью) к сомкнувшимся листовым молоднякам (Фурьев, Киреев, 1979). Мозаичность распределения растительного покрова в виде различных фаций наблюдается на участках гарей с дерново-подзолистыми песчаными почвами, а также на бывших участках произрастания сосновых насаждений на территории Куярского, Моркинского и частично Волжского лесничеств. Третья стадия формирования растительности после пожара также наблюдается на заболоченных участках Козиковского, Килемарского и Волжского лесничеств, на которых ранее произрастали смешанные древостои с преобладанием хвойных пород.

Искусственные лесовосстановительные мероприятия, являющиеся важным фактором в формировании послепожарного ландшафта гарей, представлены на территории РМЭ в меньшей степени.

Выводы. По результатам классификации спутниковых снимков Landsat 8 OLI 2016 г. и данным полевых исследований на территории гарей 2010 г. РМЭ выделены границы ценопопуляций различных типов возобновления, приуроченных к определённым биотопам. Состояние и морфологическая структура послепожарного состояния всего наземного покрова на гарях в большей степени зависит от состояния почв и степени нарушенности древостоев после пожара.

На первом – третьем этапах восстановительных процессов на гарях доминирующей породой являются листовые, с преобладанием березы (*Betula pendula*) и ивы (*Salix caprea*). В процессе лесовозобновления на гарях 2010 г. доминирующими классами растительного покрова оказываются листовые молодняки средней густоты.

Максимальная степень дифференциации наземного покрова по классам разработанной легенды наблюдается на крупных участках гарей, расположенных в условиях сухих и свежих боров. На этих же участках проводится больше лесохозяйственных работ по искусственному лесовосстановлению.

Спутниковые изображения Landsat 8 OLI совместно со спутниками Ресурс-П и Канопус-В представляют собой уникальные данные для дистанционного мониторинга сукцессионных процессов на лесных гарях. Их использование позволит снизить себестоимость наземных работ по оценке точности картографирования и повысить само качество технологического процесса дистанционного мониторинга. Тематическое картирование по спутниковым снимкам позволяет выявлять границы и площади пространственно-распределенных классов наземно-

го покрова на гарях как в целом для всей исследуемой территории, так и отдельно для выделенных участков гарей.

Работа выполнена по проекту № 574894-EPP-1-2016-1-RU-EPPJMO-CoE программы Жана Монне Erasmus+ Европейского Союза.

Библиографический список

1. Барталев, С.А. Экспресс-картографирование повреждений лесов России пожарами по спутниковым данным Landsat / С.А. Барталев, Е.А. Лупян, Ф.В. Стыщенко, О.Ю. Панова, В.Ю. Ефремов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2014. – Т. 11. – № 1. – С. 9-20.
2. Боровлев, А.Ю. Спутниковые съемки в анализе показателя сомкнутости лесных фитоценозов на примере предгорных и равнинных лесов Припечорья [Электронный ресурс] / А.Ю. Боровлев, В.В. Елсаков // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг: сборник научных статей. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015. – С. 66-69.
3. Воробьев О.Н. Методика выявления степени повреждения древостоев после пожаров 2010 года в Среднем Поволжье / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова, Е.Н. Демишева // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2014. – Т. 11. – № 4. – С. 217-229.
4. Воробьев, О.Н. Дистанционный мониторинг восстановительной динамики растительности на гарях Марийского лесного Заволжья / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2017. – № 2 (14). – С. 124-134.
5. Воробьев, О.Н. Дистанционный мониторинг лесных гарей в Марийском Заволжье / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2012. – № 1. – С. 12-22.
6. Воробьев, О.Н. Оценка динамики и нарушенности лесного покрова в Среднем Поволжье по снимкам Landsat / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, Ю.А. Полевщикова, С.А. Лежнин // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2016. – № 4 (13). – С. 124-134.
7. Денисов, С.А. Управление лесовосстановлением на гарях / С.А. Денисов, Т.А. Конюхова, Т.С. Рачкова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 3 (27). – С. 5-17.
8. Елсаков, В.В. Оперативная ресурсная оценка пастбищных угодий северного оленя по спектрально-спутниковым данным / В.В. Елсаков // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2014. – Т. 11. – № 1. – С. 245-255.
9. Иванова, Г.А. Сукцессия растительности после высокоинтенсивного пожара в сосняке лишайниковом / Г.А. Иванова, В.А. Иванов, Н.М. Ковалева, С. Конард, С.В. Жила, П.А. Тарасов // Сибирский экологический журнал. – 2017. – № 1. – С. 61-71.
10. Калинин, К.К. Естественное лесовозобновление и формирование молодняков в еловых и березовых насаждениях на крупных гарях среднего Заволжья / К.К. Калинин // Вестник МарГТУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2010. – № 1. – С. 5-15.
11. Калинин, К.К. Закономерности естественного лесовозобновления в сосновых насаждениях на крупных гарях среднего Заволжья / К.К. Калинин // Вестник МарГТУ. – 2008. – № 3. – С. 29-42.
12. Кашницкий, А.В. Оптимизация интерактивных процедур картографирования гарей в информационных системах дистанционного мониторинга природных пожаров / А.В. Кашницкий, Е.А. Лупян, С.А. Барталев, С.С. Барталев, И.В. Балашов, В.Ю. Ефремов, Ф.В. Стыщенко // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2015. – Т. 12. – № 4. – С. 7-16.
13. Курбанов, Э.А. Два десятилетия исследований растительного покрова по MODIS [Электронный ресурс] / Э.А. Курбанов // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг: сборник научных статей. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016. – С. 123-132.
14. Курбанов, Э.А. Решение вопросов космического мониторинга лесных гарей в комплексных пакетах ENVI и ArcGIS / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова // Геоматика. – Москва: «Совзона». – 2012. – № 4. – С. 82-92.
15. Малиновских, А.А. Послепожарный восстановительный процесс на гарях 1997 г. в равнинных сосновых лесах юга западной Сибири / Малиновских А.А. // Экология: Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – № 3 (125). – С. 70-76.
16. Смирнов, В.Н. Почвы Марийской АССР, их генезис, эволюция и пути улучшения / В.Н. Смирнов. – Йошкар-Ола: Мар. кн. изд-во, 1968. – 531 с.
17. Усень, В.В. Оценка постпирогенного формирования естественных насаждений в сосновых фитоценозах / В.В. Усень, Н.В. Гордей, Е.А. Тегленков // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство. – 2016. – №1. – С. 79-83.
18. Фуряев, В.В. Изучение послепожарной динамики лесов на ландшафтной основе / В.В. Фуряев, Д.М. Киреев. – Новосибирск: Наука, 1979. – 160 с.
19. Casals-Carrasco, P. Application of spectral mixture analysis for terrain evaluation studies / P. Casals-Carrasco, S. Kubo, B.B. Madhavan // International Journal of Remote Sensing. – 2000. – Vol. 21(16). – P. 3039-3055.
20. Chu, T. Remote sensing techniques in monitoring post-fire effects and patterns of forest recovery in boreal forest regions: A review / T. Chu // Remote Sensing. – 2014. – №6. – P. 470-520.
21. Collins, B.M. Early forest dynamics in stand-replacing fire patches in the northern Sierra Nevada, California, USA / B.M. Collins, G.B. Roller // Landscape Ecology. – 2013. – Vol. 28. – № 9. – P. 1801-1813.

22. Franks, S. Monitoring forest regrowth following large scale fire using satellite data -A case study of Yellowstone National Park, USA/ S. Franks, J.G. Masek, M.G. Turner // *European Journal of Remote Sensing*. – 2013. – Vol 46 (1). – P. 561-569.
23. Hostert, P. Coupling spectral unmixing and trend analysis for monitoring of long-term vegetation dynamics in Mediterranean rangelands / P. Hostert, A. Roder, and J. Hill // *Remote Sensing of the Environment*. – 2003. – №87. – P.183-197.
24. Kuemmerle, T. Separating grassland and shrub vegetation by multivariate pixel-adaptive spectral mixture analysis / T. Kuemmerle, A. Röder, J. Hill // *International Journal of Remote Sensing*. – 2006. – Vol. 27(15). – P. 3251-3271.
25. Lee, B. Estimation of fire severity by use of Landsat TM images and its relevance to vegetation and topography in the 2000 Samcheok forest fire/ B. Lee, S.Y. Kim, J. Chung, P.S. Park // *Journal of Forest Research*. – 2008. – Vol. 13. – № 4. –P. 197-204.
26. Liu, Z. Mapping recent burned patches in Siberian larch forest using Landsat and MODIS data / Z. Liu, J. Yang, F. Dwomoh // *European Journal of Remote Sensing*. – 2017. – Vol. 49(1). – 861-887.
27. Loboda, T. Land Management and the Impact of the 2010 Extreme Drought Event on the Agricultural and Ecological Systems of European Russia/ T. Loboda, O. Krankina, I. Savin, E. Kurbanov, H. Joanne // *Land-Cover and Land-Use Changes in Eastern Europe after the Collapse of the Soviet Union in 1991*; eds. G. Gutman, R. Volker. – Springer International Publishing, 2017. – P. 173-192.
28. Mallinis, G. Comparing ten classification methods for burned area mapping in a Mediterranean environment using Landsat TM satellite data / G. Mallinis, N. Koutsias // *International Journal of Remote Sensing*. –2012. – Vol. 33 (14). – P. 4408-4433.
29. McMichael, C.E. Post-fire recovery of leaf area index in California chaparral: a remote sensing-chronosequence approach / C.E. McMichael, A.S. Hope, D.A. Roberts, M.R. Anaya // *International Journal of Remote Sensing*. – 2004. – Vol. 25. – №. 21. – P. 4743-4760.
30. Meng, R. Effects of fire severity and post-fire climate on short-term vegetation recovery of mixed-conifer and red fir forests in the Sierra Nevada Mountains of California / R. Meng // *Remote Sensing of Environment*. – 2015. – Vol. 171. – P. 311–325.
31. Peterson, S.H. Using multiple image endmember spectral mixture analysis to study chaparral regrowth in southern California / S.H. Peterson, D.A. Stow // *International Journal of Remote Sensing*. – 2003. – Vol 24 (22). – P. 4481-4504.
32. Pickell, P.D. Forest recovery trends derived from Landsat time series for North American boreal forests / P.D. Pickell, T. Hermosilla, R.J. Frazier, N.C. Coops, M.A. Wulder // *International Journal of Remote Sensing*. – 2016. – Vol. 37(1). – P. 138-149.
33. Potter, C. Ten years of forest cover change in the Sierra Nevada detected using Landsat satellite image analysis / C. Potter // *International Journal of Remote Sensing*. –2014. – Vol. 35(20). – P. 7136-7153.
34. Wenhua, C. Post-fire tree recruitment of a boreal larch forest in Northeast China/ C. Wenhua // *Forest Ecology and Management*. – 2013. – Vol. (307). – P. 20–29.

References

1. Bartalev, S.A. Ekspres-kartografirovaniye povrezhdeniy lesov Rossii pozharami po sputnikovym dannym Landsat / S.A. Bartalev, E.A. Lupyan, F.V. Stycenko, O.YU. Panova, V.YU. Efremov // *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. – 2014. – T. 11. – № 1. – S. 9-20.
2. Borovlev, A.YU. Sputnikovyye s"emki v analize pokazatelya somkhnutosti lesnykh fitotsenozov na primere predgornyykh i ravninnykh lesov Pripechor'ya [Elektronnyy resurs] / A.YU. Borovlev, V.V. Elsakov // *Lesnye ekosistemy v usloviyakh izmeneniya klimata: biologicheskaya produktivnost' i distantsionnyy monitoring: sbornik nauchnykh statej*. – Joshkar-Ola: PGU, 2015. – S. 66-69.
3. Vorobiev O.N.. Metodika vyyavleniya stepeni povrezhdeniya drevostoev posle pozharov 2010 goda v Srednem Povolzh'e/ O.N. Vorobiev, E.A. Kurbanov, S.A. Lezhnin, YU.A. Polevshchikova, E.N. Demisheva // *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. – 2014. – T. 11. – № 4. – S. 217-229.
4. Vorobiev, O.N. Distantsionnyy monitoring vosstanovitel'noy dinamiki rastitel'nosti na garyah Marijskogo lesnogo Zavolzh'ya / O.N. Vorobiev, E.A. Kurbanov // *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. – 2017. – № 2 (14). – S. 124-134.
5. Vorobiev, O.N. Distantsionnyy monitoring lesnykh garej v Marijskom Zavolzh'e / O.N. Vorobiev, E.A. Kurbanov, A.V. Gubaev, S.A. Lezhnin, YU.A. Polevshchikova // *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie*. – 2012. – № 1. – S. 12-22.
6. Vorobiev, O.N. Ocenka dinamiki i narushennosti lesnogo pokrova v Srednem Povolzh'e po snimkam Landsat / O.N. Vorob'yov, E.A. Kurbanov, YU.A. Polevshchikova, S.A. Lezhnin // *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. – 2016. – № 4 (13). – S. 124-134.
7. Denisov, S.A. Upravleniye lesovosstanovleniem na garyah / S.A. Denisov, T.A. Konyuhova, T.S. Rachkova // *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie*. – 2015. – № 3 (27). – S. 5-17.
8. Elsakov, V.V. Operativnaya resursnaya ocenka pastbishchnykh ugodij severnogo olenya po spektrozonal'nym sputnikovym dannym / V.V. Elsakov // *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. – 2014. – T. 11. – № 1. – S. 245-255.
9. Ivanova, G.A. Sukkessiya rastitel'nosti posle vysokointensivnogo pozhara v sosnyake lishajnikovom / G.A. Ivanova, V.A. Ivanov, N.M. Kovaleva, S. Konard, S.V. Zhila, P.A. Tarasov // *Sibirskiy ekologicheskij zhurnal*. – 2017. – № 1. – S. 61-71.

10. Kalinin, K.K. Estestvennoe lesovozobnovlenie i formirovanie molodnyakov v elovyh i berezovyh nasazhdeniyah na krupnyh garyah srednego Zavolzh'ya / K.K. Kalinin // Vestnik MarGTU. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie. – 2010. – № 1. – S. 5-15
11. Kalinin, K.K. Zakonomernosti estestvennogo lesovozobnovleniya v sosnovykh nasazhdeniyah na krupnyh garyah srednego Zavolzh'ya / K.K. Kalinin // Vestnik MarGTU. – 2008. – № 3. – S. 29-42.
12. Kashnickij, A.V. Optimizaciya interaktivnyh procedur kartografirovaniya garej v informacionnyh sistemah distancionnogo monitoringa prirodnyh pozharov / A.V. Kashnickij, E.A. Lupyan, S.A. Bartalev, S.S. Bartalev, I.V. Balashov, V.YU. Efremov, F.V. Stycenko // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. – 2015. – T. 12. – № 4. – S. 7-16.
13. Kurbanov, E.A. Dva desyatiletija issledovaniy rastitel'nogo pokrova po MODIS [Elektronnyj resurs] / E.A. Kurbanov // Lesnye ekosistemy v usloviyah izmeneniya klimata: biologicheskaya produktivnost' i distancionnyj monitoring: sbornik nauchnyh statej. – Joshkar-Ola: PGTU, 2016. – S. 123-132.
14. Kurbanov, E.A. Reshenie voprosov kosmicheskogo monitoringa lesnyh garej v kompleksnyh paketah ENVI i ArcGIS / E.A. Kurbanov, O.N. Vorob'yov, S.A. Lezhnin, YU.A. Polevshchikova // Geomatika. – Moskva: «Sovzond». – 2012. – № 4. – S. 82-92.
15. Malinovskih, A.A. Poslepozhar'nyj vosstanovitel'nyj process na garyah 1997 g. v ravninnyh sosnovykh lesah yuga zapadnoj Sibiri / Malinovskih A.A. // Ekologiya: Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. – № 3 (125). – C. 70-76.
16. Smirnov, V.N. Pochvy Marijskoj ASSR, ih genezis, evolyuciya i puti uluchsheniya / V.N. Smirnov. – Joshkar-Ola: Mar. kn. izd-vo, 1968. – 531 s.
17. Usenya, V.V. Ocenka postpirognennogo formirovaniya estestvennyh nasazhdenij v sosnovykh fitocenozah / V.V. Usenya, N.V. Gordej, E.A. Teglenkov // Trudy BGTU. Seriya 1: Lesnoe hozyajstvo. – 2016. – №1. – S. 79-83.
18. Furyaev, V.V. Izuchenie poslepozhar'noj dinamiki lesov na landshaftnoj osnove / V.V. Furyaev, D.M. Kireev. – Novosibirsk: Nauka, 1979. – 160 s.
19. Casals-Carrasco, P. Application of spectral mixture analysis for terrain evaluation studies / P. Casals-Carrasco, S. Kubo, B.B. Madhavan // International Journal of Remote Sensing. – 2000. – Vol. 21(16). – P. 3039-3055.
20. Chu, T. Remote sensing techniques in monitoring post-fire effects and patterns of forest recovery in boreal forest regions: A review / T. Chu // Remote Sensing. – 2014. – №6. – P. 470-520.
21. Collins, B.M. Early forest dynamics in stand-replacing fire patches in the northern Sierra Nevada, California, USA / B.M. Collins, G.B. Roller // Landscape Ecology. – 2013. – Vol. 28. – № 9. – P. 1801-1813.
22. Franks, S. Monitoring forest regrowth following large scale fire using satellite data -A case study of Yellowstone National Park, USA/ S. Franks, J.G. Masek, M.G. Turner // European Journal of Remote Sensing. – 2013. – Vol 46 (1). – P. 561-569.
23. Hostert, P. Coupling spectral unmixing and trend analysis for monitoring of long-term vegetation dynamics in Mediterranean rangelands / P. Hostert, A. Roder, and J. Hill // Remote Sensing of the Environment. – 2003. – №87. – P.183-197.
24. Kuemmerle, T. Separating grassland and shrub vegetation by multivariate pixel-adaptive spectral mixture analysis / T. Kuemmerle, A. Röder, J. Hill // International Journal of Remote Sensing. – 2006. – Vol. 27(15). – P. 3251-3271.
25. Lee, B. Estimation of fire severity by use of Landsat TM images and its relevance to vegetation and topography in the 2000 Samcheok forest fire/ B. Lee, S.Y. Kim, J. Chung, P.S. Park // Journal of Forest Research. – 2008. – Vol. 13. – № 4. –P. 197-204.
26. Liu, Z. Mapping recent burned patches in Siberian larch forest using Landsat and MODIS data / Z. Liu, J. Yang, F. Dwomoh // European Journal of Remote Sensing. – 2017. – Vol. 49(1). – 861-887.
27. Loboda, T. Land Management and the Impact of the 2010 Extreme Drought Event on the Agricultural and Ecological Systems of European Russia/ T. Loboda. O. Krankina, I. Savin, E. Kurbanov, H. Joanne // Land-Cover and Land-Use Changes in Eastern Europe after the Collapse of the Soviet Union in 1991; eds. G. Gutman, R. Volker. – Springer International Publishing, 2017. – P. 173-192.
28. Mallinis, G. Comparing ten classification methods for burned area mapping in a Mediterranean environment using Landsat TM satellite data / G. Mallinis, N. Koutsias // International Journal of Remote Sensing. – 2012. – Vol. 33 (14). – P. 4408-4433.
29. McMichael, C.E. Post-fire recovery of leaf area index in California chaparral: a remote sensing-chronosequence approach / C.E. McMichael, A.S. Hope, D.A. Roberts, M.R. Anaya // International Journal of Remote Sensing. – 2004. – Vol. 25. – №. 21. – P. 4743-4760.
30. Meng, R. Effects of fire severity and post-fire climate on short-term vegetation recovery of mixed-conifer and red fir forests in the Sierra Nevada Mountains of California / R. Meng // Remote Sensing of Environment. – 2015. – Vol. 171. – P. 311-325.
31. Peterson, S.H. Using multiple image endmember spectral mixture analysis to study chaparral regrowth in southern California / S.H. Peterson, D.A. Stow // International Journal of Remote Sensing. – 2003. – Vol 24 (22). – P. 4481-4504.
32. Pickell, P.D. Forest recovery trends derived from Landsat time series for North American boreal forests / P.D. Pickell, T. Hermosilla, R.J. Frazier, N.C. Coops, M.A. Wulder // International Journal of Remote Sensing. – 2016. – Vol. 37(1). – P. 138-149.
33. Potter, C. Ten years of forest cover change in the Sierra Nevada detected using Landsat satellite image analysis / C. Potter // International Journal of Remote Sensing. –2014. – Vol. 35(20). – P. 7136-7153.
34. Wenhua, C. Post-fire tree recruitment of a boreal larch forest in Northeast China/ C. Wenhua // Forest Ecology and Management. – 2013. – Vol. (307). – P. 20-29.

**ТОЧНОСТЬ КЛАССИФИКАЦИИ СПУТНИКОВОГО СНИМКА SENTINEL-2B
ДЛЯ ОЦЕНКИ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

Л.Н. Смирнова

Поволжский государственный технологический университет

На сегодняшний день более половины мирового населения проживает в урбанизированных территориях, что приводит к большой антропогенной нагрузке на городские леса и снижению их устойчивости. Дистанционный мониторинг растительного покрова таких территорий должен сопровождаться высокой точностью получаемых данных и разрабатываемых тематических карт. В данной работе проведено сравнение попиксельного и объектно-ориентированного (OBIA) способов классификации для тематического картографирования наземного покрова урбанизированной территории Республики Марий Эл по спутниковому снимку Sentinel-2B. По данным полевых исследований и снимкам высокого разрешения спутников Ресурс-П, Канопус-В, RapidEye выделено девять основных классов наземного покрова на территорию исследования. Тематическое картографирование спутникового изображения Sentinel-2B было проведено на основе алгоритма управляемой классификации максимального правдоподобия (Maximum Likelihood) в программном пакете ENVI-5.2. Анализ результатов обоих способов тематического картографирования показал, что точность попиксельной классификации оказалась существенно выше, чем классификация методом сегментации (объектно-ориентированная) изображений. Показатель «точность производителя» для попиксельной классификации составил более 70 %, в то время как для OBIA – менее 50 %. Точность показателей при проведении OBIA может повысить при использовании снимков более высокого пространственного разрешения.

Ключевые слова: дистанционный мониторинг, ДЗЗ, тематическое картографирование, растительный покров, Sentinel, урбанизированные территории, городские леса.

**ACCURACY OF SATELLITE IMAGE SENTINEL-2B USED TO EVALUATE
URBANIZED TERRITORIES**

L.N. Smirnova

Volga State University of Technology

Over half of the global population resides in urban areas. This exerts a huge anthropogenic impact on urban forests and leads to decline in their sustainability. Remote sensing monitoring over the vegetation in such areas should be highly accurate in terms of obtained data and developed thematic maps. We compared per-pixel and object-based image analysis (OBIA) classification methods in order to produce thematic mapping of vegetation in the urban area of the Mari El Republic using Sentinel-2B satellite images. Based on the field data and high resolution images from Resurs-P, Kanopus-V, RapidEye satellites we marked out nine major classes of vegetation found in the area under study. Thematic mapping of a satellite image Sentinel-2B was carried out based on the maximum likelihood estimation algorithm using ENVI-5.2 software package. The analysis of the results of both thematic mapping methods proved that per-pixel classification of image analysis is significantly higher in comparison with the classification which used a segmentation (object-based) method. The indicator 'producer accuracy' for per-pixel classification was over 70%, while the same indicator for OBIA was below 50%. While carrying out OBIA the accuracy of indicators can be enhanced if the images with a higher spatial resolution are used.

Key words: remote sensing monitoring, ERS, thematic mapping, vegetation, Sentinel, urban areas, urban forests.

Введение. Картографирование и мониторинг растительного покрова являются важными направлениями современных научных исследований, результаты которых могут быть использованы при принятии решений в области лесного хозяйства, защите окружающей среды, для моделирования глобальных климатических изменений (Hansen, Loveland, 2012; Zhu, Woodcock, 2014; Курбанов и др., 2014). Подобные исследования обычно проводятся путем классификации разновременных спутниковых изображений в программных пакетах по ГИС и дистанционному зондированию земли (Курбанов и др., 2012; Воробьев, Курбанов, 2015; Yang et al., 2014). Классификация спутниковых изображений ранее широко применялась для решения таких задач, как оценка бюджета углерода лесных экосистем, смены землепользования, выявления незаконных рубок, оценки биологической продуктивности насаждений (Bhagat, 2009; Воробьев и др., 2012; Курбанов и др., 2013; Kim et al., 2014; Loboda et al., 2016; Терехин, 2016).

В последние годы понимание процесса расширения урбанизированных территорий за счет притока населения и экономической активности находится среди основных проблем, которые предстоит решать городским службам и муниципальным образованиям. Согласно статистике, на сегодняшний день более половины мирового населения проживает в урбанизированных территориях, а в 2025 г. это значение может достигнуть двух третей (United Nations, 2015). Известно, что в связи с повышенной температурой воздуха и концентрацией выхлопных газов от транспорта, с уплотнением почв и ограниченным пространством роста в городских насаждениях деревья подвержены большему стрессу и нарушениям, чем произрастающие в обычных лесах (Flint, 1985). Это в свою очередь приводит к тому, что городские леса становятся восприимчивы к вредителям и болезням, изменению климата и загрязнению атмосферы (Курбанов и др., 2013). Дистанционный мониторинг за растительным покровом таких территорий должен сопровождаться высокой точностью получаемых данных и разрабатываемых тематических карт (Stehman, Wickham, 2011; Воробьев и др., 2015). В связи с этим также возрастает значение оценки точности классификационных работ со спутниковыми данными, что может быть обеспечено использованием данных высокого (Ресурс, Канопус, Sentinel) пространственного разрешения или их комбинированием с данными среднего разрешения (Landsat) (Жирин и др., 2012).

В Европе в рамках программы Коперник (Copernicus) проводится широкомасштабный проект «Городской Атлас» (Urban Atlas, 2017) по мониторингу урбанизированных территорий, основанному на данных дистанционного зондирования. По замыслу разработчиков проект должен предоставлять точные данные для проведения мониторинга расширения городских территорий в странах Европы, чтобы оценить эффективность программ Евросоюза по снижению темпов разрастания городов. Для решения задач программы «Коперник» Европейский Союз запустил в 2015 году спутник Sentinel-2А, который значительно повысил временное и пространственное разрешение при оценке городских территорий и точность получаемых данных по сравнению с широко известным американским спутником Landsat (Hojas-Gascon et al., 2015; ESA..., 2017). Обладая диапазоном из 13 спектральных каналов с пространственным разрешением до 10 м, спутник Sentinel-2А представляет большой потенциал для исследователей, работающих с мелкомасштабным картированием, в частности, при решении задач тематической идентификации объектов растительного покрова на урбанизированных территориях (Immitzer et al., 2016; Pesaresi et al., 2016).

Хорошо известно, что комбинирование нескольких спутниковых изображений с различной оптической длиной волны предоставляет больше возможностей, и повышает точность оценки при мониторинге растительного покрова (Frensholt et al., 2009; Курбанов и др., 2015). Доступность снимков спутников Landsat-8 и Sentinel-2, расположенных на солнечно-синхронных орбитах, в ближайшие годы предоставит научному сообществу уникальную воз-

возможность для решения задач во многих областях исследований, особенно после успешного запуска Sentinel-2B в 2017 году (Mandanici and Bitelli, 2016; Li et al., 2017).

Целью исследования было проведение сравнительного анализа двух способов классификации для тематического картографирования наземного покрова урбанизированных территорий Республики Марий Эл по спутниковому снимку Sentinel-2B. Для достижения данной цели реализованы следующие задачи:

- 1) по данным полевых исследований и снимкам высокого разрешения Ресурс-П, Канопус-В, RapidEye выделено девять доминирующих классов наземного покрова на территорию исследования;
- 2) разработаны две тематические карты на территорию исследования методами управляемой классификации «максимальное правдоподобие» (Maxime Likelihood) и объектно-ориентированной классификации (сегментации) изображений (Object Based Image Analysis, OBIA) по фрагменту снимка Sentinel-2B (10 м);
- 3) выполнена оценка точности тематического картографирования;
- 4) проведен сравнительный анализ точности тематического картографирования по двум способам классификации.

Материалы и методы исследований

Объекты и методика. В работе исследован участок территории городского округа г. Йошкар-Ола и его пригородной зоны. Участок расположен на территории Марийской низменности, находящейся в восточной части Восточно-Европейской равнины, в 50 км к северу от реки Волги, на ее левом притоке – реке Малая Кокшага (рис. 1). Марийское Заволжье, являясь частью обширной Русской равнины левобережья долины реки Волги, относится к подзоне северных и южных смешанных и широколиственных лесов (Чистяков, Денисов, 1959). Рельеф исследуемой местности представляет собой равнину, простирающуюся на большой территории, что позволяет применить единую методику при тематическом картировании наземного покрова по спутниковым снимкам среднего и высокого пространственного разрешения (Воробьев и Курбанов, 2016).

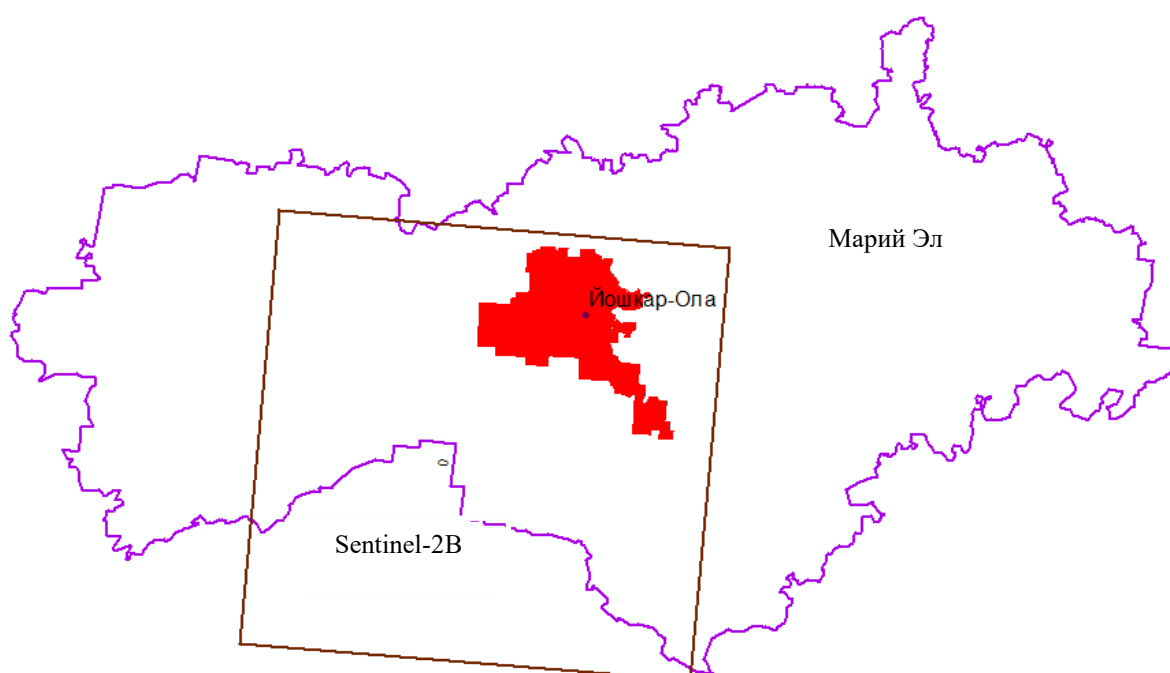


Рис. 1. Покрытие снимком Sentinel-2B территории исследования

Для оценки состояния наземного покрова в пределах границ городской и пригородной зон г. Йошкар-Олы в летний период 2017 г. был использован снимок Sentinel-2B (ESA), полностью покрывающий территорию исследования (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика спутникового снимка Sentinel-2

Спутник	Маркировка изображений	Спектральный диапазон, мкм	Режим съемки	Количество снимков	Время съемки
Sentinel-2B	L1C_T38VPH	0,46–0,89	Мультиспектральный	1	21.08.2017

Работа со снимками проводилась в программных пакетах ENVI-5.2 и ArcGIS-10.3. Предварительная подготовка изображения включала: радиометрическую калибровку и атмосферную коррекцию изображений. Общий алгоритм работ представлен на рис. 2.

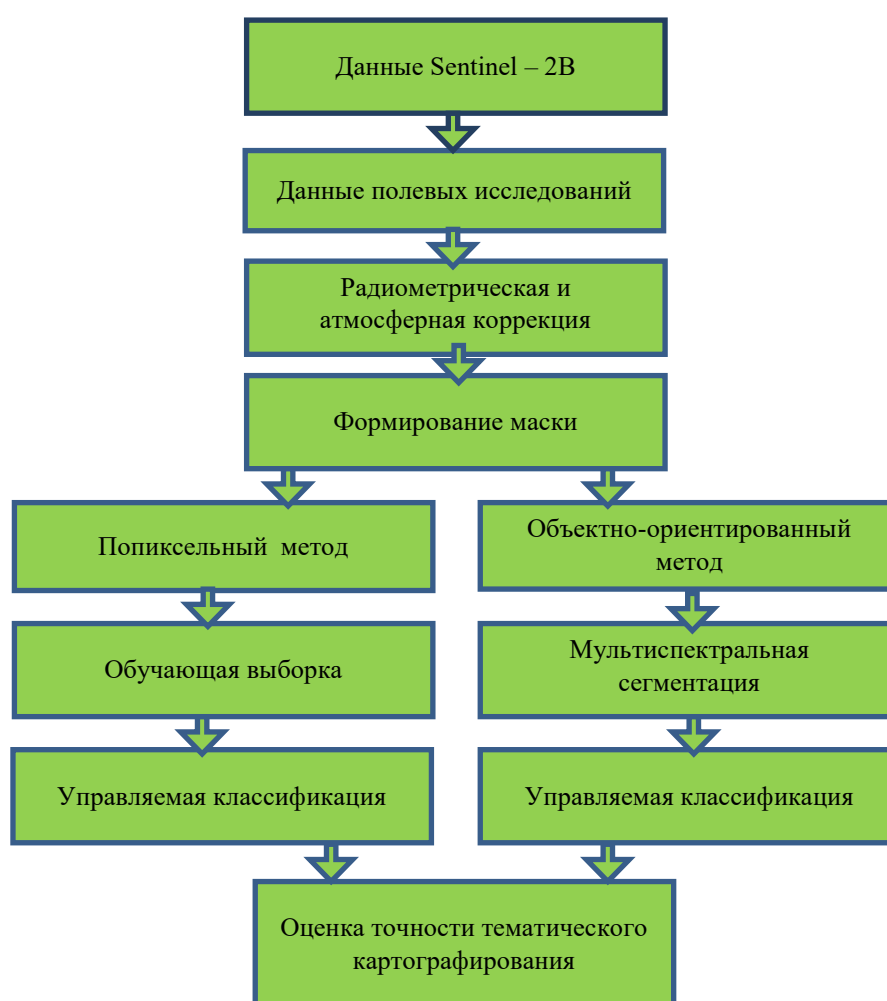


Рис. 2. Алгоритм оценки городских территорий по спутниковым данным

Коллективом Центра устойчивого управления и дистанционного мониторинга лесов Поволжского государственного технологического университета с 2016 по 2017 г. были проведены полевые исследования с целью закладки тестовых участков в растительном покрове пригородной и городской зон г. Йошкар-Олы. Полученные данные были использованы для определения фактического состояния идентифицируемых объектов растительного покрова на исследуемой местности. Тестовые участки, имея точную географическую привязку на местности по GPS координатам, в дальнейшем фиксировались на спутниковом изображении Sentinel-2B. В работе для проведения управляемой классификации спутниковых изображений бы-

ли подобраны 153 тестовых участков для обучающей выборки и 58 для оценки точности классификации полученных картографических материалов. На основании детального анализа полевых и экспертных данных в исследовании были выделены девять доминирующих тематических классов наземного покрова (табл. 2).

Таблица 2

Классы наземного покрова пригородной и городской зон г. Йошкар-Олы

Классы наземного покрова	Обозначение	Описание тематического класса
Хвойные насаждения	ЛХ	С преобладанием в основном составе (более 70 %) хвойных пород деревьев
Лиственные насаждения	ЛН	С преобладанием в основном составе (более 70 %) лиственных пород деревьев
Смешанные насаждения	ЛС	Включающие в основной состав хвойные и лиственные породы деревьев в относительно равном соотношении
Молодняки	М	Хвойные или лиственные древостои первой группы возраста.
Поля	П	Сельскохозяйственные земли (обработанные и необработанные)
Трава	Т	Луга и участки задернения
Открытые участки	ОУ	Каменные россыпи, песчаник, карьеры
Населенный пункт	НП	Жилые районы, промышленные районы, транспортная сеть, городские коммуникации, смешанные городские и не покрытые растительностью земли, включающие различные типы сооружений, садовые участки
Водные объекты	В	Постоянные открытые водоемы, озера, водохранилище, реки, бассейны

На следующем этапе работ была сформирована тематическая «маска», представляющая собой векторный полигон объекта исследования по границе пригородной зоны г. Йошкар-Олы. Для проведения экспертного анализа тематического картографирования, а также оценки результатов классификации использовались следующие данные: материалы лесоустройства, топографические карты, кадастровые планы территории исследования, российские снимки высокого разрешения со спутников Ресурс и Канокус, тестовые участки собственных полевых исследований 2016-2017 гг. На основе полученной «маски» векторного полигона был выделен фрагмент изображения спутника Sentinel-2В на исследуемую урбанизированную территорию (рис. 3).



Рис. 3. Фрагменты сцен: а) Sentinel-2В (RGB – естественные цвета) на территорию пригородной и городской зон г. Йошкар-Олы; б) увеличенное изображение объекта исследований с местами тестовых участков: 12 – городская зона, 16 – травянистый покров, 34 – лиственные насаждения, 37 – зарастание молодняками древесных пород

Классификация изображения. Тематическое картографирование спутникового изображения Sentinel-2B было проведено на основе алгоритма управляемой классификации максимального правдоподобия (Maximum Likelihood) в программном пакете ENVI-5.2. Пошаговая оценка точности классификации проводилась на основе коэффициентов матрицы различий (Confusion Matrix) и Каппа (Kappa Index) (Cohen, 1960; Курбанов и др, 2015). На следующем этапе постклассификационной обработки растровых данных была проведена генерализация полученных тематических слоев.

Результаты исследования. Тематическое картографирование изображения Sentinel-2B позволило провести сравнение и дать оценку двум способам классификации наземного покрова на урбанизированной территории исследования (табл. 3, рис. 4).

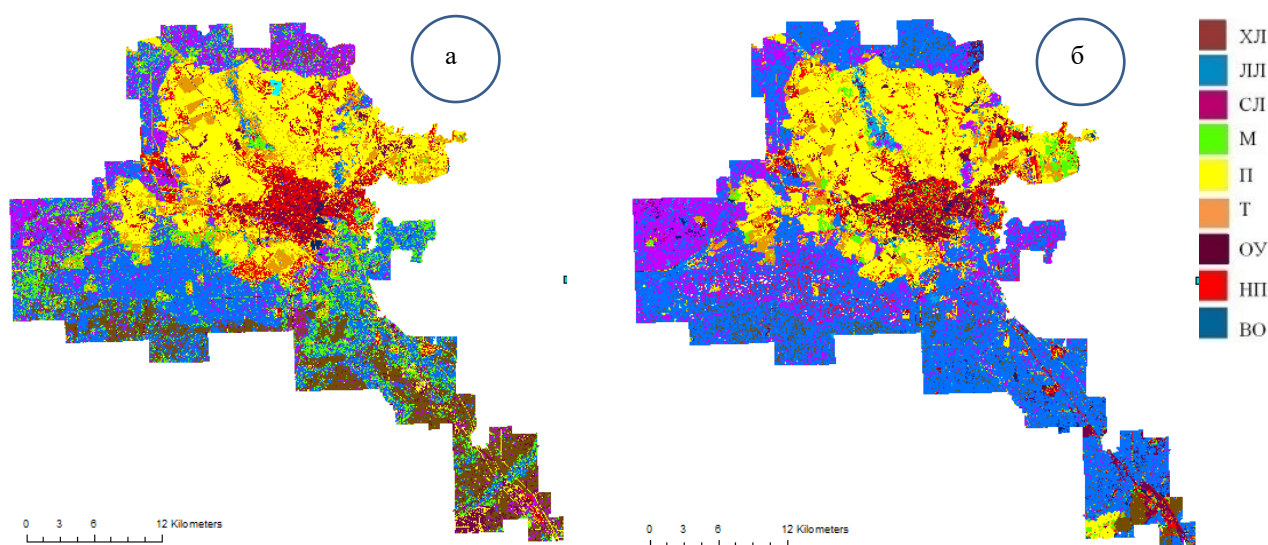


Рис. 4. Тематические карты наземного покрова сцены Sentinel-2B 2017 г. пригородной и городской зон г. Йошкар-Олы, полученные классификацией: а) попиксельная, б) объектно-ориентированная

Таблица 3

Оценка точности тематического картографирования наземного покрова пригородной и городской зон г. Йошкар-Ола в 2017 г. Sentinel методом попиксельной классификации «Максимальное правдоподобие»

Класс	ХВ	ЛЛ	СМ	М	Т	П	ГТ	ОУ	ВО	ТП,%
ХВ	24	2	2	0	0	0	1	0	0	82,8
ЛЛ	2	25	2	0	0	0	3	0	0	78,1
СМ	1	3	16	1	0	0	3	0	0	66,7
М	0	2	1	16	1	2	0	0	0	72,7
Т	0	0	0	1	18	8	3	0	0	60,0
П	0	0	2		1	23	3	1	0	76,7
НП	1	2	1	0	2	2	20	2	2	62,5
ОУ	0	0	0	1	2	1	2	22	0	78,6
ВО	1	0	0	0	0	0	1	0	17	89,5
ПТ,%	82,8	73,5	66,7	84,2	75,0	63,9	55,6	88,0	89,5	
									ОА,%	74
									Kappa	0.71

ТП – точность производителя

ПТ – точность пользователя (пользовательская точность)

Для каждого из способов была получена матрица различий, показывающая соответствие между прогнозируемыми (проклассифицированными) классами и эталонными данными наземного покрова. Ландшафтная структура городской и пригородной территории г. Йошкар

-Олы имеет хорошо выраженную неоднородность. Почти половина пригородной зоны занята лесной растительностью, расположенной вдоль границ с ограниченным статусом ведения лесохозяйственной деятельности (Смирнова, 2016). Полученные девять доминирующих растровых классов каждой из тематических карт были преобразованы в полигональные векторные слои. Вся последующая работа по пространственному анализу и оценке изменений наземного покрова проводилась в среде ArcGis 10.3 с использованием полученных растровых и векторных слоев.

При попиксельной классификации большая часть из девяти тематических классов была определена с высокой степенью достоверности. Показатель «точность производителя» (Курбанов и др., 2015) для них в среднем составил более 70 %, что свидетельствует о том, что количество неправильно классифицированных пикселей составило менее 30 % от общего количества всех оцениваемых пикселей фрагмента сцены. Показатель «точность пользователя» также представлен достаточно высокими значениями для попиксельной классификации, что говорит о том, что количество правильно классифицированных пикселей для каждого оцениваемого тематического класса карты имеет высокую степень достоверности, также более 70 %.

Метод сегментации спутниковых изображений показал менее удовлетворительный результат. Общая точность классификации при этом составила около 51%, значение коэффициента Каппа – 0.47 (табл. 4).

Таблица 4

Оценка точности тематического картографирования наземного покрова пригородной и городской зон г. Йошкар-Олы в 2017 г. Sentinel методом сегментации изображения «OBIA»

Класс	ХВ	ЛЛ	СМ	М	Т	П	ГТ	ОУ	ВО	ТП, %
ХВ	13	5	4	3	0	0	4	0	0	44,8
ЛЛ	2	21	5	1	0	0	3	0	0	65,6
СМ	3	3	4	2	0	1	3	0	0	16,7
М	1	5	2	7	2	4	0	1	0	31,8
Т	0	1	0	5	11	8	3	2	0	36,7
П	0	0	1	3	8	14	3	1	0	46,7
НП	3	2	0	4	1	2	17	2	1	53,1
ОУ	0	0	0	1	1	1	2	23	0	82,1
ВО	2	0	1	0	0	0	1	1	14	73,7
ТП, %	54,2	56,8	23,5	26,9	47,8	46,7	47,2	76,7	93,3	
									ОА, %	51
									Каппа	0.47

В целом на карте наблюдается значительное перемешивание тематических классов наземного покрова, что особенно характерно для лесных классов. Тематический класс «смешанный лес» частично классифицирован как хвойный, а частично – как лиственный. Также идет перемешивание классов «поле», «молодняк» и «трава» (рис. 5).

Смешивание пикселей наблюдается у близких по характеристикам тематических классов, таких как «открытые участки» и «населенный пункт». По результатам статистической оценки «точность производителя» для большей части тематических классов составила не более 45 % (табл. 4). Самое высокое значение «точности производителя» (более 70 %) наблюдается для двух классов – «открытые участки» и «водные объекты», которые обычно хорошо классифицируемы благодаря своим особым спектральным свойствам. Показатель «точность пользователя» (ПТ) при классификации способом OBIA тоже показывает низкие значения – менее 50 %. Тематический класс «населенный пункт», имеющий сложную структуру, требу-

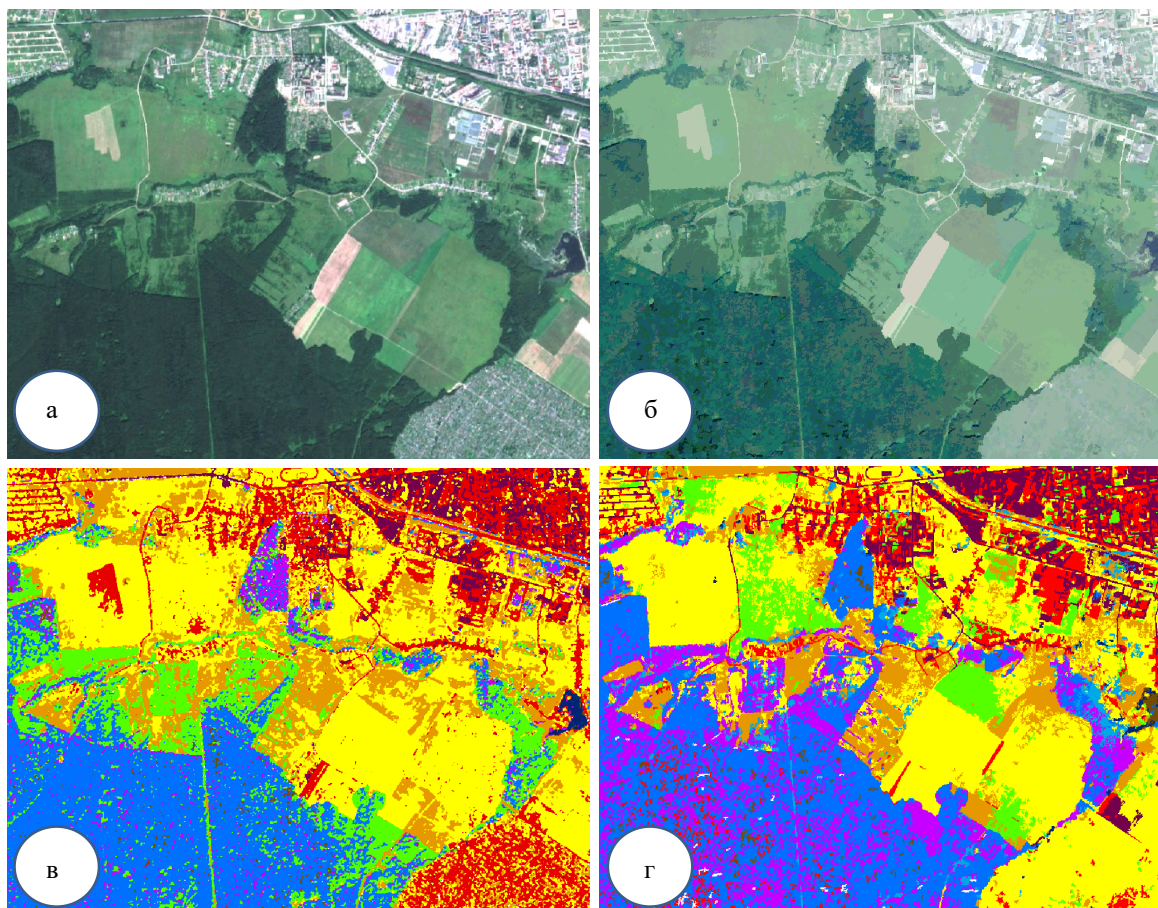


Рис. 5. Изображения участка городской территории: а) исходное изображение фрагмента сцены Sentinel-2B, б) сегментированное изображение фрагмента сцены Sentinel-2B, в) классификация методом «Максимальное правдоподобие» г) классификация методом сегментации изображений

ет дополнительной экспертной работы по анализу и повторной переклассификации, что позволит выделить его точные границы на тематическом изображении.

Слабые значения показателей точности при картографировании методом сегментации изображений (OBIA) можно объяснить низкой степенью разделимости выделенных тематических классов по их спектральным характеристикам, форме и группировке. Низкая точность производителя для некоторых тематических классов наземного покрова объясняется тем, что они на карте представлены малыми группами. Хорошие показатели классификации спутникового снимка имеют классы, доминирующие на изучаемой местности (Immitzer et al., 2016; Kurbanov et al., 2017). В то же время, как отмечено другими исследованиями (Momeni et al., 2016), надежные результаты тематического картографирования методом объектно-ориентированного подхода получаются при проведении анализа небольших по площади территорий. В нашей работе площадь оцениваемой территории составила более 80000 га, что могло повлиять на возможное смешивание классов при тематическом картографировании.

Выводы. Показатели точности классификации изображений продемонстрировали преимущество попиксельного способа классификации изображения спутника Sentinel-2B (разрешение 10 м) над способом сегментации изображения (OBIA). Объектно-ориентированная классификация может быть использована при более детальном исследовании городских территорий, на уровне округа или отдельных его районов. Кроме того, точность OBIA может также повыситься при использовании снимков более высокого пространственного разрешения, чем у Sentinel-2B.

Библиографический список

1. Воробьев, О.Н. Спутниковый мониторинг недропользования в Республике Марий Эл / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов // Геоматика. – М.: «Совзонд». – 2015. – № 1. – С. 45-52.
2. Воробьев, О.Н. Дистанционный мониторинг восстановительной динамики растительности на гарях Марийского лесного Заволжья / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2017. – № 2 (14). – С. 124-134.
3. Воробьев, О.Н. Дистанционный мониторинг городских лесов / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, А.В. Губаев, Ю.А. Полевщикова, Е.Н. Демишева, О.В. Коптелов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 1(25). – С. 5-21.
4. Воробьев, О.Н. Дистанционный мониторинг лесных гарей в Марийском Заволжье / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2012. – №1. – С.12-22.
5. Жирин, В.М. Сезонная информативность многоспектральных космических снимков высокого разрешения при изучении породно-возрастной динамики лесов / В.М. Жирин, С.В. Князева, С.П. Эйлина, Н.В. Зукерт // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9. – № 1. – С. 87-94.
6. Курбанов, Э.А. Оценка загрязнений древостоями отходами силикатного производства по снимку Rapid Eye / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2013. – Т. 10. – № 2. – С. 88-97.
7. Курбанов, Э.А. Решение вопросов космического мониторинга лесных гарей в комплексных пакетах ENVI и ArcGIS / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова // Геоматика. – М.: «Совзонд». – 2012. – № 4. – С. 82-92.
8. Курбанов, Э.А. Тематическое картирование и стратификация лесов Марийского Заволжья по спутниковым снимкам Landsat / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, С.А. Незамаев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. – 2013. – № 3. – С. 72-82.
9. Курбанов, Э.А. Тематическое картирование растительного покрова по спутниковым снимкам: валидация и оценка точности: монография / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, С.А. Лежнин, А.В. Губаев, Ю.А. Полевщикова. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2015. – 126 с.
10. Курбанов, Э.А. Четыре десятилетия исследований лесов по снимкам Landsat / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова, Е.Н. Демишева // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – №1(21). – С. 18-32.
11. Лесной план Республики Марий Эл: [утвержден распоряжением Главы РМЭ 16 окт. 2012 г.]. – Йошкар-Ола, 2012. – 372 с.
12. Смирнова, Л.Н. Экологический мониторинг зеленых насаждений г. Йошкар-Олы по спутниковым снимкам [Электронный ресурс] / Л.Н. Смирнова // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг: сборник научных статей. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016. – С. 157-168.
13. Терехин, Э.А. Процессы лесовозобновления на залежах юго-запада Среднерусской возвышенности [Электронный ресурс] / Э.А. Терехин // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг: сборник научных статей. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016. – С. 123-132.
14. Чистяков, А.Р. Типы лесов Марийской АССР и сопредельных районов / А.Р. Чистяков, А.К. Денисов. – Йошкар-Ола, 1959. – 73 с.
15. Casals-Carrasco, P. Application of spectral mixture analysis for terrain evaluation studies / P. Casals-Carrasco, S. Kubo, B.B. Madhavan // International Journal of Remote Sensing. – 2000. – Vol. 21(16). – P. 3039-3055.
16. Kuemmerle, T. Separating grassland and shrub vegetation by multivariate pixel-adaptive spectral mixture analysis / T. Kuemmerle, A. Röder, J. Hill // International Journal of Remote Sensing. – 2006. – Vol. 27(15). – P. 3251-3271.
17. Bhagat, V. S. Use of Landsat ETM+ data for detection of potential areas for afforestation / V.S. Bhagat // International Journal of Remote Sensing. – 2009. – Vol. 30. – № 10. – P. 2607-2617.
18. Cohen, J. A coefficient of agreement for nominal scales / J. Cohen // Educational and Psychological Measurement. – 1960. – № 20. – P. 37-46.
19. Do-Hyung Kim, D.H. Global, Landsat-based forest-cover change from 1990 to 2000 / D.H. Kim, J.O. Sexton, P. Noojipady, C. Huang, A. Anand, S. Channan, M. Feng, J.R. Townshend // Remote Sensing of Environment. – 2014. – Vol. 155. – P. 178-193.
20. ESA Introducing Sentinel-2. Available online: http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2 - 17.11.2017
21. Fensholt, R. Evaluation of earth observation based long term vegetation trends—Intercomparing NDVI time series trend analysis consistency of Sahel from AVHRR GIMMS, Terra MODIS and SPOT VGT data / R. Fensholt, K. Rasmussen, T.T. Nielsen, C. Mbow // Remote Sensing of Environment. – 2009. – Vol. 113. – P. 1886-1898.
22. Flint, H.L. Plants showing tolerance of urban stress / H.L. Flint // Journal of Environmental Horticulture. – 1985. – №3. – P. 85-89.

23. Hojas-Gascon, L. Potential improvement for forest cover and forest degradation mapping with the forthcoming Sentinel-2 program / L. Hojas-Gascon, A. Belward, H. Eva, G. Ceccherini, O. Hagolle, J. Garcia, P. Cerutti // International archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. – 2015. – P. 417-423.
24. Immitzer, M. First experience with Sentinel-2 data for crop and tree species classifications in Central Europe / M. Immitzer, F. Vuolo, C. Atzberger // Remote Sensing. – 2016. – Vol. 8 (3). – P. 166.
25. Kurbanov, E. Assessment of burn severity in Middle Povolzhje with Landsat multi-temporal data/ E. Kurbanov, O. Vorobyev, S. Lezhnin, Y. Polevshchikova, and E. Demisheva // International Journal of Wildland Fire. – 2017. – Vol. 26. – № 9. – P. 772-782.
26. Li, Z. Landsat 15 m panchromatic assisted downscaling (LPAD) of 30 m reflective wavelength data to Sentinel-2 20 m resolution / Z. Li, H.K. Zhang, D.P. Roy, L. Yan, H. Huang, J. Li // Remote Sensing. – 2017. – № 9. – P. 755.
27. Loboda, T. Land Management and the Impact of the 2010 Extreme Drought Event on the Agricultural and Ecological Systems of European Russia/ T. Loboda, O. Krankina, I. Savin, E. Kurbanov, H. Joanne // Land-Cover and Land-Use Changes in Eastern Europe after the Collapse of the Soviet Union in 1991; eds. G. Gutman, R. Volker. – 2016. – P. 173-192.
28. Mandanici, E. Preliminary Comparison of Sentinel-2 and Landsat 8 Imagery for a Combined Use / E. Mandanici, G. Bitelli // Remote Sensing. – 2016. – Vol. 8. – P. 1014.
29. Matthew C. Hansen, Thomas R. Loveland A review of large area monitoring of land cover change using Landsat data// Remote Sensing of Environment, 2012. – P. 66-74.
30. Momeni, R. Mapping Complex Urban Land Cover from Spaceborne Imagery: The Influence of Spatial Resolution, Spectral Band Set and Classification Approach / R. Momeni, P. Aplin, D. S. Boyd// International Journal of Remote Sensing. – 2016. – Vol. 8(2). – P. 1-23.
31. Pesaresi, M. Assessment of the added-value of Sentinel-2 for detecting built-up areas / M. Pesaresi, C. Corbane, A. Julea, A. Florczyk, V. Syrris, P. Soille // Remote Sensing. – 2016. – Vol. 8. – P. 299.
32. Stehman, S.V. Pixels, blocks of pixels, and polygons: Choosing a spatial unit for thematic accuracy assessment / S.V. Stehman, J.D. Wickham // Remote Sensing of Environment. – 2011. – Vol. 115(12). – P. 3044-3055.
33. United Nations. World Population Prospects: The 2015 Revision; Technical Report; United Nations: New York, NY, USA, 2015.
34. Urban Atlas [Electronic resource]. – URL: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/urban-atlas> - 6.11.2017
35. Verbula, D.L. Satellite remote sensing of natural resources / D.L. Verbula // CRC Press. – 2000, Lewis Published. – P. 198.
36. Yang, J. Landsat remote sensing approaches for monitoring long-term tree cover dynamics in semi-arid woodlands: Comparison of vegetation indices and spectral mixture analysis / Jian J. Yang, Peter P.J. Weisberg, Nathan N.A. Bristow // Remote Sensing of Environment. – 2014. – № 119. – P. 62-71.
37. Zhu, Z. Continuous change detection and classification of land cover using all available Landsat data / Z. Zhu, C.E. Woodcock // Remote sensing of Environment. – 2014. – № 144. – P. 152-171.

References

1. Vorobiev, O.N. Sputnikovyy monitoring nedropol'zovaniya v Respublike Marij El / O.N. Vorobiev, E.A. Kurbanov // Geomatika. – M.: «Sovzond». – 2015. – № 1. – S. 45-52.
2. Vorobiev, O.N. Distancionnyj monitoring vosstanovitel'noj dinamiki rastitel'nosti na garyah Marijskogo lesnogo Zavolzh'ya / O.N. Vorobiev, E.A. Kurbanov // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. – 2017. – № 2 (14). – S. 124-134.
3. Vorobiev, O.N. Distancionnyj monitoring gorodskih lesov / O.N. Vorobiev, E.A. Kurbanov, A.V. Gubaev, YU.A. Polevshchikova, E.N. Demisheva, O.V. Koptelov // Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie. – 2015. – № 1(25). – S. 5-21.
4. Vorobiev, O.N. Distancionnyj monitoring lesnyh garej v Marijskom Zavolzh'e / O.N. Vorobiev, E.A. Kurbanov, A.V. Gubaev, S.A. Lezhnin, Yu.A. Polevshchikova // Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie. – 2012. – №1. – S.12-22.
5. Zhirin, V.M. Sezonnaya informativnost' mnogospektral'nyh kosmicheskikh snimkov vysokogo razresheniya pri izuchenii porodno-vozrastnoj dinamiki lesov / V.M. Zhirin, S.V. Knyazeva, S.P. Ejdlina, N.V. Zukert // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. – 2012. – T. 9. – № 1. – S. 87-94.
6. Kurbanov, E.A. Ocenka zagryaznenij drevostoyami othodami silikatnogo proizvodstva po snimku Rapid Eye / E.A. Kurbanov, O.N. Vorob'yov, S.A. Lezhnin, Yu.A. Polevshchikova // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. – 2013. – T. 10. – № 2. – S. 88-97.
7. Kurbanov, E.A. Reshenie voprosov kosmicheskogo monitoringa lesnyh garej v kompleksnyh paketah ENVI i ArcGIS / E.A. Kurbanov, O.N. Vorob'yov, S.A. Lezhnin, Yu.A. Polevshchikova // Geomatika. – M.: «Sovzond». – 2012. – № 4. – S. 82-92.
8. Kurbanov, E.A. Tematicheskoe kartirovanie i stratifikaciya lesov Marijskogo Zavolzh'ya po sputnikovym snimkam Landsat / E.A. Kurbanov, O.N. Vorobiev, S.A. Nezamaev, A.V. Gubaev, S.A. Lezhnin, Yu.A. Polevshchikova // Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. – 2013. – № 3. – S. 72-82.
9. Kurbanov, E.A. Tematicheskoe kartirovanie rastitel'nogo pokrova po sputnikovym snimkam: validaciya i ocenka tochnosti: monografiya / E.A. Kurbanov, O.N. Vorobiev, S.A. Lezhnin, A.V. Gubaev, Yu.A. Polevshchikova. – Joshkar-Ola: Povolzhskij gosudarstvennyj tekhnologicheskij universitet, 2015. – 126 s.
10. Kurbanov, E.A. CHetyre desyatiletija issledovaniy lesov po snimkam Landsat / E.A. Kurbanov, O.N. Vorobiev, A.V. Gubaev, S.A. Lezhnin, YU.A. Polevshchikova, E.N. Demisheva // Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universtiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie. – 2014. – №1(21). – S. 18-32.

11. Lesnoj plan Respubliki Marij El: [utverzhen rasporyazheniem Glavy RME 16 okt. 2012 g.]. – Joshkar-Ola, 2012. – 372 s.
12. Smirnova, L.N. Ekologicheskij monitoring zelenyh nasazhdenij g. Joshkar-Oly po sputnikovym snimkam [Elektronnyj resurs] / L.N. Smirnova // Lesnye ekosistemy v usloviyah izmeneniya klimata: biologicheskaya produktivnost' i distancionnyj monitoring: sbornik nauchnyh statej. – Joshkar-Ola: PGTU, 2016. – S. 157-168.
13. Terekhin, E.A. Processy lesovozobnovleniya na zalezah yugo-zapada Srednerusskoj vozvysheennosti [Elektronnyj resurs] / E.A. Terekhin // Lesnye ekosistemy v usloviyah izmeneniya klimata: biologicheskaya produktivnost' i distancionnyj monitoring: sbornik nauchnyh statej. – Joshkar-Ola: PGTU, 2016. – S. 123-132.
14. Chistyakov, A.R. Tipy lesov Marijskoj ASSR i sopredel'nyh rajonov / A.R. Chistyakov, A.K. Denisov. – Joshkar-Ola, 1959. – 73 s.
15. Casals-Carrasco, P. Application of spectral mixture analysis for terrain evaluation studies / P. Casals-Carrasco, S. Kubo, B.B. Madhavan // International Journal of Remote Sensing. – 2000. – Vol. 21(16). – P. 3039-3055.
16. Kuemmerle, T. Separating grassland and shrub vegetation by multivariate pixel-adaptive spectral mixture analysis / T. Kuemmerle, A. Röder, J. Hill // International Journal of Remote Sensing. – 2006. – Vol. 27(15). – P. 3251-3271.
17. Bhagat, V. S. Use of Landsat ETM+ data for detection of potential areas for afforestation / V.S. Bhagat // International Journal of Remote Sensing. – 2009. – Vol. 30. – № 10. – P. 2607-2617.
18. Cohen, J. A coefficient of agreement for nominal scales / J. Cohen // Educational and Psychological Measurement. – 1960. – № 20. – P. 37-46.
19. Do-Hyung Kim, D.H. Global, Landsat-based forest-cover change from 1990 to 2000 / D.H. Kim, J.O. Sexton, P. Noojipady, C. Huang, A. Anand, S. Channan, M. Feng, J.R. Townshend // Remote Sensing of Environment. – 2014. – Vol. 155. – P. 178-193.
20. ESA Introducing Sentinel-2. Available online: http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2 - 17.11.2017
21. Fensholt, R. Evaluation of earth observation based long term vegetation trends—Intercomparing NDVI time series trend analysis consistency of Sahel from AVHRR GIMMS, Terra MODIS and SPOT VGT data / R. Fensholt, K. Rasmussen, T.T. Nielsen, C. Mbow // Remote Sensing of Environment. – 2009. – Vol. 113. – P. 1886-1898.
22. Flint, H.L. Plants showing tolerance of urban stress / H.L. Flint // Journal of Environmental Horticulture. – 1985. – №3. – P. 85-89.
23. Hojas-Gascon, L. Potential improvement for forest cover and forest degradation mapping with the forthcoming Sentinel-2 program / L. Hojas-Gascon, A. Belward, H. Eva, G. Ceccherini, O. Hagolle, J. Garcia, P. Cerutti // International archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. – 2015. – P. 417-423.
24. Immitzer, M. First experience with Sentinel-2 data for crop and tree species classifications in Central Europe / M. Immitzer, F. Vuolo, C. Atzberger // Remote Sensing. – 2016. – Vol. 8 (3). – P. 166.
25. Kurbanov, E. Assessment of burn severity in Middle Povolzhje with Landsat multi-temporal data/ E. Kurbanov, O. Vorobyev, S. Leznin, A. Y. Polevshikova, and E. Demisheva // International Journal of Wildland Fire. – 2017. – Vol. 26. – № 9. – P. 772-782.
26. Li, Z. Landsat 15 m panchromatic assisted downscaling (LPAD) of 30 m reflective wavelength data to Sentinel-2 20 m resolution / Z. Li, H.K. Zhang, D.P. Roy, L. Yan, H. Huang, J. Li // Remote Sensing. – 2017. – № 9. – P. 755.
27. Loboda, T. Land Management and the Impact of the 2010 Extreme Drought Event on the Agricultural and Ecological Systems of European Russia/ T. Loboda, O. Krankina, I. Savin, E. Kurbanov, H. Joanne // Land-Cover and Land-Use Changes in Eastern Europe after the Collapse of the Soviet Union in 1991; eds. G. Gutman, R. Volker. – 2016. – P. 173-192.
28. Mandanici, E. Preliminary Comparison of Sentinel-2 and Landsat 8 Imagery for a Combined Use / E. Mandanici, G. Bitelli // Remote Sensing. – 2016. – Vol. 8. – P. 1014.
29. Matthew C. Hansen, Thomas R. Loveland A review of large area monitoring of land cover change using Landsat data// Remote Sensing of Environment, 2012. – P. 66-74.
30. Momeni, R. Mapping Complex Urban Land Cover from Spaceborne Imagery: The Influence of Spatial Resolution, Spectral Band Set and Classification Approach / R. Momeni, P. Aplin, D. S. Boyd// International Journal of Remote Sensing. – 2016. – Vol. 8(2). – P. 1-23.
31. Pesaresi, M. Assessment of the added-value of Sentinel-2 for detecting built-up areas / M. Pesaresi, C. Corbane, A. Julea, A. Florczyk, V. Syrris, P. Soille // Remote Sensing. – 2016. – Vol. 8. – P. 299.
32. Stehman, S.V. Pixels, blocks of pixels, and polygons: Choosing a spatial unit for thematic accuracy assessment / S.V. Stehman, J.D. Wickham // Remote Sensing of Environment. – 2011. – Vol. 115(12). – P. 3044-3055.
33. United Nations. World Population Prospects: The 2015 Revision; Technical Report; United Nations: New York, NY, USA, 2015.
34. Urban Atlas [Electronic resource]. – URL: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/urban-atlas> - 6.11.2017
35. Verbula, D.L. Satellite remote sensing of natural resources / D.L. Verbula // CRC Press. – 2000, Lewis Published. – P. 198.
36. Yang, J. Landsat remote sensing approaches for monitoring long-term tree cover dynamics in semi-arid woodlands: Comparison of vegetation indices and spectral mixture analysis / Jian J. Yang, Peter P.J. Weisberg, Nathan N.A. Bristow // Remote Sensing of Environment. – 2014. – № 119. – P. 62-71.
37. Zhu, Z. Continuous change detection and classification of land cover using all available Landsat data / Z. Zhu, C.E. Woodcock // Remote sensing of Environment. – 2014. – № 144. – P. 152-171.



Funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



EFI ASSOCIATED EVENT

Резолюция

Международной конференции «Лесные экосистемы в условиях изменения климата: региональные и международные аспекты»

г. Йошкар-Ола

19 мая 2017 г.

17-19 мая 2017 г. в Поволжском государственном технологическом университете (ПГТУ) проходила международная научно-практическая конференция «Лесные экосистемы в условиях изменения климата: региональные и международные аспекты», которая с 2005 года является постоянно действующим международным форумом для обсуждения региональных проблем лесного хозяйства Российской Федерации в условиях меняющегося климата.

Организаторами конференции выступили программа Европейского Союза «Общественная дипломатия. ЕС и Россия» и научно-образовательный Центр совершенства им. Жана Монне при ПГТУ. Центр совершенства им. Жана Монне «Европейская экспертиза и технологии в области защиты окружающей среды и устойчивого лесоводства» (SUFEX), открытый в 2016 году, является первой профильной структурой в этой сфере, созданной в российских университетах в рамках программы ЕС Erasmus+. Партнерами конференции также были Европейский лесной институт, Центр устойчивого управления и дистанционного мониторинга лесов ПГТУ, Министерство лесного и охотничьего хозяйства Республики Марий Эл (РМЭ).

В работе международной конференции приняли участие ученые и преподаватели из университетов Башкортостана, Татарстана, Марий Эл, Москвы, Нижнего Новгорода и Сыктывкара. Руководитель проекта ЕС «Общественная дипломатия. ЕС и Россия» Йенс Зигерт рассказал о первых шагах деятельности этого проекта для развития научно-технических и гуманитарных связей между ЕС и Россией. Из зарубежных коллег в работе конференции приняли участие профессора Института природных ресурсов Финляндии, финской компании Арбонаут, университета Аристотеля (Греция), Европейского института леса (Финляндия). Министр лесного и охотничьего хозяйства РМЭ А.И. Шургин в своем докладе затронул вопросы общего состояния лесов и мероприятий, направленных на поддержание его устойчивости, в лесном хозяйстве Республики Марий Эл.

На пленарном заседании российские и зарубежные ученые обсудили проблемы изменения климата и роли лесов в этом феномене, использования спутниковых методов мониторинга происходящих изменений и возможности применения адаптационных технологий в лесном хозяйстве. Зарубежные коллеги представили доклады о новой роли лесного хозяйства Европы в условиях меняющегося климата, создании центров по мониторингу лесных экосистем, использовании лидарной съемки при лесной инвентаризации. Доклад профессора МГТУ им. Н.Э. Баумана (МГУЛ) В.С. Шалаева был посвящен историческому экскурсу на тему участия Российской Федерации в деятельности IUFRO.

Секционные доклады касались вопросов биологической продуктивности лесов, дистанционного зондирования Земли, исследований в области современного лесоводства и экологии в условиях изменения климата. Молодые ученые доложили о своих научных достижениях, которые были обсуждены ведущими специалистами вузов и институтов РФ.

На второй день конференции состоялись круглые столы, посвященные практическим вопросам изменения климата и управления лесами, на которых присутствовали сотрудники министерства лесного и охотничьего хозяйства РМЭ, министерства лесного хозяйства Республики Татарстан, а также филиала ФБУ «Рослесзащита. Центр защиты лесов РМЭ».

Третий день был посвящен ознакомлению участников конференции с опытными объектами ПГТУ в Учебно-Опытном и Кокшайском лесничествах Республики Марий Эл.

Рекомендации пленарных заседаний и круглого стола

1. Предложения по стратегическому планированию и финансированию

1.1. Разработка официального прогноза последствий глобальных изменений климата применительно к лесному комплексу и определение необходимых адаптационных мер.

1.2. Учет прогнозных показателей в документах стратегического планирования, в частности в Стратегии развития лесного комплекса и Госпрограмме развития лесного хозяйства. В них должны быть внесены мероприятия по оценке рисков, увеличению объема финансирования на лесовосстановление, разработке горельников, развитию систем эффективной утилизации древесины в случаях массовой гибели лесов, развитию биорефайнинга и биоэнергетики.

1.3. Обеспечение открытости данных о финансировании лесного хозяйства в разрезе субъектов РФ, в том числе мероприятий по охране и защите леса, приведение сравнительных данных об экономических потерях в результате гибели лесов от пожаров и других неблагоприятных факторов. Эта информация должна стать основной для аргументации о необходимости приоритетного финансирования мер по охране и защите лесов, повышения общих объемов финансирования лесного хозяйства.

2. Предложения по планированию на уровне субъектов РФ и лесничеств (лесные планы и лесохозяйственные регламенты)

2.1. При подготовке и утверждении лесных планов и лесохозяйственных регламентов должны учитываться глобальные изменения климата и необходимость адаптации к ним. Как минимум, в этих документах должны быть разделы, посвященные прогнозу возможного влияния изменений климата и мерам по адаптации к этим изменениям.

2.2. Информационная и просветительская работа по вопросам, связанным с глобальными изменениями климата и необходимостью адаптации к ним для системы управления лесами в субъектах РФ.

2.3. Интеграция лесного компонента в региональную деятельность по тематике глобальных изменений климата и адаптации к ним.

3. Предложения по охране лесов от пожаров

3.1. Решительные меры по обеспечению достоверности и полноты информации о лесных пожарах. При оценке площадей необходимо опираться на данные дистанционного зондирования, которые будут иметь приоритет при обсуждении этой проблемы на международном уровне.

3.2. Информационная работа по лесопожарной тематике через интернет-сайты органов государственного управления лесами (контакты, памятки о действиях в случае обнаружения лесного пожара и т.д.). Активный информационный поток в пожароопасный сезон, включая

объявления о начале и окончании пожароопасного сезона, введении и отмене особого противопожарного режима, результатах патрулирования и т.п.

3.3. Изучение влияния процессов изменений климата на устойчивость различных древесных пород является решающим в понимании современных угроз и возможностей как основы для адаптации ведения лесного хозяйства. Для решения этих задач рекомендуется более широко внедрять геоинформационные технологии, спутниковые снимки и программные продукты для сбора и обработки данных с целью оценки биологической продуктивности и мониторинга состояния лесных ресурсов.

3.4. Принять меры по активному внедрению современных высокоэффективных технологий мониторинга и инвентаризации лесов на основании данных космического и лидарного зондирования.

4. Предложения по лесозащите

4.1. Повышение эффективности выявления лесопатологических проблем. Должны быть исключены ситуации, когда, например, вспышка сибирского шелкопряда «вдруг» выявляется сразу на площади 1 млн га, и т.п.

4.2. Эффективная реализация ФЗ 455 от 30.12.2015 «О внесении изменений в Лесной кодекс Российской Федерации в части совершенствования регулирования защиты лесов от вредных организмов». Внедрение однотипной структуры разделов «Акты лесопатологического обследования» на сайтах органов управления лесами, хранение актов в открытом доступе не менее 3 лет, их систематизация, в том числе по лесничествам и датам, предоставление информации, позволяющей обеспечить географическую привязку актов к местности.

5. Предложения по лесопользованию

5.1. Постановка вопроса о воздействии глобальных изменений климата и необходимости адаптации к ним перед экологически ответственными лесопромышленниками (GFTN России), структурами, имеющими сертификацию устойчивого лесопользования по системам FSC и PEFC.

5.2. Создание системы ускоренного реагирования на случаи массовой гибели лесов, с целью своевременной утилизации поврежденной древесины с соблюдением экологических требований.

5.3. Развитие систем наиболее полного использования древесного сырья (биорефайнинг).

5.4. Демонстрация важности и остроты проблемы низкой эффективности использования древесного сырья, особенно в случаях возникновения больших запасов поврежденной древесины.

5.5. Поддержка расширения использования низкокачественной древесины, в том числе из насаждений, поврежденных в результате лесных пожаров, неблагоприятных погодных условий, вспышек размножения вредителей и болезней и т.д.

6. Предложения по лесовосстановлению

6.1. Оптимизация систем лесовосстановления, переориентация их на выращивание устойчивых насаждений, экономически эффективными методами (анализ устойчивости и экономической эффективности монокультур хвойных пород, пространственная организация создаваемых лесных насаждений: противопожарные барьеры, смешанный породный состав).

6.2. Обеспечение оптимального соотношения финансирования мер по искусственному и естественному лесовосстановлению, охране и защите, обеспечению ухода.

6.3. Для обеспечения устойчивого лесопользования и воспроизводства лесных ресурсов России в целом необходимо продолжение поиска лесоводственно- и экологически эффектив-

ных технологий естественного возобновления лесов с учетом изменения климата. Необходимо уделить особое внимание естественному возобновлению основных лесобразующих пород с целью повышения их устойчивости. В то же время целевое выращивание мелкотоварной древесины с коротким оборотом рубки должно опираться на плантационное хозяйство.

7. Предложения по международному сотрудничеству

7.1. Центру совершенства им. Жана Монне Поволжского государственного технологического университета продолжить работу по развитию международной работы между Россией и Евросоюзом по проблеме «Лесные экосистемы в условиях изменений климата» с привлечением вузов лесного профиля, сделав упор на развитие научно-исследовательских проектов в области дистанционного мониторинга лесных экосистем.

7.2. Предложить Поволжскому государственному технологическому университету и Министерству лесного и охотничьего хозяйства Республики Марий Эл рассмотреть возможность выступить в качестве пилотных структур по адаптации лесного комплекса к глобальным изменениям климата, внедрению концепции Climate Smart Forestry («климатически умное лесное хозяйство»), проверке на практике изложенных выше рекомендаций. Разработать проект региональной стратегии адаптации лесного хозяйства к изменению климата, в который должны быть включены оценки основных факторов риска, уязвимости и положительного воздействия предполагаемых климатических изменений с учетом природно-географических, экономических, социальных и иных особенностей региона.

7.3. Для повышения качества научных исследований в российских вузах необходимо развивать международное сотрудничество, обмен идеями и сотрудниками в рамках научных проектов с зарубежными университетами. Приглашать зарубежных коллег участвовать в составе экспертных комиссий по оценке программ российских вузов по лесному хозяйству и экологии.



Funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



EFI ASSOCIATED EVENT

Resolution of the International Conference “Forest ecosystems under the changing climate: regional and international aspects”

Yoshkar-Ola

19 May, 2017

On 17-19 May, 2017 Volga State University of Technology (VSUT) hosted an International Conference “Forest Ecosystems under the Changing Climate: Regional and International Aspects”, which has been a regular international forum since 2005 bringing together all the stakeholders to discuss regional problems of the forestry sector in the Russian Federation in the conditions of climate change. The conference was organized by the EU-Russia cooperation programme “Public Diplomacy. EU and Russia” and the Jean Monnet Centre of Excellence of Volga State University of Technology.

The Jean Monnet Centre of Excellence in European Expertise and Technology for Environmental Protection and Sustainable Forestry – SUFEX established at Volga Tech in 2016 is the first sector-specific unit in the sphere of forestry opened in a Russian higher education institution in the framework of Erasmus+ programme funded by the European Union. The partners of the conference included the European Forest Institute, the Center of Sustainable Forest Management and Remote Sensing of Volga Tech, the Ministry of Forestry and Game Management of the Mari El Republic.

The international conference brought together educators and researchers from higher education institutions of Bashkortostan, Tatarstan, Mari El, Moscow, Nizhny Novgorod and Syktyvkar.

Jens Siegert, the coordinator of “Public Diplomacy. EU and Russia” highlighted the first activities within this program aimed at the development of research and humanitarian cooperation between the European Union and Russia. The conference was attended by the representatives from the Natural Resources Institute Finland; Arbonaut, a Finnish technology company; the Aristotle University of Thessaloniki (Greece); and the European Forest Institute (Finland).

Aleksey Shurgin, the Minister of Forestry and Game Management of the Mari El Republic, in his presentation covered the issue of general condition of forests and actions taken to enhance their sustainability in the region.

During the plenary session national and international researchers discussed the issues of climate change and the relevant role of forests, argued on the satellite methods of monitoring of the going on changes and the possibilities of applying the adaptation technologies in forestry. International colleagues made presentations on the new role of forestry in Europe under the changing climate, on the establishment of the centers of monitoring of forest ecosystems, the use of LiDAR application for the forest inventory.

The presentation of Prof. Valentin Shalaev from Moscow State Forest University was devoted to the timeline of Russia's membership in IUFRO.

Section presentations were devoted to the issues of the biological production of forests, earth remote sensing, research in contemporary forestry and ecology under the changing climate. Young researchers presented their academic achievements, that were discussed by the leading researchers and educators from Russian higher education institutions.

The second day of the conference was organized in the form of round table discussions covering the practical issues of forest management and climate change. These sections were attended by the representatives from the Ministry of Forestry and Game Management of Mari El, the Ministry of Forestry of Tatarstan and the branch of ROLSESZASHITA forest protection institution. The third day included field trips to Volga Tech sampling plots located in the experimental and Kokshaisk forestry enterprises of the Mari El Republic.

Recommendations from the plenary session and the round table discussions

1. Strategic planning and financing

1.1. It is recommended to develop the official prognosis of the global climate changes applicable to the forestry complex and define certain necessary adaptive actions.

1.2. It is advisable to take into consideration the prognosis indicators in the strategic planning documents particularly in the Forest Complex Development Strategy and the State Programme Forestry Development. These regulating documents should include actions aimed at risk evaluation, increase in the amount of financing, burned areas processing, development of methodology for effective timber utilization in cases of mass timber destruction, bio refining and bioenergy development.

1.3 It is necessary to ensure financial data transparency in the forestry sector with regard to the constituent subjects of the Russian Federation including actions of forest protection and the comparative data on the economic losses caused by forest fires and other adverse factors. This information should be used as the basis for providing grounds on priority financing of actions for forest protection and the increase of the overall forestry financing.

2. Planning on the level of the constituent subjects of the Russian Federation and forestry enterprises (forest plans and forestry regulations)

2.1. When preparing and approving forest plans and forestry regulations it is recommended to take into consideration the global climate changes and adaptive measures. These documents should at least have articles devoted to the prognosis of the possible impact of climate change and the measures taken to adapt to these changes.

2.2. The system of forest management in the constituent subjects of the Russian Federation needs information and educational actions on the issues of the global climate change and the necessary adaptive measures.

2.3. Forestry component should be integrated into the regional activity on the global climate change and adaptation to it.

3. Forest fire protection

3.1. Decisive actions should be taken in order to ensure reliability and completeness of forest fire data. When evaluating the areas damaged in forest fires it is necessary to rely on remote sensing data, which are preferably used when discussing this problem on the international level.

3.2. Dissemination of information on forest fires and preventive measures should be carried out via internet websites of the forest management regulatory authorities (contact persons, algorithm of

actions in case of forest fire, etc.). There should be an intensive information traffic particularly during fire hazardous period, including announcements on the beginning and end of special fire safety regime, etc.

3.3. A research into the processes of climate change on the sustainability of different wooden species is essential for understanding the current threats and opportunities as the basis of forestry management. In order to mitigate these threats it is recommended to use GIS, satellite images and relevant software packages for the purpose of collection, processing of data and assessing biological productivity and monitoring over the condition of the forest resources.

3.4. It is necessary to use the most recent and highly effective monitoring and forest inventory technologies based on the remote satellite and LiDAR apps.

4. Forest protection

4.1. It is necessary to enhance the efficiency of forest pathology problems. The cases of the «unexpected» outbreak of a Siberian silk worm on the territory of 1 mln ha must be envisaged beforehand.

4.2. The Federal Law №455 from 30.12.2015 «On Amending the Forest Code of the Russian Federation» concerning enhancing the regulating actions of forest protection against pests should be effectively implemented. The structure of forest pathology research acts should be unified on the websites of forestry regulating authorities, keeping these acts available for the public for at least 3 years, their systematization throughout forestry enterprises and data, providing the data, which makes it possible to link the act to the geographical location

5. Forest management

5.1. It is necessary to raise the question of the impact of global warming and the necessary to adapt to these changes on behalf of environmentally responsible forestry industries (GFTN of Russia), FSC and PPEFC-certified entities.

5.2. It is recommended to establish the system of instant action for the cases of mass damage and dry out of forest stands in order to process the damaged wood in compliance with the environmental regulations.

5.3. It is necessary to develop the systems of zero-waste wood resources (biorefining).

5.4. It is recommended to focus on the problem of inefficient use of wood resources, particularly in cases of large stock of damaged timber.

5.5. It is advisable to facilitate and expand the range of applications for the low quality wood including the one damaged in forest fires, unfavourable weather conditions, outbreaks of pests and diseases, etc.

6. Forest regeneration

6.1. Preference should be given to the optimization of forest regeneration systems, reorientation to producing sustainable stands using economically viable methods (analysis of sustainability and economic efficiency of mono coniferous species, spatial organization of plantations, fire breaks, mixed species composition).

6.2. It is necessary to provide optimum correlation between financing the actions on plantations and natural forest regeneration, forest protection, environmental harvesting.

6.3. In order to ensure sustainable forest management and forest regeneration it is recommended to continue the development of forestry-efficient and environmentally friendly methods of natural forest regeneration taking into consideration the changing climate. Particular attention should be paid to the natural forest regeneration of the key forest establishing species in order to ensure their sustainability. Simultaneously the targeted production of small-scale wood with short harvesting cycle should rely on plantation forestry.

7. International cooperation

7.1. The Jean Monnet Centre of Excellence SUFEX should keep working on the development of international cooperation between Russia and European Union on the issues connected with forest ecosystems under the changing climate. The center should focus of the development of research projects in remote sensing of forest ecosystems.

7.2. Volga State University of Technology and the Ministry of Forestry and Game Management of Mari El should consider the opportunity to act as pilot platforms in order to adapt the forestry complex to the global climate changes, to introduce the *Climate Smart Forestry* concept, and to test the aforesaid recommendations in practice. It is recommended to develop the draft of the regional strategy which would adapt forestry to the climate changes. This strategy should include key risk assessment, vulnerability and positive impact of the expected climate changes taking into consideration geographic, economic, social and other specific characteristics of the region.

7.3. In order to enhance the quality of research it is necessary to develop international cooperation, share ideas between the stakeholders in the framework of the joined projects implemented by consortiums of national and international HEIs. It is necessary to involve international partners to review educational programmes in forestry.

СОДЕРЖАНИЕ

Papaiordanidis S., Tompoulidou M., Lefakis P., Gitas I.Z. Evaluation of spectral indices efficiency in burned area mapping using object-based image analysis.....	6
Kulikova E. Research capacities and priorities in the area of sustainable forest management in Russia and eastern partnership (EAP) countries	13
Degembaeva N., Baibagyshov E., Aiyrov B., Chymyrov A., Ismailov N., Betz F., Cyffka B., Halik U. Naryn river floodplain forest ecosystem: status and changes.....	21
Тишин Д.В., Чижикова Н.А., Фардеева М.Б. Эколого-физиологические особенности ореха (<i>Juglans mandshurica</i> Maxim.), произрастающего в условиях хвойно-широколиственных лесов Среднего Поволжья.....	30
Демаков Ю.П. Закономерности изменения класса бонитета и полноты древостоев в борах Республики Марий Эл.....	36
Лугинина Л.И., Бессчетнов В.П. Эффективность применения посадочного материала с закрытой корневой системой при создании лесных культур сосны обыкновенной (<i>Pinus sylvestris</i> L.) в Республике Татарстан.....	46
Шалаев В.С., Тепляков В.К. Лес и климат (исторический экскурс).....	54
Демишева Е.Н. Анализ взаимосвязи вегетационного индекса NDVI и климатических показателей с использованием данных дистанционного зондирования.....	64
Али М.С. Картографирование растительного покрова Сирийской Арабской Республики по данным спутника MODIS.....	74
Габделхаков А.К., Сабирова Г.В., Фазлутдинов И.И. Состояние насаждений липы мелколистной в зеленой зоне г. Уфы.....	84
Стоноженко Л.В., Коротков С.А., Теплов О.А. Динамика лесных ресурсов и лесопользования Московской области.....	94
Осипов А.Ф., Кузнецов М.А., Бобкова К.С. Запасы и потоки углерода в хвойных экосистемах и на вырубках средней тайги.....	105
Терехин Э.А. Динамика отражательных характеристик дубрав вследствие изменения их нарушенности и возраста.....	112
Пахучий В.В., Щанов В.М. Оценка соотношения лесного и других типов растительности в северных районах Республики Коми в конце XX – начале XXI века.....	121
Головенкина И.А. Пирогенные сукцессии в Марийском лесном Заволжье.....	130
Шевелев Д.А. Изучение лесоводственного эффекта осушения сосны с использованием ГИС-технологий и данных дистанционного зондирования Земли.....	139
Воробьев О.Н., Курбанов Э.А. Оценка постпирогенной сукцессии на лесных гарях по спутниковым снимкам.....	147
Смирнова Л.Н. Точность классификации спутникового снимка Sentinel-2b для оценки урбанизированных территорий.....	160
Резолюция Международной конференции «Лесные экосистемы в условиях изменения климата: региональные и международные аспекты».....	171

CONTENTS

Papaiordanidis S., Tompoulidou M., Lefakis P., Gitas I.Z. Evaluation of spectral indices efficiency in burned area mapping using object-based image analysis.....	6
Kulikova E. Research capacities and priorities in the area of sustainable forest management in Russia and eastern partnership (EAP) countries	13
Degembaeva N., Baibagyshov E., Aiypov B., Chymyrov A., Ismailov N., Betz F., Cyffka B., Halik U. Naryn river floodplain forest ecosystem: status and changes.....	21
Tishin D.V., Chizhikova N.A., Fardeeva M.B. Environmental and physiological features of walnut (<i>Juglans mandshurica</i> maxim.) growing in the coniferous-broadleaved forests of the Middle Volga region.....	30
Demakov Yu.P. Regularities of changes in quality class and normality of pinewood stands in Mari El.....	36
Luginina L.I., Besschetnov V.P. The efficacy of planting material with closed root system on Scots pine (<i>Pinus silvestris</i> L.) plantations in the Republic of Tatarstan.....	46
Shalaev V.S., Teplyakov V.K. Forest and climate (historical flashback).....	54
Demisheva E.N. Analysis of the relationship between normalized difference vegetation index and climatic indicators using remote sensing data.....	64
Ali M.S. Vegetation cover mapping of the Syrian Arab Republic based on MODIS satellite data.....	74
Gabdelkhakov A.K., Sabirova G.V., Fazlutdinov I.I. Condition of mature <i>Tilia cordata</i> Mill. stands in the green belt of Ufa.....	84
Stonozhenko L.V., Korotkov S.A., Teplov O.A. Dynamics of forest resources and forest use in the Moscow region.....	94
Osipov A.F., Kuznetsov M.A., Bobkova K.S. Carbon stocks and fluxes in coniferous ecosystems and spruce felling sites in the middle taiga.....	105
Terekhin E.A. Dynamics of spectral reflective parameters in oak forest caused by disturbances and age changes.....	112
Pakhuchiy V.V., Shchanov V.M. Assessment of the ratio of forest and other types of vegetation in the northern regions of the Komi Republic at the turn of the XXI century.....	121
Golovenkina I.A. Pyrogenic succession in Mari Zavolzhye.....	130
Shevelev D.A. Studying effectiveness of hydrotechnical melioration of pine trees using GIS technologies and remote sensing methods.....	139
Vorobev O.N., Kurbanov E.A. Using satellite images for the assessment of post-fire succession in burned areas.....	147
Smirnova L.N. Accuracy of satellite image Sentinel-2B used to evaluate urbanized territories.....	160
Resolution of the international conference “Forest ecosystems under the changing climate: regional and international aspects”.....	175

Научное издание

**ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ
В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА:
БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ И ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ**

Международный сборник научных статей

Редактор *Л. С. Емельянова*
Компьютерная верстка *С. А. Лежнин*
Переводчик *М. Н. Курдюмова*

Подписано к использованию 22.12.2017

Поволжский государственный технологический университет
424000 Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

Редакционно-издательский центр ПГТУ
424006 Йошкар-Ола, ул. Панфилова, 17

Центр устойчивого управления и дистанционного мониторинга лесов
424000 Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3