

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

**ВЛИЯНИЕ АНОМАЛЬНОЙ ПОГОДЫ НА ПРИРОДНЫЕ,
СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ИСКУССТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ:**

ЗАСУХА 2010 ГОДА В ПОВОЛЖЬЕ РОССИИ

*Материалы международной научной конференции NASA
и семинара GOFD-GOLD/NEESPI*

17-22 июня 2012 г.

**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, GOFD-GOLD
and NEESPI Workshop and Regional Conference*

17-22 June 2012

Йошкар-Ола
ПГТУ
2012

УДК 551.5
ББК 26.237
В 57

Редакционная коллегия:

Э. А. Курбанов, О. Н. Кранкина, О. Н. Воробьев, Т. В. Лобода, Г. Г. Гутман, С. Justice,
С. А. Лежнин

*Электронное издание подготовлено по решению оргкомитета конференции
и редакционно-издательского совета ПГТУ*

Влияние аномальной погоды на природные, социально-экономические и искус-
В 57 **ственные системы: засуха 2010 года в Поволжье России: материалы международной**
научной конференции NASA и семинара GOF-C-GOLD/NEESPI [Электронный ресурс]. –
Электрон. дан. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет,
2012. – 166 с. – URL: <http://csfm.marstu.net/publications.html>
ISBN 978-5-8158-1056-3

В сборнике представлены доклады участников международной научной конференции NASA и семинара GOF-C-GOLD/NEESPI.

В работе семинара приняли участие более 100 человек, из них 65 – молодые ученые, аспиранты и магистранты. Тема конференции позволила создать основу для обмена знаниями и методами по оценке влияния засух на природные и искусственные системы в плотно заселенных регионах. Цель конференции – комбинирование национальных, региональных и международных экспертных оценок для обработки данных дистанционного зондирования и анализа поддержки научных и управленческих задач. На конференции рассмотрены два основных вопроса: 1) влияние аномальной погоды на лесные пожары и 2) влияние аномальных природных условий на сельское хозяйство.

Для преподавателей, аспирантов и студентов лесохозяйственных факультетов, а также специалистов лесного хозяйства.

УДК 551.5
ББК 26.237

ISBN 978-5-8158-1056-3

© Поволжский государственный
технологический университет, 2012
© Центр устойчивого управления
и дистанционного мониторинга лесов ПГТУ, 2012

ACKNOWLEDGEMENT

The conference is supported by:

US NASA (US National Air and Space Administration)

START (Global Change System for Analysis, Research and Training)

SCANEX (Research and Development Center)

GOFC GOLD (Global Observation of Forest and Land Cover Dynamics)

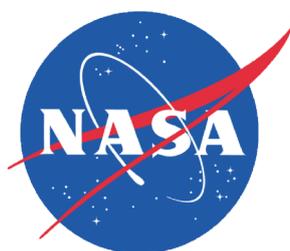
Volga Tech (Volga State University of Technology)

CSFM&RS (Centre for Sustainable Forest Management and Remote Sensing)

EFI (European Forest Institute)

SOVZOND

IUFRO (International Union of Forest Research Organizations)



Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы соглашение № 14.В37.21.1245 Министерства образования и науки Российской Федерации «Дистанционный мониторинг и прогнозирование состояния лесных насаждений по спутниковым снимкам» и тематического плана министерства науки и образования РФ на 2012-2014 гг. «Оценка, мониторинг и прогнозирование биологической продуктивности лесов по данным спутниковой съемки».

СОДЕРЖАНИЕ

<u>Dragozi E., Gitas I.Z., Stavrakoudis D.G., Theocharis J.B. Burned area mapping using very high resolution IKONOS imagery and Support Vector Machines.....</u>	6
<u>Tchebakova N.M., Vaganov E.A., Verkhovets S.V., Vygodskaya N.N., Arneth A., Bellelli Marchesini L., Dolman A.J. and Schulze E.-D. Energy and water exchange and productivity of major ecosystems in Central Siberia (from eddy-covariance measurements)</u>	15
<u>Tchebakova N.M., Parfenova E.I., Lysanova G.I. and Soja A.J. An agroclimatic potential in south-central Siberia in a changing climate during the XXI century.....</u>	20
<u>Tyukhov I.I., Raupov A.H., Tilov A.Z. Global-local monitoring of climate-weather conditions for renewable energy.....</u>	26
<u>Алимбекова Н.А., Чымыров А.У. Особенности и необходимость развития инфраструктуры пространственных данных Кыргызской Республики.....</u>	30
<u>Андрейчук А.В. Климатическое районирование лесных участков на сезонные зоны лесопромышленного производства с применением теории нечетких множеств.....</u>	34
<u>Архипкин О.П., Сагатдинова Г.Н., Занчева М.Н. Особенности динамики прохождения пожаров и паводков в 2010 году в Казахстане.....</u>	39
<u>Батухтина Т.С., Калинин К.К. Засухи и их влияние на горимость лесов в Марийском лесном Заволжье.....</u>	44
<u>Вараксин Г.С., Вайс А.А., Байкалов Е.М. Заращение древесной растительностью земель сельскохозяйственного назначения.....</u>	48
<u>Демичева Н.В., Денисов С.А. Влияние засухи 2010 года на восстановление сосновых лесов в пензенской лесостепи.....</u>	52
<u>Ерицов А.М., Асовский В.П. Развитие системы охраны лесов от пожаров в Республике Марий Эл.....</u>	57
<u>Каплина Н.Ф., Жиренко Н.Г. Динамика фитомассы листьев средневозрастного нагорного древостоя дуба Теллермановского леса за последнее десятилетие.....</u>	64
<u>Каткова Т.Е. Влияние солнечной активности на лесные пожары на примере Республики Марий Эл.....</u>	69
<u>Комарова А.Ф., Куксин Г.В., Ярошенко А.Ю. Борьба с пожарами на ценных природных территориях: от данных дистанционного зондирования до оперативного тушения (опыт Гринпис России).....</u>	74
<u>Нуреева Т.В., Бродников С.Н., Мифтахов Т.Ф., Чурикова М.Н. Влияние экстремальных погодных условий 2010 года на жизнеспособность молодняков сосны искусственного происхождения.....</u>	78
<u>Нургалиев И.С. Математические модели восстановления лесных сообществ.....</u>	82
<u>Носкова Н.Е., Романова Л.И. Структурно-функциональные свойства мужских генеративных органов у лиственницы сибирской и сосны обыкновенной в условиях современного климата Сибири.....</u>	86
<u>Губаев, А.В., Курбанов Э.А., Кранкина О.Н., Воробьев О.Н. Мониторинг и прогнозирование состояния лесных насаждений методами дистанционного зондирования.....</u>	92

<u>Лежнин С.А., Полевщикова Ю.А., Незамаев С.А. Оценка зарастания сельскохозяйственных земель Республики Марий Эл древесной растительностью с использованием мультитременных снимков Landsat.....</u>	99
<u>Лежнин С.А., Полевщикова Ю.А., Демишева. Е.Н. Оценка динамики растительного покрова и миграции населения в Марийском песчаном Заволжье по данным дистанционного зондирования.....</u>	103
<u>Алгаева А.А., Исламов С.Д., Глушкова, Е.В. Оценка растительного покрова земель запаса Медведевского района Республики Марий Эл по спутниковым снимкам.....</u>	108
<u>Незамаев С.А., Губаев А.В., Александрова Т.Л. Тематическое картирование лесных насаждений южной части Марийско-Вятского вала по спутниковым снимкам Landsat ETM+.....</u>	113
<u>Меньшиков С.А., Стародубцев П.О., Акбаров О.М., Алгаева А.А. Валидация растительного покрова земель запаса Оршанского района по спутниковым снимкам.....</u>	120
<u>Воробьев О.Н., Демишева Е.Н., Глушкова Е.В., С.Д. Исламов Мониторинг фрагментации растительного покрова Оршанского района Республики Марий Эл по спутниковым снимкам Landsat.....</u>	124
<u>Арефьев Д.Ю., Коморкин А.С., Загайнова Е.В., Курбанов А.Э. Обзор оценки динамики экологического состояния лесов дистанционным зондирование.....</u>	133
<u>Сетуридзе Д.Э., Аленникова Н.Г. Информационное обеспечение мониторинга сельскохозяйственных угодий.....</u>	136
<u>Касимов А.К., Соколов Р.А., Бердинских С.Ю. Лесные питомники Предуралья: проблемы выращивания посадочного материала хвойных пород.....</u>	139
<u>Tikina A.V., Kurbanov E.A. Extreme weather events and long-term forestry obligations: is reliance on forest certification possible?.....</u>	145
<u>Хлюстов В.К., Устинов М.М. Корректировка нормативов текущего прироста по запасу в условиях глобального изменения климата.....</u>	148
<u>Туктаров Б.И., Гафуров Р.Р., Туктаров Р.Б., Казакова Н.Б. Изменение эколого-мелиоративного состояния староорошаемых земель сухостепной зоны Саратовского Заволжья.....</u>	151
<u>Усольцев В.А. Парадоксы биосферных проблем.....</u>	156
<u>Ширинкин С.С., Харитонов О.В. Влияние аномальных погодных условий на радиальный прирост сосны и ели.....</u>	162

BURNED AREA MAPPING USING VERY HIGH RESOLUTION IKONOS IMAGERY AND SUPPORT VECTOR MACHINES

E. Dragozi, I. Z. Gitas, D.G. Stavrakoudis, J.B. Theocharis
Aristotle University of Thessaloniki

This study addresses the problem of accurate burned area mapping. The aim of this study was to investigate the potential of Support Vector Machines (SVM) and Very High Resolution (VHR) satellite imagery in the accurate and detailed mapping of a recently burned area. In this work a single post fire IKONOS imagery was classified into two classes, namely, 'burned' and 'unburned'. In order to differentiate the burned from the unburned areas, the SVM classifier was initially applied on the original four bands of the IKONOS image and afterwards on the IKONOS derived features that were selected as 'best separating features' after the implementation of the Fuzzy Complimentary Criterion (FuzCoC). The accuracies of the two classifications were assessed and explored for identifying whether the use of extra features improves the accuracy of classification. The application of SVM on the original IKONOS image dataset (SVM_{IKONOS})¹ resulted in an overall accuracy of 95.95% ($KIA=0.8943$) while the application of the SVM on the dataset derived from the implementation of FuzCoC (SVM_{FuzCoC})² resulted in an overall accuracy of 97.29% ($KIA=0.928$). The user's accuracy (UA) of the class of interest, burned areas was 93.24% in the case of SVM_{IKONOS} and 97.08% in the case of SVM_{FuzCoC} , revealing higher efficiency of the dataset that was created with the FuzCoC feature selection technique. However, both classifications contained heavy 'salt and pepper' noise. Concluding, aside from the classifier's high performance in both classifications, the noise effects had a significant impact on the classifications quality especially inside the 'burned' class.

Keywords: Burned area mapping, Support Vector Machines, Fuzzy complementary criterion (FuzCoC), Feature selection.

1. Introduction

The large amount of information available nowadays by the very high spatial resolution remotely sensed (VHR) multispectral imagery, motivates the development of new techniques for the classification of such image (Moustakidis et al. 2012). The new methods developed are combining the spatial and spectral information derived from the VHR satellite imagery in order to overcome the limitations and difficulties of the conventional classifications (Moustakidis et al. 2012). Improvement of classification accuracy can be achieved using several extra features (Dell'Acqua 2004) such as texture (Puissant et al. 2005), transformed images (Wu and Linders 2000), spatial indicators (Lu and Weng 2007) etc.

In the recent literature, many studies have addressed the development of novel techniques for the classification of VHR satellite images (Bruzzone and Carlin 2006). However, image classification still remains an open task (Mountrakis et al. 2011). There are two classification approaches, namely, pixel-based and object-based approach (Lu and Weng 2007). Pixel-based classification approaches are hitherto the most commonly used type of classification in remote sensing (Nussbaum and Menz 2008).

¹ The name SVM_{IKONOS} is referring to the classification map resulted after SVM's implementation on the original IKONOS four bands.

² The name SVM_{FuzCoC} is referring to the classification map resulted after SVM's implementation on the dataset derived after the FuzCoC feature selection.

Common pixel-based classification techniques used for VHR data include, Maximum Likelihood, Neural Networks (Foody and Arora 1996) and Decision Trees (Simard et al 2000). The aforementioned classification techniques have been used in several different remote sensing applications such as forest mapping (Simard et al 2000) etc. Another classifier which has been used in classifying VHR satellite imagery is the Support Vector Machines (SVMs) (Huang et al. 2009).

Support Vector Machines (SVMs) are learning systems which solve two-class classification problems. They are based on statistical learning theory and have attracted increasing attention because of their optimal applications in speaker verification and identification, face detection or text categorization among others (Castro et al. 2007). The last decades have been extensively used in many remote sensing applications. SVMs are particularly appealing in the remote sensing field due to their ability to generalize well even with limited training samples, a common limitation for remote sensing applications (Mountrakis et al. 2011). A detailed review of different SVM applications in remote sensing can be found in Mountrakis et al. (2011).

Another important issue which has been reported in many remote sensing applications and is closely related with SVM is the Hughes effect or phenomenon (Shahshahani and Landgrebe 1994) (Landgrebe 2003) (Lu et al 2007). The Hughes phenomenon is observed when for a fixed training set the addition of extra features reduces the classification accuracy (Hughes 1968). Initially, classification accuracy increases with the addition of new features. The rate of increase in accuracy, however, declines, and eventually, accuracy begins to decrease as more features are included (Pal and Foody 2010). Regarding SVM, there are claims that the classifier is not affected by this phenomenon. However, recent studies prove exactly the opposite conclusion (Pal and Foody 2010).

Consequently, to classify high dimensional data with SVM or other classifiers, it is recommended to apply a feature reduction procedure prior to the classification analysis step to minimize the Hughes phenomenon (Pal and Foody 2010). Two broad categories of feature-reduction techniques are commonly encountered in remote sensing: feature extraction and feature selection (Liu and Motoda 1998), (Mather 2004) (Pal and Foody 2010). In this paper the FuzCoC feature selection method (Moustakidis et al. 2012) was employed. These feature selection (FS) method assures that those features which are iteratively introduced, are providing the maximum additional contribution with regard to the information content given by the previously selected features (Moustakidis et al. 2012). Emergences of new classification and FS methods open new perspectives in many remote sensing applications, such as in burned area mapping.

This study addresses the problem of accurate burned area mapping, which is very important in the Mediterranean region since forest fires are considered as one of the major factors of degradation of the Mediterranean ecosystems (De Luís et al. 2001). After a disastrous event, accurate and detailed assessment of the damaged areas is required, in order to plan the appropriate restoration and rehabilitation measures (Gitas et al. 2004). The potential of remote sensing classification in burned area mapping has already been proved by several studies (Chuvieco et al. 2002). Up until now several classification schemes have been successfully employed in that field. Hence, the introduction and development of new classification algorithms such as SVM will probably open new perceptions in the field of accurate burned area mapping. Examples of successful implementations of SVM in burned area mapping can be found in Zammit et al. (2004 and 2006) and Cao et al. (2009).

The aim of this study was to investigate the potential of Support Vector Machines (SVM) and Very High Resolution (VHR) satellite imagery in the accurate and detailed mapping of a recently burned area.

The specific objectives were:

- to apply the SVM classifier on the original four bands of the IKONOS image;
- to apply the SVM classifier on IKONOS derived (eg.spectral and spatial features) features that were selected as ‘best separated features’ after the implementation of the Fuzzy Complimentary Criterion (FuzCoC);
- to assess the accuracy of the two classifications and identify whether the use of extra features improves the accuracy of classification.

2. Study Area and Dataset Description

The study area, Mount Parnitha , in Attica, is located in the central part of Greece (Figure 1). The area was affected by a large forest fire in the summer of 2007. Mount Parnitha is the highest (1.413 m) and most extended mountain of Attica, being a National Park since 1961. The study area belongs to the counties of Boeotia, West and East Attica. In this region Mediterranean-type climatic conditions with hot summers and mild winters, are characteristically prevailing.

In this study, a pan-sharpened IKONOS imagery (1m) captured on the 8th of July 2007, ten days after the fire event, was used for the analysis. The satellite image was acquired geometrically corrected.

In order to assist the validation procedure a reference map was created delineating the burned area on the Ikonos image. The remaining part of the image was labeled as ‘unburned’.

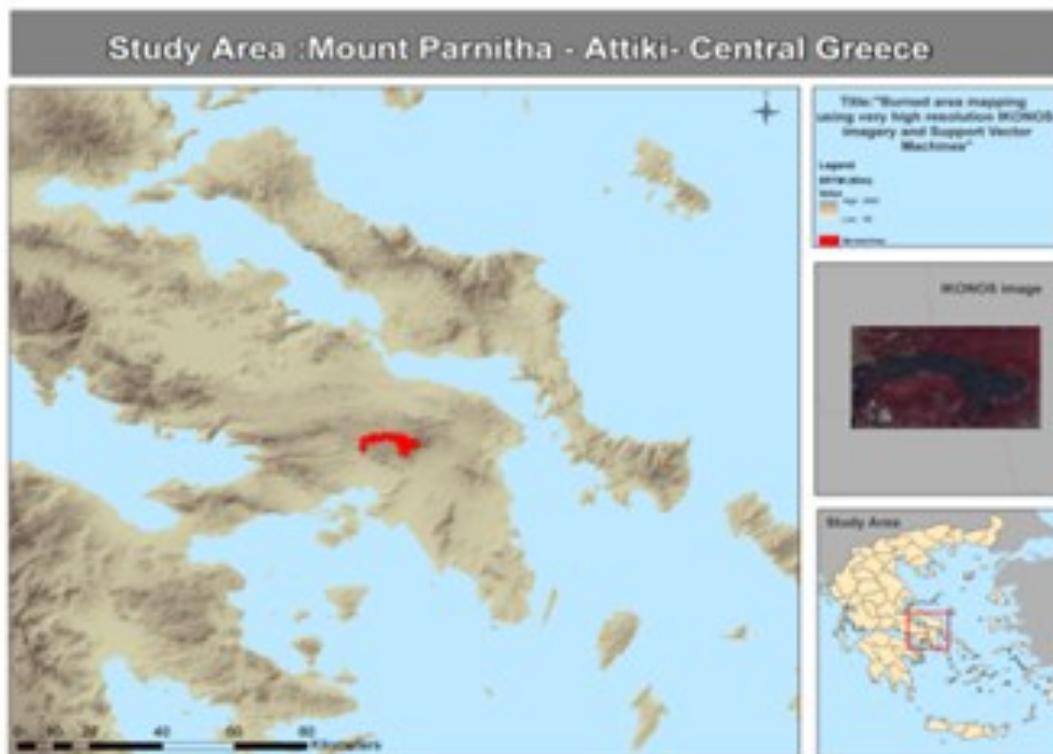


Fig. 1. Study area Mount Parnitha, Attiki, Greece

3. Data Pre-processing

The pre-processing procedure involved two steps. The first step was the extraction of several features from the original dataset (IKONOS_{4BAND}) of the IKONOS image. In the second step the best separated features were selected (IKONOS_{FEAT}) by using the FuzCoC Feature Selection (FS)

method. The IKONOS_{FEAT} dataset, derived from the FuzCoC method, was used along with the IKONOS_{4BAND} dataset during the analysis procedure.

3.1. Feature Extraction

It is well recognized that combining spectral and spatial information can improve land use classification with VHR imagery (Dell'Acqua, et.al 2004) (Xuang 2007). To this end, for the new dataset we considered several different feature sets; spectral features (Principal Component Analysis (PCA), Tasseled Cap and Intensity Hue Saturation (IHS)), first and second order texture measures (Occurrence measures and Gray-Level Co-occurrence Matrix (GLCM)), vegetation indices, ratios and spatial autocorrelation indices (Moran's I, Getis-Ord and Geary's C). The total number of extracted features was 172. The extraction of textural information was based on moving windows around pixels. In order to capture the varying heterogeneity of the landscape for each feature we considered three different window sizes; 11x11, 15x15 and 21x21.

3.2. FuzCoC Feature selection

An efficient filter FS method was applied in this study, driven by the so-called fuzzy complementary criterion (FuzCoC), for selecting informative and non-redundant features from the original dataset comprising 172 features.

The method relies on the notion of the fuzzy partition vector (FPV), which is a computationally simple local evaluation criterion with respect to patterns. Specifically, an FPV is calculated for each feature, by assigning to each pattern a fuzzy membership grade, denoting the ability of the specific feature to correctly classify the respective pattern, when considered independently from all other features. These membership grades are calculated via a computationally efficient relation, inspired by the class allocation scheme used in fuzzy c-means (FCM). Operating on an iterative filter mode, FuzCoC selects the next feature as the one providing the maximum additional contribution with regard to the information content given by the previously selected features. The whole process is terminated when no significant additional contribution can be achieved through the inclusion of new features. As a result, we obtain a small co-operative subset of discriminating (highly relevant) and non-redundant features (Moustakidis et al. 2012). The application of the algorithm in our problem resulted in selecting the four most important features out of the 172 features available features and specifically:

- the second PCA;
- the local indicator of spatial autocorrelation Moran I, calculated for the BLUE band;
- the texture feature skeweness (Occurrence measures) extracted by the NIR band using a moving window 11x11;
- the texture feature mean (GLCM) extracted by the NIR band using a moving window 15x15;

A detailed description and analysis of the employed FCM-FuzCoC FS algorithm can be found in Moustakidis et al. (2012).

4. Methods

In order to differentiate the burned from the unburned areas we applied the SVM classifier on two different datasets, namely, IKONOS_{4BAND} and IKONOS_{FEAT}. However, all efforts were directed to the main goal which was the accurately mapping of the burned areas. The derived classifications were assessed for their accuracy using the created reference map. A general methodology flowchart is presented in Figure 2.

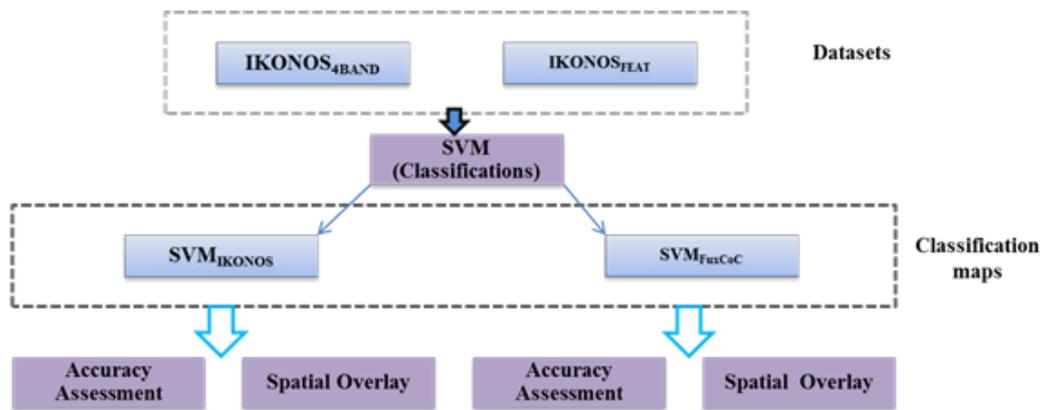


Fig. 2. Methodology Flowchart

4.1. SVM_{IKONOS} Classification

In this study it is proposed to use the SVM classifier for accurately mapping the burned areas in the IKONOS_{4BAND}. SVM is basically a binary classifier, which finds the maximal margin (hyperplane) between two classes (Vapnik 1995). The SVM classifier can solve effectively both linear and non-linear classification problems. Especially for the second case, SVM classifies non-linearly separable data sets by plotting the data into a high-dimensional feature space using kernels (Vapnik 1995). There are three commonly used kernels, namely the Radial basis function (RBF) kernels, the Sigmoid kernels, and the Polynomial kernels (Gunn 1998) (Chang and Lin 2011) (Karimi et.al 2006). RBF kernel is the one that is most widely used in remote sensing applications) (Melgani and Bruzzone 2004) (Waske and Benediktsson 2007) and was also used in this study.

The implementation of the classifier requires by the users, the adjustment of a few parameters. The two parameters that were needed to be tuned were, the constant C which is a penalty value for misclassification errors and the γ which is a parameter controlling the width of the Gaussian kernel (Vapnik 1995). For the selection of the optimum parameter values a cross validation procedure should be applied. The SVM optimization problem in our case was solved by using library LIBSVM (Chang and Lin 2011). In our experiment the optimal parameters C and γ were determined after a five-fold cross validation: $C=128$ and $\gamma=0.125$.

To solve the classification problems, using SVM, two main strategies exist; the ‘one-against-one’ (OAO) strategy and the ‘one-against-all’ (OAA) strategy (Melgani and Bruzzone 2004) (Moustakidis et.al 2008). To tackle the binary classification problem elaborated here, we followed the ‘one-against-one’ approach for training and classification.

The training set used for training SVM was comprised of 8.755 pixels.

The number of training pixels, for each class, was proportionate to the area, of the class. As far as sample size is concerned, it should be noted that although the selection of training set affects the classification accuracy; the selection of the ideal training set still remains an open issue (Foody and Mathur 2006). Additionally, it should be noted that the datasets were normalized before the classifier’s training, by using the linear scaling method.

4.2. SVM_{FuzCoC} Classification

The IKONOS_{FEAT} dataset, which was the result of the FuzCoC procedure, was classified into ‘burned’ and ‘unburned’ using SVM. The RBF kernel function was used, while the parameters values were derived with a new five-fold cross validation. The cross validation, gave the same optimum parameters as in the case of IKONOS_{4BAND} ($C=128$ and $\gamma=0.125$). The dataset was also normalized before SVM’s implementation.

4.3. Accuracy Assessment

The accuracy of classifications was measured using the overall accuracy. The significance of the accuracy differences was tested using the Kappa statistics according to Congalton (1991).

More specifically, the resulting maps were compared with a reference map featuring two classes, namely, ‘burned’ and ‘unburned’; same as the two classifications. Despite the fact that the Confusion Matrices and the measures of accuracy derived from the accuracy assessment procedure, gave a clear notion about the classifications quality, still there was need for more thorough examination of the results.

In order to assist the analysis of the results we overlaid the resulted maps on the reference map. The maps after the overlay procedures accommodated the examination of the errors inside the classes.

5. Results and Discussion

5.1. SVM_{IKONOS} Classification

The implementation of SVM on the IKONOS_{4BAND} demonstrated that the aforementioned classifier shows high discriminating ability in differentiating the ‘burned’ from the unburned areas. However, visual inspections of the derived map (Figure 3) showed that the classification contains heavy ‘salt and pepper’ noise. A closer examination of the classified areas revealed that the misclassified pixels were mainly found in shadowed areas (mainly tree shadows) (Figure 4 (a)). In VHR images such as IKONOS the shadow effects are more intense; consequently the quality of a pixel-based classification is usually severely affected. Furthermore, misclassification errors were obtained on, bare soil, roads (Figure 4 (b)), areas with surface fires, slightly burned vegetation, burned rocky areas and recently ploughed fields. Especially, in the case of the rocky sites inside the burned forested areas, the algorithm failed to correctly classify them as burned. This was not unexpected due to the high spectral similarity of those pixels (burned rocky areas) with other unburned pixels. The classifier correctly mapped rocks as unburned areas (since rock does not get burned), however in operational burned area mapping it would be mapped within the burned area perimeter. Errors were also observed on the borders of the two classes.

One important factor that possibly affected the classification quality was the choice of the training set. According to the literature (Markham and Townshed 1981) (Chuvienco and Huete 2010) it is very difficult to select training samples which can express all the spectral variability in a VHR image. To this end, the selection of the most representative and informative training set is a very laborious procedure. Similarly, in our case the selection and testing of several different training sets for finding the most informative one, was notably demanding in terms of time and computational cost and limited in terms of size by the requirements in computer memory.

Another important issue that should be considered regarding the classification quality is the fact that the IKONOS image was pan-sharpened. According to the literature (Tso and Mather 2009) (Colditz et al. 2006) the fusion processes which are usually applied for the production of the pan-sharpened images, affect significantly the accuracy of the derived classification products. The main reason for that is the spectral distortion which appears after the fusion process (Kalpoma and Kudoh, 2007). In that specific application the degree that the fusion process affected the classification accuracy was not investigated. It would be very interesting to implement the SVM classifier on a single post-fire VHR high resolution imagery, before and after the fusion technique, and assess their ability in mapping accurately the burned areas.

In order to overcome all the above limitations in mapping burned areas with VHR images, the SVM classifier could be applied in objects instead of pixels.

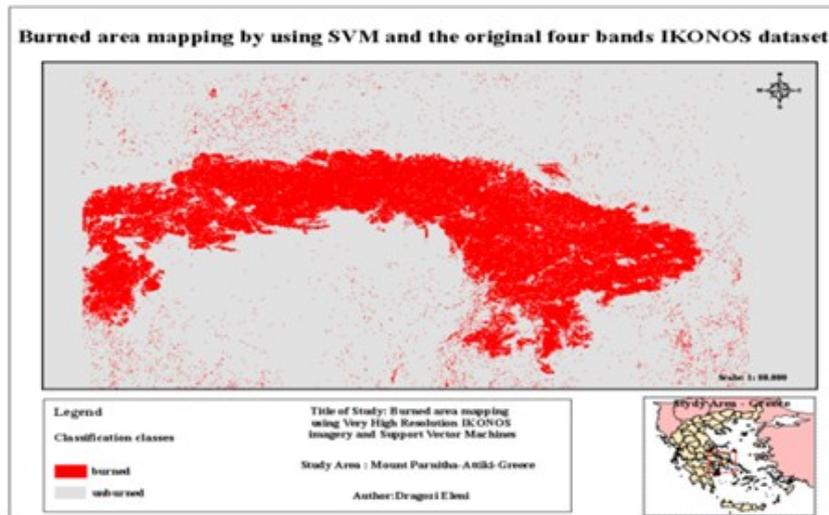


Fig. 3. The classification derived after the implementation of SVM on the IKONOS_{4BAND} dataset

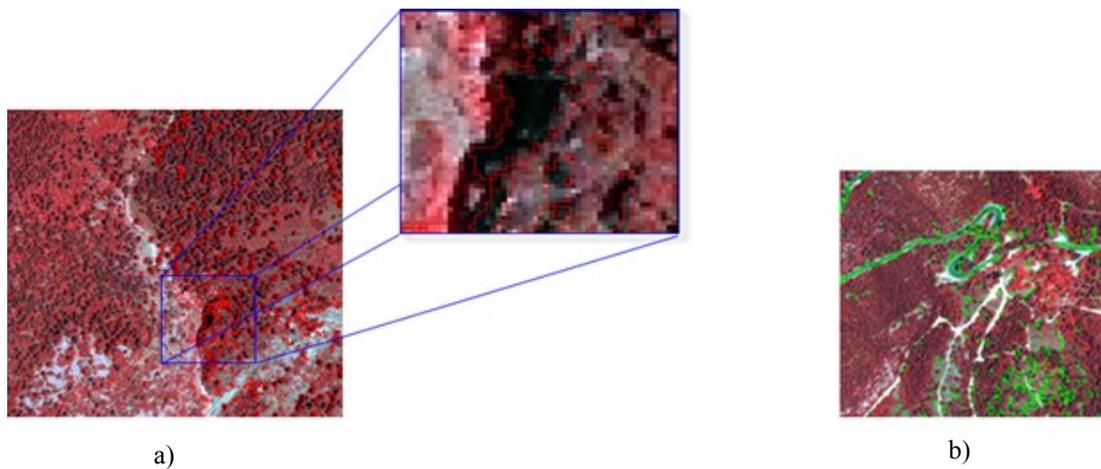


Fig. 4: a) On the left images the areas delineated with red lines are shadowed areas which were wrongly classified as burned; b) On the right the areas delineated with green are wrong classified areas such as roads and bare lands

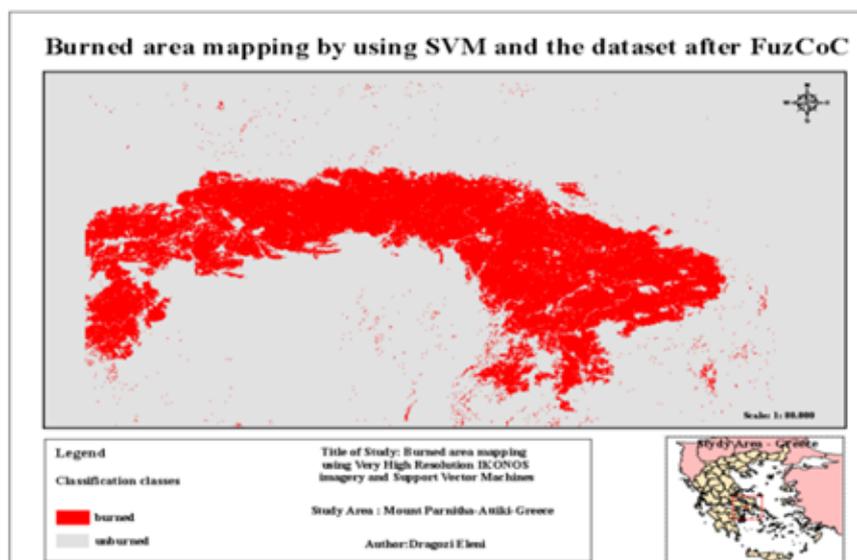


Fig. 5. The classification derived after the implementation of SVM on the IKONOS_{FEAT} dataset

5.3. Accuracy Assessment

The burned area resulted from visual interpretation was estimated to be 4990.1 ha (Table 1) while the area derived from the SVM_{IKONOS} and SVM_{FuzCoC} were 4876.24 ha and 4748.8 ha respectively.

The results from the validation of the two classifications (Table 2 and 3) showed an overall accuracy of 95.95% (KIA=0.8943) for the SVM_{IKONOS} and 97.29% (KIA=0.9285) for the SVM_{FuzCoC} classification. Additionally, in the first case (SVM_{IKONOS}) the accuracies per class revealed that SVM classified the ‘burned’ class with an accuracy of 93.24% (User’s Accuracy) (UA) and the ‘unburned’ class with an accuracy of 96.89% (UA). Similarly, in the second case (SVM_{FuzCoC}) the SVM classifier yielded accuracy of 97.08% (UA) inside the ‘burned class’ while in the ‘unburned class’ the achieved accuracy was 97.35% (UA). In general the results showed that the classifier was very robust in both cases.

A closer examination of the results revealed that SVM performed better in the dataset after the FuzCoC feature selection. Particularly, in the class ‘burned’ he exceeded in accuracy the previous classification by 4.04%.

Also it is important to mention that discrepancies between the reference map and the classification maps also arise because the manual delineation of the classes does not follow the edges of the pixels on the classes’ borders.

Although both classification models provided a very accurate identification of the burned areas, it is important to evaluate the two classification methods considering all the findings derived from the visual examination of the results besides the overall accuracy.

Table 1

This table presents the area covered by each class in the reference image

Class	Reference Image
Burned	4990.1 (ha)
Unburned	14164.45(ha)

Table 2

Accuracy measures for SVM_{IKONOS} Classification

Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Overall Accuracy	Kappa Coefficient
Burned	91.09	93.24	95.95%	0.8943
Unburned	97.67	96.89		

Table 3

Accuracy measures for SVM_{FuzCoC} Classification

Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Overall Accuracy	Kappa Coefficient
Burned	92.37	97.08	97.29%	0.9285
Unburned	99.02	97.35		

6. Conclusions

The general conclusion drawn from this study is that the implementation of the SVM classifier on VHR imagery results in the production of very accurate burned area maps.

The results from the SVM_{IKONOS} classification revealed that despite the high performance of the classifier in the entire image, the quality of the classification within the ‘burned area’ class was affected by the ‘salt and pepper’ effect and the very high spatial resolution of the image.

The results from the SVM_{FuzCoC} classification revealed that the SVM classifier yielded better overall and class-specific accuracy in comparison to SVM_{IKONOS}. The ‘salt and pepper’ effect was reduced and the class homogeneity of the ‘burned area’ class was significantly improved. As a result of the inclusion of additional features (bands) in the process the need for resources (hardware, storage space, processing time) was significantly increased.

In both cases the implementation of SVM on the VHR imagery was computational intensive and time consuming.

Based on the results of this work, it would be interesting to repeat the exercise in the future by employing Objected Based Image Analysis. Also, since a Pan-sharpened product was used in this work, it would be interesting to examine the effect of fusion on the quality of the classification products

References

1. Bruzzone L. and Carlin L. (2006). A multilevel context-based system for classification of very high spatial resolution images // *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on* 44(9). – 2006. – P. 2587-2600.
2. Cao X., Chen J., Matsushita B., Imura H., Wang L. An automatic method for burn scar mapping using support vector machines // *International Journal of Remote Sensing*, 2009. – №30: 3. – P. 577 -594
3. Chang C., Lin C. LIBSVM: a library for support vector machines // *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST)*, 2011. – №2(3). – P. 27.
4. Chuvieco E. and Huete A. *Fundamentals of satellite remote sensing* // Taylor & Francis, 2010.
5. Colditz R., Wehrmann T., Bachmann M. et al. Influence of image fusion approaches on classification accuracy: a case study // *International Journal of Remote Sensing* 27(15), 2006.– P. 3311 - 3335.
6. Congalton, R. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data // *Remote sensing of environment* 37(1). – 1991. – P. 35 - 46.
7. Dell'Acqua F., Gamba P., Ferrari A. et al. Exploiting spectral and spatial information in hyperspectral urban data with high resolution // *Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE* 1(4). – 2004. – P. 322 - 326.
8. Foody G. and Arora M. Incorporating mixed pixels in the training, allocation and testing stages of supervised classifications // *Pattern Recognition Letters* 17(13). –1996. – P. 1389 - 1398.
9. Foody G. and Mathur A. The use of small training sets containing mixed pixels for accurate hard image classification: Training on mixed spectral responses for classification by a SVM // *Remote Sensing of Environment* 103(2). – 2006. – P. 179 - 189.
10. Gitas I.Z., Mitri G.H., Ventura G. Object-based image classification for burned area mapping of Creus Cape, Spain, using NOAA-AVHRR imagery // *Remote Sensing of Environment*, 2004.
11. Gunn S. Support vector machines for classification and regression // *ISIS technical report* 14. – 1998.
12. Huang X., Zhang L. and Li P. An adaptive multiscale information fusion approach for feature extraction and classification of IKONOS multispectral imagery over urban areas // *Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE* 4 (4). – 2007. – P. 654 - 658.
13. Huang X., Zhang L. and Li P. Classification and extraction of spatial features in urban areas using high-resolution multispectral imagery // *Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE* 4(2). – 2007. – P. 260 - 264.
14. Huang X., Zhang L. and Wang L. Evaluation of morphological texture features for mangrove forest mapping and species discrimination using multispectral IKONOS imagery // *Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE* 6(3). – 2009. – P. 393 - 397.
15. Hughes G. On the mean accuracy of statistical pattern recognizers. *Information Theory // IEEE Transactions on* 14(1). – 1968. – P. 55 - 63.
16. Kalpoma K. and Kudoh J. Image fusion processing for IKONOS 1-m color imagery // *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on* 45(10). – 2007. – P. 3075 - 3086.
17. Landgrebe D. *Signal theory methods in multispectral remote sensing* // Wiley-Interscience, 2007. – Vol. 1.
18. Liu H. and Motoda H. Feature extraction, construction and selection: A data mining perspective // Springer, 1998.
19. Lu D. and Weng Q. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance // *International Journal of Remote Sensing* 28(5). – 2007. – P. 823 - 870.
20. Lu S., Oki K., Shimizu Y. and Omasa K. Comparison between several feature extraction/classification methods for mapping complicated agricultural land use patches using airborne hyperspectral data // *International Journal of Remote Sensing* 28(5). – 2007. – P. 963 - 984.
21. Markham B. and Townshend J. Land cover classification accuracy as a function of sensor spatial resolution // *XV International Symposium on Remote Sensing of Environment Ann Arbor*, 1981.
22. Mather P. *Computer processing of remotely-sensed images* // Wiley Online Library, 2004.
23. Melgani F. and Bruzzone L. Classification of hyperspectral remote sensing images with support vector ma-

chines // *Geoscience and Remote Sensing*, IEEE Transactions on 42(8). – 2004. – P. 1778 - 1790.

24. Mountrakis G., Im J. and Ogole C. Support vector machines in remote sensing: A review // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2010.

25. Moustakidis S., Mallinis G., Koutsias N. et al. SVM-Based Fuzzy Decision Trees for Classification of High Spatial Resolution Remote Sensing Images // *Geoscience and Remote Sensing*, IEEE Transactions on (99). – 2012. – P. 1 - 21.

26. Moustakidis S., Theocharis J. and Giakas G. Feature selection based on a fuzzy complementary criterion: application to gait recognition using ground reaction forces // Taylor and Francis, 2012.

27. Moustakidis S., Theocharis J. and Giakas G. A fuzzy decision tree-based SVM classifier for assessing osteoarthritis severity using ground reaction force measurements // *Medical engineering & physics* 32(10). – 2010. – P. 1145 - 1160.

28. Moustakidis S., Theocharis J. and Giakas G. Subject recognition based on ground reaction force measurements of gait signals. *Systems, Man, and Cybernetics. Part B: Cybernetics* // IEEE Transactions on 38(6). – 2008. – P. 1476 - 1485.

29. Nussbaum S. and Menz G. Object-based image analysis and treaty verification: new approaches in remote sensing-applied to nuclear facilities in Iran // Springer Verlag, 2008.

30. Pal M. and Foody G. Feature selection for classification of hyperspectral data by SVM. *Geoscience and Remote Sensing* // IEEE Transactions on 48(5). – 2010. – P. 2297 - 2307.

31. Puissant A., Hirsch J. and Weber C. The utility of texture analysis to improve per-pixel classification for high to very high spatial resolution imagery // *International Journal of Remote Sensing* 26(4). – 2005. – P. 733 - 745.

32. Shahshahani B. and Landgrebe D. The effect of unlabeled samples in reducing the small sample size problem and mitigating the Hughes phenomenon // *Geoscience and Remote Sensing*, IEEE Transactions on 32(5). – 1994. – P. 1087 - 1095.

33. Tso B. and Mather P. Classification methods for remotely sensed data // CRC, 2009.

34. Vapnik V. The nature of statistical learning theory // Springer Verlag, 1995.

35. Waske B. and Benediktsson J. Fusion of support vector machines for classification of multisensor data // *Geoscience and Remote Sensing*, IEEE Transactions on 45(12). – 2007. – P. 3858 - 3866.

36. Zammit O., Descombes X. and Zerubia J. Burnt area mapping using support vector machines // *Forest Ecology and Management*. – 2006. – Vol. 234(1 S 240),15.

37. Zammit O., Descombes X. and Zerubia J. Assessment of different classification algorithms for burnt land discrimination // *Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS*, IEEE International. – 2007. – P. 3000 - 3003.

ENERGY AND WATER EXCHANGE AND PRODUCTIVITY OF MAJOR ECOSYSTEMS IN CENTRAL SIBERIA (FROM EDDY-COVARIANCE MEASUREMENTS)

N.M. Tchebakova^{1,2}, E.A. Vaganov², S.V. Verkhovets², N.N. Vygodskaya³, A. Arneth⁴,
L. Beletti Marchesini^{5,6}, A.J. Dolman⁶ and E.-D. Schulze⁷

¹V.N. Sukachev Institute of Forest, Russia

²Siberian Federal University, Russia

³Jan Kochanowski University, Poland

⁴Lund University, Lund, Sweden

⁵University of Tuscia, Italy

⁶Vrije Universiteit Amsterdam, The Netherlands

⁷Max Planck Institute for Biogeochemistry, Germany

Introduction. Systematic long-term annual eddy covariance measurements and accompanying climatology in various ecosystems in Siberia became possible in the framework of the EuroSiberian Carbon Flux (1998-2000) and TCOS-Siberia (2000-2002) projects initiated by the Max-Planck Institute of biogeochemistry, Jena, Germany and headed by profs. E.-D. Schulze, M. Heimann, E.A. Vaganov, R. Valentini, and N.N. Vygodskaya. The first results were published by Schulze *et al.* (1999). In this paper, energy, water and CO₂ fluxes and balances in various ecosystems (a pine forest, a Sphagnum bog, a true steppe in central Siberia, along Yenisei River, and a tussock tundra in East Siberia) were analyzed from eddy covariance measurements collected during both projects.

Methods. Eddy covariance towers were installed in four ecosystems typical of Siberia: 1. a middle taiga fire successional pine forest (60° 44'N, 89° 09'E); 2. a Sphagnum bog (60° 44'N, 89° 09' E); 3. a true 4-grass steppe (54° 44'N, 90°E); and 4. a tussock tundra (68° 37'N, 161° 21' E). For comparison, data of Karelin and Zamolodchikov (2008) for typical tundra in the Taimyr Peninsula were used. The sensors were installed at a height 4-5 m higher than the underlying surface: at 27 m in the pine forest, at 5 m in the Sphagnum bog, at 4.5 m in the true steppe and the tussock tundra. Data for all meteorological and CO₂ parameters were registered every 10 sec and averaged for 30 min. The fluxes were calculated as covariances of 30-min. high-frequency time series of vertical wind velocity with air temperature, H₂O, or CO₂ atmospheric concentrations. Hourly values of each parameter were elaborated using criteria the eddy covariance method (Baldocchi et al. 1988; Foken and Wichura, 1995). Data were rejected due to instrument malfunctioning or calibrating; data quality was checked using a stationary test; nighttime data were rejected under suppressed turbulent transport to characterize which criteria of friction velocity u^* were used. Threshold values for u^* were found as follows: 3.3 m s⁻¹ in the forest, 0.055 m s⁻¹ in the bog, 0.06 m s⁻¹ in the steppe and 0.1 m s⁻¹ in the tundra. To calculate cumulative seasonal and annual flux totals, gaps of missing data were filled using empirical regressions between photosynthetically active radiation (PAR) and net radiation; latent and sensible heat and net radiation; CO₂-flux and PAR during daytime and temperature of the air during nighttime. Cumulative CO₂ were also corrected for canopy heat storage. Data quality was checked for energy balance closure. Energy disbalance is common in eddy covariance studies and varies from a few percent to 30-40%. In our study energy balance disclosure varied between 10-30%.

Results and Discussion

Energy and water balance. Components of the energy balance are shown in Table 1 and the Bowen ratio is shown in Figure 1. Radiation balance and air temperature were higher above the forest due to the albedo difference between them. The average daily Bowen ratio above the bog was always below 1.0, and was 0.5 on average (Table 1, Fig. 1). The transparent pine forest with its large gaps in forest cover consumed more energy for sensible heat and less energy for evaporation compared to other ecosystems, thus resulting in a much higher Bowen ratio. In early spring, before photosynthesis commenced, the monthly Bowen ratio was 2-3 on average and could reach 8-10 in some hot days. In a neighboring dark coniferous spruce-fir forest and a mixed forest in moister habitats on the Yeniseisky Range, β varied around 1.0 and was <1.0 in a birch forest (Roser et al., 2002). In open larch forests in central Yakutia, the Bowen ratio varied between 10-20 in early spring before leaves came out and developed; then quickly dropped down to 1.0 in June and July (Ohta, 2010). Pavlov (1984) also found in a larch forest in central Yakutia that the Bowen ratio exceeded 1.0 in spring (May) and then stayed below 1.0 for the rest of summer. Wilson and Baldocchi (2000) noted that in evergreen conifer forests, the Bowen ratio steadily decreased in the seasonal course with sensible heat fluxes exceeding latent heat fluxes ($\beta > 1$) from spring to the midsummer and then stayed around 1.0 or lower till fall. In comparison, in deciduous broadleaf and conifer (*Larch spp.*) forests and meadows, latent heat two to three fold exceeded sensible heat once photosynthetic activity started and remained high until the leaves fell.

Table 1

Summary of seasonal (May-September) energy and water balance in major Siberian ecosystems

Geography, an ecosystem type	Energy balance components, MJ m ⁻²				Water balance components, mm		
	Net radiation	Sensible heat	Latent heat	Bowen ratio	Rain	Evapo- ration	Soil water & Run-off
<i>Central Siberia:</i>							
Pine forest	1415	615	465	1.4	235	186	+47
Sphagnum bog	1330	210	680	0.5	235	235	0
True Steppe	1480	410	710	0.8	295	295	0
<i>East Siberia*</i>							
Tussock tundra	625	170	210	0.6	50	100	-50

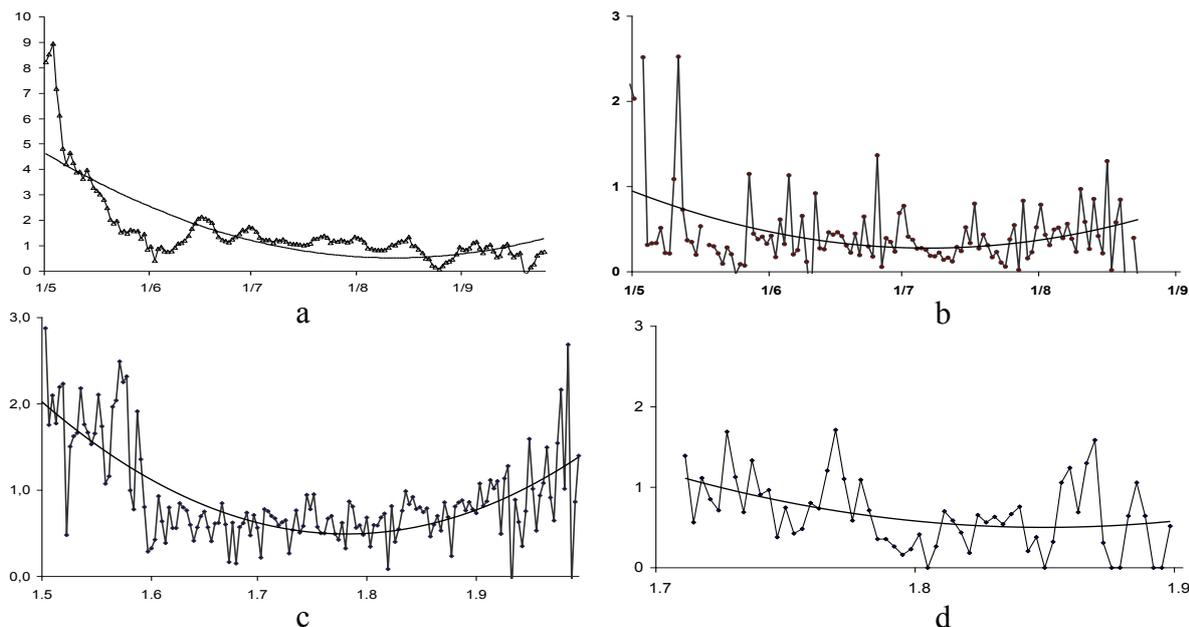


Fig. 1. The seasonal course of Bowen ratio in major ecosystems in central Siberia: a pine forest (a), a bog (b), a steppe (c), a tundra (d)

In the tussock tundra with unlimited water for evaporation, the monthly Bowen ratio was less than 1.0 (Corradi et al., 2002). Karelin and Zamolodchikov (2008) found β , greater than 1.0, to be characteristic of typical Siberian and Far East tundras in moderately moist climates. They also concluded that β remained greater than 1.0 on average across circumcrynogenic landscapes.

The seasonal water balance of these four ecosystems was evaluated as the difference between rain and evaporation (Table 1). The latent heat above the bog, the energy consumed for evaporation, always exceeded the sensible heat because evaporation was not limited by the water and evaporated water was equal to precipitation during 1998-2000 (Kurbatova, et al., 2002). In the pine forest, the seasonal water balance overall was positive although it could be negative in some summer months (Tchebakova et al., 2002). In the larch permafrost forest, seasonal water balance was slightly negative, about the null. However, the annual water balance was positive due to water (snow) in October-April and very low evaporation (Ohta, 2010). In true steppe, the water balance was negative in spring because evaporation of water accumulated during the winter exceeded April precipitation. In tundra, the water balance was significantly negative during July-September. Evaporation was more than doubled rainfall because water available for evaporation was not limited by rain and came in addition from thawing permafrost and flooding in the Kolyma flood-plain (Corradi et al., 2005).

CO₂-exchange and productivity. CO₂ fluxes in the pine forest, the Sphagnum bog, the true steppe and the tussock tundra, the seasonal and annual net ecosystem exchange (NEE), productivity and possible feedbacks of the CO₂ exchange to the atmosphere in a changing climate were evaluated. Maximal fluxes of CO₂ of 10-12 μmol m⁻² s⁻¹ were usually found in the afternoon and in midsummer with the maximum Bowen ratios (β) in the forest and steppe where β>1 and 6-8 μmol m⁻² s⁻¹ in the bog and tundra with the less intensive energy exchange above water surfaces β<1 (Table 2).

In mid-summer, daily NEE increases after sunrise, changes its sign from the positive to negative at 6 a.m., and reaches its maximum around noon, and then decreases and changes its sign from negative to positive about 9 p.m. During the growing season, the NEE reaches its maximum in the mid-summer: 2.5-3.5 gC m⁻²day⁻¹ in the pine forest, about 1.5-2 gC m⁻²day⁻¹ in the Sphagnum bog, 2.5-3.5 gC m⁻²day⁻¹ in the true steppe and 1-2.5 gC m⁻²day⁻¹. In the annual course, tundra started working as a carbon sink beginning in June, the forest and the bog from late May or early June, and the steppe from the end of April. Again, in the fall, these ecosystems started working as a source: tundra from the beginning of September, the pine forest and the bog from the beginning of October, steppe from the end of October.

Table 2 and Figure 2 summarize the main components of the carbon balance of our four ecosystems. In the continental climate of Siberia, all four ecosystems studied were a carbon sink of a different strength: from -38 and 52 gC m⁻² yr⁻¹ in tundra and the bog to -115 и -156 gC m⁻² yr⁻¹ in the steppe and forest respectively. Southern tundras in Taimyr were a slight sink of -10 gC m⁻² yr⁻¹. Gross productivity of the steppe 480 gC m⁻² yr⁻¹ and forest 530 gC m⁻² yr⁻¹ ecosystems was 2-2.5-fold higher than that of the bog and tundra 200-220 gC m⁻² yr⁻¹.

Table 2

Carbon exchange in major Siberian ecosystems

Carbon balance components	Forest	Bog	Steppe	Tundra
Max. CO ₂ -flux, μmol m ⁻² s ⁻¹ , July	10	6	12	8
Net ecosystem exchange of CO ₂ , gC m ⁻² yr ⁻¹	-156	-52/29 (200 days)	-115	-38 -10 ^x
Ecosystem respiration, gC m ⁻² yr ⁻¹	372	170 (200 days)	364	-187 ^x
Ecosystem assimilation, gC m ⁻² yr ⁻¹	-534	-222 (200 days)	-479	-197 ^x

^x Karelin, Zamolodchikov (2008)

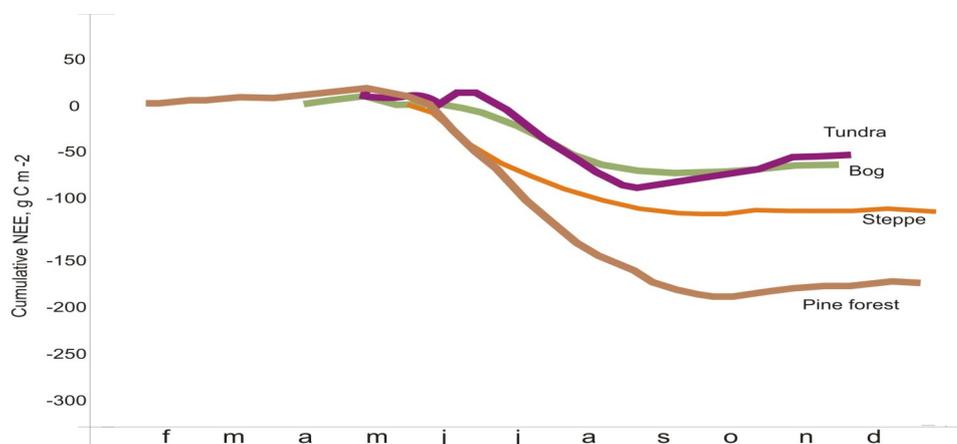


Fig. 2. Mean annual net carbon uptake for a pine forest, bog, and steppe ecosystems along the Yenisei meridian and an eastern Siberian tundra (modified from Dolman *et al.* (2012))

As the climate warms and gets dryer in the future, given ecosystems may turn from a sink to a significant source. Zamolodchikov (2003) pointed to the temperature 14°C as a limit above which photosynthesis in tundra is inhibited and respiration simultaneously increases, together promoting additional carbon emissions into the atmosphere enhancing climate warming. In a warmed and dried climate, carbon emission from bogs increases: as carbon dioxide from drying bogs (Morishita et al., 2003) or as methane from watered bogs (Kirpotin et al., 2005). Since the global warming potential of methane is 20 times stronger than that of carbon dioxide, catastrophic emissions of methane from frozen bogs may be triggered by permafrost thawing (Lawrence, Slater, 2005).

C. Corradi et al. (2005) found that the annual NEE in a tussock tundra in East Siberia is a sink of -38 gC m^{-2} which is comparable to the NEE of a hummock tundra in Alaska -47 gC m^{-2} . Karelin, Zamolodchikov (2008) measured NEE in typical tundras in Russia from -11 to 10 gC m^{-2} . In a southern tundra in Taimyr they modeled the annual NEP to be -10 gC m^{-2} , the total respiration to be 187 gC m^{-2} , resulting in GEP of -197 gC m^{-2} . Southern tundras have greater NEE, and Arctic tundra have lesser NEE. C. Corradi et al. (2005) also showed that the tussock tundra with the annual NEE of -38 gC m^{-2} lost 25% of GEP by methane emission. If to take into account the greenhouse gas warming potential of methane, the tussock tundra was a C-source at least $200 \text{ gC}_{\text{equivalent}} \text{ m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$.

In the pine forest, NEE increases in the course of the growing season. The carbon uptake in the 1999 growing season that was two weeks longer than the 1998-2000 average was about 20% greater than C-uptake in other years. Thus, a longer growing season in a warming climate may first increase the forest production in Siberia. However, because climate is predicted to be not only warmer but also drier, the forests would die out due to lack of water. Thus, due to the decomposition of dead wood (Knoll et al., 2002) and the higher potential for large fires in a warmed climate, the forest would become a carbon source for many years.

Boreal bog ecosystems are usually a carbon sink of $30-100 \text{ gC m}^{-2}$ during the growing season or year (Arneth et al. 2002; Corradi et al., 2005) and a GPP of some 200 gC m^{-2} for the growing season (Table 2). However, during dry summers, the upper bog may turn from a carbon sink into a carbon source of 50 gC m^{-2} (Arneth et al., 2002) suggesting that some bogs may dry out in a warming climate and become a significant carbon source in the atmosphere. Comparing different studies, Corradi et al. (2005) expect though that global warming would increase the CO₂-C sink in wetlands and tundras.

Subboreal true steppes work as at a “stationary” regime (Titlianova, Tisarzhova, 1991) when microbes consume NPP during several years depending on weather conditions. The true steppe produces as much GPP as the pine forest; GEP of both the steppe and pine forest is 2-2.5 times larger than that of the bog and the tussock tundra (Table 2). However, in an “unstationary” regime, e.g. after fire, steppe ecosystems become a significant carbon sink of $130 \text{ gC m}^{-2} \text{ season}^{-1}$ (Belelli Marchesini et al., 2007). Thus, along with increased carbon emissions due to increased fire events and area burned in a warming climate, carbon uptake by plants also increases, smoothing the negative effects of large fires.

In Siberia, the climate at the end of the twenty-first century is predicted from GCMs to be much warmer and dryer in terms of the ratio between heat and water available for evaporation. Even if the predicted precipitation increase of 10-20% occurs in Siberia (IPCC, 2007), this increase would not be large enough to balance temperature increase and would actually cause a greater potential evaporation so that the energy balance would be partitioned in favor of sensible flux rather

than latent flux resulting in an increasing Bowen ratio. To survive unfavorable conditions, plants would have to close stomata. If these conditions would last for long (years), first, plant production would drop like it happened in Europe in 2003 (Ciais et al., 2005) or Alaska (Beck et al., 2011), then plants of a certain vegetation type would not survive and be replaced by a more drought resistant vegetation type as projected from large-scale vegetation models (Cramer et al., 2001; Tchebakova et al., 2009).

References

1. Arneth A., Kurbatova J.A., Kolle O. et al. Comparative ecosystem-atmosphere exchange of energy and mass in a European Russian and a central Siberian bog. II. Interseasonal and interannual variability of CO₂ fluxes // *Tellus*. 2002. – 54B.5. – P. 514-530.
2. Baldocchi D.D., Hicks B.B., Meyers T.P. Measuring biosphere-atmosphere exchanges of biologically related gases with micrometeorological methods // *Ecology*, 1988. – 69. – P. 1331-1340.
3. Belelli Marchesini L., Papale D., Reichstein M., et al. Carbon balance assessment of a natural steppe of southern Siberia by multiple constraint approach // *Biogeosciences*, 2007. – 4: – P. 581-595.
4. Ciais P.; Reichstein M, Viovy N, et al. Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003 // *Nature*, 2005. – V.437, 7058. – P. 529-533.
5. Corradi C., Kolle O., Walter K. et al. Carbon dioxide and methane exchange of a north-east Siberian tussock tundra // *Global Change Biology*, 2005. – 11. – P. 1910-1925.
6. Cramer W., Bondeau A., Woodward F.I. et al. Global Response of Terrestrial Ecosystem Structure and Function to CO₂ and Climate Change: Results from Six DGVMs // *Global Change Biol*, 2001. – 4. – P. 357-373.
7. Dolman A. J., A. Shvidenko, D. Schepaschenko et al. An estimate of the terrestrial carbon budget of Russia using inventory based, eddy covariance and inversion methods // *Biogeosciences*, 2012. – 9. – P. 6579–6626.
8. Foken Th., Wichura B. Tools for quality assessment of surface-based flux measurements // *Agricultural and Forest Meteorology*, 1995. – 78. – P. 83-105.
9. Karelin D.V., Zamolodchikov D.G. Carbon exchange in cryogenic ecosystems. – M.: Nauka, 2008. – 343 p. (in Russian).
10. Knoll A., Kolle O., Minaeva T.Y. et al. Carbon exchange of a Russian boreal forest after disturbance by wind throw // *Global Change Biology*, 2002. – №8. – P. 231-246.
11. Kurbatova J., Arneth A., Vygodskaya N.N. et al. Comparative ecosystem-atmosphere exchange of energy and mass in a European Russian and a central Siberian bog I. Interseasonal and interannual variability of energy and latent heat fluxes during the snow free period // *Tellus* 54B, 2002. – 5. – P.497-514.
12. Ohta T. Hydrological aspects in a Siberian larch forest // *Permafrost Ecosystems: Siberian Larch Forests* / A. Osawa et al. (Eds). – 2010. – P. 245-269.
13. Pavlov A.V. Energy exchange in the landscape sphere of the Earth // Novosibirsk: Nauka, 2002. – 256 p. (in Russian).
14. Roser C., Montagnani L., E.-D. Schulze et al. Net CO₂ exchange rates in three different successional stages of “dark taiga” of central Siberia // *Tellus* 54B, 2002. – 5. – P. 642-654.
15. Schulze E.-D., Lloyd J., Kelliher F.M. et al. Productivity of forests in the Eurosiberian boreal region and their potential to act as a carbon sink – a synthesis // *Global Change Biology*, 1999. – 5. – P. 703-722.
16. Tchebakova N.M., Parfenova E.I. and Soja A.J. Effects of climate, permafrost and fire on vegetation change in Siberia in a changing climate // *Environmental Research Letters*, 2009. – 4: doi:10.1088/1748-9326/4/4/045013
17. Tchebakova N.M., Kolle O., Zolotukhina D. et al. Inter-annual and seasonal variations of energy and water vapour fluxes above a *Pinus sylvestris* forest in the Siberian middle taiga // *Tellus B* 54, 2002. – 5. – P. 537-551.
18. Wilson K.B., Baldocchi D.D. Seasonal and interannual variability of energy fluxes over a broadleaved temperate deciduous forest in North America // *Agricultural and Forest Meteorology*, 2000. – 100. – P. 1-18.

AN AGROCLIMATIC POTENTIAL IN SOUTH-CENTRAL SIBERIA IN A CHANGING CLIMATE DURING THE XXI CENTURY

N.M. Tchebakova¹, E.I. Parfenova¹, G.I. Lysanova² and A.J. Soja³

¹V.N. Sukachev Institute of Forest, Russia

² Institute of Geography, Russia

³ National Institute of Aerospace (NIA), USA

Introduction. In Siberia, forests were modeled to shift northwards in a GCM-predicted warmer climate of the XXI century (Tchebakova et al., 2009). At the expense of forests, up to 50% of Siberia was predicted to be covered by forest-steppe and steppe that could be potentially suitable for agriculture if the soils were suitable. Hypothesizing that agriculture in traditionally cold Siberia may benefit from warming, especially in the south, our goals were to evaluate ongoing climate change trends for half a century 1960-2010 and to predict an agricultural potential (crop distributions and yields) in the pre-2010 climate from historic data and in the end of the century from Hadley 2080 climate change scenarios in south-central Siberia: southern Krasnoyarsky Kray and Khakassia (within 51-55°N) and Tyva (south of 51° N).

Methods. Data from 21 weather stations located in forest-steppe, steppe, and dry steppe in three southern vegetation zones (forest-steppe, steppe, and dry steppe) were used to evaluate climate change trends for 1960-2010 (Reference books on climate, 1967-1971; Monthly reference books on climate, 1960-2010) and some maps (Shortsky 1977; Two climate change scenarios, the HadCM3 A2 and B1, of the Hadley Centre in the UK, were used to derive climate change departures for 2080 relative to the basic 1960-1990 period (IPCC, 2007). These two scenarios, A2 and B1, represent, correspondingly, the highest and the lowest temperature increase by the end of the 21st century.

We developed regression agroclimatic models that predict the yields of annual traditional crops from two summer climatic indices: growing degree-days, GDD, base 5°C, and an annual moisture index, AMI, (a ratio between $GDD_{>5}$ and annual precipitation) characterizing correspondingly warmth and moisture requirements for plant growth and development. The ranges of traditional Siberian crops and new crops that may be introduced were limited only by temperature (Sinitsyna et al, 1973; Gumeniuk et al, 2009) assuming sufficient moisture or irrigation over agricultural lands (forest-steppe, steppe, and dry steppe zones). Crop data were collected for 1966-2009 from 30 administrative regions located in given vegetation zones (Reference books on statistical data, 1966-2009; Shortsky 1977; Lebedev and Populiakh, 2005) in south-central Siberia.

Our crop yield and distribution models were applied to climatic indices at 1960-1990 and 2080 climates (using climate change scenarios) to predict the agroclimatic potential by the end of the century in central Siberia. Climatically potential crops were corrected by soil potential with sufficiently developed and fertile soils in southern taiga, subtaiga, forest-steppe and steppe zones (Lysanova 2001). So, the current northern border of the southern taiga limited the climatic potential for agriculture.

Results. Regional climate-change studies in central Siberia showed that climate has been changing for the last half-century (Tchebakova *et al.*, 2011). In south-central Siberia, January and July temperature and annual moisture index (AMI) trends for 1961-2010 showed that north of 51° N, in Khakassia and Krasnoyarsk kray, January temperatures increased 1-2°C and July temperatures increased 0.7-1.5°C over the last 50 years. In Tyva, south of 51° N, both January and July temperature increases were two times greater, 2-4°C and 1.4-3.2°C, respectively (Fig. 1). Significance of summer and winter temperatures and AMI trends was $p < 0.05-0.1$ and greater at least at 50% stations except January temperature trends north of 51° N which were less significant.

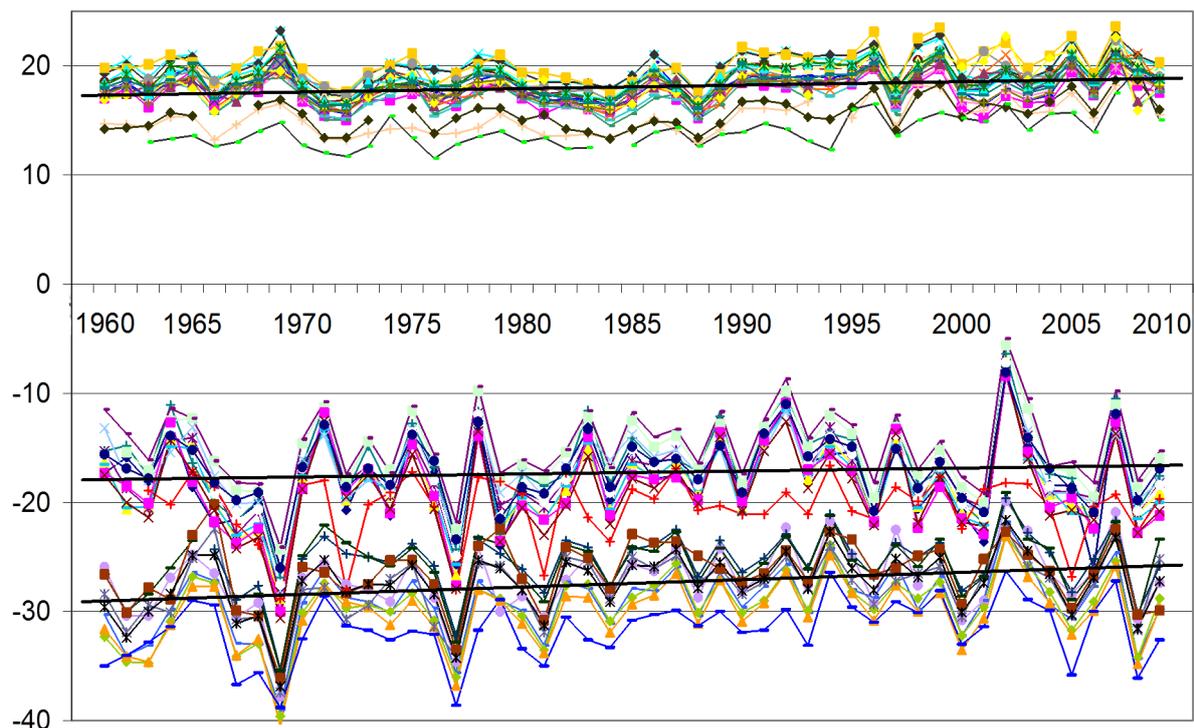


Fig. 1 . Temperature trends of July (upper) in the south of Krasnoyarsky Kray and Khakassia (51-55°N) and Tyva (south of 51°N), and trends of January in the south of Krasnoyarsky Kray and Khakassia (middle) and Tyva (lower)

Our predicitions demonstrated that the climatic range of traditional crops could be greatly expanded, up to the Arctic circle, by the end of the century but agriculture introduction to the north would be limited by the soil suitability. Traditional crops (grain, potato, maize for silage) could be gradually shifted within suitable soils as far as 500 km northwards (about 50-70 km per decade) and new crops could be introduced in the far south depending on the winter severity and length, growing season length and irrigation conditions in the drier 2080 climate (Fig. 2).

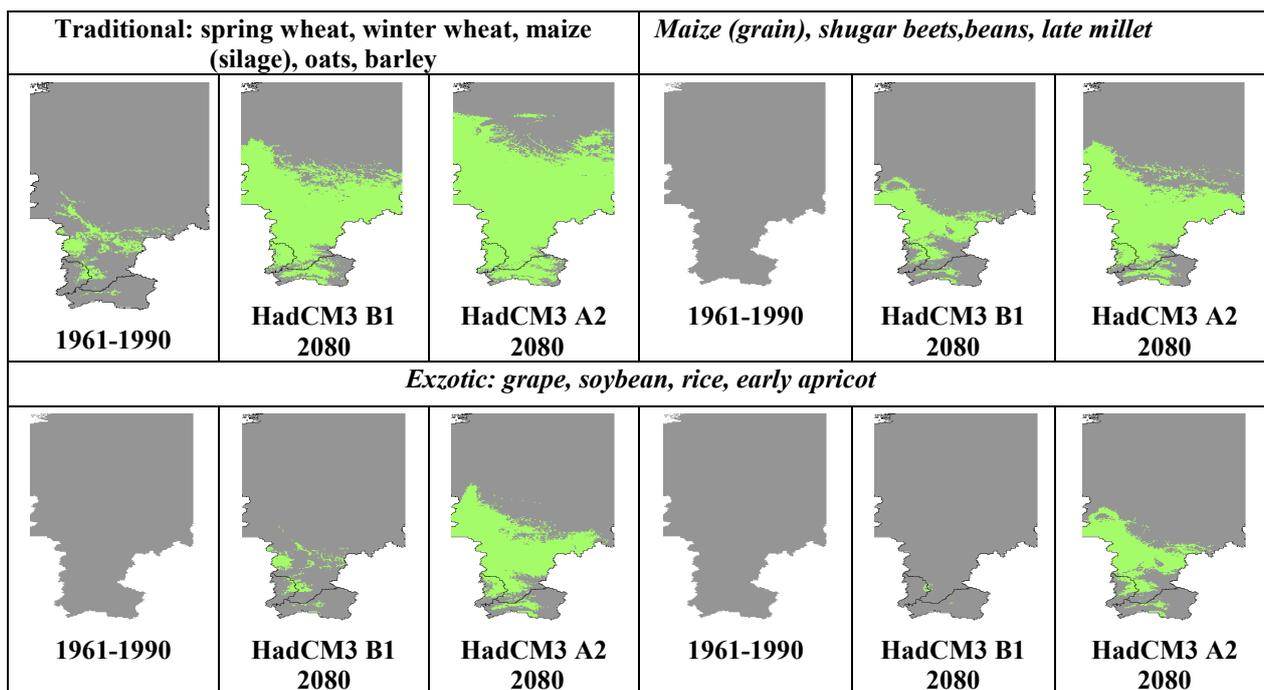


Fig. 2. Potential climatic ranges (green) of traditional (regular) and new crop (italic) species in central Siberia in the baseline and HadCM3 B1 and A2 2080 climates. Grey is beyond the crop range

Grain crop trends for the last 45 years showed that with contemporary warming, crop production increased by about 5-7 centners ha⁻¹ under sufficient moisture regimes in forest-steppe ecosystems and reduced by 8-10 centner ha⁻¹ as the climate became dryer in steppe regions (Fig. 3).

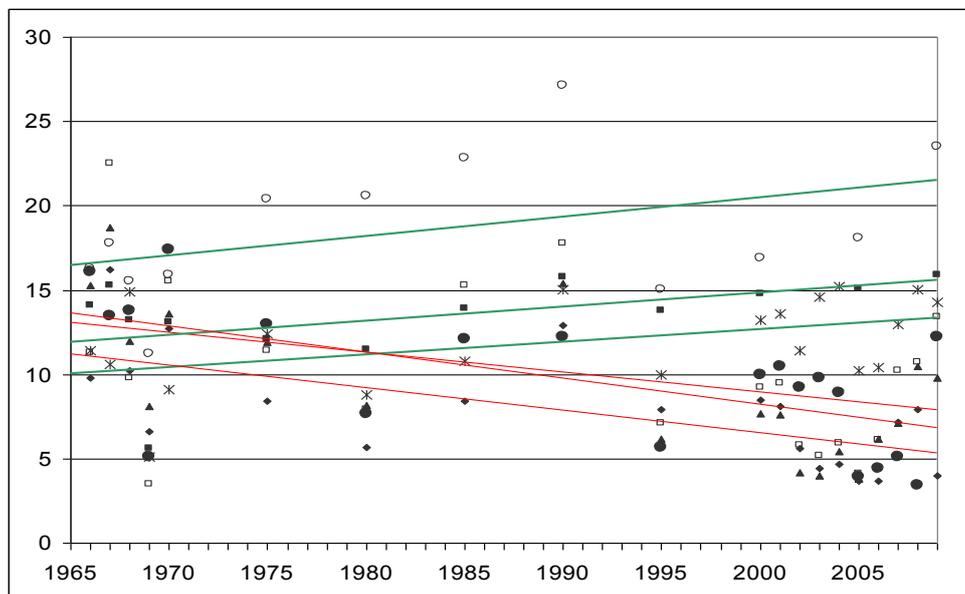


Fig. 3. Trends of grain crops, centner ha⁻¹, for 1966-2009 in the forest-steppe zone (green) and steppe zone (red) (Tchebakova *et al.*, 2011). Trends are significant at $p < 0.04-0.10$ in forest-steppe regions and are significant at $p < 0.001-0.005$ in steppe regions

Statistical crop yield models. Crop yields were strongly related to warmth and water supplies with determination coefficients of 0.43-0.68. These results show that our models were statistically reliable and were applicable for future climates with GDD range up to 2200°C and an AMI up to 6.0, which was 30% greater than the current Siberian ag-climatic range (Tchebakova *et al.*, 2011). The models coupled with the future B1 and A2 2080 climates showed that grain crop production may increase from 20 to 35 centner ha⁻¹; forage silage crop production may increase from 300 to 600 centner ha⁻¹; potato crop production may increase from 100 to 200 centner ha⁻¹ by 2080; and berry crop production may increase from 10 to 60 centner ha⁻¹. Sirotenko *et al.* (2007) calculated an increase in grain as much as 5 centner ha⁻¹ for the last 30 years, which is comparable to our estimate of a 15 centner ha⁻¹ increase for 1990-2080. Newspapers reported that since 1997, 20-40 centner ha⁻¹ of grain crops have been collected, e.g. from 2007-2011, most farming regions in Krasnoyarsk Krai harvested 50-60 centner ha⁻¹, particularly in the moist western regions (see www.topnews24.ru/news/44566/; www.redom.ru/news/16979/).

Two traditional crops (spring wheat and maize for silage) were used as case studies (Fig. 4). Potential optimal climatic conditions characteristic of the high crop yields have been found over large areas in the southern taiga at about 60°N and in smaller areas in the south-east corner of the Minusinsk basin. Steppe and forest-steppe regions of the Minusinsk basin are in a warm and moist climate on fertile soils, located in the foothills of the Sayan mountains, known as a famous granary in central Siberia. The southern taiga regions have promising climatic potential for cultivation in a warmer future, although currently cultivated lands taken from the forest that are limited for regular farming.

Discussion. World concerns about food security are growing as the result of observed and projected climate change impacts on agriculture. The scientific community agrees that climate change consequences differ for agriculture depending on geography; northern countries (Russia, northern

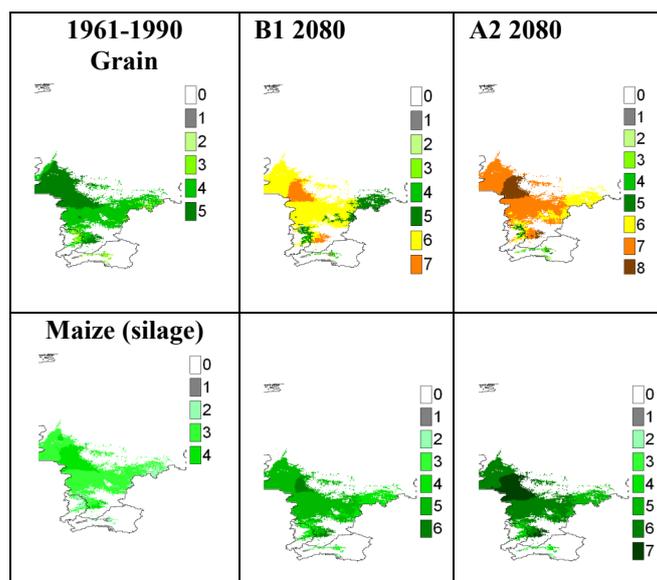


Fig.4. Crop yields (center ha⁻¹) for grain and maize silage for historical and future periods (climate change scenarios of the Hadley Center) over study area:

Grain: 0. beyond the area of suitable soils; 1. <5; 2. 5-10; 3. 10-15; 4. 15-20; 5. 20-25; 6. 25-30; 7. 30-35; 8. > 35;

Silage: 0. beyond the area of suitable soils; 1. <100; 2. 100-200; 3. 200-300; 4. 300-400; 5. 400-500; 6. 500-600; 7. > 600

China), may benefit from global warming (Israel, Sirotenko, 2003; Tao *et al.*, 2011), and in the absence of adaptation measures, southern countries and continents (Africa, Australia) may find their food security at risk (Mueller *et al.*, Steffen *et l.*, 2011). In European Russia, Sirotenko *et al.* (2007) found that climate-based ag-production increased 30% from 1980-1999 compared to the average 20-year production yields in the middle of the 20th century. Climate change over the last three decades, 1975-2005, favored agriculture in 70% of Russia's federal subjects (administrative units) producing 85% of its trade grain. However, during this same time period, West Siberia and East Siberia experienced crop decreases due to climate drying across arable lands. Russia's agriculture in general benefits from contemporary warming due to increased precipitation in both summer and winter and milder winters resulting in a longer growing seasons favoring phenological phases (Sirotenko and Gringof 2006).

Agricultural ecosystems are composed of annual or perennial plants (except multi-year hay grasses) and thus respond to climate change with no inertia. Humans may take advantage of this fact and shift steadily farming northward based on agricultural potential change in a changing climate.

As climate warms more warmth-loving varieties of the same Siberian crops may be used for farming. New crops may also be introduced if winter conditions allow. In the predicted warmer Siberian climate, maize could be planted to yield grain although this attempt failed in the 1960s. Climatic resources of Siberia would provide a potential to grow a great variety of crops. With a prolonged growing season, productive lands in southern Siberia may become suitable for introducing new warmth-loving crops: melons, gourds, fruits and berries, which would decrease their import and transportation costs and serve as some adaptation measures of Siberian agriculture to climate warming. Southern Siberia may become a land for farming oil crops (rape seed, maize grain, soybeans, etc), which could be used for biofuel production and thus promote the development of a biofuel industry in Siberia. However farming in the dry future would necessitate additional water, so a broad irrigation infrastructure would be required.

These possible adaptation measures to climate warming would smooth its potential negative effects and promote the stable development and well-being for southern Siberia's regions.

Conclusions. Agriculture in central Siberia would likely benefit from climate warming. More than a half (50-85%) of central Siberia is predicted to be climatically suitable for agriculture at the end of the century although potential croplands would be limited by the availability of suitable soils. Climatic factors are shown to control crop distribution and production in south-central Siberia ($R^2 = 0.4-0.7$). Crop production may increase by twofold as climate warms during the century. Traditional crops (grain, potato, maize for silage) could be gradually shifted as far as 500 km northwards within suitable soils (about 50-70 km per decade) and new crops (maize for grain, sunflower seeds, gourds) could be introduced in the far south depending on winter conditions, growing season length and additional water that may be obtained by irrigation means.

Acknowledgements. *We recognise the Northern Eurasian Earth Science Partnership Initiative (NEESPI) and the NASA Land Cover Land Use Change (LCLUC) program for providing the background that made this work possible. We greatly appreciate the current support for this work, provided by the NASA Inter-disciplinary Science NNH09ZDA001N-IDS and the Russain Foundation for Basic Research 10-05-00941.*

References

1. Gumeniuk K., Mishchenko N., Fischer G., van Velthuisen H. 2010. Agro-ecological assessment for the transition of the agricultural sector in Ukraine // Methodology and Results for baseline climate (Laxenburg: IIASA Publication). – 58 p.
2. IPCC, 2007: Summary for Policymakers. / Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. et al. // Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Cambridge, United Kingdom and New York, USA: Cambridge University Press, 2007. – P. 1-18.
3. Izrael Yu. A. and Sirotenko O.D. 2003. Modeling on climate change impacts on the agriculture productivity of Russia // Russ J of Meteorology and Hydrology. – 6. – P. 5-17.
4. Lebedev V.I. and Populiakh Y.G., eds. 2005. Atlas. Economical potential of Republic of Tyva. – Kyzyl: TuvI-KOPR SB RAN). – 60 p.
5. Lysanova G.I. Landscape analysis of agri-natural potential of geosystems. – Irkutsk: Institute of Geography SB RAN. – 2001. – P. 187 (in Russian).
6. Mueller C., Cramer W., Hare W.L., Lotze-Campen H. Climate change risks for African agriculture // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2011 – 108 (11). – P. 4313-4315.
7. Reference book for an agronomist of Siberia / Sinyagin I.I. and Tyutyunnikova A.I. – Moscow: Kolos, 1978.
8. Reference book on climate of the USSR. – Leningrad: Gidrometeoizdat, 1967-1971.
9. Reference books on monthly climate of Krasnoyarsky Krai, Khakassia, and Tyva. – Novosibirsk: Gidrometeoizdat, 1960-2010.
10. Reference books on Statistical data. Agriculture of Rep. Khakassia. – Abakan: Roscomstat, 1966-2009.
11. Reference books on Statistical data. Agriculture of Krasnoyarsky Krai. – Krasnoyarsk: Roscomstat, 1966-2009.
12. Reference books on Statistical data. Agriculture of Rep. – Tyva. Kyzyl: Roscomstat, 1986-2009.
13. Shotsky V.P. Atlas of the south of Krasnoyarsky Krai. Maps for planning agriculture. – Moscow: GUGK, 1977. – p. 40.
14. Sinitsyna I.I., Goltsberg I.A. and Strunnikov E.A. Agroclimatology. – Leningrad: Gidrometeoizdat, 1973. – P. 344 (in Russian).
15. Sirotenko O.D., Gruza G.V. et al. Contemporary climate change of warmth, moisture and productivity of the agrisphere of Russia // Russ J of Meteorology and Hydrology. – 2007. – 8. – P 90-103.
16. Sirotenko O.D. and Gringof I.G. Estimation of anticipated climate change impacts on agriculture of the Russian Federation // Russ J of Meteorology and Hydrology. – 2006. – 8. – P. 92-101 (in Russian).
17. Steffen W., Sims J., Walcott J., Laughlin C. F. Australian agriculture: coping with dangerous climate change // Reg Environ Change. – 2011 – 11 (Suppl 1). – P. 205–214.

18. Tao F., Zhang Zh., Yokozawa M. Dangerous levels of climate change for agricultural production in China // Reg Environ Change, 2011. – 11 (Suppl 1). – P. 41–48. – DOI 10.1007/s10113-010-0159-8.

19. Tchebakova N.M., Parfenova E.I. and Soja A.J. Climate change and climate-induced hot spots in forest shifts in central Siberia from observed data // Reg Environ Change, 2011. – DOI 10.1007/s10113-011-0210-4.

20. Tchebakova N.M., Parfenova E.I., and Soja A.J. Effects of climate, permafrost and fire on vegetation change in Siberia in a changing climate // Environ Res Lett, 2009. – 4: doi:10.1088/1748-9326/4/4/045013.

GLOBAL-LOCAL MONITORING OF CLIMATE-WEATHER CONDITIONS FOR RENEWABLE ENERGY

I. I. Tyukhov, A. H. Raupov, A. Z. Tilov

Moscow State University of Environmental Engineering

Renewable energy systems and particularly solar systems are becoming more widespread, cheaper and more efficient each year. At the same time, it is not very evident and clear what kind of solar energy system is most suitable for the concrete geographical location and weather-climatic conditions, what output parameters and characteristics concrete solar energy system will perform in real situations, what kind of degradation and problems we will find.

It is well known, that fluctuations of solar irradiance have a significant influence on electric power generating by solar energy systems. To ensure an efficient use of the solar resource this behavior has to be considered in operating strategies for these systems. Depending on the application, prediction of solar irradiance is beneficial on different time scales from less than 1 h up to several days [1].

Many researches on using satellite data for solar radiation predicting were done by R. Perez, F. Vignola and many others (see references at [2]).

Our group has been working on a portable and cheap monitoring system: a space Earth images receiver for obtaining global information on weather conditions and a solar module, which allows obtaining local incoming solar radiation – everything in real time mode. The goal of such monitoring system is to collect, to analyze the real incoming solar energy and to study opportunity to forecast solar radiation analyzing satellite images of the Earth.

The first part of our system is the space receiver series “Kosmos”, developed by Prof. M. Schakhramanyan [1]. “Kosmos” is actually hardware-software complex designed for receiving Earth images transmitted from NOAA series polar orbiting satellites (NOAA-15, NOAA-18, NOAA-19) in APT format (Automatic Picture Transmission) at a frequency of 137 MHz. In this work, we used latest version “Kosmos-M3” with additional soft-ware opportunities. AptView program allows to download satellite images in real time and to analyze images with help a whole bunch of meteorological parameters (Fig.1, left part)[3-7].

The second part is solar PV module installed at the university roof with the National Instruments USB-6008 data acquisition device and specially written software (Fig.1, left part and Fig.2) for transfer analog data to digital and subsequent proper treatment and saving.

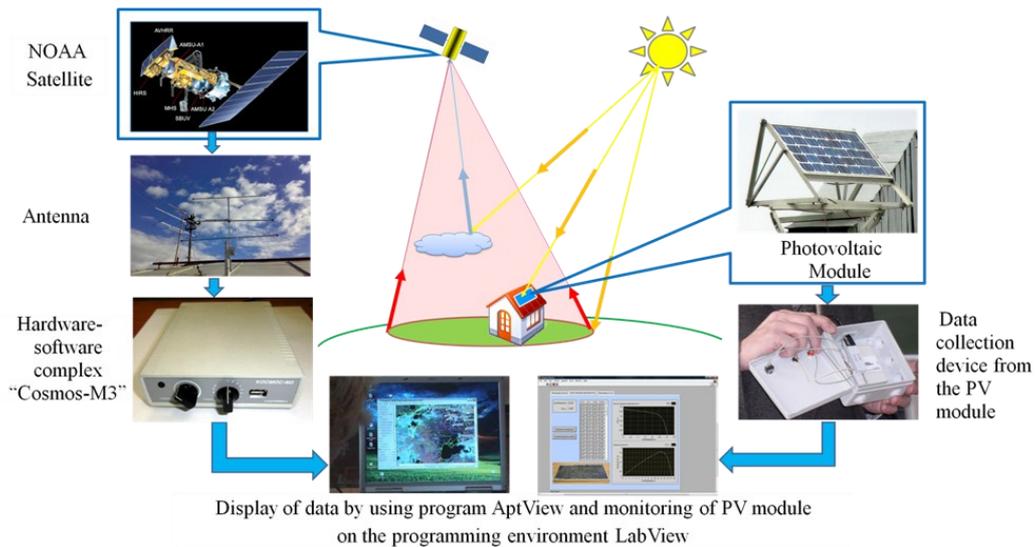


Fig.1. System of global-local monitoring

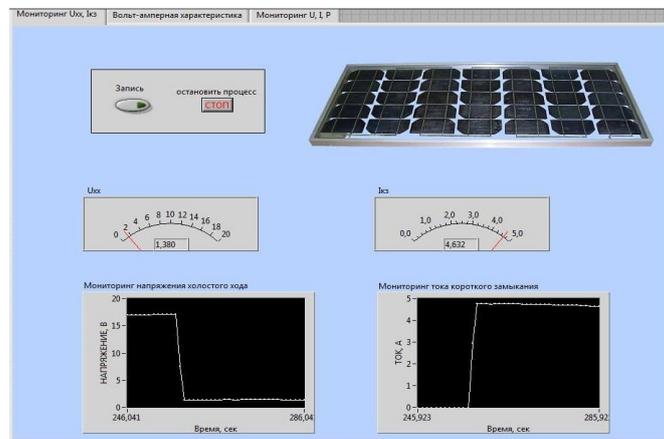


Fig. 2. Interface of program for monitoring PV modules parameters

An example of recently obtained data is shown at Fig.3 where is possible to see sunny and cloudy days.

Graphs of circuit current I_{sc} of the PV module and satellite images of Earth's surface on a sunny and cloudy days in Moscow on March 26-27, 2012

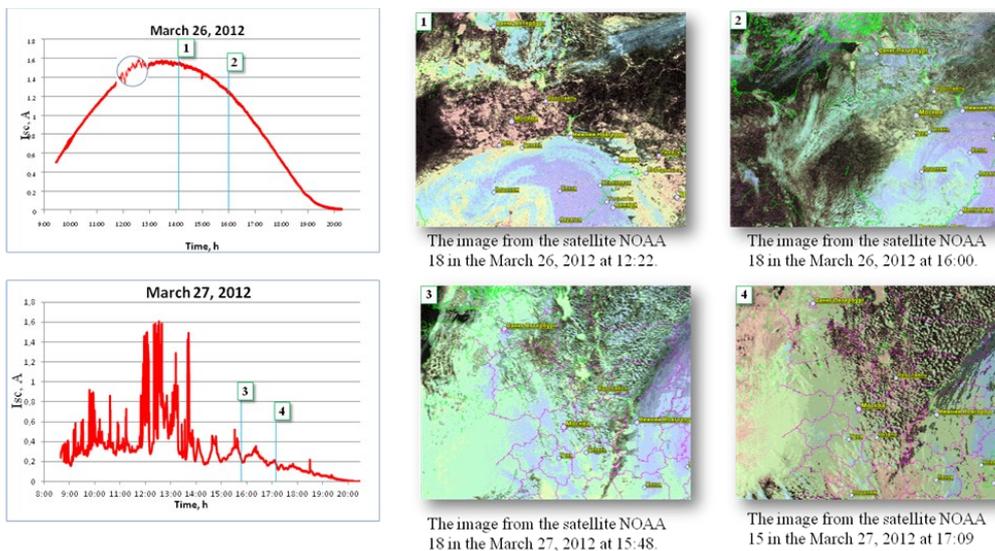
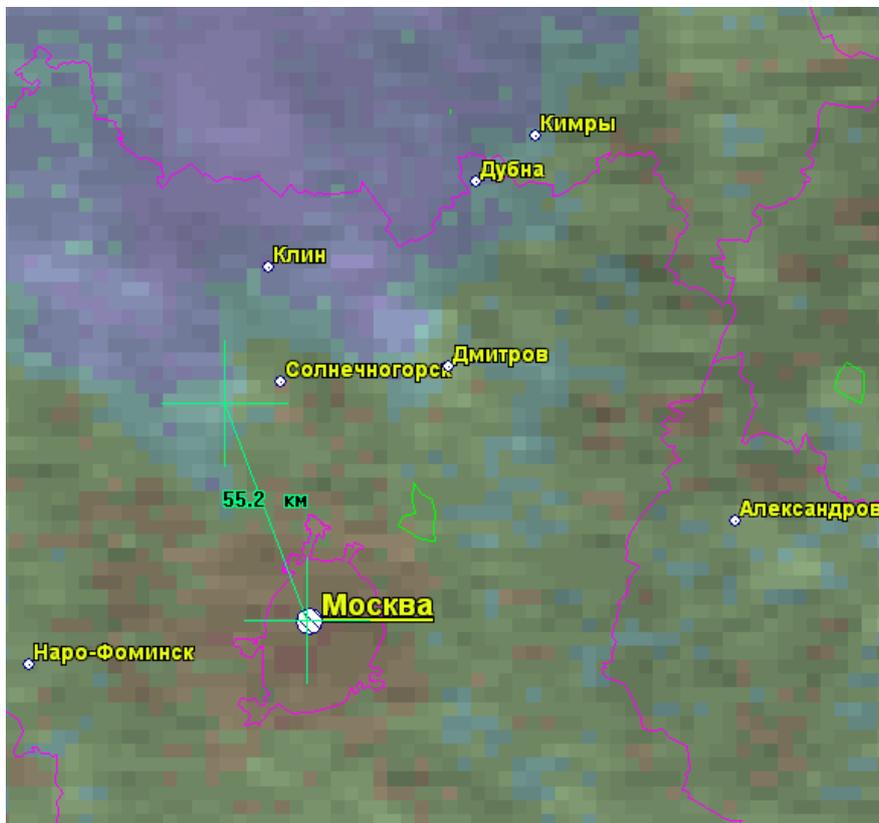


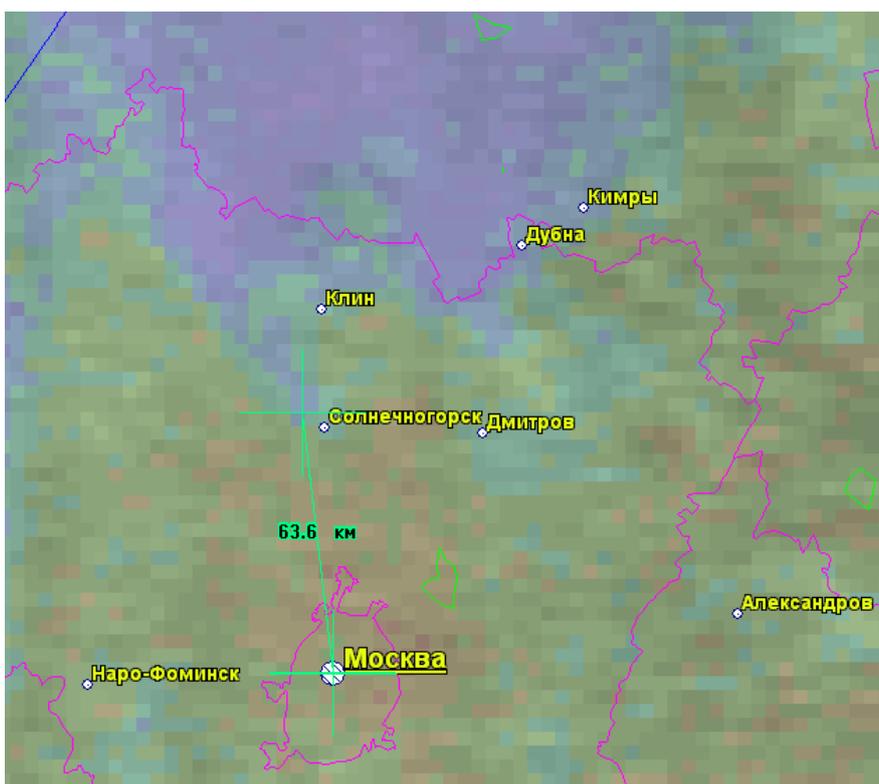
Fig. 3. Global and global monitoring for two typical days

The second example describes situation when we can predict weather situation. Several pictures below show monitoring the movements of the clouds and hence the possibilities to observe changes positions of clouds in our region.

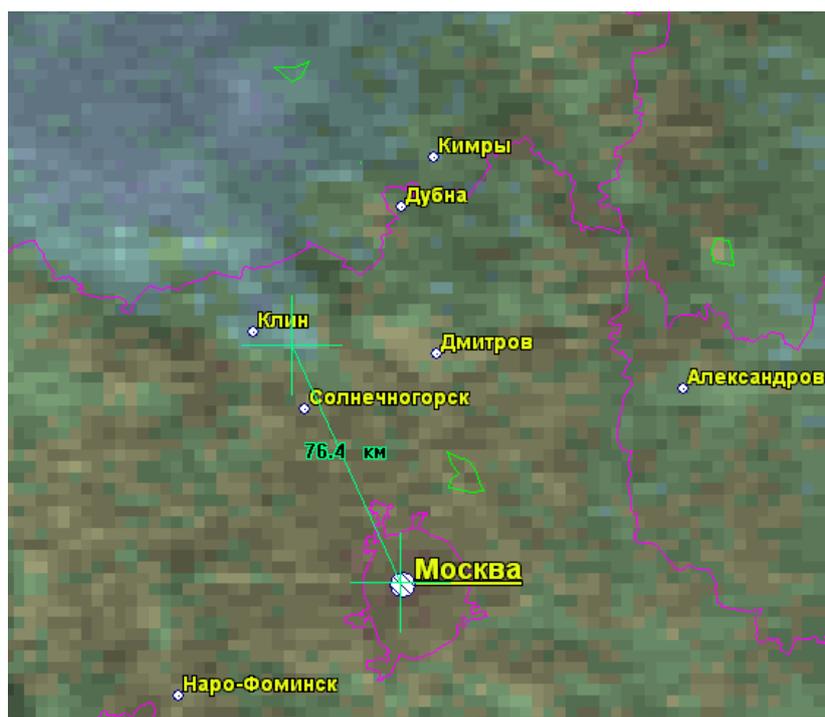
1. Time 12:05, satellite NOAA14, height 30 °. As seen at the picture, the distance from the near edge of the cloud to the city of Moscow is about 55 km.



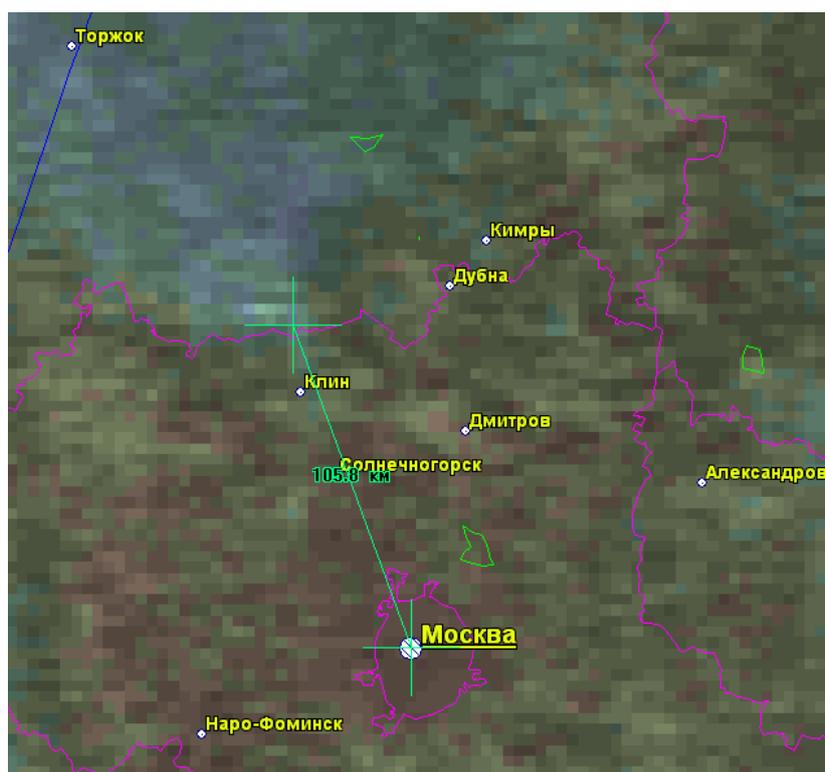
2. Time 13:25, satellite NOAA18, height 25°. The distance to the cloud is 63 km.



3. Time 14:30, satellite NOAA14, height 57°. The distance to the cloud is 76.4 km.



4. Time 15:05, satellite NOAA18, height 80°. The distance to the cloud is 105.8 km.



The four images were received during about 2.15 hours. The clouds moved for the distance 50 km with velocity 6 km/sec during this time interval, so, it is possible sometimes to give estimation on incoming solar radiation.

According to official forecasts by the Hydrometeorological Centre of Russia, January 26, 2012 in Moscow was "partly cloudy, wind south-east, 3-8 m/sec." From official forecast is impossible to make concrete forecasting for solar radiation.

Conclusion

Solar radiation data are important for proper design solar energy systems and for many agricultural purposes. Many factors like cloudiness, atmospheric transmissivity, latitude and orientation of the Earth relative to the Sun, time of day, slope and aspect of the surface determine the spatial and temporal distribution of irradiance incident on a surface [4]. At the same time, the availability of solar radiation data from meteorological stations is more restricted, for example, than for precipitation and temperature.

The global-local monitoring system allows not only to monitor actual incoming solar radiation but also to make forecast on sunny and cloud hours. With help of this system, it is possible to study climatic aspects of solar energy after long-term collecting data. The developed system is very suitable for educational and research activity of students during the practical work with lab equipment and preparing the individual research projects.

References

1. Hammer A., Heinemann D., Lorenz E. et al. Short-term forecasting of solar radiation: a statistical approach using satellite data // Solar Energy Vol. 67, Issues 1–3, July 1999. P. 139–150.
2. Tyukhov I., Mazanov S. Opportunities of using satellite information for monitoring solar radiation // VIESH, #1 (4), 2009. P. 49-52.
3. Space educational technologies: investments to the future // Ed. by M.A. Schakhramanyan, I. I. Tyukhov, N.S. Voschenkova, Kaluga: Institute for improving professional skills in education, 2009. P. 776 (in Russian).
4. Tyukhov I., Schakhramanyan M., Strebkov D. et al. Combined solar PV and Earth space monitoring technology for educational and research purposes // Proceedings Solar 2008, American Solar Energy Society Conf., San Diego, CA., CD edition, (2008).
5. Tyukhov I., Schakhramanyan M., Simakin V. et al. PV and GIS Lab for teaching solar energy // Proceedings of 23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 1 - 5 September, 2008, Spain, Valencia.
6. Tyukhov I., Tikhonov A., Simakin V. et al. Solar energy education for sustainable future: practical projects // The proceeding 5th International Workshop on Teaching in Photovoltaics. Czech Technical University in Prague, Prague, 25 - 26 March 2010. P. 98-103.
7. Frank Vignola, Igor Tyukhov, Anton Tikhonov et al. Energizing the Next Generation with Photovoltaics // 39th Annual National Solar Conference, Phoenix Convention Center, May 17-22, USA, 2010.

ОСОБЕННОСТИ И НЕОБХОДИМОСТЬ РАЗВИТИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Н. А. Алимбекова, А.У. Чымыров

Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова, Кыргызстан

В данной работе рассмотрена актуальность создания инфраструктуры пространственных данных (ИПД) Кыргызской Республики, описаны принятая система и принцип действия ее прототипа.

Введение

Пространственные данные являются основными и самыми важными компонентами любой географической информационной системы (ГИС). Качество и востребованность современных ГИС в основном определяются качеством приобретенных или моделированных пространственных данных, а следовательно, точностью и достоверностью проведенных анализов и полученных результатов.

В последние годы происходит быстрое развитие системы информационных технологий.

Благодаря таким нововведениям, как оказание публичных услуг, повышаются качество и доступность услуг по предоставлению пространственных данных; информационное взаимодействие граждан и организаций с государственными органами (Министерством чрезвычайных ситуаций, Госкартографией и т. д.), международными организациями и проектами приобретает более открытый характер.

В настоящее время в Кыргызской Республике получение пространственных данных очень проблематично: возникают вопросы разного масштаба, например: где можно получить данные административной границы КР в цифровом формате; в каком масштабе они есть; кто является их владельцем; как можно быстро получить качественные данные; кто является ответственным лицом, к кому можно обратиться? Ответы на эти и другие вопросы можно найти в разработанном и действующем прототипе – Инфраструктуре пространственных данных Кыргызской Республики.

Инфраструктура пространственных данных Кыргызской Республики

На основе проекта малого гранта GSDI (Глобальная инфраструктура пространственных данных) был создан прототип-демонстратор для Кыргызстана. В 2009 году был введен в опытную эксплуатацию геопортал Кыргызской Республики (Инфраструктура пространственных данных Кыргызской Республики).

Геопортал доступен по ссылкам:

- <http://geoportal.aca-giscience.org/>
- <http://ggmgeo19.geo.sbg.ac.at/geoportal/catalog/main/home.page>

В качестве геоинформационного программного обеспечения использован пакет ArcGIS Geoportal Extension 9.3.1 компании ESRI (США). Интерфейс геопортала содержит поле формирования поискового запроса и возможности пользователя (рис. 1).

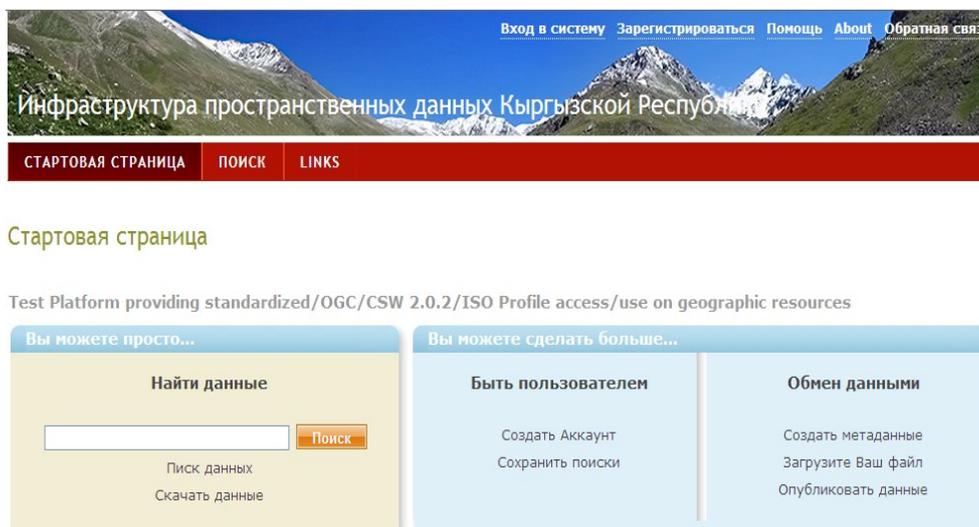


Рис. 1. Интерфейс геопортала Кыргызской Республики

Перед началом работы необходимо зарегистрироваться в данном геопортале. Мы регистрируемся под одним из видов пользователя:

- 1) анонимный пользователь;
- 2) администратор;
- 3) публикатор.

У каждого из них существуют свои возможности и ограничения:

- 1) анонимный пользователь может только искать необходимые данные, у него нет возможностей создавать метаданные;
- 2) администратор может улучшать запись метаданных, которые были созданы другим пользователем;
- 3) издатель может искать необходимые данные и создавать метаданные.

При поиске данных в поисковую строку вводят ключевое слово, в результате на экран выходят все данные, которые были внесены в геопортал и Web Map Server (WMS). Также на интерфейсе изображена карта мира, на которой можно увидеть исследуемую область. Карту можно увеличить или уменьшить (рис. 2).

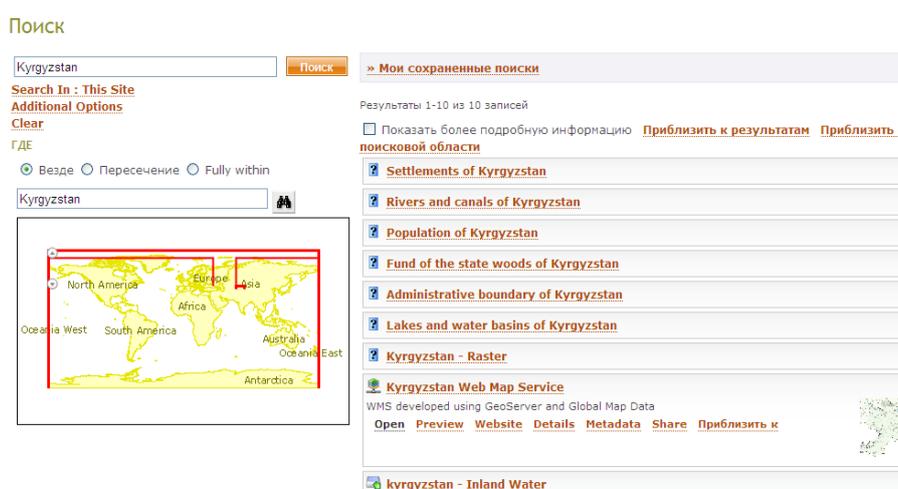


Рис. 2. Поиск данных

При нажатии на интересные данные появляется краткое содержание карты. Эти данные можно открыть, просмотреть сайт, детали, метаданные, добавить информацию и приблизиться на карте к рассматриваемой местности.

При нажатии «Открыть» появляется окно с картой, включающее в себя инструменты перемещения и изменения масштаба, управления историей экстенгов карты (рис. 3).

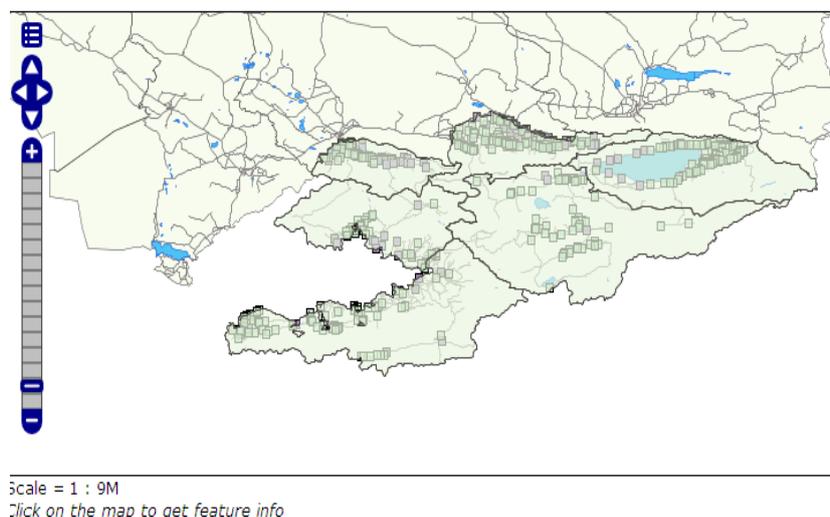


Рис. 3. Карта рассматриваемых данных

При обзоре открывается карта исследуемой территории растрового изображения (рис. 4).

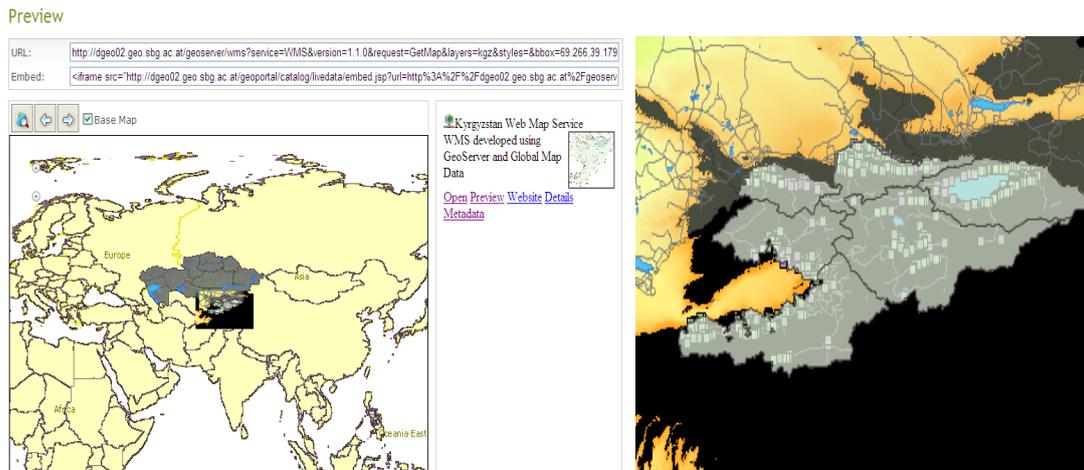


Рис. 4. Обзор карты рассматриваемых данных

Детали метаданных (рис. 5) включают информацию о метаданных, идентификационную информацию, графический просмотр, координатную систему, пространственную область, качественную информацию данных, контактную информацию и т. д. Также есть возможность просмотреть данные в формате XML, управлять, создавать, загрузить и утвердить. Создавая новую запись метаданных, издатель должен выбрать один из международных стандартов метаданных (рис. 6).

Детали Метаданных

Информация о Метаданных

Идентификация Метаданных: {30AF267E-BE88-4CE8-8823-981E3FEC3C3B}

Язык Метаданных: en

Дата: 2010-02-01

Организация: Austrian Academy of Science - Geographic Information Science

Роль в организации: custodian

Identification Information

Title: Kyrgyzstan Web Map Service

Dataset

Publication 2010-02-01

Date:

Abstract: WMS developed using GeoServer and Global Map Data

Type of Service: OGC Web Map Service 1.1.1

Operation Name: getcapabilities

Service [http://dgeo02.geo.sbg.ac.at/geoserver/wms?](http://dgeo02.geo.sbg.ac.at/geoserver/wms?service=WMS&version=1.1.0&request=GetMap&layers=kgz&styles=&bbox=69,266,39,179,80,293,43,265&width=890&height=330)

URL: [service=WMS&version=1.1.0&request=GetMap&layers=kgz&styles=&bbox=69,266,39,179,80,293,43,265&width=890&height=330](http://dgeo02.geo.sbg.ac.at/geoserver/wms?service=WMS&version=1.1.0&request=GetMap&layers=kgz&styles=&bbox=69,266,39,179,80,293,43,265&width=890&height=330)

Type of Coupling: loose

with Dataset:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no" ?>
<!-- Core gmd based database document -->
<MD_Metadata xmlns="http://www.isotc211.org/2005/gmd" xmlns:gco="http://www.isotc211.org/2005/gco"
xmlns:srv="http://www.isotc211.org/2005/srv" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
  <fileIdentifier>
    <gco:CharacterString>{30AF267E-BE88-4CE8-8823-981E3FEC3C3B}</gco:CharacterString>
  </fileIdentifier>
  <language>
    <gco:CharacterString>en</gco:CharacterString>
  </language>
  <contact>
    <CI_ResponsibleParty>
      <organisationName>
        <gco:CharacterString>Austrian Academy of Science - Geographic Information Science</gco:CharacterString>
      </organisationName>
      <role>
        <CI_RoleCode codeList="http://www.isotc211.org/2005/resources/Codelist/gmxCodeList.xml#CI_RoleCode"
codeListValue="custodian">custodian</CI_RoleCode>
      </role>
    </CI_ResponsibleParty>
  </contact>
  <dateStamp>
    <gco:Date>2010-02-01</gco:Date>
  </dateStamp>
  <metadataStandardName>
    <gco:CharacterString>ISO 19139/19119 Metadata for Web Services</gco:CharacterString>
  </metadataStandardName>
  <metadataStandardVersion>
    <gco:CharacterString>2005</gco:CharacterString>
  </metadataStandardVersion>
  <referenceSystemInfo>
    <MD_ReferenceSystem>
      <referenceSystemIdentifier>
```

Рис. 5. Детали метаданных

Создать метаданные

To create a new metadata record, select the Metadata Standard that the record will adhere to. After clicking 'proceed', a custom form is displayed for you to complete for the Metadata standard you selected.

On behalf of:

Metadata standard:

- INSPIRE Metadata (Datasets)
- INSPIRE Metadata (Services)
- ISO 19139/19119 Web Services
- ISO 19139/19115 Datasets

Рис. 6. Стандарты метаданных

Публикатор может закладывать или разделять данные записи метаданных (Facebook, Twitter, Myspace, Google and others) при нажатии «Добавить это» (рис. 7).

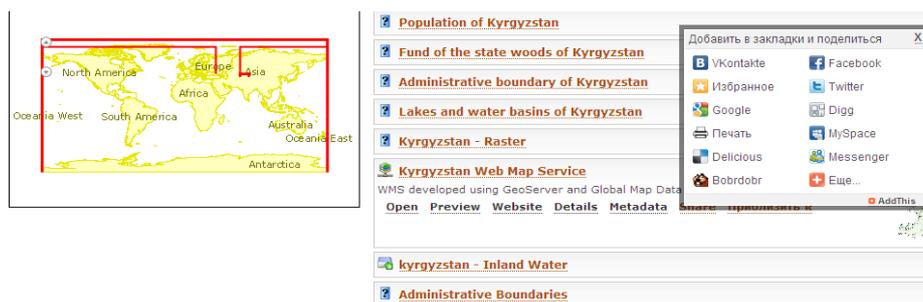


Рис. 7. Добавление данных в закладки и деление

В будущем необходимо и далее развивать инфраструктуру пространственных данных Кыргызской Республики. Данный геопортал обладает множественными преимуществами для потребителей и владельцев геоинформационных данных, например:

- уменьшается число посещений потребителями организаций, обладающих геоинформационными данными;
- повышается достоверность и качество данных;
- снижаются временные и стоимостные издержки на получение геоинформационных данных;
- защищаются права владельцев геоинформационных данных.

Библиографический список

1. Стробл, Ж. Центрально-Азиатский геопортал – совместимый с ISO19115 каталога метаданных для географического информационного разделения / Ж. Стробл, М. Вельгю, М. Митлбек // Вестник IV Центрально-Азиатской Гис конференции – GISCA`10 “Вода: Жизнь, Риск, Энергия и землепользование”. – Вып. 4. – Бишкек, 2010. – С.42-50.
2. Стробл, Ж. Построение ИПД как сообщество проекта – вызовы в развивающихся экономических системах/ Ж. Стробл, М. Вельгю, А. Назаркулова. – Бишкек, 2009. – С.1-12.
3. Вавилов Г. Ц. Портал государственных услуг Росреестра / Г.Ц. Вавилов. – ФКЦ «Земля», Гис Ассоциация, 2002-2010.

УДК 630*31

КЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ЛЕСНЫХ УЧАСТКОВ НА СЕЗОННЫЕ ЗОНЫ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

А.В. Андрейчук

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет

CLIMATIC DIVISION OF FOREST LAND INTO SEASONAL ZONES OF TIMBER PROCESSING INDUSTRY USING THE FUZZY SET THEORY

A. Andreychuk

St. Petersburg State Forestry Engineering University

Условия работы в лесозаготовительной промышленности имеют прямую зависимость от климатических факторов. Поэтому любая задача в области организации лесозаготовительных и лесовосстановительных работ должна решаться с максимальным учетом природно-производственных особенностей лесных территорий, арендуемых лесозаготовительным предприятием.

Лесосечно-транспортные работы осуществляются под открытым небом, испытывая непосредственное влияние всех климатообразующих факторов. Погодно-климатические условия существенно различаются в течение года. Поэтому при планировании производства необходимо максимально учитывать и использовать климатический ресурс региона, позволяющий в более холодное время года обеспечивать доступ к лесосекам с переувлажненными грунтами и прокладывать зимние дороги на более удаленные расстояния, тем самым значительно экономить средства на дорожном строительстве.

Особенностью лесозаготовительных предприятий является зависимость технологического процесса от погодно-климатических условий. Погодно-климатические условия влияют как на несущую способность грунтов, так и на проходимость, работоспособность и устойчивость работы машин при транспортно-технологических операциях в лесу. В одной и той же климатической зоне погодно-климатические факторы по-разному влияют на технологический процесс в зависимости от природно-производственных условий.

Развитие современного производства требует всестороннего учета и рационального использования информации по климату региона и ожидаемого состояния погоды. Метеорологическая информация находит широкое применение при планировании хозяйственных мероприятий и решении текущих производственных задач, что позволяет существенно уменьшить финансовые потери от неблагоприятных условий погоды. Столь же выгодное применение получает и климатическая информация. Климат и погода значительно влияют на состояние ездových поверхностей, с которыми взаимодействуют лесотранспортные средства. В результате воздействия метеофакторов изменяется безопасность лесосечно-транспортных процессов.

Плановые сроки проведения лесозаготовок в зимний и летний сезоны устанавливаются ориентировочно, используя средние метеорологические данные, по материалам наблюдений ближайшей метеостанции [1]. При этом определение среднемесячной температуры воздуха возможно по СНиП 23-01-99 [2].

Возникает потребность разработки методики климатического районирования, которая позволила бы обосновать отнесение лесных площадей к тому или иному сезону лесозаготовок, с учетом особенностей региона и природно-производственных характеристик лесных насаждений.

Существенный рост эффективности оперирования с исходными данными привел к бурному развитию экспертных систем, сравнительных математических методов и распределенных баз данных. В настоящее время все шире используются методы искусственного интеллекта, основанные на нечеткой математике и логике нечетких множеств, позволяющие автоматизи-

ровать экспертную обработку информации и разрабатывать новые методы интерпретации геофизических данных.

Работа с большими объемами информации, в частности ее интерпретация и анализ, с одной стороны, требует высокой квалификации специалиста, с другой – оказывается часто практически нереализуемой ввиду огромных объемов данных, подлежащих обработке. Работа на уровне хорошего эксперта редко может быть сведена к некоторому аналитическому процессу, поддающемуся формальному описанию на языке обычной математики. Тем не менее, эта деятельность поддается алгоритмизации. Так возникает необходимость создания алгоритмов, ориентированных на моделирование деятельности специалиста-эксперта в той или иной области.

Экспертные системы отличаются от систем обработки данных тем, что в них в основном используется символьный, а не числовой способ представления информации, символьный вывод и эвристический поиск [3].

Теория нечетких множеств позволяет описывать качественные неточные понятия и знания об окружающем мире, а также оперировать этими понятиями с целью получения новой информации. Основанные на этой теории методы построения информационных моделей существенно расширяют традиционные области применения компьютеров и образуют самостоятельное направление научно-прикладных исследований, которое получило специальное название – «нечеткое моделирование».

Достоинством нечеткого моделирования является возможность получения новой информации о проблемной области в форме некоторого прогноза. Это позволяет разрабатывать и представлять модели систем в форме правил нечетких продукций, которые обладают наглядностью и простотой содержательной информации [4].

Нечеткое множество (fuzzy set) – совокупность элементов произвольной природы, относительно которых нельзя с полной определенностью утверждать: принадлежит ли тот или иной элемент данной совокупности или нет [5].

При климатическом районировании земель лесного фонда на сезонные зоны лесопромышленного производства использован математический аппарат системы нечеткого вывода Мамдани. Алгоритм примечателен тем, что он работает по принципу «черного ящика». На вход поступают количественные значения, на выходе – они же. На промежуточных этапах используются аппарат нечеткой логики и теория нечетких множеств. В этом и состоит элегантность использования нечетких систем. Можно манипулировать привычными числовыми данными, но при этом использовать гибкие возможности, которые предоставляют системы нечеткого вывода.

Алгоритм Мамдани включает в себя все этапы нечеткого вывода и использует базу правил в качестве входных данных. Также алгоритм предполагает использование «активизированных» нечетких множеств и их объединений. При этом каждый последующий этап получает на вход значения, полученные на предыдущем шаге. Таким образом, основными этапами нечеткого вывода являются:

1. Формирование базы правил системы нечеткого вывода

База правил – это множество правил, где каждому подзаключению сопоставлен определенный весовой коэффициент.

База правил может иметь следующий вид:

ПРАВИЛО 1: ЕСЛИ «УСЛОВИЕ 1», ТО «ЗАКЛЮЧЕНИЕ 1» (F_1);

ПРАВИЛО 2: ЕСЛИ «УСЛОВИЕ 1» И «УСЛОВИЕ 2», ТО «ЗАКЛЮЧЕНИЕ 2» (F_2);

...

*ПРАВИЛО n : ЕСЛИ «УСЛОВИЕ k » И «УСЛОВИЕ ($k+1$)», ТО «ЗАКЛЮЧЕНИЕ q » (F_q), где F_i – весовые коэффициенты, означающие степень уверенности в истинности получаемого подзаклЮчения ($i = 1..q$). Лингвистические переменные, присутствующие в условиях, называются *входными*, а в заключениях – *выходными*.*

n – число правил нечетких продукций;

m – количество входных переменных;

s – количество выходных переменных;

k – общее число подусловий в базе правил;

q – общее число подзаклЮчений в базе правил.

2. Фаззификация входных переменных

Этот этап часто называют приведением к нечеткости. На вход поступают сформированная база правил и массив входных данных $A = \{a_1, \dots, a_m\}$. В этом массиве содержатся значения всех входных переменных. Целью этого этапа является получение значений истинности для всех подусловий из базы правил. Это происходит так: для каждого из подусловий находится значение $b_i = \mu(a_i)$. Таким образом, получается множество значений b_i ($i = 1..k$).

3. Агрегирование подусловий

Условие правила может быть составным, т.е. включать подусловия, связанные между собой при помощи логической операции «И». Целью этого этапа является определение степени истинности условий для каждого правила системы нечеткого вывода. Упрощенно говоря, для каждого условия находим минимальное значение истинности всех его подусловий. Формально это выглядит так:

$$c_j = \min\{b_{ij}\}, \quad (1)$$

где $j = 1..n$; i – число из множества номеров подусловий, в которых участвует j -я входная переменная.

4. Активизация подзаклЮчений

На этом этапе происходит переход от условий к подзаклЮчениям. Для каждого подзаклЮчения находится степень истинности:

$$d_i = c_i * F_i, \quad (2)$$

где $i = 1..q$.

Затем для каждого i -го подзаклЮчения сопоставляется множество D_i с новой функцией принадлежности. Ее значение определяется как минимум из d_i и значения функции принадлежности терма из подзаклЮчения. Этот метод называется *min*-активизацией, которая формально записывается следующим образом:

$$\mu'_i(x) = \min\{d_i, \mu_i(x)\}, \quad (3)$$

где $\mu'_i(x)$ – «активизированная» функция принадлежности;

$\mu_i(x)$ – функция принадлежности терма;

d_i – степень истинности i -го подзаклЮчения.

Цель активизации – получение совокупности «активизированных» нечетких множеств D_i для каждого из подзаключений в базе правил ($i = 1..q$).

5. Аккумуляция заключений

Целью этого этапа является получение нечеткого множества (или их объединения) для каждой из выходных переменных. Выполняется следующим образом: i -й выходной переменной сопоставляется объединение множеств $E_i = \cup D_j$, где j – номера подзаключений, в которых участвует i -я выходная переменная ($i = 1..s$). Объединением двух нечетких множеств является третье нечеткое множество со следующей функцией принадлежности:

$$\mu'_i(x) = \max \{ \mu_1(x), \mu_2(x) \}, \quad (4)$$

где $\mu_1(x), \mu_2(x)$ – функции принадлежности объединяемых множеств.

6. Дефаззификация выходных переменных

Цель дефаззификации – получить количественное (четкое) значение для каждой из выходных лингвистических переменных. Формально это происходит следующим образом: рассматривается i -я выходная переменная и относящееся к ней множество E_i ($i = 1..s$), затем при помощи метода дефаззификации находится итоговое количественное значение выходной переменной. В данной реализации алгоритма используется метод центра тяжести, в котором значение i -й выходной переменной рассчитывается по формуле

$$y_i = \frac{\int_{Min}^{Max} x \cdot \mu_i(x) dx}{\int_{Min}^{Max} \mu_i(x) dx}, \quad (5)$$

где $\mu_i(x)$ – функция принадлежности соответствующего нечеткого множества E_i ;

Min и Max – границы универсума нечетких переменных;

y_i – результат дефаззификации.

Выполнение этапов нечеткого вывода сопряжено с некоторыми трудностями и в целом громоздко. Для облегчения разработки системы нечеткого вывода в работе применен пакет инструментов MATLAB Fuzzy Logik Tolbox. С помощью этого пакета и решалась содержательная задача построения нечеткой модели для климатического районирования лесозаготовительного производства (рис. 1).

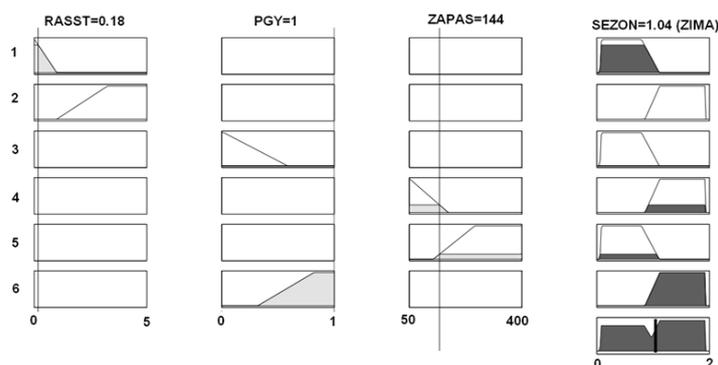


Рис. 1. Графическое представление процедуры нечеткого вывода в программе MATLAB Fuzzy Logik Tolbox

Для общего анализа разработанной нечеткой модели может оказаться полезной визуализация соответствующей поверхности нечеткого вывода (рис. 2).

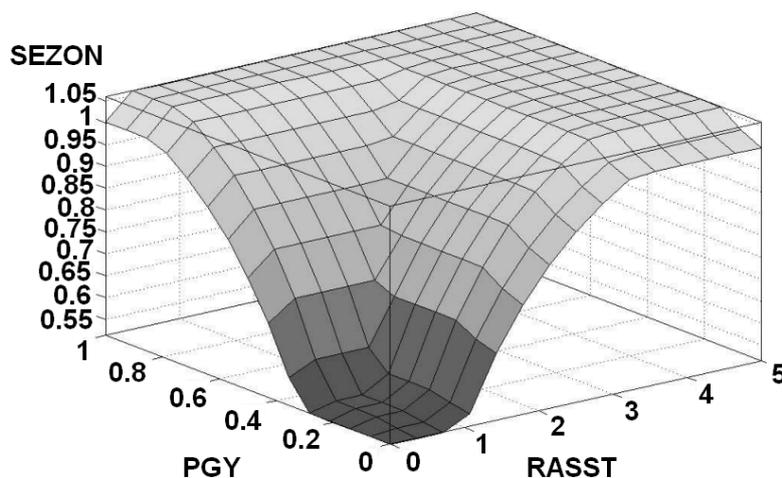


Рис. 2. Визуализация поверхности нечеткого вывода

Данная поверхность нечеткого вывода позволяет установить зависимость значений выходной переменной от значений входных переменных нечеткой модели системы управления климатического районирования лесозаготовками [6]. Эта зависимость служит основой для аппаратной реализации соответствующего нечеткого алгоритма управления в виде таблицы решений, в которой определяются сезоны лесозаготовок.

Библиографический список

1. Григорьев, И.В. Прогнозирование продолжительности периода разработки зимних лесосек в условиях Республики Коми / И.В. Григорьев, Ф.В. Свойкин // Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ. Вып. 8. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2010. – С.34-37.
2. СНиП 23-01-99. Строительная климатология. – М.: Стройиздат, 1999. – 57 с.
3. Леоненков, А. Нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzyTECH / А. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
4. Новак, В. Математические принципы нечеткой логики / В. Новак, И. Перфильева, И. Мочкорж; пер. с англ.; под ред. А.Н. Аверкина. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 352 с.
5. Штовба, С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С. Штовба. – М.: Горячая линия - Телеком, 2007. – 288 с.
6. Андрейчук, А.В. Сезонное районирование транспортного освоения земель лесного фонда с применением теории нечетких множеств / А.В. Андрейчук // Системы. Методы. Технологии. – 2012. – № 1(13). – С.102-106.

УДК 550.388.2

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ПРОХОЖДЕНИЯ ПОЖАРОВ И ПАВОДКОВ В 2010 ГОДУ В КАЗАХСТАНЕ

О.П. Архипкин, Г.Н. Сагатдинова, М.Н. Занчева

Институт космических исследований имени академика У.М. Султангазина
Национальный центр космических исследований и технологий, Казахстан

FEATURES OF THE DYNAMICS OF FIRES AND FLOODS IN 2010 IN KAZAKHSTAN

O.P. Arkhipkin, G.N. Sagatdinova., M.N. Zancheva

Space Research Institute named by academician U.M. Sultangazin
National Center of Space Research and Technology, Kazakhstan

Краткое описание системы космического мониторинга ЧС в Казахстане

Уже более 10 лет в Казахстане технологии космического мониторинга ЧС, разрабатываемые в ИКИ, активно используются в практической деятельности органов ЧС различного уровня [1,2]. Эти технологии базируются на космоснимках MODIS с американских спутников EOS Terra и Aqua, которые принимаются на приемных станциях Telonics, установленных в Астане и Алма-Ате. Дополнительно используются ДДЗ высокого и среднего разрешения с индийских спутников серии IRS и радарных снимков с канадского спутника RADARSAT, также принимаемых на наши станции в режиме прямого сброса.

В настоящее время в интересах органов ЧС решаются следующие задачи:

Космический мониторинг паводков:

- оперативный космический мониторинг схода снежного и ледяного покрова;
- оперативный космический мониторинг прохождения паводковых вод и наводнений, включая картирование зон затопления;
- обзорный космический мониторинг прохождения паводковых вод;
- космический мониторинг динамики водной поверхности крупных водохранилищ;
- районирование зон риска затопления.

Космический мониторинг пожаров:

- оперативный космический мониторинг очагов пожаров;
- оперативный космический мониторинг площадей, пострадавших от пожаров;
- обзорный космический мониторинг крупных пожаров;
- анализ сезонной и многолетней динамики площадей, пострадавших от пожаров;
- оценка риска пожароопасности.

Космический мониторинг нефтяных загрязнений акватории Каспийского моря.

Космический мониторинг отдельных объектов и событий.

Особенность обзорного мониторинга заключается в том, что он характеризует развитие ситуации с ЧС в течение какого-либо конкретного временного периода (неделя, декада, месяц и т.д.).

Оперативный мониторинг отражает текущее состояние, которое получается в результате оперативной обработки ежедневных космических данных. При обзорном характеризуется развитие паводковой ситуации в течение какого-либо определенного временного периода. В качестве временных единиц могут быть выбраны неделя, декада, месяц сезон и т.д..

В настоящее время оперативным космическим мониторингом пожаров охвачено уже 11 областей из 14, занимающих более 82% территории Казахстана. С учетом Мангистауской области, в которой практически не наблюдается ни паводков, ни пожаров, процент охвата приближается к 90%. Обзорный космический мониторинг крупных пожаров проводится по всей территории республики.

Регулярный космический мониторинг прохождения паводковых вод проводится для семи областей и охватывает бассейны важнейших рек Казахстана. Главное внимание при этом уделяется бассейну реки Сырдарья, включая и территории соседних государств. При этом проводится и космический мониторинг динамики заполнения водной поверхности крупных водохранилищ бассейна.

Особенности прохождения паводковых вод в 2008 - 2012 годах

Космический мониторинг прохождения паводковых вод для большинства регионов проводится весной, а для среднего течения реки Сырдарья, включая мониторинг динамики за-

полнения крупных водохранилищ, в зимне-весенний период. Это обусловлено тем, что в среднем течении реки Сырдарья последние годы наблюдаются зоны зимних затоплений, которые вызваны спуском воды с Токтагульского водохранилища. Это обусловлено тем, что Киргизия перешла с ирригационно-энергетического режима попуска воды на энергетический режим и теперь зимой сбрасывает уже более половины годового сбора воды, а не четверть как в советский период.

Для Казахстана в паводковый период не типичны характерные для России сильные и масштабные часто повторяющиеся наводнения, проходящие за один сезон в нескольких различных регионах. Обычно в Казахстане паводковые зоны затопления в большинстве своем не наносят существенного ущерба. В сезон наблюдается в среднем один какой-либо регион, в котором паводок наносит существенный материальный ущерб.

Так, в третьей декаде февраля 2008 года мощный паводок прошел в Южно-Казахстанской области, где очень сильно пострадали поселки, которые раньше никогда не затапливались и не были готовы к такой ситуации. Причиной явились аномальные для этого периода ливневые дожди и необычно холодная зима, которая привела к образованию ледяной корки на поверхности земли.

Подобная ситуация сложилась в Западно-Казахстанской области в первой половине апреля 2011 года. По данным космического мониторинга можно предположить, что одной из причин такого развития паводковой ситуации был очень быстрый сход снежного покрова между 6 и 8 апреля. Отметим, что и по мнению местных органов ЧС ЗКО причиной сложившейся критической ситуации был быстрый сход снега в совокупности с плохими метеоусловиями, приведшими к образованию ледяной корки на поверхности Земли.

В 2012 году во второй половине февраля – начале марта существенно пострадали несколько районов Южно-Казахстанской области, причем некоторые по два раза. Причинами этого были сильные дожди, в том числе теплые, проходившие в этом регионе, а также обильные осадки в виде снега в предшествующий период. По данным Гидромета Южно-Казахстанской области, в начале февраля в регионе выпало осадков в виде снега в 2-2,5 раза больше среднемесячной нормы.

Несколько особняком в этом списке стоят 2009 и 2010 годы. Если 2009 год выделялся тем, что там не наблюдалось сильных паводков, нанесших существенный материальный урон, то в 2010 году, наоборот, два региона существенно пострадали от паводковых вод. Это Алма-Атинская и Восточно-Казахстанская области. Одной из причин такой ситуации были обильные осадки и таяние снега в результате резкого потепления. В каждой из этих областей, кроме того, наблюдался прорыв плотины одного из водохранилищ. И если в ВКО прорыв плотины Лайлинского водохранилища по счастливой случайности не привел к человеческим жертвам, хотя были затоплены и разрушены сотни домов, то прорыв плотины водохранилища у поселка Кызыл-Агаш привел к практически полному его уничтожению и гибели 46 человек.

Во всех отмеченных выше критических ситуациях при прохождении паводковых вод, кроме метеорологических факторов, большую роль сыграл человеческий фактор, значительно усугубивший ситуацию. Это и непрочищенные каналы и коллекторные спуски, и слабо укрепленные дамбы, и практически полное отсутствие должного контроля за состоянием плотин, приведшее к их прорыву, и ряд других факторов.

Сравнительный анализ по многолетним данным космического мониторинга ситуации с пожарами в 2010 году

Как уже отмечалось выше, космический мониторинг пожаров подразделяется на оперативный и обзорный, который обобщает данные оперативного за какой-либо конкретный период. Характеристикой ситуации с пожарами за определенный год является обзорный космический мониторинг пожаров за весь пожароопасный сезон. Его результаты могут представляться в виде итоговой суммы всех обнаруженных очагов пожаров или суммарной площади всех территорий, пострадавших от пожаров в данном году. Последний вариант нам представляется более информативным, так как значительная часть очагов не фиксируется из-за облачности или времени пролета спутника, в то время как площадь фиксируется практически полностью из-за длительного времени восстановления поврежденной в результате пожаров растительности.

Рассмотрим результаты многолетнего космического мониторинга на областном уровне. На рис. 1 представлены итоговые многолетние данные по площадям, пострадавшим от пожаров, для четырех областей Казахстана, которые занимают почти половину территории Казахстана. Эти области наблюдались более длительный период по сравнению с другими.

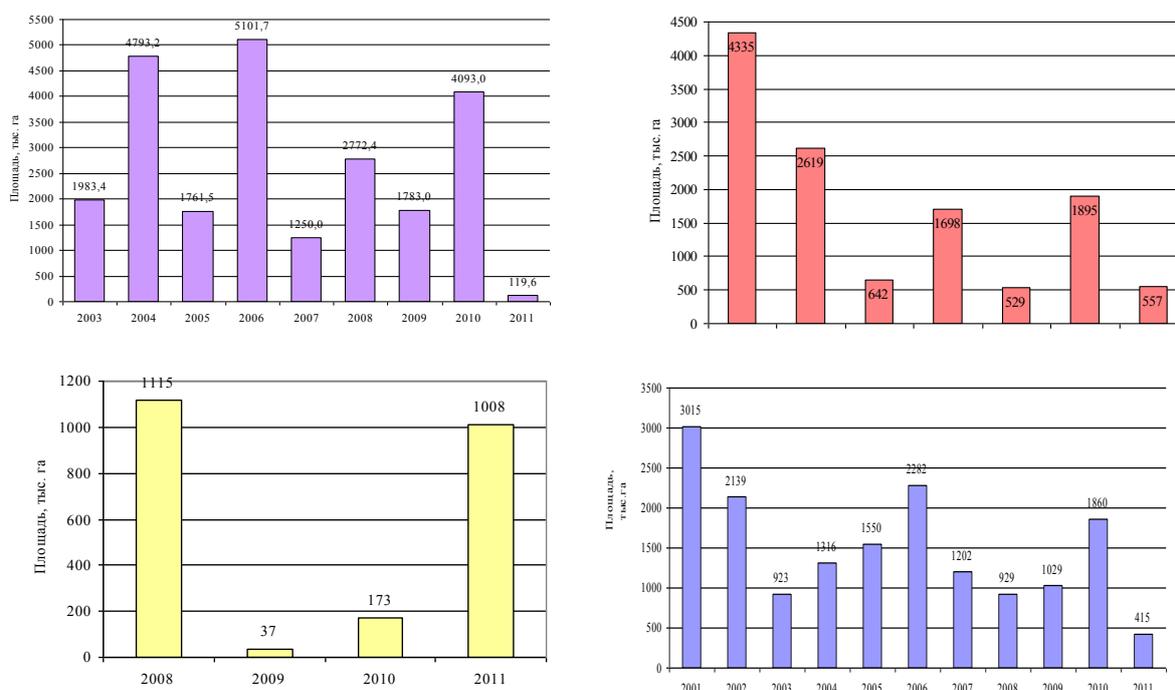


Рис. 1. Динамика площадей, пострадавших от пожаров, на территории Актыубинской области в 2003-2011 годах, Карагандинской области в 2005-2011 годах, Восточно-Казахстанской области в 2008-2011 годах, Западно-Казахстанской области в 2001-2011 годах

Если брать последние пять лет, то 2010 год был самым интенсивным за этот период для трех областей. Исключение представляет только Восточно-Казахстанская область, в которой величина площадей, пострадавших от пожаров, была примерно в 6 раз меньше, чем в 2011 или 2008 годах. Возможно, это в какой-то мере обусловлено интенсивным паводком в этой области в 2010 году. В 2011 году интенсивность пожаров в области резко возросла.

Но если рассматривать более длительный период, то и для этих трех областей 2010 год будет далеко не самым интенсивным по пожарам. Так, для Актыубинской области более интенсивные пожары наблюдались в 2004 и 2006 годах, а в 2011 году пожаров было наимень-

шее количество за весь 9-летний период наблюдения. В Карагандинской области более интенсивные пожары наблюдались в 2005 и 2006 годах, а в 2011 году площадь, охваченная пожаром, была почти в 3,5 раза меньше, чем в 2010 году. В Западно-Казахстанской области более интенсивные пожары наблюдались в 2001, 2002 и 2006 годах, а 2011 год был по площадям в 4,5 раза меньше, чем в 2010 году.

Суммарная величина площадей, пострадавших от пожаров, за четыре последних года по этим четырем областям была существенно выше в 2010 году по сравнению с тремя другими. Соответственно 8100 (2010), 6515 (2008), 3378 (2009) и 2105 (2011) тыс. га. 2011 год для этих областей в целом был значительно менее интенсивным.

Приведем теперь сравнительные результаты обзорного космического мониторинга крупных пожаров, который проводился три последних года для всей территории Казахстана. Пожар считается крупным, если он характеризуется большим количеством локальных очагов пожаров и большой площадью, пострадавшей от пожаров. Обзорные карты крупных пожаров формируются каждую декаду на основе ежедневных оперативных данных об очагах пожаров и данных о площадях, пострадавших от пожаров. На основе декадных формируются месячные карты, а на базе последних - сезонные итоговые карты очагов крупных пожаров. Что касается численных оценок, то в 2009 году был зафиксирован 331 очаг крупных пожаров, в 2010 году – 477, а в 2011 году – 431. То есть в 2010 году наблюдалось максимальное число пожаров за весь трехлетний период наблюдения.

Пространственное расположение крупных очагов пожаров, зафиксированных в 2010 году, представлено на рис. 2. На нем видно, что крупные очаги образуют своего рода дугу, которая проходит между границами с Россией через Западно-Казахстанскую, Актюбинскую, южную половину Кустанайской, северную часть Карагандинской, западную и восточную часть Акмолинской, Павлодарскую области. Распределение обнаруженных очагов крупных пожаров

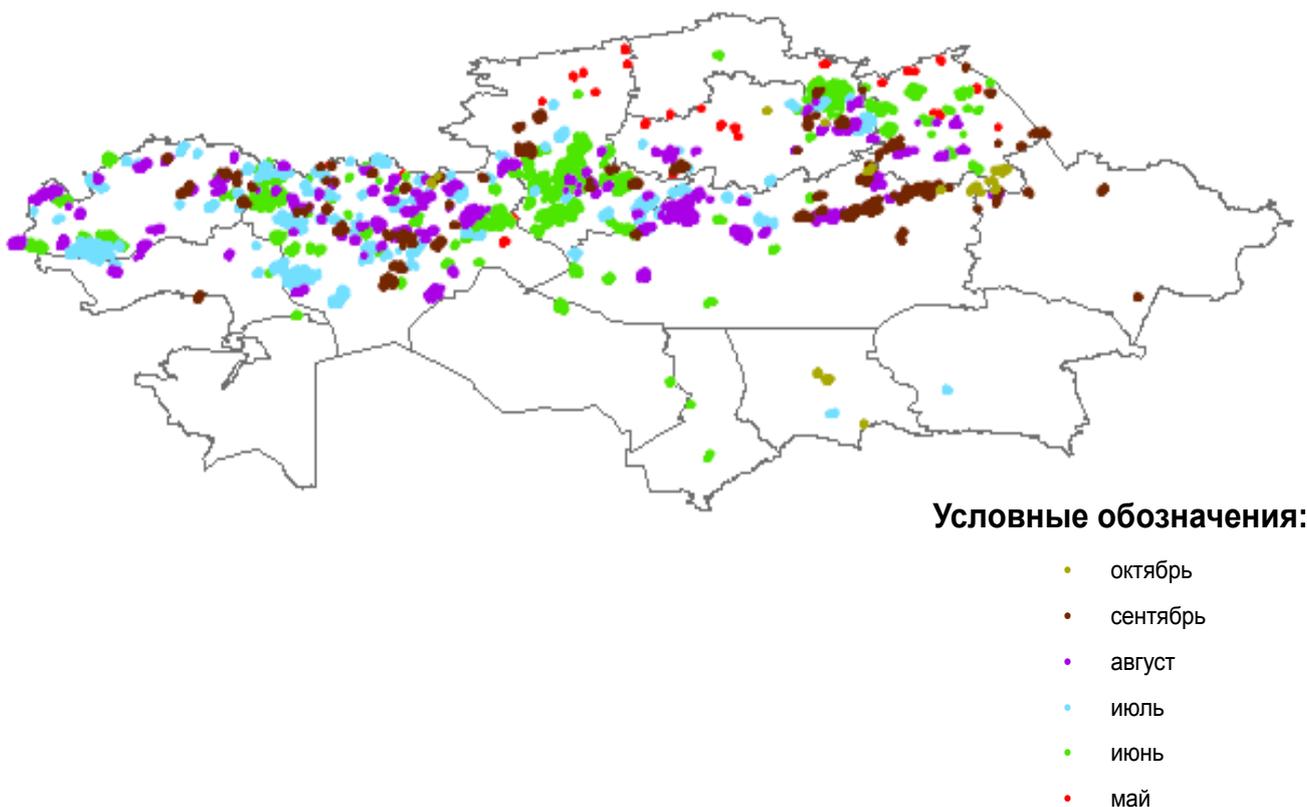


Рис.2. Карта очагов крупных пожаров, зафиксированных на территории Казахстана в мае-октябре 2010 года

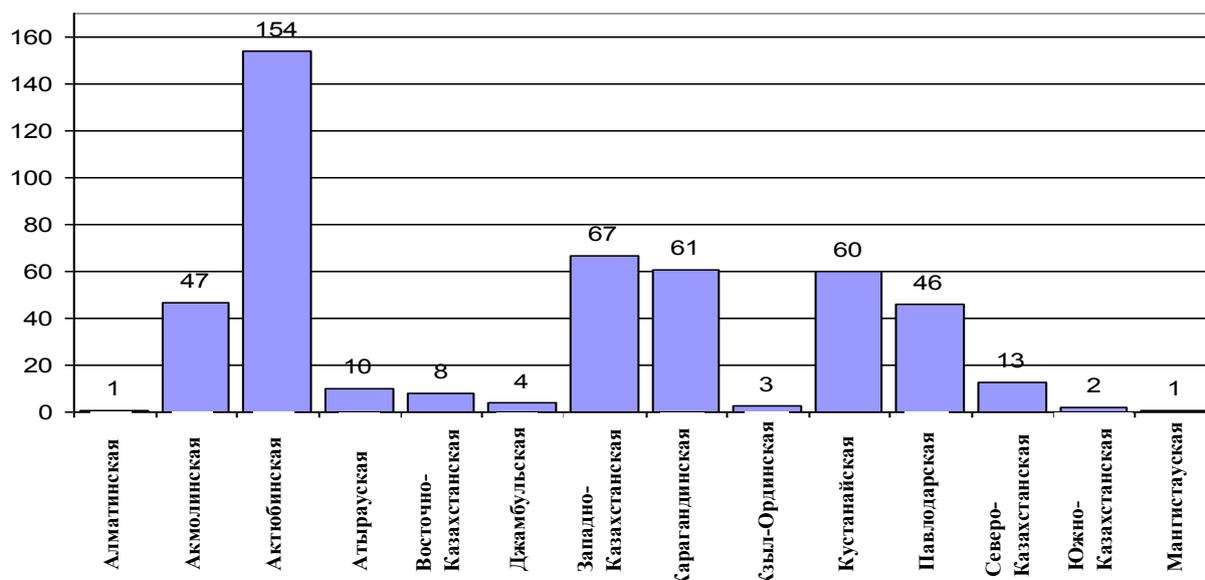


Рис. 3. Итоговое количество очагов крупных пожаров по областям Казахстана в мае – октябре 2010 года

по областям представлено на рис. 3. Здесь видно явное доминирование Актобинской области.

Библиографический список

1. Архипкин, О.П. Пятилетний опыт оперативного космического мониторинга пожаров в Казахстане / О.П. Архипкин, Л.Ф. Спивак, Г.Н. Сагатдинова // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: сб. науч. ст. – Вып. 4. – М.: ООО "Азбука-2000", 2007. – Т. 1. – С. 103-110.
2. Архипкин, О.П. Картирование крупных пожаров на основе временных рядов данных космического мониторинга / О.П. Архипкин, Л.Ф. Спивак // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: сб. науч. ст. – Вып. 7. – М.: ООО "ДоМира", 2010. – Т. 2. – С. 90-96.

УДК 630:551.5(470.343)

ЗАСУХИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ГОРИМОСТЬ ЛЕСОВ В МАРИЙСКОМ ЛЕСНОМ ЗАВОЛЖЬЕ

Т.С. Батухтина, К.К. Калинин

Поволжский государственный технологический университет

DROUGHT AND THEIR INFLUENCE ON ABILITY OF FOREST TO BURN IN MARI VOLGA REGION

T.S. Batuhtina, K.K. Kalinin

Volga State University of Technology

Лесной фонд Республики Марий Эл составляет 1275,8 тыс. га. Одна из главных задач лесного хозяйства – охрана и преумножение лесных богатств. Для выполнения данной задачи издаются новые законодательные акты, направленные на повышение ответственности учреждений и граждан за причиненный лесному хозяйству ущерб, оснащение лесного хозяйства противопожарной техникой.

Однако в организации противопожарных мероприятий в лесничествах имеются существенные недостатки, которые проявляются в периоды сильных засух.

Последние крупные лесные пожары были в Республике Марий Эл в 1921, 1972 и 2010 годах – в периоды сильных засух. Огнем были охвачены огромные площади лесов: в 1921 году – 266,5 тыс. га [7], в 1972 году – 184,9 тыс. га [4,5], в 2010 году – 72,8 тыс. га [2].

Д.Н. Шлыков [6] в «Очерках лесного хозяйства Маробласти» отмечает, что «...лесные пожары в Маробласти в 1921 году совпали с поразительно ранней весной и непомерно малым выпадением осадков. Так, после схода снега в апреле и кончая августом, то есть в продолжение пяти месяцев, их не было совершенно и средняя температура за эти месяцы равнялась 24°C. Резкое изменение климата сопровождалось небывалыми для местного края ветрами, достигающими форменных ураганов».

Второй по крупности пожар в XX столетии произошел в 1972 году. Метеорологические условия пожароопасного сезона 1972 года резко отличались от предыдущих лет. Лету 1972 года предшествовала малоснежная зима, весна была теплой, сухой и снег сошел ранее обычного. Наибольшая площадь пожаров была в июле и августе. Так, в первые две декады июля преобладала необычайно жаркая и сухая погода с максимальной температурой воздуха в пределах 35...36°C. Количество осадков в июле составило только 18% к норме. В течение этого месяца не было ни одного дождя, который носил бы обложной характер и прошел по всей территории республики.

Август был самым жарким и сухим месяцем 1972 года. Осадков не было. На поверхности почвы температура достигала 45...48°C. Особенностью погоды в августе явились штормовые ветры.

В 2010 году причинами пожаров явилась аномально сухая и жаркая погода (до 40°C) без дождевых осадков, малоснежная зима 2010 года, что привело к быстрому высыханию болот и сильному понижению грунтовых вод и как следствие – к сильному обезвоживанию и усыханию лесной растительности. В дни возникновения лесных пожаров регистрировался сильный порывистый ветер.

На основании данных о границах пожаров составлена карта, на которой видно, что пожары происходят примерно на одних и тех же территориях (рис. 1).

Несмотря на длительную засуху и ураганные ветры, площадь пожаров 1921 года оказалась немного больше площади пожаров 1972 года. Одной из причин более медленного распространения лесных пожаров в 1921 году явилось то обстоятельство, что леса были не сильно расчленены и изрежены, а молодняки занимали меньшую площадь.

Лесовосстановление гарей 1972 г. было произведено в кратчайшие сроки всеми имеющимися силами. К 1987 году были разработаны и освоены все товарные насаждения горельников и полностью проведено облесение гарей. Как и после пожаров 1921 года, недостатком лесовосстановления в 1972 году на сгоревших площадях было создание в основном монокультур сосны. На захрущевленных площадях производилась посадка леса по сплошь обработанной и заправленной гексохлораном почве.

Министерством лесного хозяйства Республики Марий Эл разработана программа «Лесовосстановление гарей 2010 года на 2011-2016 годы» с целью своевременного лесовосстановления площадей, поврежденных пожарами.

По результатам проведенного лесопатологического обследования поврежденных пожарами насаждений выявлена необходимость в проведении санитарно-оздоровительных мероприятий на площади более 40,3 тыс. гектаров, в том числе:

- 21,1 тыс. гектаров погибших насаждений нуждаются в проведении сплошных санитарных рубок;

- 10,8 тыс. гектаров частично поврежденных насаждений – в проведении выборочных санитарных рубок;
- 8,4 тыс. гектаров лесных участков – в проведении расчистки от захламленности и сухойстойной древесины.

2346 гектаров молодняков, поврежденных пожарами, представлены в основном лесными культурами, созданными на гарях 1972 года, на которых необходимо провести трудоемкие и затратные работы по расчистке участков от захламленности.

Согласно плану мероприятий по расчистке и лесовосстановлению гарей 2010 года, утвержденному приказом Министерства лесного хозяйства Республики Марий Эл от 24 сентября 2010 года № 336, и данным лесопатологического обследования поврежденных лесных насаждений, необходимо проведение лесовосстановительных мероприятий на общей площади 23,2 тыс. га, из них путем проведения мероприятий по содействию естественному возобновлению на площади 11,2 тыс. га и путем создания лесных культур на площади 12,0 тыс. га. Это участки сосняков, на которых искусственное лесовосстановление наиболее эффективно, так как естественное возобновление за счет самосева лесных деревьев не обеспечит восстановление хозяйственно-ценных пород. Для этой цели необходимо вырастить посадочный материал в количестве 70 млн. сеянцев и обеспечить заготовку 1,8 тонны лесных семян хвойных пород.

В настоящий момент расчистка сгоревших насаждений произведена на площади 1280 га, посадка лесных культур – на площади 500 га. Вновь созданы в основном чистые сосновые лесные культуры.

При ликвидации последствий лесных пожаров необходимо не только стремиться восстановить сгоревшие площади, но и сделать насаждения устойчивыми к будущим возможным засухам и новым пожарам.

При тушении лесных пожаров летом 2010 г. специалистами лесного хозяйства применялись следующие способы тушения: 1) прокладка опорных заградительных минерализованных полос шириной от 1 до 10 метров на фронтах и по периметру пожара; 2) проведение встречного отжига от опорных минполос; 3) работа на кромке пожара специальной пожарной техникой и ручными инструментами; 4) дотушивание пожара.

При натурном осмотре территории пожаров были обследованы ранее проведенные профилактические противопожарные мероприятия, такие как минерализованные полосы вдоль дорог, вокруг лесных культур, на вырубках и т.д., противопожарные разрывы шириной до 50 метров, противопожарные барьеры, противопожарные заслоны с мягколиственными породами.

На основе анализа распространения лесных пожаров по карте и данных натурного осмотра территорий, поврежденных пожарами, были сделаны выводы, что при аномально сухих и жарких погодных условиях стандартные профилактические противопожарные мероприятия не способны остановить распространение верховых и низовых сильной интенсивности пожаров. Противопожарные заслоны с мягколиственными породами тоже не могут остановить верховой пожар, но могут снизить его интенсивность и перевести его в низовой.

Учитывая малоэффективность стандартных противопожарных мероприятий, считаем, что необходима более тщательная организация территории лесничества в противопожарном отношении, т.е. разбивка каждого квартала на блоки системой созданных противопожарных дорог и противопожарных минерализованных полос. Данный подход позволит сэкономить

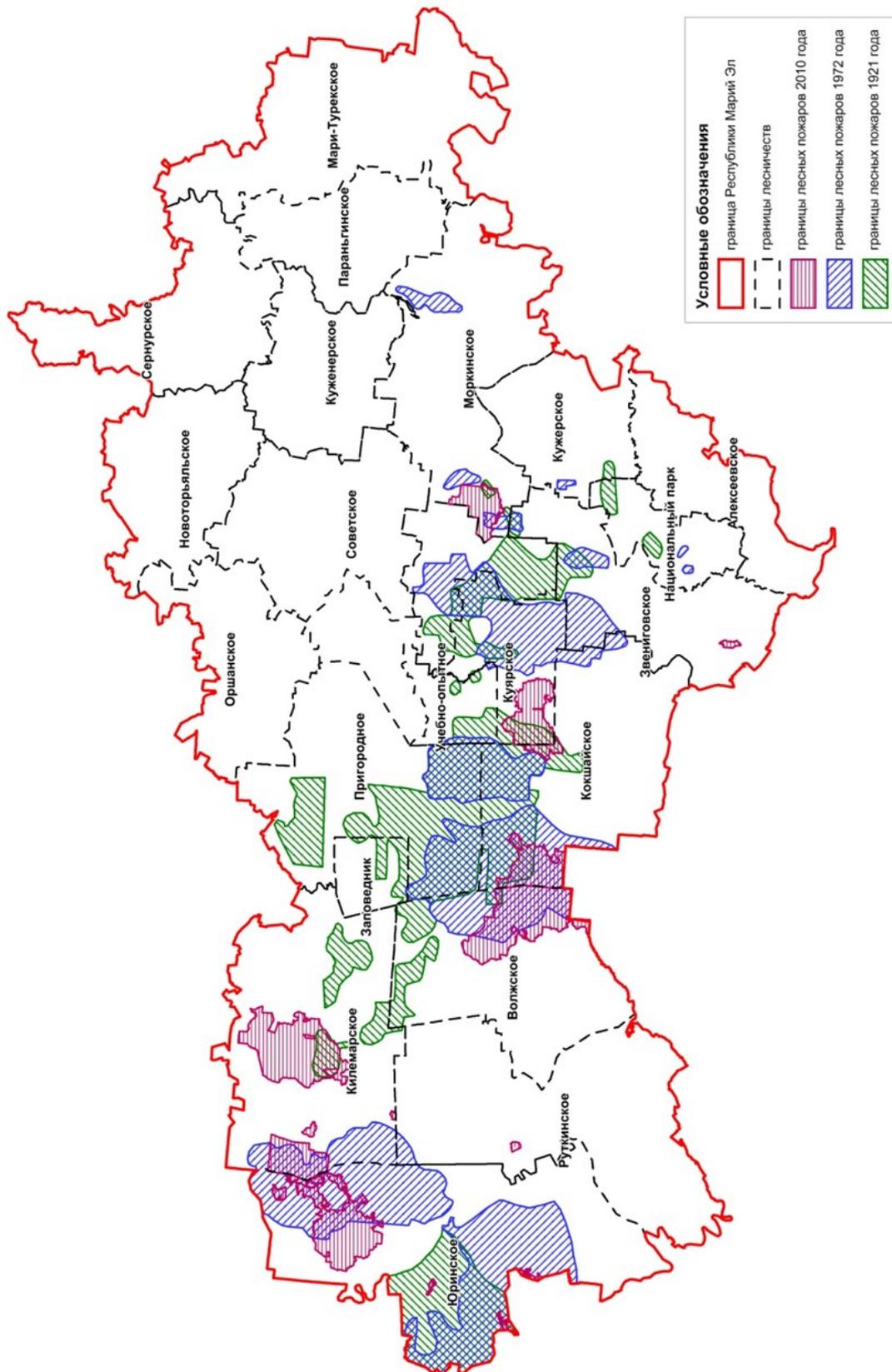


Рис. 1. Карта-схема сравнительного анализа площадей и месторасположений крупных лесных пожаров 1921, 1972, 2010 годов

на создании противопожарных разрывов, барьеров, заслонов, оперативно проводить встречный отжиг в конкретном блоке и тем самым останавливать верховой пожар.

Библиографический список

1. Валендик, Э.Н. Крупные лесные пожары [Текст] / Э.Н. Валендик, П.М. Матвеев, М.А. Софронов. – М.: Наука, 1979. – 198 с.
2. О республиканской целевой программе «Лесовосстановление гарей 2010 года на 2011-2016 годы» [Текст]: постановление правительства Республики Марий Эл от 18 марта 2011 г. № 80 // Собрание законодательства Республики Марий Эл – 2011 – 26 апр. – С. 217. – Прил.: Республиканская целевая программа «Лесовосстановление гарей 2010 года на 2011 – 2016 годы».
3. Проблемы ликвидации последствий лесных пожаров 1972 г. в Марийской АССР [Текст]: сб. докладов и выступлений на выездном заседании секции лесного хозяйства и лесной промышленности научно-технического Совета МВ и ССО СССР, проходившем в Йошкар-Оле с 16 по 21 сентября 1974 года / [редкол.: А.К. Денисов (отв. ред.) и др.]. – Йошкар-Ола: Мар. кн. изд-во, 1976. – 144 с. – Библиогр. в конце докл.
4. Тресцов, Б.И. Марийский лес: очерки по развитию лесного хозяйства и лесных отраслей Республики Марий Эл [Текст] / Б.И. Тресцов. – Йошкар-Ола: Периодика Марий Эл, 1997. – 301 с.
5. Тресцов, Б.И. Опыт борьбы с массовыми лесными пожарами [Текст] / Б.И. Тресцов // Сб. по обмену производств. и научным опытом. – Йошкар-Ола: Марийск. кн. изд-во, 1974.
6. Шлыков, Д.Н. Очерки лесного хозяйства Маробласти / Д.Н. Шлыков. – Краснококшайск, 1927. – 58 с.
7. Юницкий, А.А. Лесоводственная характеристика Марийских горельников [Текст] / А.А. Юницкий – Отд. оттиск из журн. «Известие ПЛТИ». – Йошкар-Ола: Маргиз, 1933. – 82 с.

УДК 630*233:630*5

ЗАРАСТАНИЕ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Г.С. Вараксин¹, А.А. Вайс², Е.М. Байкалов¹

¹Красноярский государственный аграрный университет

²Сибирский государственный технологический университет

ZARASTANIE WOOD VEGETATION OF THE LANDS OF THE AGRICULTURAL PURPOSE

G.S. Varaksin¹, A.A. Vays², E. Baykalov¹

¹Krasnoyarskiy state agrarian university

²Siberian state technological university

Введение. В настоящее время серьезной проблемой сельского хозяйства России являются необрабатываемые земли (залежи), которые в период 1994-1996 года вследствие распада совхозно-колхозной системы оказались брошенными. В Красноярском крае данная проблема стоит достаточно остро.

По данным проверки использования земель сельскохозяйственного назначения в 2006-2010 годах, в Красноярском крае выведены из сельскохозяйственного оборота 1,3 млн. га пашни [1]. Как один из негативных факторов отмечается зарастание залежных земель древесно-кустарниковой растительностью. С лесоводственной точки зрения, этот процесс естественен и соответствует сукцессионному развитию насаждений.

Ю.А. Лютых [2] отмечал, что факт зарастания полей особенно часто наблюдается в подтаёжных и лесостепных районах.

Исследователи Д.И. Люри и др. [8] установили роль залежных земель, особенно в южной тайге, в углеродном балансе и аккумуляции углерода.

Аналитический обзор показал, что залежные земли являются самостоятельной постаграрной сукцессией с характерными для неё процессами развития растительной флоры и биологического баланса углерода.

Материалы и методика исследований. Исследования проводились на залежах в Больше-муртинском районе на старопахотных землях с. Казанка. Заселение древесной растительностью наблюдалось по периметру полей. С южной стороны – возобновление подростом сосны, а на участках, примыкающих к восточной стене леса, состав – смешанное восстановление из сосны, берёзы, ивы. На подрост оказали влияние состав материнского полога прилегающего древостоя и пожары, сформировавшие разнообразный состав молодняка.

Для того чтобы оценить структурные и размерные особенности подрастающей генерации на разном расстоянии от стены леса (25, 50, 105 м), были заложены ленточные площадки. Учёт деревьев проводился по диаметрам стволиков на высоте 1,3 метра. У части деревьев проводились измерения комплекса морфологических показателей: высоты, высоты начала кроны, высоты расположения максимального диаметра кроны, диаметра кроны в двух направлениях (С-Ю, З-В), диаметров стволиков на высоте 1,3 метра. На каждой площадке были взяты модельные деревья для определения годичного прироста в высоту.

В итоге были сформированы выборочные совокупности, достаточные для получения достоверных результатов.

Результаты и их обсуждение. В научной литературе слабо представлены особенности структуры, строения древесной растительности в зависимости от расстояния до стены леса.

Структура. Существуют различные подходы к изучению этого понятия. Так, Д.М. Шмивеля [11] указывал, что структура сообщества прежде всего связана с распределением фитомассы, и различал три компонента пространственной структуры:

- вертикальную структуру, выражающуюся в ярусном сложении;
- горизонтальную структуру, характеризующуюся распределением особей или их группировок на территории;
- обилие каждого вида как синтез количества видов на единице площади, их покрытия, сухого веса надземной части и площади оснований растений.

Принимая во внимание используемый автором подход, получена таблица динамики структуры молодняков в зависимости от удалённости от стены леса (табл. 1).

Динамика процесса зарастания молодняком сосны позволяет выявить следующие закономерности структуры. За 15-летний период около стены леса (25 м) произошло смыкание крон деревьев, что привело к омертвлению травянистого покрова и процессу естественного изреживания. По мере удаления от стены леса горизонтальная структура менялась от сплошного зарастания (до 50 м) до группового размещения (105 м) и единичных деревьев (150 м).

Строение. В.Ф. Лебков [12] понимал под структурой состав и пространственное расположение элементарных частей, на которые расчленяется древостой и которые находят выражение в особенностях рядов распределения стволов по основным таксационным показателям. В большинстве исследований изучение строения ограничивается построением рядов распределений по диаметру.

Структурные особенности молодняков в зависимости от расстояния до стены леса

Номер участка	Состав молодняка	Расстояние до стены леса, м	Число особей, шт.*га ⁻¹	Сумма площадей сечений, м ² *га ⁻¹	Размещение
1	Чистый	25	С-6182	24,79	Сплошное зарастание
2	Чистый	50	С-9465	17,00	Сплошное зарастание
3	Чистый	105	С-2154	2,98	Биогруппа
4	Смешанный	150	С-4600	6,79	Сплошное зарастание
			Б-3600	4,14	
			Ив-300	0,27	
5	Смешанный	180	Б-3700	6,66	Сплошное зарастание
			Ив-900	1,13	

Динамика строения с учётом структурных особенностей (рис. 1) показывает следующее: на расстоянии 25 м ряд распределения растянут с выраженной правой асимметрией ($A=0,554$) (отпад тонкомерных стволиков); на расстоянии 50 м вариация диаметров менее выражена с уменьшением асимметрии ($A=0,358$); на расстоянии 105 м распределение практически «нормальное» ($A=0,049$).

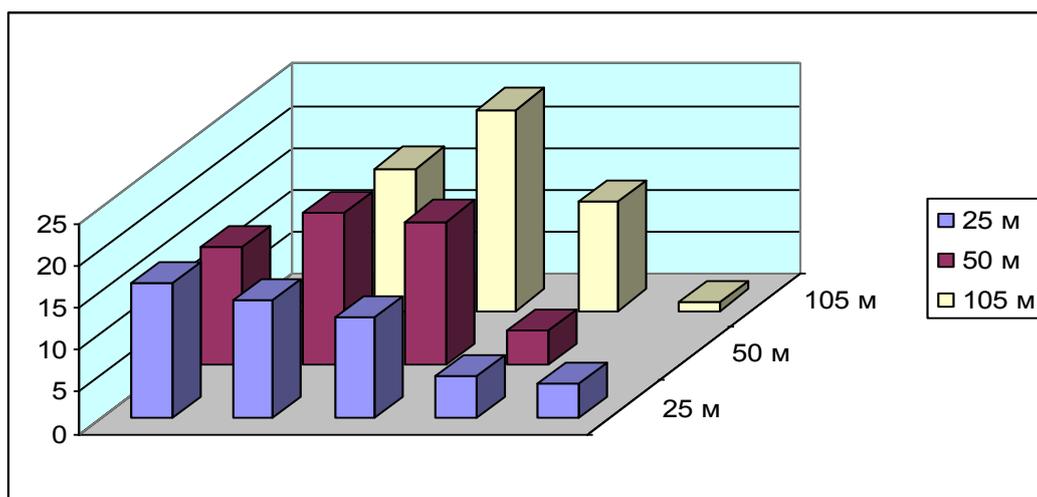


Рис. 1. Строение молодняков сосны по диаметрам стволиков с учётом расстояния от стены леса

Выявленная закономерность заключается в том, что свободно растущие деревца и растения в биогруппах имеют нормальное распределение по диаметру, при выраженных процессах конкуренции за минеральное питание, свет и влагу строение становится асимметричным с увеличением вариации по диаметрам.

Морфологическая характеристика особей. Структурные особенности молодняков, строение по различным показателям оказывают влияние на размерные показатели растений. С целью выявления существующих различий был выполнен статистический анализ морфологических признаков деревьев (табл. 2).

Морфологические показатели древесных растений на залежных землях

Номер участка	Площадь, га	Состав	Возраст, лет	Средневзвешенное		Среднеарифметическое				$t_{\phi} > t_{0,05} = 3,04$
				$d_{1,3}$, см	H, м	ННК, м	НМК, м	$d_{с-ю}$, м	$d_{з-в}$, м	
1	0,00825	10С	15	7,1	6,0	2,8	3,8	2,5	2,5	6,6-19,3
2	0,00560	10С	15	4,8	4,2	1,6	2,2	1,7	2,0	6,4-22,0
3	0,02600	10С	15	4,2	3,5	0,3	1,2	1,3	1,2	8,3-17,9
4	0,01000	6С4Б+ Ив	10	С-4,3	4,0	0,5	1,4	1,8	1,7	6,5-15,6
				Б-3,8	5,0	0,6	2,0	1,5	1,5	4,3-9,8
				Ив-3,4	-	-	-	-	-	-
5	0,01000	8Б2Ив	10	Б-4,8	6,3	1,6	3,8	1,6	1,6	6,2-32,1
				Ив-4,0	-	-	-	-	-	-

Размерные показатели также имеют чёткую закономерность изменения в зависимости от расстояния до стены леса. С увеличением расстояния уменьшаются размеры деревьев сосны по диаметрам, высотам и диаметрам кроны. Форма кроны становится конусовидной. Полученные результаты достоверны для $t_{0,05} = 3,04$.

Ход роста. Динамика размеров деревьев позволяет установить временные изменения в линейной величине. Основным показателем, на основе которого определялась динамика роста, являлся прирост в высоту. Общая тенденция указывает на постепенное выравнивание прироста особенно в последние годы и уменьшение прироста по мере удаления от стены леса (рис. 2).

Сукцессионное развитие залежных земель. Сукцессионный подход позволяет разработать более достоверный прогноз развития постаграрных ценозов.

Заключение. В результате проведённых исследований были получены следующие выводы:

- залежные земли являются отдельной категорией со специфичным развитием растительности;
- процесс зарастания старопахотных земель происходит волнообразно, достигая максимума вблизи от стены леса и постепенно затухая. Размещение особей меняется от сплошного зарастания (до 50 м) к биогруппам (105 м) и единичным растениям (150 м);

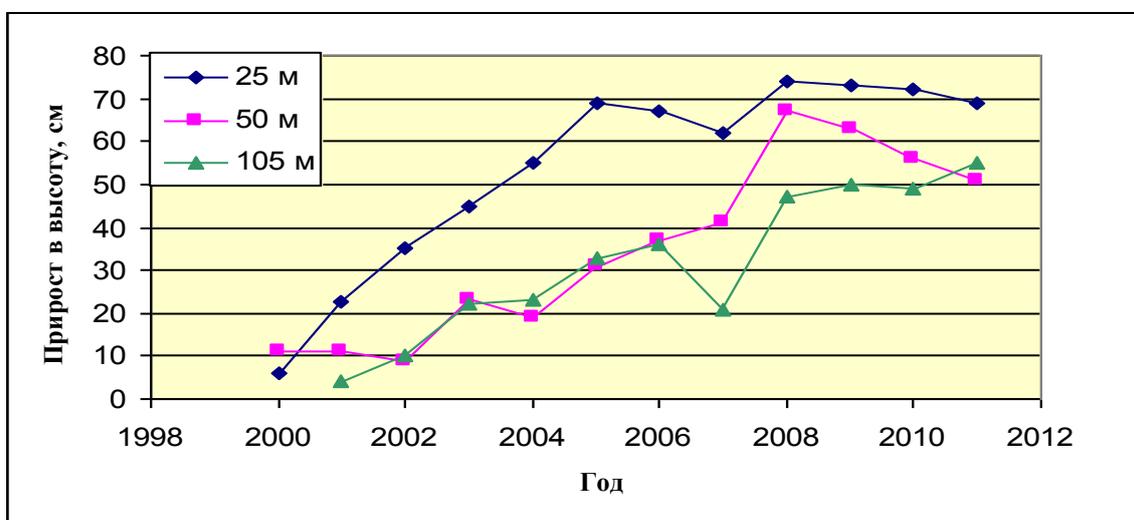


Рис. 2. Годичный прирост в высоту деревьев сосны в зависимости от расстояния до стены леса

в) анализ строения показал, что по мере удаления от стены леса распределение по диаметрам меняется от правоасимметричного при сплошном зарастании к «нормальному» для единично расположенного молодняка сосны;

г) с увеличением расстояния от стены леса уменьшаются размеры деревьев сосны по диаметрам, высотам и диаметрам кроны; форма кроны становится конусовидной;

д) общая тенденция годового прироста в высоту указывает на постепенное выравнивание прироста особенно сосны в последние годы и уменьшение прироста по мере удаления от стены леса;

ж) выявлено три возможных варианта зарастания древесно-кустарниковой растительностью залежных земель в южной подзоне Средней Сибири:

- 1) сукцессия соснового восстановления (С);
- 2) сукцессия смешанного восстановления (С, Б, Ив);
- 3) пирогенная сукцессия (Б, Ив).

Таким образом, часть залежных земель, безусловно, будет выведена из сельскохозяйственного пользования, и восстановление растительности на данной категории будет проходить по одному из выявленных сценариев.

Библиографический список

1. Заключение по результатам проверки использования земель сельскохозяйственного назначения в Красноярском крае в 2006-2010 годах [Электронный ресурс] – URL.: <http://www.chamber.krsn.ru/new/protospite.nsf/5.10.2012>.

2. Лютых, Ю.А. Совершенствование организации использования сельскохозяйственных земель [Электронный ресурс]/ Ю.А. Лютых. – URL: <http://www.kgau.ru/img/conference/1.doc> – 4.10.2012.

3. Люри, Д.И. Депонирование атмосферного углерода залежными землями России / Д.И. Люри и др. // География продуктивности и биогеохимического круговорота наземных ландшафтов: материалы конф. – М.: Институт географии РАН, 2010. – С. 73-74.

УДК 630*

ВЛИЯНИЕ ЗАСУХИ 2010 ГОДА НА ВОССТАНОВЛЕНИЕ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ В ПЕНЗЕНСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

Н.В. Демичева¹, С.А. Денисов²

¹Министерство лесного, охотничьего хозяйства и природопользования
Пензенской области

²Поволжский государственный технологический университет

INFLUENCE OF DROUGHT OF 2010 ON PINUS FOREST REFORESTATION IN THE PENZA FOREST-STEPPE

N.V. Demicheva¹, S.A. Denisov²

¹Ministry of Forestry, Hunting and Nature Management of the Penza region

²Volga State Technological University

Сосна обыкновенная в Среднем Поволжье представлена высокопродуктивными лесами на всем протяжении от Костромской тайги до Пензенской лесостепи. На внутреннем потребительском рынке Пензенской области сосновые леса являются основным источником высоко-

товарной древесины. Вырубленные сосновые леса здесь восстанавливаются исключительно за счет лесных культур. Это объясняется трудностями естественного возобновления сосны в лесостепной зоне. Частота засух здесь более 20% [1]. В публикациях об устойчивости сосны к обезвоживанию указывается, что она обусловлена наследственно, передается потомству при семенном и вегетативном размножении [2], а также проявляется на географическом, популяционном и индивидуальном уровнях [3]. Показано, что селективная смертность, вклад инбридинга и засухоустойчивых форм увеличиваются пропорционально силе погодного стресса, что ведет к перераспределению генотипов в генофонде семян в направлении адаптации их состава к климатическим условиям своего года [4]. Все это свидетельствует о сложности создания лесных культур сосны, устойчивых к засухам.

Нами предпринята попытка выявить влияние засухи 2010 года на состояние подроста сосны и лесные культуры в сосняках травяно-мшистых с целью дать рекомендации по смягчению негативных последствий засух на процессы лесовосстановления в лесном фонде Пензенской области.

Методикой были предусмотрены: анализ температуры поверхности почвы во время засухи, а также влагообеспеченности почв на площадях сплошных, равномерно-постепенных и группово-постепенных рубок в Траханиотовском лесничестве; проведение сплошного учета подроста на круговых площадках, радиусом 1,78 м, на площадях вырубок и под пологом сосняков травяно-мшистых и зеленомошных. Проводились замеры возраста, высоты, приростов за 2009 и 2010 год каждого экземпляра подроста сосны. Влажность почвы изучалась весовым методом в трех повторностях. Для обработки материалов использовался пакет описательной статистики Microsoft Excel.

Объектом исследования являлись сосняки травяно-мшистые (ТЛУ А₂ свежий бор) Кададинского лесничества. Работы велись в Индерском и Траханиотовском участковых лесничествах. Было заложено 11 пробных площадей, с перечетом подроста на 216 учетных площадках. Измерены годовые приросты 497 экземпляров подроста.

Измерение температуры поверхности песчаных почв и нижележащих горизонтов на сплошных вырубках на открытой поверхности песчаных почв показало, что температура их имеет значительный перепад температур на глубине от 0 до 10 см. Глубже 10 см температура почвы изменяется незначительно. Так, на поверхности почвы (0 – 0,5 см) температура составила в 13 часов +60,2°C, на глубине 2,0 см – +39°C и на глубине 10 см – уже +25,4°C. Длительность поддержания крайне высоких (более 60°C) температур на поверхности почвы является решающим фактором в повреждении камбия и гибели самосева и всходов сосны. В наших наблюдениях такая температура при безоблачном небе длилась более трех полуденных часов.

В процессе изучения влияния засухи 2010 года на состояние подроста и лесных культур учитывались на пробных площадях экземпляры подроста и деревьев в лесных культурах, имеющие усохшую желтую хвою без признаков фитопатогенного поражения.

Нами проведено обследование лесных культур сосны в Индерском лесничестве кв. 27 выд. 34 (рис. 4.16), созданных в 2000 году на склоне северной экспозиции в лесорастительных условиях А₂-В₂ (площадь 4,2 га, ширина междурядий 3 м, шаг посадки – 0,4 м; количество посадочных мест – 10 тыс. шт./га, направление рядов – с севера на юг). Северная часть выдела расположена в самом низком месте. Южная часть возвышается над северной на 12 метров. Это не могло не сказаться на состоянии сосны в экстремальную засуху (табл. 1).

Соотношение сосны в культурах по степени жизнеспособности в результате засухи 2010 года

Показатель	Части склона		
	нижняя	средняя	верхняя
Всего учтено растений	331	349	385
из них:			
поврежденных	25	52	47
погибших	29	89	161
здоровых	277	208	176
<i>Доля жизнеспособных</i>	<i>0,84</i>	<i>0,60</i>	<i>0,46</i>

Простой линейный (в рядах) учет сосны свидетельствует, что её местоположение на склонах оказывает влияние на выживаемость, что согласуется с распределением влаги по склонам на глубоководных грунтах [5]. В нижней части склона влагообеспеченность значительно лучше. С подъемом вверх по склону меняется и тип лесорастительных условий от В₂ через А₂ к А₁₋₂. Отсутствие затеняющего сплошного полога усилило прогрев поверхности почвы и её иссушение.

Обследование прямоугольной сплошной вырубki 2002 года (кв. 66 вид. 32 Индерского лесничества) проведено по четырем местоположениям для выявления влияния окружающей обстановки на состояние подростa сосны. Учеты состояния подростa проводились по категориям: жизнеспособные, поврежденные и усохшие (табл. 2). Заметно различие в сохранности подростa в зависимости от местоположения участков. При этом наблюдается явная тенденция к большей сохранности в условиях затенения либо кронами деревьев у стены леса (№ПП2), либо лиственным подростом на волоке (№ПП3). Освещенные в течение дня участки вырубki: юго-западный угол вырубki (№ПП1) и северо-западная часть вырубki (№4) получают большее количество солнечного тепла, что приводит к гибели почти половины всего имеющегося на этих участках подростa сосны.

Таблица 2

Распределение подростa по местоположению на сплошной вырубке

№ ПП	Местоположение	Всего учтенного подростa, тыс.шт./га	Количество	<u>тыс.шт./га</u> %%
			живых	усохших
1	Юго-западный угол вырубki	2,16	1,0 / 46	1,16 / 54
2	Юго-восточная опушка вырубki	1,98	1,8 / 91	0,18 / 9
3	Волок	1,27	0,95 / 75	0,32 / 25
4	Северо-западная часть вырубki	2,00	0,9 / 45	1,1 / 55

Необходимо отметить, что снижение температуры поверхности почвы возможно при наличии ветра, как агента теплопереноса. Отсутствие его на отдельных частях вырубki также может привести к гибели имеющегося подростa.

Таковыми участками являются ограниченные со всех сторон территории: либо стенами леса, либо стеной леса и высоким густым лиственным подростом/молодняком. Это явление можно сравнить с происхождением радиационных заморозков, но с противоположным вектором направленности теплового воздействия.

Высоты и приросты подроста на вырубке по местоположениям имеют тенденцию к различиям по высоте и приростам (табл. 3). Однако высоты жизнеспособного и усохшего подроста на каждом из местоположений статистически не различаются. Значительные колебания высоты подроста на участках различных категорий также не позволили доказать статистически достоверные различия высот за исключением юго-восточной опушки вырубki ($t \geq 3$ во всех случаях).

Таблица 3

**Средние показатели жизнеспособного и усохшего подроста сосны
(над чертой – живые, под чертой – усохшие)**

№ ПП	Местоположение (категория участка)	Средняя высота, см	Средний возраст, лет	Прирост за 2010 год, см	Прирост за 2009 год, см
1	Юго-западный угол вырубki	$73,1 \pm 6,09$ $45,0 \pm 2,88$	$6,84 \pm 0,17$ $6,51 \pm 0,20$	$10,1 \pm 1,0$ $7,91 \pm 0,65$	$17,20 \pm 0,68$ $13,53 \pm 0,82$
2	Юго-восточная опушка вырубki	$31,71 \pm 1,51$ $30,78 \pm 1,39$	$5,31 \pm 0,13$ $5,31 \pm 0,12$	$5,62 \pm 0,41$ $5,62 \pm 0,46$	$9,27 \pm 0,51$ $8,98 \pm 0,50$
3	Волок	$73,39 \pm 5,45$ $72,06 \pm 5,72$	$5,94 \pm 0,13$ $5,90 \pm 0,13$	$13 \pm 0,85$ $12,84 \pm 0,9$	$14,60 \pm 0,96$ $14,42 \pm 1,00$
4	Северо-западная часть вырубki	$69,1 \pm 7,03$ $54,0 \pm 8,23$	$6,99 \pm 0,14$ $6,01 \pm 0,10$	$9,88 \pm 0,69$ $9,63 \pm 0,64$	$15,76 \pm 0,87$ $14,59 \pm 0,83$

Обследование постоянных пробных площадей с проведенными рубками в Траханиотовском лесничестве показало, что форма рубок влияет на выживаемость подроста. Однако здесь надо учитывать ряд факторов – это не только засуха 2010 года, но наличие подстилки (укоренение в ней и элиминация всходов вследствие пересыхания субстрата), корневая конкуренция материнского древостоя и лимитирующее влияние полога древостоя на свет.

Измерив влажность и температуру почвы на разной глубине почвенного профиля, рассмотрим некоторые закономерности их динамики в связи с формами проведенных рубок (рис. 1). На участке сплошной рубки (СР) влажность почвы увеличивается сверху вниз практически по прямолинейной зависимости. Отсутствие корневых систем древостоя определяет повышенную по сравнению с остальными секциями влажность почвы на глубинах более 10 см. На глубине 90 см на данной секции зафиксировано самое высокое значение влажности почвы.

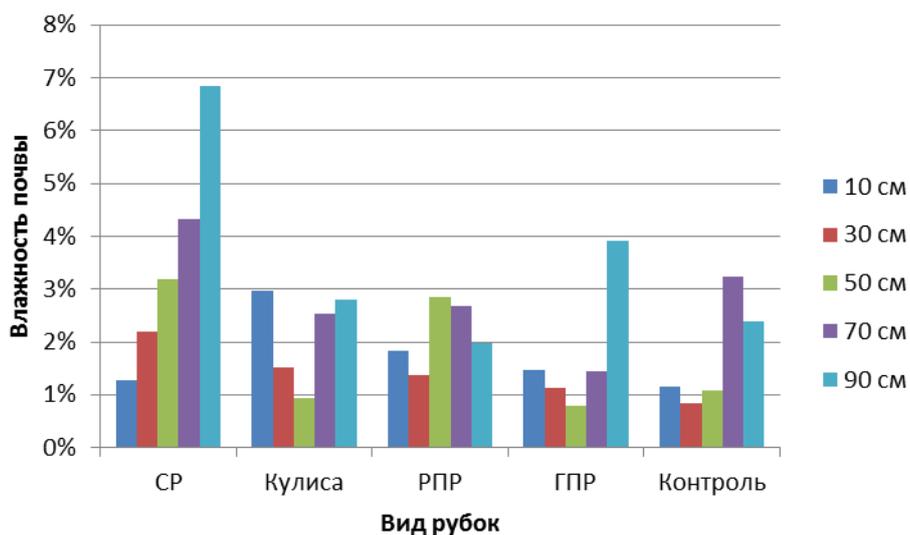


Рис. 1. Влажность почвы на участках разных форм рубок сосняка брусничного Кададинского районного лесничества (Траханиотовское участковое лесничество, кв. 114 выд. 43)

В кулисе освещенность увеличивается за счет бокового притока света: с северной стороны от сплошной рубки и за счет равномерно-постепенных с южной стороны. Древетой на данной секции не тронут рубками, полог не изрежен. Прямого дополнительного освещения поверхности почвы нет. Поэтому влажность верхних горизонтов в три раза выше, чем на вырубке. На глубине около 30 – 50 см влажность снижается. На этой глубине располагается основная масса активной части корневой системы, отмечен водоупор в виде каменисто-щебенчатой прослойки мощностью около 30 см.

На секциях *равномерно-постепенной рубки* (РПР) и *группово-постепенной рубки* (ГПР) в верхнем почвенном горизонте наблюдается большее содержание влаги по сравнению со сплошными рубками. Для успешности естественного возобновления сосны здесь важна влажность верхних горизонтов почвы, влияющая на выживаемость еще неглубоко укоренившихся всходов и самосева [6, 7]. Наиболее благоприятные условия по влажности складываются для подроста в кулисе, что подтверждено большей выживаемостью здесь подроста. Минимальная влажность начала прорастания семян сосны составляет 2..3% [8], но кратковременные засухи являются летальными для проростков [9].

При замене естественных популяций сосны на лесные культуры, что активно делается в Пензенской области на протяжении последних 60 лет, можно резко снизить устойчивость лесных культур к засухам (котов и др) и способность сосновых насаждений к естественному возобновлению при хроническом дефиците влаги в почве. Так, в 2010-2011 годах по Пензенской области в результате засухи списано лесных культур на площади более 2,3 тыс. га. Наибольшие площади погибших культур относятся к годам создания с 2005 по 2010, что соответствует возрасту посадочного материала от 2 до 7 лет.

Выводы

Климатические условия Пензенской области способствуют иссушению верхних горизонтов песчаных почв на сплошных вырубках сосняков лишайниковых и брусничных, что создает тяжелые условия для восстановления сосняков. Повторяющиеся засухи приводят здесь к гибели подрост и лесные культуры в возрасте до 7 лет, что обусловлено формированием корневых систем в верхних слоях почвы. На сплошных вырубках жизненно важный для всходов и самосева верхний 10-сантиметровый слой почвы имеет влажность ниже коэффициента завядания (1%).

Причиной гибели всходов и самосева является прямая избыточная солнечная радиация, вызывающая сильный прогрев почв и ожог корневой шейки. На гибель подрост сосны в условиях сплошных вырубок на легких почвах влияет прямая солнечная радиация и окружение стенами леса, которые препятствуют теплообмену (движению воздуха).

Рельеф оказывает косвенное влияние на выживаемость подрост во время засухи. Минимальная гибель подрост и экземпляров сосны в культурах происходит в нижней части склонов на легких почвах и максимальная – в верхней части склона, что связано, в первую очередь, с перераспределением влаги.

При лесовосстановлении, учитывая высокую вероятность засух, следует отказаться от сплошных рубок в сосняках борového и суборového рядов и перейти к выборочным рубкам средней интенсивности во избежание избытка солнечной радиации. Заключительный прием рубок должен проводиться при достижении подростом 7...8 лет.

Сплошные рубки должны быть ограничены по ширине лесосек до 25 метров. При этом следует строго выдерживать направление лесосек с востока на запад при чересполосном при-

мыкании. При создании лесных культур ряды нужно направлять с востока на запад, а почву в обязательном порядке мульчировать.

Библиографический список

1. Колобов, Н.В. Климат Среднего Поволжья / Н.В. Колобов. – Казань: КГУ, 1968. – 252 с.
2. Котов, М.М. Изменчивость сосны обыкновенной по адаптивным признакам в связи с условиями произрастания / М.М. Котов // Лесоведение. – 1997. – № 3. – С. 51-60.
3. Наквасина, Е.Н. Дегидратация хвои сосны обыкновенной в географических культурах Архангельской области / Е.Н. Наквасина // Изв. вузов. «Лесной журнал». – 2002. – №6. – С. 15-20.
4. Кузнецова, Н. Ф. Чувствительность генеративной сферы сосны обыкновенной к засухе/ Н.Ф.Кузнецова // Лесоведение. – 2010. – №6. – С. 46-53.
5. Погребняк, П.С. Основы лесной типологии / П.С.Погребняк; АН УССР. – Киев, 1955. – 456 с.
6. Демичева, Н.В. Выживание самосева сосны при дефиците влаги в сосняках брусничных Пензенской области/ Н.В. Демичева, С.А. Денисов. // Сборник научных трудов SWorld: материалы международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований 2012». –Т. 2, вып. 1. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2012. – С.38-41. – URL: <http://www.sworld.com.ua/index.php/ru/agriculture-112/agriculture-animal-husbandry-and-forestry-112>.
7. Денисов, С.А. Проблемы воспроизводства сосновых лесов Среднего Поволжья / С.А.Денисов, К.К. Калинин, В.П. Бессчетнов и др. // Вестник МарГТУ. Сер. «Лес. Экология. Природопользование». – 2012. – №1. – С. 12-23.
8. Санников, С.Н. Экология естественного возобновления сосны под пологом леса / С.Н. Санников, Н.С.Санникова. – М.: Наука, 1985. – 152 с.
9. Злобин, Ю.А. Численность и размещение подроста на площадях возобновления / Ю.А. Злобин // Ботан. журн. – 1972. – Т. 57, №6. – С.632-634.

РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ЛЕСОВ ОТ ПОЖАРОВ В РЕСПУБЛИКЕ МАРИЙ ЭЛ

А.М. Ерицов¹, В.П. Асовский²

¹Всероссийский институт повышения квалификации работников лесного хозяйства

²ОАО НПК ПАНХ

DEVELOPMENT OF FOREST FIRE MANAGEMENT SYSTEM IN REPUBLIC MARI EL

A.M. Eritsov¹, V.P. Asovsky²

¹All Russian Institute of Continuous Education in Forestry

²ОАО НПК Pankh

Одним из основных факторов, влияющих на состояние и динамику лесных экосистем, являются природные пожары. В начале XX века почти 50% суши земного шара было занято лесами, к 1950 году эта площадь уменьшилась в 2 раза, а к началу XXI века составляла всего около 20%. Бурное развитие экономики в XX веке, рост численности населения, а соответственно, и освоение новых территорий привели к появлению значительных источников огня в природе по антропогенным факторам. Количество пожаров в России постоянно увеличивается и составляет в среднем около 20 тысяч пожаров в год с пройденной огнем площадью 1,5-10 млн.га. Проблема пожаров была и есть одной из наиболее сложных не только для лесного хозяйства, но и для экономики страны в целом и ее отдельных регионов.

Особую значимость лесные пожары имеют в Республике Марий Эл, в которой традиционно наблюдается повышенная горимость лесов. Этому способствуют лесорастительные усло-

вия, благоприятные для распространения огня, и большая посещаемость лесов населением, по чьей вине возникает большинство пожаров. В отдельные годы имеет место высокая грозовая активность. Около 60 % территории республики занимают леса на площади 1,3 млн. га. В среднем ежегодно за последние 5 лет возникало около 200 пожаров, площадь которых в среднем составляет 14,7 тыс. га. Однако в 1921, 1972 и 2010 годах в республике устанавливалась аномальная погодная обстановка и высокая горимость. Таким образом, в регионе с интервалом в 40- 50 лет возникают катастрофические лесные пожары. За пожароопасный сезон 2010 года на территории республики возникло 472 лесных пожара на площади 74.9 тыс. га. Из общего количества лесных пожаров 32 пожара перешли в категорию крупных. Общая площадь ликвидации данных крупных лесных пожаров составила 70198,0 га. С 26 июня по 22 августа в республике не было осадков, температура воздуха превышала 30 градусов. Комплексный показатель пожарной опасности по шкале Нестерова по состоянию на 22 августа составил 34916 единиц. В 1921 и 1972 годах пройденная огнем площадь составила около 180 тыс. га [1].

Ситуация с организацией и функционированием системы охраны лесов от пожаров, сложившаяся в настоящее время в России после принятия нового Лесного кодекса, достаточно сложная. Каждый регион по своему усмотрению организывает переданные полномочия, возлагая выполнение работ по тушению пожаров на специализированные бюджетные или автономные учреждения. Работы также могут выполняться на основании конкурсных процедур в установленном порядке в соответствии с федеральным законом 94 ФЗ от 21.07.2005, если в регионах не созданы специализированные учреждения. Кроме того, деятельность по тушению лесных пожаров с 2012 года подлежит лицензированию, что усложнило привлечение дополнительных сил и средств пожаротушения в регионах. Межрегиональное маневрирование силами и средствами возможно в настоящее время только на основании договоров между специализированными учреждениями в рамках предпринимательской деятельности и только в условиях, когда вводится режим ЧС регионального уровня, что дает право заключать договоры без проведения конкурсных процедур.

Несмотря на это, представляется, что и в рамках существующей системы имеются вполне конкретные наработки и реальные перспективы совершенствования системы охраны лесов, в т.ч. в региональном аспекте. К таким перспективным путям, по нашему мнению, относятся :

- расширение объемов и повышение эффективности использования существующих и перспективных систем космического мониторинга лесопожарной обстановки в регионе;
- развитие системы грозопеленгации;
- оптимизация схем применения имеющихся в регионе средств обнаружения и тушения лесных пожаров с учетом региональных особенностей и возможностей;
- совершенствование методов, средств и технологий тушения пожаров и их внедрение в практику охраны лесов.

Повышение эффективности использования существующих и перспективных систем космического мониторинга лесопожарной обстановки в регионе

Одной из систем космического мониторинга лесопожарной обстановки в регионах может стать разработанная с участием ИКИ РАН, ЦЭПЛ РАН, ООО «ИНКОМ» и ФБУ «Авиалесоохрана» и находящаяся в промышленной эксплуатации с 2005 года Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров (ИСДМ-Рослесхоз), которая по-

стоянно расширяет возможности по прогнозированию развития пожарной опасности в лесах по условиям погоды, обнаружению пожаров, проведению анализа развития лесных пожаров и разработке оперативных мер.

Система также позволяет анализировать применение сил и средств пожаротушения и сопоставление сведений, предоставляемых уполномоченным органом власти в области лесных отношений с данными дистанционного мониторинга. В рамках информационной системы функционирует блок регистрации молниевых разрядов, что позволяет с высокой точностью регистрировать грозовую активность и проводить мониторинг этих районов с целью своевременного обнаружения и тушения возникающих пожаров.

Данные дистанционного зондирования земли со спутников Ресурс-ДК, Метеор, NOAA, TERRA, AQUA, SPOT, инструментальные данные о грозовой активности являются основным, но не единственным источником первичной информации. В систему поступают оперативные и статистические отчёты с региональных диспетчерских пунктов. Принимается большой поток данных со всех сертифицированных метеостанций Российской Федерации. Для аналитической обработки используются различные тематические архивы.

Основные характеристики ИСДМ-Рослесхоз [2]:

- Нижняя граница устойчивой регистрации лесных пожаров 50 га. Измерение площади, пройденной огнём, в оперативном режиме можно производить, начиная с 200 га, при этом погрешность не превышает 30%, а на пожарах более 1000 га (при отсутствии облачности) – не более 5%.
- Оперативность регистрации загораний от 4 до 12 часов.
- Точность определения координат от 500 м до 1000 м.
- Погрешность оценки пройденной огнём площади на пожарах от 150 до 1000 га (при отсутствии облачности) – не более 30%.

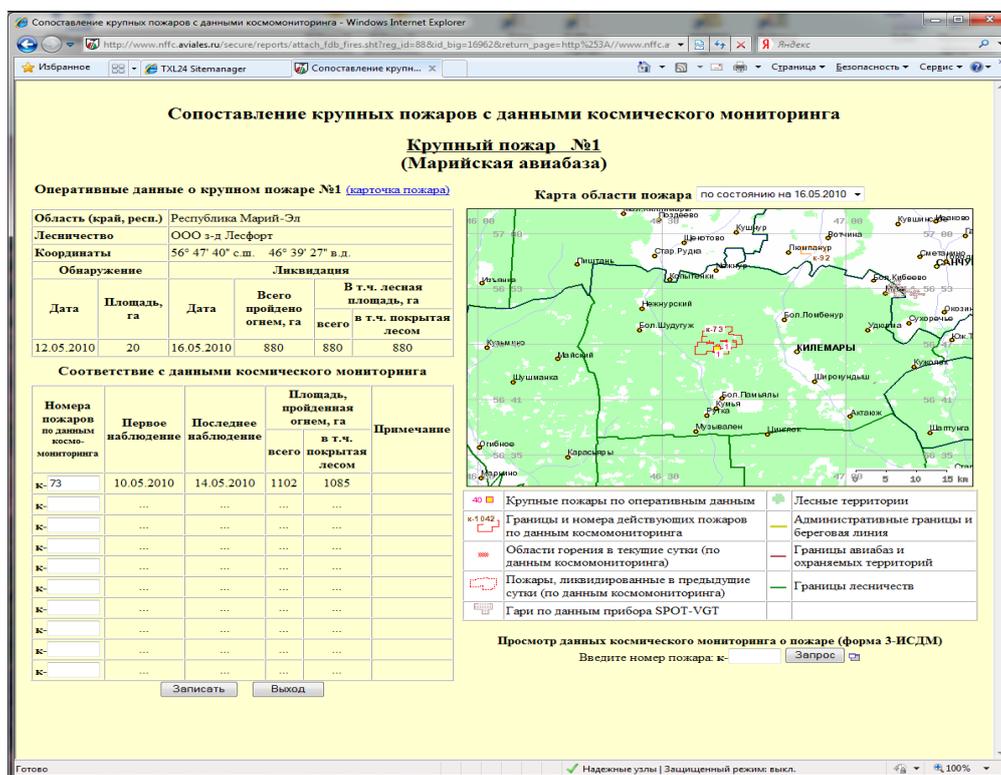


Рис. 1. Возможности ИСДМ-Рослесхоз по сопоставлению данных космического мониторинга с информацией диспетчерской службы

В настоящее время разработана технология комплексного использования спутниковых изображений и данных наземных обследований для оценки повреждений лесов пожарами. Разновременные спутниковые данные позволяют уточнять площади пожаров, оценивать степень повреждения огнем лесной растительности, выявлять гари и погибшие насаждения, оценивать состояние и динамику лесовосстановительного процесса. Система позволяет сопоставлять отчетные данные диспетчерских служб с данными космического мониторинга при тушении крупных лесных пожаров (рис. 1).

Информационной системой крупный пожар был зарегистрирован 10 мая 2010 года на общей площади 132 га, пройденная огнем площадь составила 1102 га, в т.ч. 1085 га покрытая лесом [7]. По данным диспетчерской службы Республики Марий Эл, пожар зарегистрирован 12 мая на площади 20 га и ликвидирован 16 мая 2010 года на площади 880 га, покрытой лесом. Таким образом, пожар был зарегистрирован через два дня после его регистрации космическими методами. Данные о пройденной огнем площади требуют проведения дополнительных замеров наземными и авиационными средствами. Подобные временные и пространственные расхождения зафиксированы и по другим крупным пожарам в республике в 2010 году. Для своевременного обнаружения лесных пожаров целесообразно также развивать в республике сеть камер видеонаблюдения в наиболее горимых районах.

Развитие системы грозопеленгации

В 2010 году в Республике Марий Эл 3 крупных пожара возникли по причине гроз. Пройденная ими площадь, покрытая лесом, составила 24215 га, что составляет 32 % пройденной всего пожарами площади. В Йошкар Оле с 2007 года установлена станция регистрации молниевых разрядов и включена в подсистему ИСДМ Рослесхоз. Появление новой станции в регионе позволяет с высокой вероятностью определять районы активности молниевых разрядов для усиленного их патрулирования с целью своевременного обнаружения и тушения возникающих пожаров. Функционирование подсистемы регистрации молниевых разрядов основано на регистрации станциями грозопеленгации электромагнитного излучения, генерируемого молниевыми разрядами в нескольких пространственно разнесенных пунктах регистрации (ПР).

В каждом пункте регистрации измеряются направление на молниевый разряд (F_i), время приема сигнала и его параметры. Результаты измерений по каждому молниевому разряду (МР) передаются в центр сбора и обработки данных (ЦСОД), где производится расчет координат и параметров.

Координаты МР рассчитываются пеленгационным методом - по пересечению пеленгов из двух и более ПР, и уточняются разностно-дальномерным (гиперболическим) методом – по пересечению гипербол, образованных разностью времен приема сигналов (dt) в трех и более ПР (рис.2).

По каждому МР формируется сообщение, содержащее следующие данные: время возникновения; географические координаты; погрешность расчета координат МР; сила и направление тока.

Обмен данными между ПР и ЦСОД осуществляется с помощью системы связи на основе сети Интернет. Объем дан-

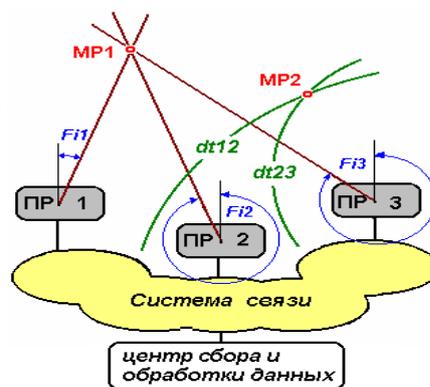


Рис.2. Схема регистрации молниевых разрядов

ных, передаваемых из каждого ПР в обрабатывающий центр, составляет 500...1000 кбайт в сутки в зависимости от интенсивности грозовой деятельности. Для обмена данными используются стандартные межсетевые протоколы ТСР/ПР.

Система регистрации молниевых разрядов в России на этапе эксплуатации в 2010 году включала в себя центр сбора и обработки данных и 28 пунктов регистрации, удаленных друг от друга на расстояния 500 – 1500 км, которые позволяют регистрировать молниевые разряды "облако-земля" с погрешностью местоопределения не более 1,5 км на территории 9,8 млн. кв. км и с погрешностью не более 10 км на территории 18,2 млн. кв. км. Пункты регистрации оснащены автоматическими приемными станциями грозопеленгации «Веряя-МР». Обмен данными в системе и доступ потребителей к выходной информации осуществляются с использованием сети Интернет [6].

Данные о молниевых разрядах поступают в ИСДМ Рослесхоз в виде прикрепленных файлов по электронной почте. В соответствии с регламентом данные передаются круглосуточно с периодичностью 2 часа, каждая отправка содержит данные за предшествующий 2-часовой интервал, а в конце суток передается файл, содержащий данные за сутки.

Таким образом, учитывая регистрацию указанных трех крупных пожаров в Республике Марий Эл, возникших от гроз на площади около 15 га каждого пожара в районах применения авиационных сил и средств, позволяет сделать вывод о недостаточном принятии мер по своевременному их обнаружению при наличии информации о грозовой активности.

Оптимизация схем применения имеющихся в регионе средств обнаружения и тушения лесных пожаров с учетом региональных особенностей и возможностей

Важнейшим направлением развития всей региональной системы охраны лесов, наряду с повышением оперативности обнаружения лесных пожаров с использованием технологий наземного, авиационного и космического мониторинга, является рациональное и комплексное использование имеющихся сил и средств. В 2010 году в Республике Марий Эл работы по наземному и авиационному мониторингу пожарной опасности и тушению лесных пожаров выполнялись Марийской базой авиационной охраны лесов от пожаров, в структуре которой имеется также механизированный отряд. 112 дней (из 169 дней пожароопасного сезона) выполнялись полеты по авиапатрулированию, тушению и обслуживанию лесных пожаров. Процент выполнения кратностей авиапатрулирования составил 60% от нормативной. Авиацией обнаружен 141 лесной пожар на площади 597,31 га, покрытой лесом, которые ликвидированы на площади 31564,2 га, покрытой лесом. Процент обнаружения пожаров "Авиацией" в 2010 году составил 33 %, что соответствует средним многолетним показателям. В условиях ЧС были привлечены вертолеты Ми -8 МЧС России, налет часов составил 41 час [5]. На территории республики имеются вертолеты Ми-8 и Ми-26 силовых ведомств, оснащенные вертолетными водосливными устройствами, которые не привлекались к тушению пожаров даже в критических ситуациях. Перспективным путем в предупреждении и ликвидации чрезвычайных ситуаций, связанных с лесными пожарами, является скоординированное между различными ведомствами использование авиационной техники с учетом особенностей республики.

В частности, имеющаяся в республике обширная сеть водоемов (бассейн Чебоксарского водохранилища, реки Ветлуга, Рутка, Большая Кокшага, Большой Кундыш, Малая Кокшага, Малый Кундыш, Илеть, Юшут, Немда, Лаж, а также более 200 озер в междуречьях указан-

ных рек) позволяет при необходимости с высокой эффективностью использовать вертолеты различной грузоподъемности, оснащенные вертолетными водосливными устройствами типа ВСУ-5А и ВСУ-15А, для своевременной локализации пожаров (рис. 3).



Рис. 3. Вертолет Ми-8Т с ВСУ-5А и системой СДП-1

Имеющийся отечественный и зарубежный опыт показывает высокую эффективность таких средств и технологий, естественно, при хорошей организации и обеспечении применения вертолетной техники. Примечательно, что отмеченные «водные» условия Республики Марий Эл позволяют применять вертолеты типа Ми-8 и Ка-32 с ВСУ-5А с подлетом от 2 до 5 минут на любом возникающем пожаре по всей республике.

К сожалению, до настоящего времени вертолеты в Республике Марий Эл практически не применяются, хотя более 50% земель лесного фонда отнесены к зоне авиационного применения сил и средств пожаротушения. В частности, в 2010 году вертолетные технологии в республике были применены только в условиях ЧС с большим запозданием, когда пожары действовали на десятках тыс. га. Следует отметить, что опыт последних за-

сушливых лет в Республике Марий Эл и других регионах выявил необходимость дальнейшей модернизации достаточно отработанных к настоящему времени ВСУ-5А, что вызвано пересыханием и резким падением уровня используемых при тушении пожаров водоемов. Этот факт требует совершенствования водосливного устройства размещением в нижней части устройства мотопомпы для закачивания воды при глубине водоема до 0,5 м. Кроме того, в условиях постоянного недофинансирования системы охраны лесов от пожаров, особую актуальность приобретают вопросы совершенствования технологий и эффективности применения вертолетных водосливных устройств, в т.ч. за счет использования смачивателей и пенообразователей.

Совершенствование методов, средств и технологий тушения пожаров и их внедрение в практику охраны лесов

Применение специальных добавок (смачивателей и пенообразователей), как показывают мировой опыт и проведенные исследования, позволяет повысить эффективность пожаротушения в 1,5-2,5 раза и при необходимой технологической обработке является мощным средством решения поставленной задачи. В этой связи перспективным направлением технического и технологического совершенствования тушения пожаров в республике является применение системы дозированной подачи пенообразователя СДП-1, разработанной ЗАО «Техноэкос» совместно с ФГУ «Авиалесоохрана» и ОАО НПК «ПАНХ». СДП-1, с дополнительной опцией в комплекте поставки ВСУ-5А (рис. 3) в разных вариантах исполнения, включает в себя мягкую емкость, систему управления, подающий шланг и запорачное

устройство. Система обеспечивает размещение в собственной мягкой емкости до 250 л специальных добавок и их дозированную подачу в ВСУ-5А в соответствии с требуемой концентрацией рабочего раствора [3].

Анализ крупных лесных пожаров 2010 года в республике показал, что при условии применения вертолетов Ми-8 МТВ с ВСУ -5А и системы СДП-1 за одну заправку вертолета можно было оперативно проводить сбросы огнегасящей жидкости от 14 до 16 сливов с учетом удаленности пожаров не более 5 км от ближайших водоемов и удаленности от аэродрома базирования не более 75 км и не допустить крупных лесных пожаров.

Технологии и рекомендации по применению смачивателей и пенообразователей при тушении лесных пожаров вертолетами с ВСУ-5А на внешней подвеске в зависимости от видов пожаров разработаны ОАО НПК "ПАНХ" совместно с ФГУ "Авиалесоохрана", СПб НИИЛХ и ООО НПК "Техносфера" по результатам проведенных в 2011 году работ и летных испытаний [4] и требуют своей производственной проверки, в т.ч. с учетом выявленных при испытаниях особенностей и закономерностей осаждения и распределения рабочих жидкостей и процессов пенообразования, из которых особо можно отметить образование пенных "дорожек" (рис. 4) и эффект "пробивания" кроны при сливе жидкости из ВСУ-5А (рис.5).



Рис. 4. Характерная пенная "дорожка" при сливе из ВСУ-5А раствора Файррекс (0,67 %) на сосняки



Рис. 5. Эффект "пробивания" кроны сосняков струей рабочей жидкости из ВСУ-5А

Выбор смачивателей и пенообразователей для использования при авиационном тушении лесных пожаров определяется характеристиками пожара, особенностями планируемых работ, лесорастительными условиями и другими значимыми для тушения лесных пожаров факторами и предполагает определение рациональных величин раствора добавки в емкости ВСУ-5А и необходимой дозировки рабочей жидкости в смоченной при ее сливе полосе (минимально необходимой плотности осадка жидкости для достижения целевого объекта). По результатам проведенных в 2011 г. работ [4] для практической апробации в качестве перспективных были выделены пенообразователь Файрекс и смачиватель ТПМ-1, для которых предварительно были рекомендованы необходимые дозировки растворов применительно к решению основных задач тушения лесных пожаров с применением ВСУ (для тушения низового и почвенного пожаров, прокладки противопожарных заградительных полос и активного тушения при локализации низового пожара, для предотвращения перехода низового пожара в верховой и остановки распространения верхового пожара). В частности, для прокладки противопожарных заградительных полос и активного тушения при локализации низового пожара рекомендовано использование пенообразователя Файрекс в концентрации 1,0 % при дозировке рабочего раствора 1,0-1,5 л/м² для сосновых насаждений III-IV классов возраста всех типов леса, 1,5-2,0 л/м² для сосновых молодняков мшистых, брусничных, лишайниковых типов леса с полнотой 0,8-1,0 и т.д. Представляется, что по мере практической апробации подготовленных рекомендаций и их уточнения, с учетом региональных и лесорастительных условий применение отмеченных выше вертолетных технологий тушения лесных пожаров с применением ВСУ-5А, СДП-1 и специальных добавок позволит в комплексе с другими рассмотренными перспективными мероприятиями существенно повысить целевую и экономическую эффективность охраны лесов в Республике Марий Эл и других регионах нашей страны.

Библиографический список

1. Денисов А.К. Лесные пожары в лесном среднем Заволжье в 1921 и 1972 гг. и их уроки / А.К. Денисов // Материалы всесоюзного совещания. – Красноярск, 1979.
2. Котельников, Р. В. ИСДМ-Рослесхоз как инструмент поддержки принятия решений в области охраны лесов / Р.В. Котельников // Безопасность труда в промышленности. – 2010. – № 11. – С. 26-29
3. Арцыбашев, Е.С. Система дозированной подачи смачивателя в вертолетное водосливное устройство ВСУ-5А / Е.С. Арцыбашев, В.Г. Гусев, Э.П. Давыденко и др. // Лесное хозяйство. – 2005. – № 4.
4. Разработка технологии и рекомендаций по применению смачивателей и пенообразователей при тушении лесных пожаров вертолетами с водосливными устройствами типа ВСУ-5А на внешней подвеске в зависимости от видов пожаров. / В.П. Асовский, Д.В. Волошенко, А.М.Ерицов и др. // Отчет о НИР (закл.) – Краснодар: НПК "ПАНХ", 2011 – 155 с.
5. Материалы годовых отчетов Марийской базы авиационной охраны лесов от пожаров. – 2010. – С. 1-17.
6. Азметов, Р.Р. Совершенствование системы грозопеленгации / Р.Р. Азметов // Интернет-журнал «Лесопромышленник». – 2010. – №11.
7. Материалы Информационной системы ИСДМ Рослесхоз.

УДК 630*181.65:630*181.62/.63

ДИНАМИКА ФИТОМАССЫ ЛИСТЬЕВ СРЕДНЕВОЗРАСТНОГО НАГОРНОГО ДРЕВОСТОЯ ДУБА ТЕЛЛЕРМАНОВСКОГО ЛЕСА ЗА ПОСЛЕДНЕЕ ДЕСЯТИЛЕТИЕ

Н.Ф. Каплина, Н.Г. Жиренко
Институт лесоведения РАН

LEAF BIOMASS DYNAMICS OF MIDDLE-AGED UPLAND OAK (QUERCUS ROBUR L.) STAND OF TELLERMAN WOOD FOR LAST DECADE

N.F. Kaplina, N.G. Zhirenko
Institute of Forest Science, RAS

В южной лесостепи часто наблюдаются летние засухи различной продолжительности. Структурно-функциональная организация экосистем дубрав способствует смягчению их неблагоприятного влияния и снижению пожароопасности до минимальной.

Рост и развитие дубрав лесостепи обусловлены сложным комплексом взаимосвязанных факторов [1]. В данных условиях целесообразно изучение наиболее общих (неспецифических) признаков состояния деревьев и древостоев – показателей биологической продуктивности и оценок (по различным классификациям) состояния и развития крон деревьев.

Для лесостепи характерна высокая, часто циклическая (колебательная) изменчивость по годам осадков вегетационного периода, определяющая динамику всех элементов экосистемы дубравы. Продуктивность нагорных дубрав изменяется до 2 и более раз [2, 3]. При анализе краткопериодической (за 2-3 года) динамики древостоя часто невозможно установить причины ухудшения его состояния [4], поэтому необходимы оценки за каждый год.

В работе анализируется 10-летний цикл динамики фитомассы листьев и влияющих на неё факторов в насаждении дуба среднего генеративного онтогенетического состояния, т.е. в период наилучшего развития как крон деревьев, так и полога древостоя.

Объекты и методы. Исследования проведены на постоянных пробных площадях (ППП) в снытево-осоковой дубраве искусственного происхождения Теллермановского опытного лесничества (Воронежская обл., 111°20'53"N, 41°58'35" E, 160 м над у.м.). ППП являются вариантами опыта по влиянию рубок ухода, завершённого около 30 лет назад. Рубки ухода привели к лучшему развитию крон деревьев дуба [2, 5]. В данной работе представлены их средние показатели (общая площадь ППП – 0.4 га).

У всех деревьев измеряли диаметры и высоты с повторностью 3-5 лет. Ежегодно описывали деревья визуально по классификациям: по категориям лесопатологического состояния; по оригинальной классификации роста и развития крон [5, 6] (1 - раскидистая крона, с мощными нижними ветвями, водяных побегов под кроной нет, 2 – зонтиковидная крона, без мощных нижних ветвей, водяные побеги под кроной есть, 3 - протяжённая или узкокронная, большей частью – из водяных побегов); по классам роста и развития крон (по Крафту). Также визуально учитывалась доля вторичной кроны (водяных побегов), а с 2008 г. – доля повреждения филлофагами по площади поверхности листы (по оценкам в августе).

Таксационные показатели древостоя дуба на 2011 г.: возраст – 79 лет, класс бонитета – I, среднеквадратический диаметр – 31.1 см, средняя высота – 27.3 м, число стволов – 360 шт. га⁻¹, сумма площадей сечений – 27.5 м² га⁻¹, запас – 311 м³ га⁻¹.

Фитомассу листьев древостоя в абс. сух. состоянии (Ph_L) оценивали двумя методами:

1) модельных деревьев: по среднему соотношению Ph_L и годового прироста древесины ствола по объёму (Z_W) деревьев дуба (22 экз.) за период 1954-2007 гг., составившему 0.43 ± 0.02 т/м³ [4]. Вводили поправку на меньшую изменчивость Ph_L по сравнению с Z_W , в размере 0.01 т/м³ на 1 м³ отклонения от средней величины Z_W (равной 8 м³ год⁻¹ га⁻¹). Необходимую для расчетов величину Z_W деревьев определяли по уравнению (по данным хода роста

ствола 8 модельных деревьев 1990 г.) ($R^2 = 0.99$): $Z_W = 0.000561 A^{-1.74} H^{3.12} G^{0.289} Z_D^{0.776}$, где A – возраст дерева, H – высота, G – площадь сечения ствола, Z_D – прирост по диаметру. Приросты по диаметру 1990 - 2011 гг. измеряли по кернам с точностью 0,05 мм. Зависимости приростов по диаметру от диаметров стволов рассчитаны отдельно для каждого года. Пересчет Z_W на древостой проводили по оригинальному методу скользящих ступеней толщины [4]. Ошибка $Ph_L(2)$ -оценки полагается лежащей в пределах $\pm 10\%$;

2) по опад, собранному в опадоуловителях (размером по 0.7 м²), размещенных случайным образом по 5 штук на каждой пробной площади, получали $Ph_L(2)$ -оценки. Сбор опада осуществлялся с сентября по декабрь, в 2003-2008 гг. – 1 раз в неделю (первый учет – весь летний опад, последний учет – зимний опад), в 2009-2010 – за 3-4 учета.

Результаты и обсуждение. Динамика фитомассы листьев древостоя дуба по оценкам двумя методами: $Ph_L(1)$ и $Ph_L(2)$ – показана на рис. 1. Оценки фитомассы листьев по модельным деревьям – $Ph_L(1)$ – систематически более высокие, чем по опад, – $Ph_L(2)$ – в среднем (без учета 2007 г.) на 21%, что можно отнести к ограничениям использованных методов: 1) завышению $Ph_L(1)$, рассчитанной по показателям модельных деревьев: а) не имевших признаков ослабления, б) не завершивших радиальный прирост в середине-конце августа; 2) занижению $Ph_L(2)$ по причинам: а) отчуждения листовой филофагами, б) потерь на реутилизацию веществ из листьев перед опадом и гетеротрофное дыхание опада. Сильное занижение $Ph_L(2)$ в 2007 г. можно объяснить потерями из-за технических проблем с высушиванием большой массы опада. Помимо систематической составляющей, разность $Ph_L(1) - Ph_L(2)$ включает и случайную величину, изменяющуюся в среднем для древостоя в пределах $\pm 10\%$.

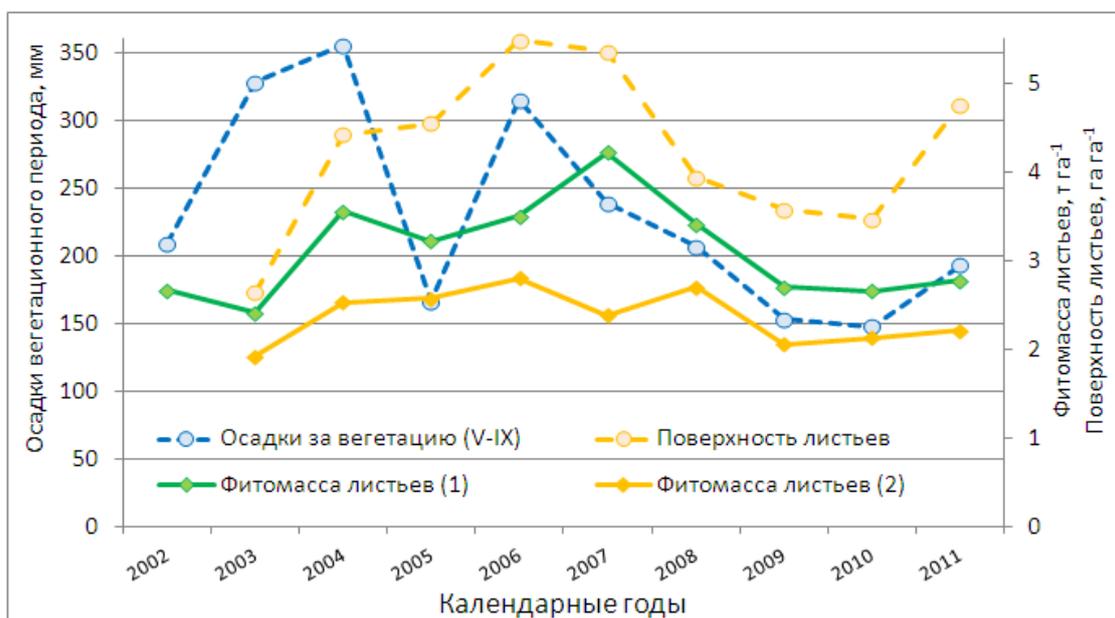


Рис. 1. Динамика фитомассы листьев древостоя дуба по методу модельных деревьев (1) и по опад (2), поверхности листьев по опад и осадков вегетационного периода

Согласно динамике фитомассы листьев (рис.1), в начале и особенно середине рассматриваемого периода 2002-2011 гг. условия роста древостоя дуба были относительно благоприятны. Об этом свидетельствует увеличение фитомассы листьев и прироста стволов древостоя к 2007 г. в 1.5 раза, одновременно с обильным урожаем желудей. Последние годы (2009-2011 гг.) характеризуются наиболее неблагоприятными условиями роста: засуха 2010 г.; небольшие осадки (в 2009-2010 гг. по 150 мм); заметное возрастание численности зеленой дубовой

листовертки (в опад 2010 г. – 600 тыс. шт. га⁻¹); большая доля поверхности листьев, поврежденной широкоминирующей молью (в 2010 г. – около 30%).

Более чутко реагируют на влияние неблагоприятных факторов такие признаки, как снижение облиственности дерева, усыхание ветвей 2-3 порядков, отражаемые комплексной оценкой – категорией лесопатологического состояния (табл. 1). Доля деревьев, лучших по лесопатологическому состоянию до 2007 г., остается высокой (92-95%), но в наиболее неблагоприятный период снижается до 25-летнего минимума в 2010 г. (65%). Морфоструктура, развитость, динамика кроны во времени определяют жизнеспособность дерева, устойчивость и долговечность [7]. Доля числа раскидистых деревьев (по оригинальной классификации) весьма устойчива при естественном росте и развитии древостоя, но при этом чувствительна к внешним факторам: рубкам ухода, засухам, повреждениям филлофагами. В среднем за 1985-2005 гг. она составляла на ППП с рубками ухода 44%, а на контроле – 34% [5], а в последние годы оказалась довольно низкой – до 19% в 2011 г. (табл. 1). Доля числа деревьев I-II классов роста и развития по Крафту, напротив, слабо изменяется по годам и не обнаруживает тенденции к снижению в связи с засухой 2010 г., что возможно свидетельствует о слабом влиянии засухи на жизнестойкость древостоя.

Таблица 1

Динамика относительного числа деревьев, лучших по состоянию и развитию кроны в древостое

Годы	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Число обследованных деревьев, шт.	129	124	120	161	152	149	149	147	144	141
Доля деревьев I-II категорий*, %	92	94	95	92	92	95	90	89	65	78
Доля деревьев раскидистого типа*, %	41	34	33	23	23	33	26	23	22	19
Доля деревьев I-II классов по Крафту, %	38	32	31	29	25	28	26	30	28	32

* 2002-2004 гг. - по данным Н.Н. Селочник, 2005-2006 гг. – по совместным оценкам [4]

Чтобы интерпретировать представленные в табл. 1 результаты для оценки влияния засухи на жизнестойкость и для прогноза дальнейшего роста и развития деревьев дуба, необходимо учитывать особенности восстановления их облиственности (рис. 2). Дуб в Теллермановском лесном массиве подвержен периодическим потерям части кроны в неблагоприятные годы и способен к её восстановлению в благоприятные годы из запасных почек [1, 8, 9]. Есть предположения различных авторов о способности дуба запасать пластические вещества в объеме, достаточном для 3-кратного восстановления листьев.

В 2007 г. кроны деревьев хорошо облиственны, хотя и довольно ажурны, что характерно для древостоев Теллермановского лесничества (рис. 2). Пространство между скелетными осями заполнено облиственными ветвями в основном 2-3 порядков ветвления. В 2008-2009 г. облиственность сходная, но уже заметны следы повреждения филлофагами, а цвет листьев приобрел заметный салатный оттенок практически у всех деревьев.

В засушливый 2010 год резко увеличилась ажурность кроны из-за усыхания облиственных побегов, заметны разрывы между скелетными ветвями. Листья имеют желтый оттенок, а поврежденные широкоминирующей молью – бурый цвет.

В 2011 г. наблюдается интенсивное развитие водяных побегов на скелетных ветвях и стволах, в соответствии с типом развития кроны дерева. Средняя доля поверхности листьев водяных побегов в кроне дерева возросла с 40-50% до 63%, чем и объясняется улучшение состояния деревьев и стабилизация текущего прироста стволов и фитомассы листьев. Ажур-

ность ветвей минимальная, но сохраняются характерные разрывы между ветвями, которые вызваны также быстрым ростом ветвей в длину, в сторону прогалин. В начале вегетации 2012 года облиственность крон сходная.



Рис. 2. Кроны хорошо развитых деревьев дуба в наилучший год (2007 г.), относительно благоприятный (2008 г.), год засухи (2010 г.) и последующее восстановление крон (2011 г.) в августе

Большой запас спящих почек, а также две, а иногда и три генерации побегов за вегетацию, позволяют дубу черешчатому развить хорошо облиственную систему побегов за 2-3 года и впоследствии восстановить параметры крон деревьев до среднемноголетних. Этого и следует ожидать в объекте исследования при отсутствии экстремальных ситуаций. Иными словами, в условиях, когда на один благоприятный год приходится три неблагоприятных, можно ожидать высокой жизнестойкости исследуемого древостоя.

Выводы

1. Рассмотренные методы оценки фитомассы листьев показали целесообразность их использования с учетом возможностей и ограничений.
2. Колебания по годам показателей количества и качества листьев в дубраве весьма значительны, что можно использовать при мониторинге их продуктивности и состояния, в т.ч. по космическим и аэрофотоснимкам.
3. Состояние исследованного древостоя наихудшее за четверть века, но не критическое, что ещё раз подтвердило способность дуба выдерживать 2-3 неблагоприятных года без снижения жизнестойкости.

Работа поддержана РФФИ (гранты 12-04-01347, 12-04-01077) и Программой фундаментальных исследований ОБН РАН «Биологические ресурсы России: Динамика в условиях глобальных климатических и антропогенных воздействий».

Библиографический список

1. Каплина, Н.Ф. Динамика прироста деревьев в нагорных антропогенных дубравах южной лесостепи [Текст] / Н.Ф. Каплина // Лесоведение. – 2006. – № 4. – С. 3-11.
2. Каплина, Н.Ф. Погодичная динамика фитомассы и продукции древостоя дуба южной лесостепи: методические подходы и результаты [Текст] / Н.Ф. Каплина, Н.Г. Жиренко, А.Ф. Ильюшенко // Продукционный процесс и структура лесных биогеоценозов: теория и эксперимент (Памяти А.И.Уткина). – М., 2009. – С. 68 - 92.
3. Dobbertin, M. Tree growth as indicator of tree vitality and of tree reaction to environmental stress: a review [Текст] / M. Dobbertin // European J. of Forest Research. - 2005. – Vol. 124. – P. 319-333.
4. Состояние дубрав лесостепи [Текст]. – М.: Наука, 1989. – 230 с.
5. Каплина, Н.Ф. Морфология крон и состояние дуба черешчатого в средневозрастных насаждениях лесостепи [Текст] / Н.Ф. Каплина, Н.Н. Селочник // Лесоведение. – 2009. – № 3. – С. 32-42.
6. Селочник, Н.Н. Оценка состояния дубрав с учетом развития крон деревьев в неблагоприятных условиях: антропогенных (Московский регион) и климатических (лесостепь) [Текст] / Н.Н. Селочник, Н.Ф. Каплина // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2011. – № 4(80). – С. 103-108.
7. Лохматов, Н.А. О перестройке крон дуба в очагах его усыхания от неблагоприятных условий [Текст] / Н.А. Лохматов // Лесоводство и агролесомелиорация. – 1981. – Вып. 59. – С. 21-25.
8. Рубцов, В.В. Адаптационные реакции дуба на дефолиацию [Текст] / В.В. Рубцов, И.А. Уткина. – М.: Ин-т лесоведения, 2008. – 302 с.
9. Ильюшенко, А.Ф. Формирование вторичной кроны дуба и ее роль в динамике состояния древостоев [Текст] / А.Ф. Ильюшенко, М.Г. Романовский // Лесоведение. – 2000. – № 3. – С. 65-72.

УДК 630.43

ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ НА ЛЕСНЫЕ ПОЖАРЫ НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ

Т.Е. Каткова

Поволжский государственный технологический университет

IMPACT OF SOLAR ACTIVITY ON THE FOREST FIRES IN MARI EL

T.E. Katkova

Volga State University of Technology

Проблема охраны и защиты лесов является одной из ключевых для обеспечения устойчивого социально-экономического развития территорий. Наиболее ощутимый ущерб лесам наносится в результате воздействия таких актуальных рисков как лесной пожар, массовое размножение насекомых-вредителей леса, массовое развитие болезней леса, повреждения леса дикими животными, неблагоприятные погодные условия (ветровал, засуха и т.д.), незаконные рубки леса, коррупционные риски, риски невыполнения договорных обязательств

арендаторами лесных участков [3-4]. Проявления рисков наносят широкомасштабный ущерб лесам и лесному хозяйству, в отдельные годы принимают характер стихийных бедствий. Так, лесные пожары ежегодно причиняют огромный ущерб окружающей среде и народному хозяйству. Проблема охраны лесов от пожаров актуальна для многих регионов в связи с возрастанием количества и площади лесных пожаров в мире, которые продолжают оставаться одним из наиболее негативных факторов, влияющих на состояние экосистем. В России в зоне активной охраны лесов, занимающей 2/3 общей площади лесного фонда, ежегодно регистрируется от 10 до 38 тысяч лесных пожаров, охватывающих площадь от 0,4 до 2,5 млн. га. В 2010 г. лесные пожары в РФ приняли масштаб национального бедствия, привели к гибели людей, разрушению населенных пунктов, к потерям природных территорий, нанесли колоссальный ущерб экономике страны. Большое количество и опасность лесных пожаров, огромные потери социальных, экономических и экологических ценностей являются основанием для усиления и совершенствования мероприятий по предупреждению и борьбе с лесными пожарами. Для повышения эффективности управления охраной лесов от пожаров особую актуальность имеет выявление закономерностей и прогнозирование периодов повышенной горимости лесов.

Целью работы является исследование влияния солнечной активности на лесные пожары на примере Республики Марий Эл.

Теоретической основой исследования явились труды отечественных и зарубежных ученых по вопросам управления охраной лесов от пожаров, риск-менеджмента, материалы конференций и семинаров, публикации в периодической печати, нормативно-правовые акты федерального и регионального уровней. В процессе исследования проблемы и поиска путей ее решения использован системный подход, применены общенаучные и специальные методы, в том числе абстрактно-логический, экономико-математические, статистические методы, а также графические приемы визуализации материалов исследования.

Исследователями рассматриваются различные рискообразующие факторы, способствующие возникновению лесных пожаров. Особое внимание уделяется изучению природных (естественных) рискообразующих факторов лесных пожаров, таких как: географическая зона, продолжительность пожароопасного сезона, тип леса (лесорастительные условия), климатические, метеорологические рискообразующие факторы.

Такой рискообразующий фактор, как тип леса (лесорастительные условия), рассматривался многими учеными, в том числе И.С. Мелеховым, который, учитывая закономерности и различия в характеристиках различных типов леса, разработал шкалу для оценки степени пожарной опасности лесов, являющуюся основой «Шкалы оценки лесных участков по степени опасности возникновения в них пожаров», принятой для лесного хозяйства в 1964 г. и используемой в настоящее время. Шкала применяется при планировании профилактических противопожарных мероприятий, для предупреждения возникновения пожаров, распространения их на значительные площади и оперативного тушения возникших пожаров. Мероприятия, а следовательно и затраты, в насаждениях 1 класса горимости существенно отличаются от мероприятий и затрат, планируемых в насаждениях 4-5 классов горимости. Шкала используется при построении лесопожарных карт и карт-схем противопожарных мероприятий.

Многими учеными исследуются климатические (метеорологические) рискообразующие факторы. По мнению М.А. Софронова, климатические и погодные условия – это самые динамичные из факторов, определяющих пожарную опасность растительности [7]. Например, от

климата зависит продолжительность пожароопасного сезона. Важными метеорологическими рискообразующими факторами являются сроки появления и схода снежного покрова, количество и распределение осадков по территории и по времени, облачность, скорость ветра, влажность и температура воздуха и т.д.

Степень пожарной опасности в лесу по условиям погоды оценивается в нашей стране с 1950 г. комплексным показателем В.Г. Нестерова, который вычисляется на основе совокупности метеоэлементов, влияющих на изменение влажности лесных горючих материалов: данных о температуре воздуха, температуре точки росы, количестве выпавших осадков. На основе показателя составлена шкала пожарной опасности в лесу по условиям погоды, регламентирующая работу лесопожарных служб. В связи с тем, что пожарная опасность в лесу определяется не только погодными условиями, но и характером, особенностями объекта горения, временем пожароопасного сезона, при одинаковом показателе В.Г. Нестерова степень пожарной опасности отличается в разных районах, а также в одном районе, но в разные периоды пожароопасного сезона. Учитывая это обстоятельство, некоторые исследователи, например Н.П. Курбатский, Э.Н. Валендик, разрабатывали местные шкалы пожарной опасности по условиям погоды. В настоящее время разработаны региональные шкалы пожарной опасности в лесу по условиям погоды, учитывающие местные особенности и в которых значения комплексного показателя по классам отличаются от значения общероссийской шкалы.

Ряд ученых исследовали зависимость повышенной горимости лесов от изменений солнечной активности. Мнение о возможной связи повышенной горимости лесов с периодичностью в изменении солнечных пятен (чисел Вольфа) высказывал в 1978 г. И.С. Мелехов [6]. Попытки исследовать зависимость были осуществлены М.Е. Ткаченко [8], Т.В. Костыриной [5], которыми были получены противоречивые выводы. С.И. Душа-Гудымом были проведены исследования зависимости горимости лесов РСФСР от солнечной активности за период 1931-1978 гг. Им сделан вывод, что «наиболее благоприятные условия для возникновения лесных пожаров в ряде регионов создаются в периоды максимумов и минимумов солнечной активности, определяемые числами Вольфа и на линии спада. Для ряда областей эта тенденция не характерна. Вопрос о характере связей между флуктуациями солнечной активности и горимостью лесов по отдельным регионам требует проведения дальнейших исследований» [1].

Одной из особенностей Солнца являются почти периодические, по крайней мере, на этапе научных наблюдений, изменения различных проявлений солнечной активности (СА). Солнечной активностью принято называть всю совокупность наблюдаемых нестационарных явлений в атмосфере Солнца, его излучение в разных диапазонах электромагнитных волн и потоках частиц различных энергий. Усиление СА, повторяющееся через интервалы времени от 5 до 15 лет, в среднем за 11 лет, характеризуется увеличением числа активных образований в солнечной атмосфере и образуемых их совокупностью активных областей на солнце. Было установлено, что от минимума до максимума СА проходит в среднем 4,6 года, тогда как от максимума до минимума – 6,7 года, общая продолжительность цикла составляет около 11 лет.

Степень СА определяется индексами солнечной активности, одним из которых является число Вольфа, или относительное цюрихское число солнечных пятен. Этот индекс отражает вклад в СА не только от пятен, но и от всей активной области, в основном, занятой факелами. Поэтому числа Вольфа хорошо согласуются с современными более точными индексами,

например, величиной потока радиоизлучения от всего Солнца на волне 10,7 см. Числа Вольфа, рассчитанные на каждый день, осредняются по месяцам и годам. По этим данным строят график, отображающий уровень СА (рис. 1).

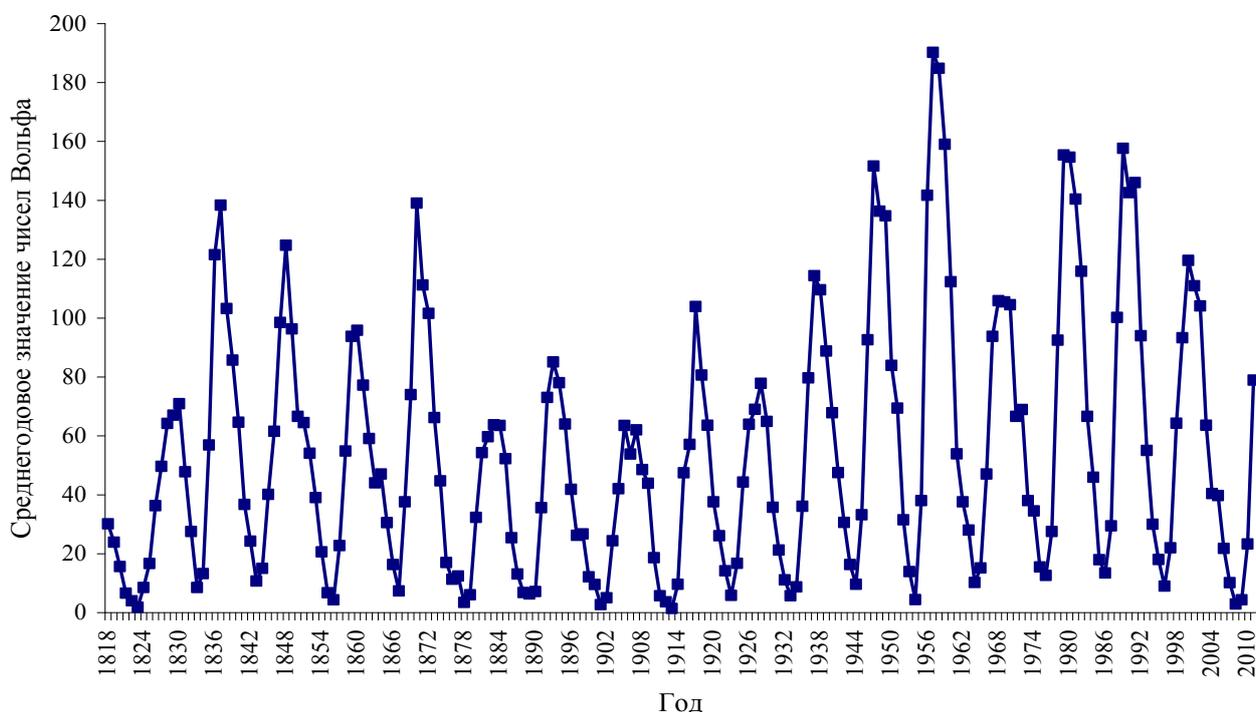


Рис. 1. Периодические изменения солнечной активности за 1818 - 2011 гг.

Исследование зависимости между периодическими изменениями СА и периодами повышенной горимости лесов проводилось нами для Республики Марий Эл (РМЭ) и Республики Коми (РК), представляющих территории с преобладанием разных групп лесных формаций [2]. Леса РК представляют собой темнохвойные таежные леса. Основной лесобразующей породой в РК является ель, на долю которой приходится 56 % покрытой лесом площади. Породный состав в лесах РМЭ достаточно разнообразен, но в целом преобладают две лесобразующие породы – сосна и береза, занимающие примерно 75 % покрытой лесом площади. Таким образом, рассматриваемая зависимость выявлялась и изучалась для лесов различных типов.

По РК был рассмотрен период 1950 – 2004 гг., включающий 4 полных 11-летних цикла СА (девятнадцатый, двадцатый, двадцать первый, двадцать второй) и неполный цикл (двадцать третий). По РМЭ рассмотрен период 1963 – 2004 гг., включающий 3 полных 11-летних цикла СА (двадцатый, двадцать первый, двадцать второй) и неполный цикл (двадцать третий).

Пожары возникают в течение пожароопасного сезона, под которым понимают время, когда в лесах возможно возникновение пожаров, сезон начинается с момента схода снежного покрова и продолжается до наступления устойчивой дождливой осенней погоды. В РМЭ и РК пожароопасный сезон длится с апреля по октябрь включительно. Поэтому для изучения зависимости были рассчитаны и использованы средние значения чисел Вольфа за пожароопасный сезон по годам изучаемого периода времени, включающего по РК и РМЭ 55 лет и 42 года соответственно. Для РМЭ также использовались среднегодовые значения чисел Вольфа. По нашему мнению, использование средних значений чисел Вольфа за пожароопасный сезон, а не среднегодовых значений, позволяет более точно установить и изучить зависимость между периодическими изменениями СА и периодами повышенной горимости ле-

сов. Выявление пожарных пиков осуществлялось по алгоритму: количество лесных пожаров конкретного года делится на среднегодовое их количество за изучаемый период и умножается на 100 %. На рис. 2 показан график многолетней динамики числа лесных пожаров по РМЭ и РК.

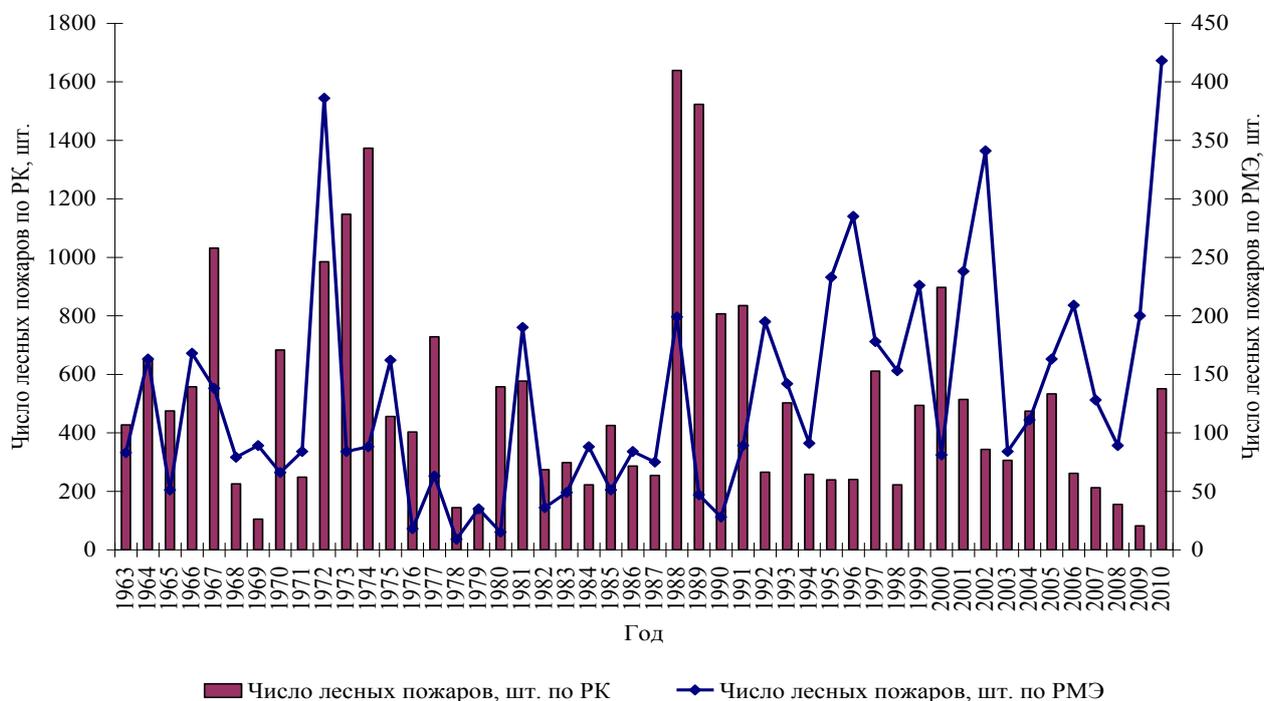


Рис. 2. Динамика числа лесных пожаров в РМЭ и РК за 1963 – 2010 гг.

Выявлено, что наиболее благоприятные условия для всплеска горимости лесов РМЭ и РК, представляющих собой леса разных типов, создаются в годы максимумов и минимумов СА. Данная зависимость более выражена для РМЭ, чем для РК, что связано, по нашему мнению, с тем, что территории республик характеризуются разными геофизическими условиями.

Цикл СА 1964-1976 гг. продолжался 13 лет в отличие от других циклов рассматриваемого периода, продолжительность которых составляла 11 лет. В течение данного цикла СА, максимум которого был в 1968 г., на линии спада СА в 1972 г. наблюдалась аномалия, выразившаяся в том, что спад СА сменился резким ростом СА. В РМЭ в 1972 г. наблюдался всплеск горимости лесов – пожары 1972 г. носили характер стихийного бедствия и вошли в историю Марийского края как одни из самых трагичных по своим последствиям. В 1972 г. в РМЭ возникло 386 лесных пожаров площадью 186411 га, средняя площадь пожара составила 480 га. Корневой запас погибших и поврежденных огнем насаждений составил 12,5 млн. м³. Помимо ущерба лесного хозяйства, огнем было уничтожено 3 лесных поселка, сгорело 106 жилых домов общей площадью более 7700 м², пострадало 328 семей [9]. Ущерб от уничтожения жилых и производственных зданий, готовой продукции, машин и механизмов составил 1,6 млн. р. (в ценах 1972 г.) [9]. Кроме того, потребовались значительные затраты на мероприятия по ликвидации последствий пожаров, в том числе на разработку горельников, проведение лесовосстановительных работ, лесозащитных работ на площади лесов, созданных на горельниках.

Пожарные максимумы 1972 г. и 2002 г. являются подтверждением наличия зависимости между периодическими изменениями СА и периодами повышенной горимости лесов.

Полученные выводы подтверждаются архивными данными: на территории Марийского края в XIX в. и XX в. произошло много крупных пожаров, среди которых наиболее трагичными по своим последствиям были лесные пожары 1815, 1823, 1848, 1854, 1891, 1892, 1921, 1937, 1972 гг. Катастрофические по своим последствиям лесные пожары возникали в Марийском крае в годы экстремумов СА; абсолютное совпадение пиков СА и пиков горимости лесов наблюдалось в 1823, 1848, 1937, 1972 гг.

Полученные выводы имеют значение для прогнозирования всплесков горимости лесов, а следовательно, для обеспечения необходимого уровня противопожарной охраны лесов, планирования противопожарных мероприятий и источников их финансирования. Необходимо продолжение исследований зависимости хода горимости лесов от солнечной активности по отдельным регионам в условиях предполагаемого изменения климата.

Библиографический список

1. Душа-Гудым, С.И. Периодические изменения солнечной активности и лесные пожары / С.И. Душа-Гудым // Науч. тр. МЛТИ. – 1985. – Вып. 176. – С. 83-88.
2. Каткова, Т.Е. Исследование зависимости между солнечной активностью и периодами повышенной горимости лесов республик Марий Эл и Коми / Т.Е. Каткова // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2006. – № 3 (45). – С. 55-61.
3. Каткова, Т.Е. Совершенствование профилактических методов управления пожарным риском в лесном хозяйстве / Т.Е. Каткова // Региональная экономика: теория и практика. – 2011. – № 2 (185). – С. 43-49.
4. Каткова, Т.Е. Теоретические подходы к определению и классификации специфических рисков в лесном хозяйстве / Т.Е. Каткова // Материалы за 7-а международна научна практична конференция, «Новини на научния прогрес». – 2011. – Том 3. Икономики. Държавна администрация. София. «Бял ГРАД-БГ» ООД. – С. 19-23.
5. Костырина, Т.В. Прогнозирование пожарной опасности в лесах юга Хабаровского края: автореф. дис... канд. с.-х. наук / Т.В. Костырина. – Красноярск, 1978. – 23 с.
6. Мелехов, И.С. О закономерностях в периодичности горимости лесов / И.С. Мелехов // Сборник работ по лесному хозяйству и лесохимии Архангельского института леса и лесохимии. – Архангельск, 1971. – С. 4-26.
7. Софронов, М.А. Пирологическое районирование в таежной зоне / М.А. Софронов, А.В. Волокитина. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1990. – 205 с.
8. Ткаченко, М.Е. Общее лесоводство / М.Е. Ткаченко. – М. – Л.: Гослесбумиздат, 1955. – 599 с.
9. Тресцов, Б.И. Очерки по развитию лесного хозяйства и лесных отраслей Республики Марий Эл / Б.И. Тресцов. – Йошкар-Ола: Периодика Марий Эл, 1997. – 301 с.

УДК 504.056:614.841

БОРЬБА С ПОЖАРАМИ НА ЦЕННЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ: ОТ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДО ОПЕРАТИВНОГО ТУШЕНИЯ (ОПЫТ ГРИНПИС РОССИИ)

А.Ф. Комарова, Г.В. Куксин, А.Ю. Ярошенко
Гринпис России

WILDFIRES: FROM REMOTE SENSING ANALYSIS TO RAPID RESPONSE (AN EXAMPLE FROM GREENPEACE RUSSIA)

A. Komarova, G. Kuksin, A. Yaroshenko
Greenpeace

Противопожарный проект Гринпис России официально начал свою работу в 2011 г., но уже на протяжении более 10 лет сотрудники Гринпис совместно с Дружиной охраны природы биологического факультета МГУ вели противопожарную работу на модельной территории в заказнике «Журавлиная родина» в Талдомском районе Московской области. Фактически противопожарный проект Гринпис стартовал весной 2010 г. с началом Первой противо-

пожарной экспедиции по маршруту Астрахань – Санкт-Петербург. Целью экспедиции было привлечение внимания СМИ и государственных структур к проблеме природных пожаров, обучение сотрудников особо охраняемых природных территорий и групп активистов на местах основам борьбы с природными пожарами и пропаганда недопустимости проведения весенних палов, переходящих в природные лесные и торфяные пожары.

Основная задача противопожарного проекта Гринпис – обеспечить общественный контроль над действиями власти. Дистанционный мониторинг – основной инструмент для решения этой задачи, так как без информации о развитии и масштабах возникающих пожаров добиться своевременного реагирования от региональных властей и органов пожарной охраны почти невозможно, а запоздание с принятием необходимых мер по тушению пожара – причина развития ситуации до катастрофической. Дополнительные задачи противопожарного проекта – подготовка групп добровольных лесных пожарных и непосредственное тушение пожаров на природных территориях в исключительных случаях.

Таким образом, противопожарная работа в Гринпис России ведется по трем направлениям:

- мониторинг и прогнозирование ситуации с пожарами;
- оперативное тушение отдельных природных территорий;
- анализ последствий природных пожаров, освещение этой проблемы и лоббирование изменений в законодательство.

Анализ данных дистанционного зондирования является неотъемлемой частью противопожарной работы на всех трех направлениях. Работа построена на данных дистанционного зондирования, находящихся в свободном доступе и позволяющих оперативно оценить изменение пожарной обстановки и последствия природных пожаров. Основные источники информации:

1) термоточки системы FIRMS (Fire Information for Resource Management System – общедоступная система мониторинга лесных пожаров, основанная на космических снимках MODIS, разработанная группой специалистов Университета штата Мэриленд в сотрудничестве с Национальным агентством США по авиации и исследованию космического пространства (NASA), <http://earthdata.nasa.gov/data/nrt-data/firms>);

2) космические снимки MODIS (<http://earthdata.nasa.gov/data/near-real-time-data/rapid-response/modis-subsets>; <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>);

3) космические снимки Landsat (<http://glovis.usgs.gov/>);

4) изображения TerraLook Aster и сервис www.fires.kosmosnimki.ru (последний – исключительно для уточнения информации о возгораниях при мониторинге; для подсчета площадей сгоревших территорий он не используется).

Мониторинг и прогнозирование ситуации с пожарами включает в себя ежедневное отслеживание изменений пожарной обстановки по термоточкам системы FIRMS, еженедельные публикации обзора ситуации на Лесном форуме Гринпис <http://www.forestforum.ru/portal.php> и подготовку картографических материалов, позволяющих оценить вероятность и опасность возникновения природных пожаров на разных территориях. Примером таких карт являются карта «Угрозы и риски природных пожаров в 2011 году» (карта <http://www.greenpeace.org/russia/ru/news/19-01-2011-forest-fires/>, пресс-релиз <http://www.greenpeace.org/russia/ru/news/19-01-2011-forest-fires/>) и интерактивная карта осушенных торфяников европейской части России (<http://www.forestforum.ru/peatfires.php>); обе карты подготовлены на основе снимков Landsat с использованием дополнительных источников информации. Задачей этого направ-

ления работы является представление обществу правдивой информации о ситуации с пожарами на природных территориях. Это необходимо, т.к. государство, с одной стороны, не справляется с задачей информирования граждан, а с другой стороны, ограничено требованиями «хорошей отчетности» и приказом МЧС РФ от 29 июня 2006 г. № 386 (так называемым «регламентом лжи» – http://www.forestforum.ru/info/reglament_mchs_information.doc).

В случае возникновения крупных пожаров необходимо определение в оперативном режиме площади, на которой происходит горение, для того, чтобы помочь власти принять адекватное решение и ввести режим чрезвычайной ситуации, если это необходимо, или обеспечить тушение до развития ситуации по катастрофическому сценарию другим способом. Для этого применяются снимки MODIS (исходные снимки или мозаики с сайта <http://earthdata.nasa.gov/data/near-real-time-data/rapid-response/modis-subsets>). Оперативная (в течение 1-2 дней) оценка площадей, пройденных пожарами, производится полуавтоматическими методами, как правило, в программе ScanEx Image Processor.

Задача второго направления работы – сохранение особо ценных природных территорий (ООПТ, ценных территорий, не получивших этого статуса) и предотвращение развития пожаров на тех территориях, где это может быть наиболее опасно (торфяники, леса в зоне чернобильского следа и территории, прилегающие к ним). Опыт работы на территории, прилегающей к заказнику «Журавлиная родина», а в последние годы – и на других природных территориях, показал, что предотвращение и раннее тушение природных пожаров доступны небольшой группе людей, сопряжены с принципиально меньшими рисками и требуют меньших затрат и технического обеспечения. В то же время пожар, не ликвидированный на ранних стадиях, часто невозможно потушить до изменения погодных условий даже с применением специальной техники и средств тушения. Поэтому при планировании работы по защите от пожаров ценных природных территорий особое внимание уделяется раннему обнаружению пожаров.

Работа по непосредственному тушению пожаров на природных территориях начинается с обнаружения возгораний с помощью системы FIRMS. При возможности информация уточняется и проверяется за счет связи с местными жителями; оцениваются возможные риски развития пожара. На этом этапе принимается решение о выезде группы быстрого реагирования с целью тушения и контроля ситуации на месте.

Если риски высоки и попытка заставить государственные органы должным образом отреагировать на пожар чревата опасным его развитием, принимается решение о тушении пожара. Группа снабжается картами и снимками, а в процессе работы – и информацией об изменении ситуации (настолько, насколько это может быть отражено в данных дистанционного зондирования). В течение всего периода работы группы на территории происходит двусторонний обмен информацией об изменении ситуации между руководителем группы и координатором в Москве. После окончания тушения по данным дистанционного зондирования уточняется площадь пожара.

Если пожар не представляет исключительной опасности и к его тушению подключаются государственные органы, роль Гринпис сводится к контролю тушения, послепожарному мониторингу и иногда – оценке последствий пожара. Все это реализуется с помощью дистанционных методов, как правило, с однократным выездом группы на место пожара.

Третьим направлением работы является анализ последствий природных пожаров и освещение проблемы пожаров в целом. Сюда включаются ежегодная оценка площади и обнаружение карт сгоревших территорий, оценка частоты прогорания территорий. Основная зада-

ча – лоббирование изменений в законодательство, ведущих к увеличению эффективности борьбы с пожарами на уровне государственных структур. Для этого необходимо не позволять властям скрывать информацию о масштабах природных пожаров, т.к. решение названной проблемы – задача государства. На данном этапе удалось достичь признания этой проблемы в части регионов (например, в Забайкальском крае), что привело к снижению масштабов искажения информации о природных пожарах. Также произошло изменение в отношении к палам сухой травы и контролируемым выжиганиям растительности (подробнее – отказ Рослесхоза от практики контр палов <http://forestforum.ru/viewtopic.php?t=11850>, «Правовой ликбез» по сжиганию сухой травы ГУ МЧС по Ямало-Ненецкому автономному округу <http://forestforum.ru/viewtopic.php?t=12197>).

В частности, была проведена оценка площадей, пройденных пожарами в 2010 и 2011 г., а по 2010 г. – также оценка их последствий (подготовлены карта населенных пунктов, пострадавших от пожаров 2010 г., и схема гарей, не расчищенных к началу пожароопасного периода 2011 г.). В обоих случаях оценка площадей, пройденных пожарами, проведена не для всей территории страны, а для наиболее пострадавших участков. В 2010 г. за основу был взят слой пожаров OpenStreetMap, далее он был вручную уточнен по снимкам Landsat (подробно методика опубликована на <http://gis-lab.info/qa/fires-greenpeace.html>).

В 2011 г. оценка площадей проведена по отдельным регионам (Якутия, Архангельская, Амурская, Иркутская, Свердловская и Челябинская области, Республика Коми, Забайкальский, Хабаровский, Красноярский край, Бурятия, ХМАО, ЯНАО). Выделение гарей производилось вручную по снимкам MODIS (склейка или исходным снимкам в синтезе 7:2:1), для сравнения были также взяты снимки прошлого года. Площадь выделенных контуров составила 8,9 млн га. Затем часть пожаров Центральной Якутии (4 сцены Landsat) были оцифрованы по снимкам Landsat, для того чтобы оценить знак и порядок ошибки. Поскольку официальные (заведомо заниженные) данные отличаются от полученных нами в 5 раз (1,8 млн га), было принято, что разброс в 50% от полученной нами цифры позволит считать наши данные достаточно точными для сравнения их с официальной статистикой.

Разница площадей пройденных пожарами территорий, полученных по снимкам Landsat и MODIS на территории Центральной Якутии, варьирует в широких пределах. В частности, отмечены как 4 пожара, окруженных гарями прошлых лет, не выявленных по снимкам MODIS, площадью от 5 до 125 тыс.га, так и участки гарей прошлых лет (5), ошибочно отмеченные по снимкам MODIS, площадью от 1 до 37 тыс га. В целом разница между площадями пожаров, выявленными по снимкам MODIS и Landsat, составила 132 тыс га, причем площадь пожаров по снимку Landsat на данном участке на 46% больше, чем площадь, выявленная по снимкам MODIS. Это позволяет считать точность оценки пройденных пожарами площадей по снимкам MODIS достаточной для сравнения этих данных с официальной статистикой.

Особое внимание в противопожарном проекте уделяется торфяным пожарам. Известно, что торфяные пожары могут гореть в течение длительного времени и ведут к выбросу в атмосферу особенно большого количества продуктов горения. В то же время сами по себе торфяные пожары сложно обнаружить методами дистанционного зондирования. Однако в 2011-2012 гг. удалось разработать эффективную систему обнаружения торфяных пожаров, ключевым источником информации в которой также являются данные дистанционного зондирования.

В результате работы оперативной группе удалось выяснить, что большинство торфяных пожаров возникает в весеннее время в результате возгораний торфа от беглого травяного па-

ла (как правило, эти возгорания множественные и приурочены к локальным повышениям; частным случаем является возгорание торфа по кавальерам канав на территориях, подвергшихся мелиорации). Ранее считалось, что торфяные пожары возникают в середине лета; возможно, это соответствовало действительности в советское время, когда торфяники разрабатывались и травяные палы по заросшим торфяникам не были распространены, но все возгорания торфа, зарегистрированные в 2011 году, были следствием травяного пала.

Торфяные пожары не регистрируются системой FIRMS вплоть до того момента, когда они развиваются в крупные, плохо поддающиеся тушению пожары. Но травяные палы могут быть в ней отражены. Таким образом, единственная возможность своевременного обнаружения торфяных пожаров с помощью данных дистанционного зондирования – выявление их не напрямую, а опосредованно. Весной 2012 г. была отработана методика выявления торфяных пожаров. В Московской и прилегающих областях были проверены все возгорания, попадающие в систему FIRMS в пределы осушенных торфяников в соответствии с упомянутой выше картой.

В целом из опыта использования данных дистанционного зондирования для борьбы с пожарами на природных территориях можно сделать следующие выводы:

1. Дистанционное зондирование технически достаточно развито для эффективного использования в противопожарной работе и широко применяется в работе противопожарного проекта Гринпис России. В настоящий момент необходимо не столько усовершенствование технологий дистанционного зондирования, сколько расширение использования их властью. Необходимо, чтобы в официальной статистике учитывались в том числе данные дистанционного зондирования.

2. Точность оценки пройденных пожарами площадей по снимкам MODIS невысока, но достаточна для сравнения с официальной статистикой. При этом оценка по снимкам MODIS отличается от реальных площадей скорее в меньшую, чем в большую сторону.

3. Необходим, особенно для борьбы с торфяными пожарами, широко доступный (в т.ч. государственным организациям) независимый ресурс, содержащий максимально оперативную съемку высокого разрешения. Это будет препятствовать сокрытию госслужбами информации о природных пожарах.

4. Нужны не только системы выявления, но и системы прогнозирования пожаров и их последствий, а также возможность общей оценки ситуации, в которой следует учитывать в том числе отличающиеся от распространенного мнения особенности развития пожаров (например, весенний пик торфяных пожаров от травы в противоположность мнению о самовозгорании летом).

УДК 630*111:630*232

ВЛИЯНИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ 2010 ГОДА НА ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ МОЛОДНЯКОВ СОСНЫ ИСКУССТВЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Т.В. Нуреева, С.Н. Бродников, Т.Ф. Мифтахов, М.Н. Чурикова,
Поволжский государственный технологический университет

EFFECTS OF EXTREME WEATHER CONDITIONS OF THE 2010 ON THE VITAL CAPACITY OF YOUNG TREES OF PINE IN ARTIFICIAL STANDS

T.V. Nureyeva, S.N. Brodnikov, T.F. Miftakhov, M.N. Churikova,
Volga State University of Technology

Регион Приволжского федерального округа включает республики и области с различными климатическими зонами, лесистостью, породным составом лесов. Но вместе с тем для каждой из них характерны высокая интенсивность ведения лесного хозяйства и посещаемость лесов населением. Это, а также часто возникающие экстремальные погодные условия в виде весенних и летних засух становятся причиной возникновения пожаров. Особенно значительные площади лесов были охвачены пожарами в 1921, 1972, 2010 г.

В Республике Марий Эл, например, площадь лесов в боровых и субборовых условиях, которые относятся к самым высоким классам пожарной опасности, составляет 679,2 тыс. га, или 60,4 % лесного фонда. Среди насаждений в возрасте до 40 лет во всех регионах Приволжского Федерального округа значительная доля принадлежит лесным культурам [1]. Самую высокую опасность представляют молодняки хвойных пород с низко опущенной кроной, которые могут стать причиной перехода низового пожара в верховой.

Повышение жизнеспособности и устойчивости сосняков, в т.ч. искусственного происхождения, а также энергии роста должно способствовать более быстрому очищению стволов от сучьев и высокому расположению кроны. Кроме того, жизнеспособный древостой менее восприимчив к болезням и вредителям.

Жизнеспособность – свойство биологических объектов (клеток, органов, организмов и популяций), отражающее возможность их к дальнейшему существованию в конкретных условиях среды обитания, которая выражается в сохранении жизненно важных функций и параметров своего состояния в определенных пределах в течение заданного промежутка времени [2]. Это свойство биологических объектов может быть охарактеризовано целым рядом физических, биохимических, физиологических, морфологических и популяционных показателей, позволяющих количественно отобразить такие реализованные или потенциально возможные параметры жизнеспособности, как долговечность, сохранность (выживаемость) и сопротивляемость (резистентность), которые выражаются в степени проявления различных защитных реакций организма, возникающих в ответ на нарушение его целостности и жизнеспособности.

Основная задача при создании лесных культур на лесокультурных площадях, в том числе на горельниках, состоит в обеспечении условий для формирования жизнеспособного древостоя. В первые годы после посадки на жизнеспособность древесных растений сосны оказывает влияние технология создания, при которой создаются условия для лучшей приживаемости, сохранности и последующего роста сосны на песчаных и супесчаных почвах.

Множество работ посвящено изучению горельников, лесовосстановлению на горях и повышению пожароустойчивости создаваемых на них насаждений сосны. Большие исследования по успешности создания лесных культур сосны, в основном на старых горях 1921 года, проведены Г.К. Незабудкиным. Им первым для региона составлены типы лесных культур на горях [3,4]. На горях 1972 года изучались культуры сосны в фазе приживания; в более старшем возрасте культуры сосны исследовались Ю.П.Демаковым, А.В.Ивановым [5].

Но до сих пор актуальность вопроса восстановления непокрытых лесом площадей, в т.ч. гарей, в условиях песчаных и супесчаных почв до сих пор не снижается из-за различных точек зрения исследователей на первоначальную густоту. Одни считают, что достаточно посадить 3,5-4,0 тыс. шт./га, другие уверены, что только из густых культур можно вырастить устойчивое и жизнеспособное насаждение.

Основной целью наших исследований было проанализировать лесоводственно-таксационные и физиологические параметры лесных культур сосны обыкновенной и дать оценку устойчивости и жизнеспособности искусственного соснового фитоценоза.

При проведении исследований были использованы следующие методики: закладки пробных площадей с подразделением деревьев по положению в пологе древостоя [6], определение показателей хвои (длины и массы), величины сопротивления прикамбиальных тканей дерева [7].

Пробные площади были заложены в чистых культурах сосны обыкновенной 8-летнего (условия сухого бора Куярского лесничества) и 11-летнего (условия свежей субори Учебно-опытного лесхоза ПГТУ) возраста. Культуры переведены в покрытые лесом площади и находятся в стадии смыкания кронами, преимущественно в ряду. Технологии создания культур существенно не различались: в обоих вариантах произведена нарезка борозд ПКЛ-70 и посадка с размещением 3×0,5-0,6 м. В Куярском лесничестве культуры были созданы на горельнике после расчистки площади и сгребания древесины в валы, посадка проведена механизированная МЛУ-1А. В Учебно-опытном лесхозе посадка осуществлена под меч Колесова на вырубке.

Мы попытались оценить способность искусственных молодняков сосны, созданных с густотой 5,5-6,0 тыс.шт./га, выдержать сложившиеся в 2010 году аномальные погодные условия.

К 8-10-летнему возрасту наблюдается начало процесса формирования структуры насаждения с выделением групп деревьев, занимающих различное положение в его пологе (рис. 1).

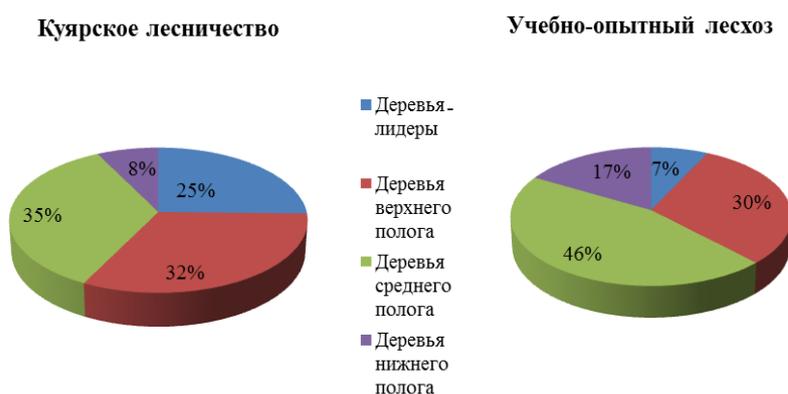


Рис. 1. Распределение деревьев сосны по положению в пологе

Большее количество лидеров и деревьев верхнего полога, из которых будет впоследствии сформировано насаждение, в 8-летних культурах Куярского лесничества может быть связано с возрастом. В культурах более молодого возраста деревья не сомкнулись между рядами и их взаимовлияние проявляется в рядах.

Анализируя лесоводственно-таксационные показатели культур, следует отметить существенные различия между категориями древесных растений, формирующих полог древостоя (табл. 1).

Показатели молодняков сосны искусственного происхождения

Показатели роста культур сосны	Положение деревьев в пологе насаждения				
	лидер	верхнее	среднее	нижнее	среднее по варианту
11-летние культуры сосны (Учебно-опытный лесхоз)					
Н, м/% от среднего	4,9/136,1	4,1/113,9	3,1/86,1	2,3/63,9	3,6
D, см	8,2/154,7	6,4/120,8	4,3/81,1	2,6/49,1	5,3
Z _{ср.общ.} , см	44,5	37,3	28,2	20,9	32,7
Z _{ср. пер.} , см (за 3 года)	55,3	41,3	36,6	35,3	38,9
Z _{2011.год.} , см	52,0	44,2	35,9	29,6	38,9
Количество, т.шт./ %	0,29 / 7,2	1,23 / 30,5	1,84 / 45,6	0,68 / 16,8	4,04 / 100
H/D	0,60	0,64	0,72	0,89	0,68
8-летние культуры сосны (Куярское лесничество)					
Н, м	2,8/133,3	2,4/114,3	1,7/81,0	0,9/42,9	2,1
D, см	2,2/137,5	1,7/106,3	1/62,5	0,3/18,8	1,6
Z _{ср.общ.} , см	33,2	25,7	17,9	10,6	23
Z _{ср. пер.} , см	51,6	43,6	34,1	25,8	40,4
Z _{2011.год.} , М	51,1	38,3	26,7	18,4	35,4
Количество, т. шт./ %	0,43/25,3	1,75/32,1	1,91/35,1	0,41/7,5	5,44/100
H/D	1,27	1,41	1,7	3	1,31

Различия между средней высотой лидеров, деревьев верхнего полога и древостоя в целом на обоих участках составляет 33...36 и 14% соответственно. По диаметру разница более существенна в 11-летних культурах. Детальный анализ приростов в высоту позволяет сделать вывод о том, что за последние 3 года прирост здесь выше среднего общего. В 11-летних культурах сосны Учебно-опытного лесхоза средний прирост древостоя за 2011 год не изменился по сравнению со средним за последние 3 года, в 8-летних культурах Куярского лесничества незначительно уменьшился.

Между тем прирост в высоту насаждения после аномальных погодных условий 2010 года снизился в большей степени у деревьев среднего и нижнего полога, доля которых в 8-летних культурах составляет 40,6%, в 11-летних – 64,3%.

Влияние сухого и жаркого лета 2010 года на показатели физиологического состояния прослеживается в уменьшении величины импеданса от лидеров к деревьям нижнего полога, различие между ними в сопротивлении прикамбиального слоя составляет 2,4 раза (табл.2).

Таблица 2

Характеристика ассимиляционного аппарата и величины импеданса сосны в культурах

Лесничество	Положение дерева в пологе	Средняя длина хвои, см	Масса 100 хвоинок, гр.	Величина импеданса, кОм
11-летние культуры сосны (Учебно-опытный лесхоз ФБГОУ ВПО «ПГТУ»)	Лидер	4,4	1,1	-*
	Верхнее	5,3	1,5	-
	Среднее	5,4	1,5	-
	Нижнее	6,0	2,1	-
8-летние культуры сосны (Куярское лесничество)	Лидер	6,0	1,3	39,3
	Верхнее	5,0	1,1	30,8
	Среднее	4,4	1,1	22,8
	Нижнее	3,6	1,3	16,3

Примечание: *- на пробной площади величина импеданса не определялась

В 8-летних культурах Куярского лесничества средняя длина однолетней хвои уменьшается в зависимости от занимаемого деревом положения в пологе древостоя. Длина и масса хвои сосны на побегах последнего года в 11-летних культурах Учебно-опытного лесхоза, наоборот, увеличилась, что, по-видимому, является отражением погодных условий 2011 года.

Сравнение размеров хвои за последние 3 года выявило снижение длины хвои 2010 года по сравнению с предыдущим, и увеличение данного показателя в 2011 году в сравнении не только с аномальным 2010-м, но и предыдущим – 2009 годом (рис. 2), причем длина хвои увеличилась обратно пропорционально положению дерева в пологе насаждения.



Рис. 2. Длина однолетней хвои на модельных деревьях за последние 3 года.

Если длина хвои 2011 г. деревьев лидеров, верхнего и среднего полога по сравнению с предыдущим годом увеличилась в 1,2..1,3 раза, то нижнего значительно больше – в 1,9 раз.

Таким образом, большей жизнеспособностью обладают деревья сосны, относящиеся к лидерам и верхнему пологу, из них формируется насаждение к возрасту рубки. Они в меньшей степени подвержены влиянию аномально жарких погодных условий, и чем больше в насаждении деревьев, обладающих ускоренным ростом, способных выйти в верхний полог, тем выше шансы древостоя сохранить высокие темпы роста в аномально жарких условиях.

Библиографический список

1. Романов, Е.М. Перевод лесных культур сосны в лесные плантации: целесообразность и лесоводственно-экономическая эффективность / Е.М. Романов, Н.В. Еремин, Т.В. Нуреева // Лесное хозяйство. – 2010. – № 6. – С. 30-33.
2. Демаков, Ю.П. Защита растений. Жизнеспособность и жизнестойкость древесных растений / Ю.П. Демаков. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. – 112 с.
3. Незабудкин, Г.К. Типы лесных культур сосны на вырубках и гарях в сосняках Марийской АССР / Г.К. Незабудкин. – Йошкар-Ола, 1961. – 47 с.
4. Незабудкин, Г.К. Типы лесных культур сосны на землях Гослесфонда Марийской АССР / Г.К. Незабудкин, Н.В. Еремин. – Йошкар-Ола, 1969. – 72 с.

УДК 630*651.72

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛЕСНЫХ СООБЩЕСТВ

И.С.Нурғалиев

Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А.Тимирязева

MATHEMATICAL MODELS OF RECOVERY OF FOREST COMMUNITIES

I. Nurgaliev

Russian State Agrarian University - MTAA named after K.A.Timiryazev

Использование методов математического моделирования в исследовании процессов, протекающих в лесном комплексе, не ново. Начиная с процессов фотосинтеза и единичного акта захвата фотона зеленым листком и заканчивая балансowymi моделями, рассматривающими вклад леса в биосферный процесс квазициклического оборота веществ на планете, все вовлеченные природные процессы могут быть проанализированы с точки зрения причинно-следственных связей, выявленных физикой, выраженных в математических моделях. Тем не менее, лесной массив как таковой, как развивающийся объект математического моделирования методами современной математики, ждет своего часа для использования новых математических методов анализа. Предложено для этой цели направление нелинейного моделирования. Представлена самосогласованная система уравнений многокомпонентной диффузии-реакции, моделирующая развитие лесного комплекса. Обсуждены также результаты применения этого метода в смежных областях [1-6].

Как известно, стремление к выживанию, к росту и размножению ведет к распространению в пространстве, занятию нового ареала, экспансии растений и живых организмов. Растительные и биологические виды жизни по своему экспансионистскому поведению имеют аналогию с физическими явлениями переноса (диффузия, тепло- и массоперенос), с процессом горения. Любопытно, что, наоборот, моделирование биологических систем также может предшествовать моделированию своих физических и механических аналогов. Классическая в теории горения модель ПКП (Петровского - Колмогорова - Пискунова), например, впервые была предложена авторами в 1937 г. именно как биологическая модель распространения доминирующего популяционного вида в пространстве.

Все три автора этой работы являются крупнейшими российскими математиками. Академик Иван Георгиевич Петровский (1901-1973) – автор фундаментальных трудов по теории дифференциальных уравнений, алгебре, геометрии, математической физике, более 20 лет (1951-1973) был ректором Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. Андрей Николаевич Колмогоров (1903-1987) лидер российской математической школы по теории вероятностей и теории функций, автор фундаментальных трудов по математической логике, топологии, теории дифференциальных уравнений, теории информации, организатор школьного и университетского математического образования, написал несколько работ, в основу которых положены биологические постановки. В частности, в 1936 г. он предложил и подробно исследовал обобщенную модель взаимодействия видов типа хищник-жертва.

Рассмотрим постановку задачи о распространении растений лесного комплекса за пределы существующего лесного ареала во внешнюю среду. Задача формулируется в виде многокомпонентной динамической системы, каждая компонента x которой с индексом i отвечает за растение i и имеет смысл биомассы. Процесс описывается уравнением

$$\frac{\partial x_i}{\partial t} = f(\{x_i\}) + \nabla D_i(r) \nabla x_i . \quad (1)$$

Это уравнение в данной работе предлагается как простейшее из уравнений типа многокомпонентной диффузии-реакции, а именно: нелинейный член $f(\{x_i\})$ моделирует нелинейный процесс размножения растений и их конкурентного и содружественного взаимодействия в заданном участке леса. Градиентный (диффузионный) член отражает преимущественное распространение растения в направлении наличия жизненно важных факторов (солнечный свет, благоприятный состав почвы и т.д.), отсутствия конкурентов и присутствия «союзников».

Как часто бывает с простейшими фундаментальными уравнениями, они оказываются чрезвычайно универсальными. Действительно, уравнение (1) можно использовать для моделирования не только распространения лесного массива за его имеющиеся границы и формирования интенсивности его растительного состава в уже занимаемом ареале, но и роста отдельного дерева. Действительно, компоненты x_i можно трактовать как концентрацию питательных веществ, а нелинейный процесс $f(\{x_i\})$ – как химические и биологические реакции в ткани дерева по мере осуществления диффузионного процесса роста, протекающего в стволе развивающегося дерева или иного лесного растения. Получающиеся фрактальные компьютерные образы при численном моделировании впечатляют своей реалистичностью (рис. 1, 2). Характерные знакомые каждому ребенку очертания распределения соответствующих веществ известны как причудливые красивые узоры на срезах стволов (рис. 3).



Рис. 1. Папоротник (Источник <http://1.bp.blogspot.com>)

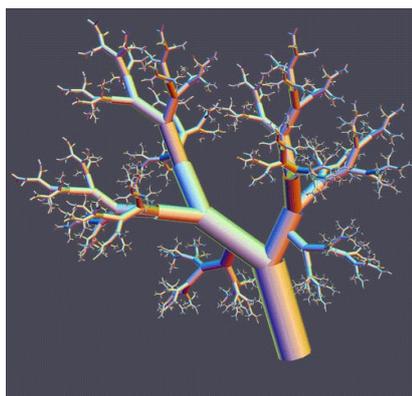


Рис. 2. Крона дерева (Источник <http://www.shmula.com/>)



Рис. 3. Срез ствола дерева (Фото автора)

Другой пример таких структур – перколяционные диффузионные фронты жидкости в лесной почве, напоминающие пальцы.

Универсальность уравнения (1) распространяется «вглубь» как модель формирования (и разрушения) микро– и наноструктур согласно заданному (генетическому) коду функциями f и D . Возникающие новые структуры далее действуют и развиваются как системы уже с характерными для них организационными особенностями. Таким образом выделяются этапы развития растений и животных как зародышевые и эмбриональные.

Покажем, что возникающее понимание динамики процессов, описываемых выдвинутым уравнением (1), напоминает принцип Гюйгенса в геометрической оптике. Т.е. каждая точка, до которой дошел процесс, становится источником такого же процесса. С этим сходно происхождение фрактального характера основных геометрических форм в лесу. В данном многокомпонентном случае модели процесс более сложный, чем оптический: он включает взаимодействие существующих в большом количестве отличающихся друг от друга и по-разному взаимодействующих компонент. Пусть при $t=0$ имело место некое распределение переменных x . Пусть в некоей точке, условно $r = 0$, имело место некая распределенность растений $x(r)$. При $t>0$ в такой системе начинает распространяться волны концентраций из точки $r = 0$ в область $r>0$, которая является результатом двух взаимодействующих процессов: случайного перемещения семян деревьев, кустарников, трав, их прорастания и борьбы за существование, выживания, конкуренции описываемого функцией $f(x)$. С течением времени фронты волн разных x перемещаются в сторону больших r , причем их форма приближается к определенной предельной форме, давая жизнь известным формам растений. Если процессы стабилизируются, скорость перемещения волны определяется коэффициентами диффузии D и формами функций $f(x)$.

Изучение пространственного перемещения в классических моделях хищник-жертва Вольтерра-Лотки как частный случай системы (1) показывает, что в такой системе в случае неограниченного пространства будут распространяться волны «бегства и погони». В ограниченном пространстве установятся стационарные пространственно неоднородные (диссипативные) структуры, или автоволны, в зависимости от параметров системы.

Автоволны и диссипативные структуры. Базовая модель «брюсселятор»

На примере одномерной модели видно, что взаимодействие нелинейной химической реакции и диффузии приводит к нетривиальным режимам. Еще более сложное поведение изучено в двумерных моделях, описывающих взаимодействие компонентов химической системы. Первая такая модель была исследована Аланом Тьюрингом в работе под названием «Химические основы морфогенеза». Алан М.Тьюринг (1912-1954) – английский математик и логик, известен работами по компьютерной логике и теории автоматов. В 1952 г. он опубликовал первую часть исследования, посвященного математической теории образования структур в первоначально однородной системе. Предполагалось, что одновременно проходят химические реакции, в том числе автокаталитические процессы, сопровождаемые потреблением энергии, и пассивные процессы переноса – диффузия. Это исследование осталось незавершенным из-за трагического конца жизни автора.

Работа Тьюринга стала классикой, его идеи легли в основу современной теории нелинейных систем, теории самоорганизации и синергетики. Тьюринг рассматривал систему уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{\partial x}{\partial t} &= P(x, y) + D_x \frac{\partial^2 x}{\partial r^2} \\ \frac{\partial y}{\partial t} &= Q(x, y) + D_y \frac{\partial^2 y}{\partial r^2}. \end{aligned} \quad (2)$$

Они представляют собой двумерный случай системы

$$\frac{\partial x_i}{\partial t} = f(\{x_i\}) + D_i(r) \frac{\partial^2 x_i}{\partial r^2}, \quad (3)$$

являющейся, в свою очередь, частным случаем (1). В линейных системах, как известно, диффузия – это процесс, который приводит к выравниванию концентраций во всем объеме. Однако в случае нелинейного взаимодействия переменных X и Y , в системе может возникать неустойчивость гомогенного стационарного распределения и могут образоваться сложные пространственно-временные режимы типа автоволн или так называемых диссипативных структур – стационарных во времени и неоднородных по пространству распределений концентраций. Многокомпонентные автоволны представляют собой модели восстановления леса после пожара, когда друг за другом восстанавливаются трава, кустарники, лиственный и хвойный лес.

Существование структур не обязательно связано со статичностью соответствующих концентраций и может сопровождаться в активных средах потреблением внешней энергии или ее перераспределением в подсистемах в процессах диссипации и морфогенеза. Замеченной и описанной в случае ферментативных реакций универсальной особенностью возникновения структур в таких системах оказалось различие коэффициентов диффузии реагентов, а именно, наличие «активатора» с малым коэффициентом диффузии и «ингибитора» с большим коэффициентом диффузии. Это направление моделирования реальных процессов в свою оче-

редь привело к существенному пониманию математики родственных процессов и к понятиям так называемых быстрого и медленного времен. Соответствующий результат известен как теорема Тихонова.

Такие режимы в двухкомпонентной системе были весьма подробно изучены в деталях на базовой модели под названием «брюсселятор» (Пригожин и Лефевр, 1968), названной в честь брюссельской научной школы под руководством И.Р.Пригожина. Илья Романович Пригожин (1917-2003) всю жизнь работал в Бельгии. С 1962 г. он – директор Международного Сольвеевского института физической химии в Брюсселе, а с 1967 г. - директор Центра статистической механики и термодинамики Техасского университета (США). В 1977 г. он получил Нобелевскую премию за работы по нелинейной термодинамике, в частности, как раз по теории диссипативных структур – устойчивых во времени неоднородных в пространстве структур. Пригожин – автор и соавтор целого ряда научных бестселлеров («Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций», «Порядок из хаоса», «Стрела времени» и др.). Его перу принадлежит изложение математических, физико-химических, биологических и философских идей теории самоорганизации в нелинейных системах. С его именем связаны исследования причин и закономерностей рождения «порядка из хаоса» в богатых энергией открытых для потоков вещества и энергии системах, далеких от термодинамического равновесия, под действием случайных флуктуаций, примером которых является лес. Данные тезисы представлены частично на основе материалов доклада, сделанного ранее [7]. Поэтому коллеги легко могут вспомнить, как на основе именно данного анализа делался вывод о малой эффективности из-за рассосредоточенности противопожарной системы лесного хозяйства по причине сниженной мобилизационной способности. Очевидно, автор не мог тогда предвидеть, как скоро этот вывод будет проиллюстрирован и подтвержден пожарами 2010 года.

Библиографический список

1. Капица, П.Л. Эксперимент. Теория. Практика. Статьи, выступление / П.Л. Капица. –М.: Физматлит, 1981.
2. Holdren, J. Population and the energy problem / J. Holden // Population and Environment. J. Interdiscipl. Stud. 1991. – Vol.12. – №3.
3. Капица, С.П. Синергетика и прогнозы будущего / С.П. Капица, С.П. Курдюмов, Г.Г. Малинецкий. – М.: УРСС, 2003.
4. Nurgaliev, I.S. Physics in 20th Century, Global Risk and Security / I.S. Nurgaliev// History of Physics in Europe in the 19th and 20th Centuries: Proceedings of 1st Europhysics Conference of European Physical Society. – Como, Italy, 1992.
5. Стребков, Д.С. Возобновляемая энергетика в третьем тысячелетии / Д.С. Стребков // Вестн. Рос.акад. с.-х. наук. – М, 2001. – №2. – С.11-13.
6. Нурғалиев, И.С. Международный гелиофизический год – 2007 под эгидой ООН / И.С. Нурғалиев. – УФН. – 2006. – Т. 126. – С. 566.
7. [http://tempus.marstu.net/programs/program1\(rus\).pdf](http://tempus.marstu.net/programs/program1(rus).pdf)

УДК581.34:582.475.2

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА МУЖСКИХ ГЕНЕРАТИВНЫХ ОРГАНОВ У ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ И СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО КЛИМАТА СИБИРИ

Н.Е. Носкова, Л.И. Романова

Красноярский государственный аграрный университет,
Сибирский государственный технологический университет

STRUCTURAL AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF MALE GENERATIVE ORGANS OF SIBERIAN LARCH AND SCOTS PINE UNDER CURRENT CLIMATE IN SIBERIA

N.E. Noskova, L.I. Romanova

Krasnoyarsk state agrarian university, Siberian state technological university

Глобальное потепление сопровождается постепенным изменением климата в разных регионах Земли [6]. Установлено, что климат территории России наиболее чувствителен к глобальному потеплению, чем климат других регионов земного шара [3]. При этом в Сибири часто наблюдается раннее наступление весны, на протяжении ряда лет стабильно прослеживается задержка наступления зимы на 1-2 нед., а в отдельные годы и на более продолжительный период [2].

Увеличение длительности весеннего и осеннего сезонов вызвало характерный ответ в поведении адаптированных к местным сезонным температурным условиям видов животных и растений, а также продвижение зональной растительности в северном направлении и выше в горы; увеличение массы зеленого покрова [7]. Хвойные неоднозначно ведут себя в новых условиях. Так, было выявлено положительное влияние климатических изменений на ростовые характеристики сосны обыкновенной и лиственницы сибирской [5], показана экспансия лесных сообществ лиственницы в тундровую зону за последние десятилетия [1]. В то же время отмечено ухудшение посевных качеств семян у лиственницы и сокращение доли лиственницы в лесах на границе южной тайги и лесостепи [4].

Развитие генеративных органов у сибирских хвойных связано с видовыми свойствами. В июле, после остановки роста побегов, закладываются вегетативные и генеративные почки, в них идут активные процессы морфогенеза. Лиственница сибирская и сосна обыкновенная – основные лесообразующие виды бореальной зоны, прекрасно адаптированы к местным температурным условиям. Развитие микроспорофиллов в мужских генеративных почках у лиственницы происходит наиболее быстрыми темпами. Осенью в мужских генеративных почках лиственницы сибирской формируются микроспорофиллы с микроспорангиями, в которых развиваются клетки археспория. В начале октября клетки археспория дифференцируются в микроспороциты, вступают в профазу 1 мейоза и на стадии диплотены зимуют. Весной в марте следующего года мейоз завершается, формируются зрелые пыльцевые зерна (конец апреля – начало мая).

У сосны обыкновенной формирование мужских генеративных почек идет медленнее. Осенью в мужских почках закладываются клетки археспория, а процессы микроспорогенеза, развитие мужского гаметофита и пыление проходят следующей весной, обычно в мае – начале июня. Развитие мужских генеративных органов у обоих видов тесно связано с температурой воздуха.

Исследования мужских генеративных побегов у лиственницы сибирской показали, что в окрестностях г. Красноярска в аномальные годы с продолжительной и теплой осенью микроспороциты уходили в зиму на стадии диакинеза, более продвинутой стадии профазы I (рис. 1). Зимой, при частых оттепелях, от 0 до +4⁰С микростробилы лиственницы сибирской увеличивались в размерах и приобретали желтый цвет. Цитологический анализ показал наличие в них деградирующих диад и тетрад микроспор, а также редуцированных пыльцевых зерен, что свидетельствует о прошедших редуцированных делениях. Массовое образование деградирующих диад и тетрад в зимний период при оттепелях приводило к слабому пылению лиственницы весной.

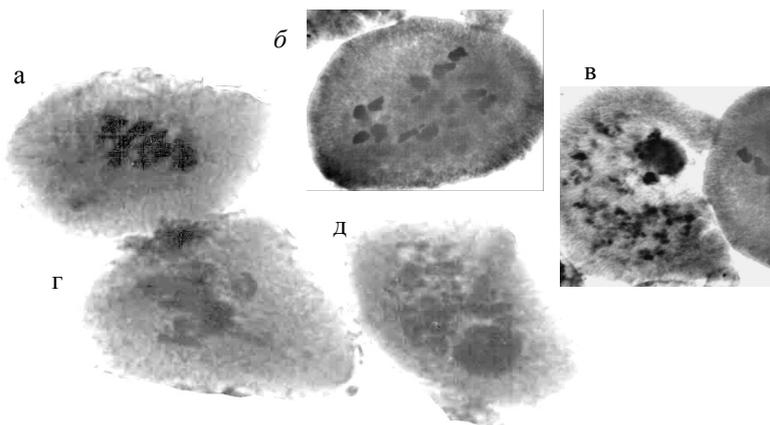


Рис. 1. Мейоз в микроспороцитах лиственницы сибирской:
а – метафаза I, *б* – диакинез, *в* – диффузная стадия, *г* – поздняя профаза I, *д* – ранняя профаза I

При внесении веток лиственницы зимой в тепло и погружении их в воду в течение двух недель происходило появление брахибластов, достигающих длины в среднем 0,5-0,7 см. Далее происходило высыпание одноклеточной пыльцы из микростробилов. При хранении веток лиственницы с мужскими генеративными почками на стадии профазы I в условиях холодильной камеры при температуре 0 +4 °С в течение двух недель мейоз завершался и наблюдалось формирование пыльцевых зерен. Таким образом, у лиственницы при низких положительных температурах *in vivo* и *in situ* возобновлялись мейотические деления и формировались одноклеточные пыльцевые зерна. Следовательно, в генеративных органах лиственницы сибирской отсутствует органический покой в осенне-зимний период и при низких плюсовых температурах они способны продолжать свое развитие.

В результате исследований было выявлено, что возобновление мейотических делений *in vivo* у лиственницы происходит обычно весной в конце марта – начале апреля, в период низких положительных температур. Мейоз у лиственницы в г. Красноярске и его окрестностях проходил в конце марта – начале апреля при среднесуточных температурах воздуха, часто около нуля. Интересно отметить, что во всех условиях произрастания у лиственницы сибирской при прохождении редукционного деления наблюдалось большое число нарушений (рис.2). При этом было установлено, что наиболее широкий спектр хромосомных нарушений был выявлен в микроспороцитах лиственницы сибирской, произрастающей в условиях промышленного загрязнения. Анализ аномальных мейоцитов показал, что наибольшее количество нарушений наблюдалось на стадии анафазы – телофазы II.

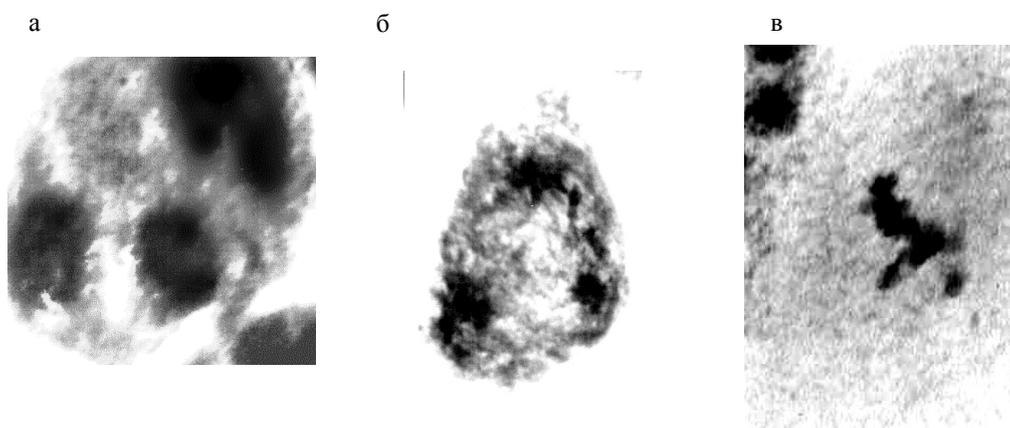


Рис. 2. Нарушения в мейозе у лиственницы сибирской:
а – расщепление веретена при первом делении с образованием триады; *б* – разорванный хромосомный мост; *в* – выброс хромосом за пределы веретена деления, x 500

Значительную долю нарушений составляло расщепление веретена деления с образованием триад, эта аномалия встречалась только в условиях загрязнения. Фрагменты в метафазах первого деления клеток лиственницы из загрязненного района наблюдались в 2 раза чаще, чем в мейоцитах с фоновых насаждений. Отставаний хромосом в клетках изучаемого объекта в условиях загрязнения также выявлено больше, по сравнению с контролем. Все наблюдаемые нарушения в мейозе сказывались на качестве пыльцевых зерен у лиственницы. В начале мая у лиственницы в микроспорах проходили три-четыре деления с образованием зрелой пыльцы, состоящей из 2-3 клеток.

Известно, что зрелые пыльцевые зерна лиственниц окружены очень толстой экзиной, которая предотвращает их от неблагоприятных воздействий природных факторов в период формирования и препятствует прорастанию пыльцы. Даже в условиях *in vitro* зрелые пыльцевые зерна лиственницы не прорастают на питательных средах. Однако в период редукционного деления и формирования микроспор мужские генеративные структуры лиственницы не имеют толстой оболочки и очень сильно подвержены негативному воздействию факторов внешней среды. Отсутствие у лиственницы органического покоя и нормальных покровов в осенне-зимний период привело к тому, что при низких отрицательных температурах происходила массовая гибель микроспор и, как следствие, гаметогенез выпадал из цикла развития, что, в свою очередь, оказывает негативное влияние на процесс опыления семязпочек и формирование урожая у лиственниц.

На основании проведенных исследований можно заключить, что редкие семенные годы у лиственниц обусловлены погодными условиями в период формирования пыльцы. При отрицательной температуре воздуха зимой микростробилы лиственницы находятся в вынужденном покое и при теплой продолжительной осени и мягкой зиме могут продолжать свое развитие, что имеет негативные последствия при наступлении морозного периода. Более того, заморозки, наблюдаемые в отдельные годы в период формирования мужского гаметофита, нарушают нормальный ход формирования спородермы. В результате экзина формировалась тонкой и при легком нажиме на пыльцевое зерно разрывалась (рис.3). В результате этого феномена пыльцевые зерна лиственницы прорастали на искусственных средах без всякой химической предобработки. Завершение мейоза у микроспороцитов ранней весной при положительных температурах воздуха (даже около 0 °С) приводит к формированию полноценных пыльцевых зерен, окруженных толстой оболочкой, которая защищает содержимое пыльцевого зерна от внешних воздействий.

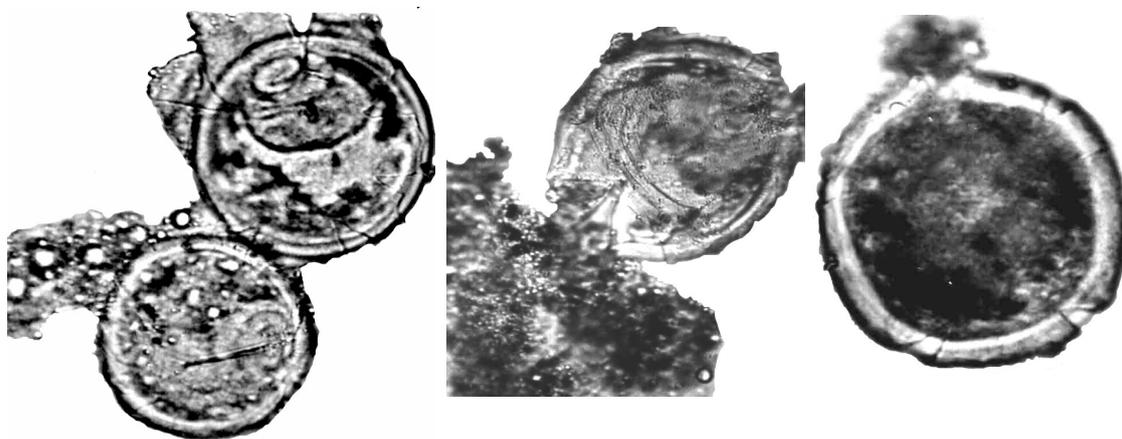


Рис. 3. Слабая, чувствительная к механическому воздействию экзина у пыльцы лиственницы сибирской

У сосны обыкновенной в условиях Сибири процессы микроспорогенеза в почках идут весной следующего после заложения почек года. Однако в годы с продолжительной и теплой осенью развитие мужских генеративных органов у сосны оказалось более продвинутым. В условиях достаточно высоких осенних температур в течение продолжительного периода клетки археспория сосны успевали пройти митотические деления, дифференцировались микроспороциты, которые вступали в первую фазу мейотического деления, и относительно короткий покой в диплоте у сосны растягивался на долгие зимние месяцы. Микроспороциты у сосны обыкновенной, как и у видов *Larix*, зимовали в состоянии профазы I, однако при оттепелях зимой мейоза не завершали.

Редукционное деление в микроспороцитах сосны обыкновенной, при смещении сроков запуска микроспорогенеза, возобновлялось в начале мая следующего года развития с минимальным накоплением эффективных температур (49-55 градусо-дней) и при пороговом значении среднесуточной температуры в пределах 10-12 °С, завершалось. Для запуска второго деления мейоза также необходимо пороговое значение температуры. При похолодании в период микроспорогенеза эквационное деление задерживалось до наступления благоприятных температур. Оба деления микроспорогенеза проходили с высоким уровнем аномалий (до 40 %, см. табл. 1). В ходе дальнейшего развития примерно 29-32 % мейоцитов с нарушениями в ходе мейоза деградировали. Неутилизированные мейоциты в процессе дальнейшего развития формировали аномальные пыльцевые зерна (30-80 %).

Таблица 1

Частота встречаемости мейоцитов с нарушениями деления

Нарушение	%
Хромосомные и хроматидные мосты	7
Отстающие хромосомы и фрагменты	1,5
Параллельное расположение веретена деления (может привести к слиянию полюсов деления)	36
Нарушение функций ахроматинового веретена	3-4
Неравное распределение генетического материала между дочерними клетками	0,5
Выброс хромосом за пределы веретена деления	1-2
Ранний цитокинез (после первого деления)	3-5

Формирование пыльцы у сосны обыкновенной шло асинхронно у разных деревьев и в пределах одного микростробила. Сроки и длительность этапов развития пыльцы варьировали в зависимости от температуры. В ходе гаметофитогенеза шло развитие пыльцевых оболочек, стремительный рост размеров пыльцевых зерен, которые достигли максимальных размеров за два-три дня до начала пыления и составили 106-116 % от размеров зрелого пыльцевого зерна. В последующие дни размеры пыльцевых зерен уменьшались в связи с подготовительными процессами, предшествующими пылению. Первые проталлиальные деления при формировании пыльцы у сосны обыкновенной зарегистрированы за неделю до начала пыления. За три дня до начала пыления в образцах встречались пыльцевые зерна с одной и двумя проталлиальными клетками. Перед началом пыления наблюдались истончение интины и заполнение воздухом мешков пыльцевого зерна. Влажная погода задерживала процессы подготовки и начала пыления. При установлении же сухой и теплой погоды наступало дружное массовое пыление, которое завершалось за несколько дней.

Результаты цитологических исследований показали, что в образцах зрелой пыльцы доля характерных для сосен двухклеточных гаметофитов составила только 24-32 %. Остальную массу составила пыльца на стадии проталлиальных делений (18-20 %), одноклеточная (37-41 %) и деградиру-

ющая (10 %) пыльца. Доля тератологических форм превысила 40 %. Таким образом, 50-60 % зрелых пыльцевых зерен на момент вылета из спорангия не завершили гаметофитогенез. Результаты теста на крахмал показали слабое накопление углевода в зрелых пыльцевых зернах (20-50 %). Такая пыльца слабо прорастала на питательных средах, а в отдельные годы была полностью стерильной. У прораставших гаметофитов пыльцевые трубки часто были «забиты» каллозными пробками, что препятствовало перемещению ядра вегетативной клетки и генеративной клетки в трубку. Такие пыльцевые трубки не превышали в длину 1-1,5 диаметра тела пыльцевого зерна и быстро лизировали. Низкое качество пыльцы обусловило низкую семенную продуктивность у сосны обыкновенной в исследуемые годы.

Техногенное загрязнение оказало еще более негативное влияние на формирование мужского гаметофита у сосны обыкновенной. В техногенных районах переход к осеннему запуску процессов мейоза произошел, как и у лиственницы сибирской, несколько раньше, чем в менее загрязненных районах. Наблюдались усиление нарушений под воздействием поллютантов в период мейоза и значительное снижение качества пыльцы.

Таким образом, формирование пыльцы у лиственницы сибирской и сосны обыкновенной в условиях изменившегося в последние годы климата имело свои особенности: мейоз в микроспорах начинался осенью и заканчивался весной следующего года (у лиственницы – в начале апреля, у сосны – в начале мая). Мейотические деления проходили с многочисленными нарушениями, во многих случаях в микроспорах отсутствовали проталлиальные деления. В результате наблюдалось большое количество аномальной пыльцы, в том числе одноядерной, не способной формировать пыльцевые трубки. Ранний мейоз, большое количество нарушений в процессе мейотических делений и формирования гаметофитов привели к образованию стерильной пыльцы, слабому пылению и, как следствие, к слабому (или полному) отсутствию урожая шишек и семян. Стерильность пыльцы возрастала в районах с высокой техногенной нагрузкой.

Библиографический список

1. Абаимов, А.П. Эколого-географические особенности притундровых лесов Средней Сибири и организация хозяйства в них [Текст] / А.П. Абаимов, А.И. Бондарев // Проблемы притундрового лесоводства. – Архангельск, 1995. – С. 42-55.
2. О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае за 2010 год [Текст]. – Красноярск, 2011. – 280 с.
3. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации (Общее резюме) [Текст] / под ред. Т.В. Лешкевич. – М., 2008. – 28 с.
4. Павлов, И.Н. Динамика посевных качеств семян *Larix sibirica* Ledeb. в насаждениях юга Сибири с 1936 по 2000 г.г. [Текст] / И.Н. Павлов, А.Г. Миронов // Хвойные бореальной зоны. – 2003. – Вып. 1. – С. 14-21.
5. Assessing population responses to climate in *Pinus sylvestris* and *Larix* spp. of Eurasia with climate-transfer models [Текст] / Rehfeldt Gerald E., Tchebakova Nadejda M., Milyutin Leonid I. et al. // Eurasian J. For. Res. 6-2: 83-98, 2003.
6. Rahmstorf, S. Recent Climate Observations Compared to Projections [Текст] / Stefan Rahmstorf, Anny Cazenave, John A. Church et al. // Science. – 2007. – Vol. 316. – P. 709.
7. Чебакова, Н.М. Прогноз изменения фитомассы лесов в широтных и высотных зонах при потеплении климата [Текст] / Н.М. Чебакова, Е.И. Парфенова, Р.А. Монсеруд // Лесные экосистемы Енисейского меридиана. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – С. 252-264.

МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ МЕТОДАМИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

А.В. Губаев¹, Э.А. Курбанов¹, О.Н. Кранкина², О.Н. Воробьев¹

¹Поволжский государственный технологический университет

²Орегонский государственный университет

MONITORING AND PROGNOSIS OF THE FOREST CONDITIONS WITH THE USE OF REMOTE SENSING

A.V. Gubayev¹, E.A. Kurbanov¹, O.N. Krankina², O.N. Vorobyov¹

¹Volga State University of Technology

²Oregon State University

Надежные данные о растительном покрове земли и его изменениях необходимы для решения целого ряда важных современных научных проблем – от влияния землепользования на глобальный цикл углерода, энергообмен на поверхности земли и водный баланс до влияния климата на продуктивность растительности и нарушения ее покрова с целью понимания социальных и экологических причин и последствий таких изменений. Кроме того, понимание процессов антропогенного влияния на лесопользование и возможности мониторинга за изменениями во времени и пространстве может позволить обоснованно принимать решения по снижению последствий такого влияния на лесные экосистемы и человека, а также обеспечивать устойчивое развитие.

В течение последних трех десятилетий произошло существенное увеличение числа спутников и программных средств, обеспечивающих информацию и методы для мониторинга состояния земного покрова (Friedl et al. 2002; Bartholome and Belward, 2005; Колесникова и Черепанов, 2009; Барталев и др., 2009; Ran et al., 2010). Первые попытки создания глобальной карты на основе данных AVHRR, которые до настоящего времени широко используются в проектах по оценке окружающей среды, были предприняты рядом американских ученых (Matthews, 1983; DeFries et al., 1995).

В 1998–1999 гг на смену AVHRR пришел европейский инструмент VEGETATION-1 на борту спутника Satellite Pour l'Observation de la Terre (SPOT) и почти одновременно – американский инструмент Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), что послужило основой для параллельной разработки двух новых глобальных карт земного покрова: GLC-2000 (Bartholome & Belward, 2005) и MODIS Global Land Cover Product (Friedl et al., 2002). Обе карты были выполнены с номинальным пространственным разрешением 1 км и характеризуют наземный покров для широкого диапазона континентальных и глобальных исследований. Проект по разработке карты MODIS (Friedl et al., 2002) положил в основу предыдущие разработки программы IGBP по классификации растительности. Кроме 17 классов наземного покрова (рис. 1), была также получена динамика растительного покрова (phenology) и процент покрытия земной поверхности древесным пологом (VCF) (Hansen et al., 2003). В этих исследованиях управляемая классификация явилась основным методом для обработки глобальных данных MODIS. В дополнение к классу IGBP для каждого пикселя полученная тематическая карта земного покрова MODIS обеспечила несколько дополнительных параметров, включающих оценку точности классификации по маркерам IGBP и прогнозирование наиболее вероятного альтернативного класса. Полученные результаты на основе

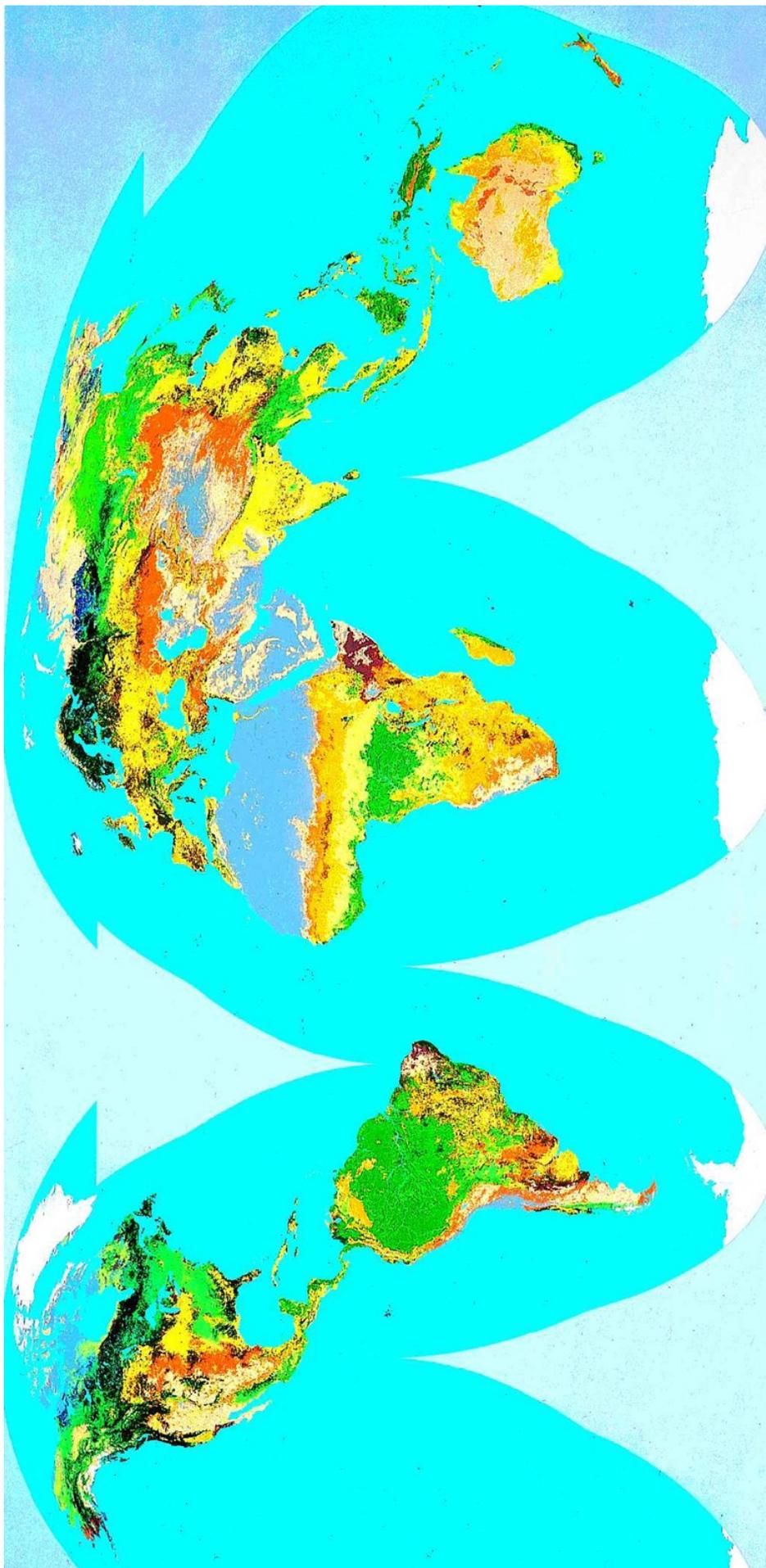
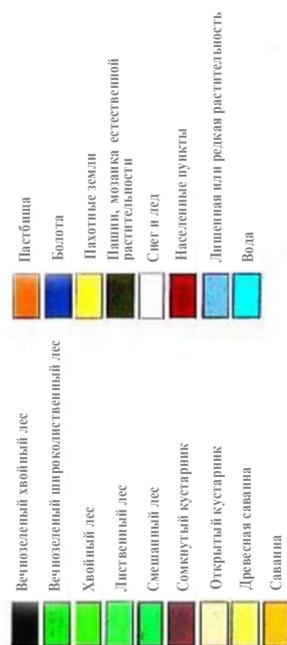


Рис. 1. Глобальная карта наземного покрова IGBP DISCover, выполненная по спутниковым снимкам NOAA/AVHRR



мультивременных данных (5 месяцев) MODIS прошли сравнение с данными тематических карт, полученных на основе AVHRR и Landsat TM. Визуальный анализ показывает существенные различия между этими тематическими изображениями наземного покрова. Как видно из рис. 2 снимки MODIS демонстрируют более высокую пространственную детализацию наземных объектов на тематической карте тихоокеанского побережья северо-запада США, чем данные AVHRR. Эти различия особенно проявляются в лесной зоне восточной части спутниковой сцены (рис. 2).

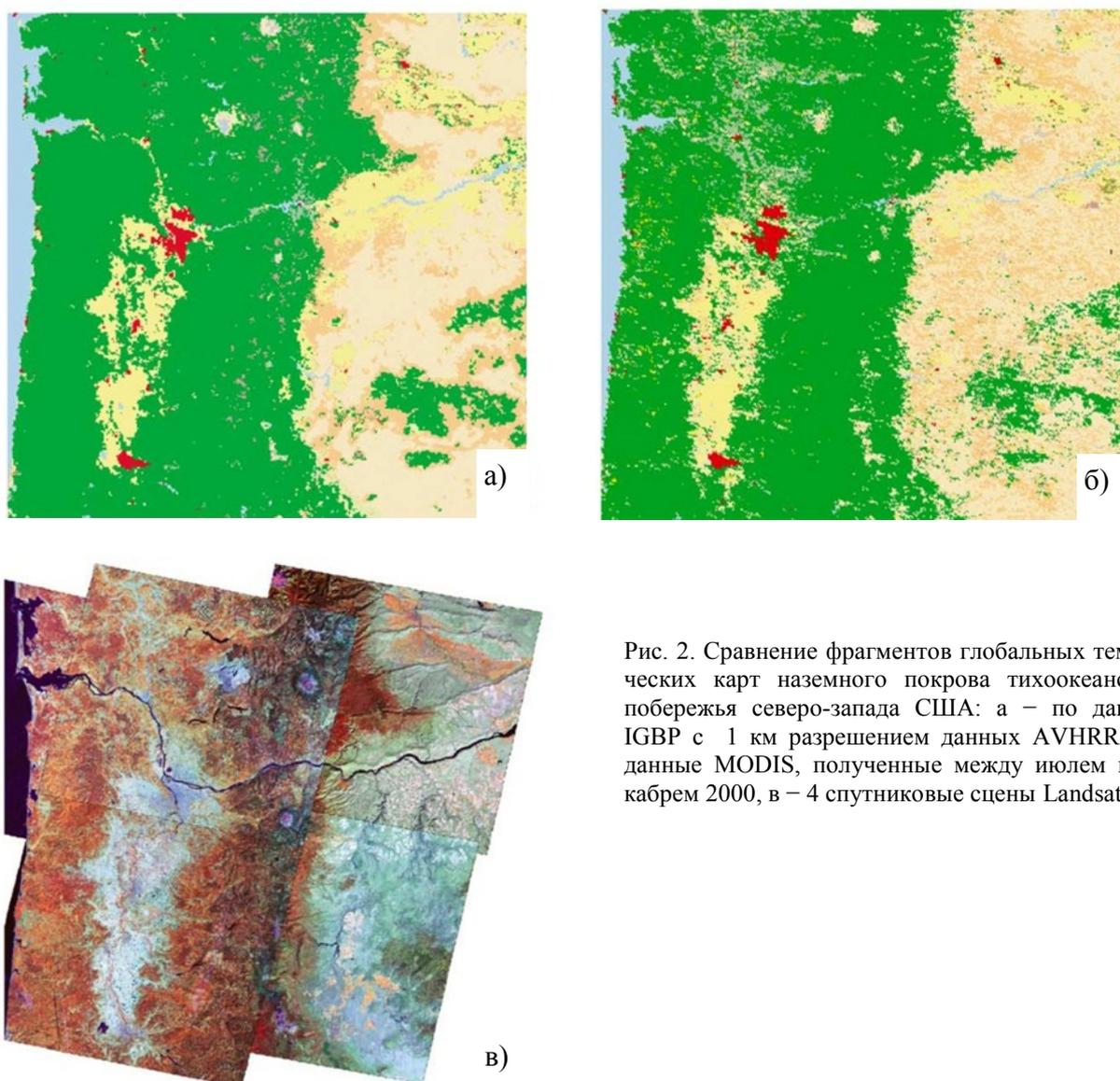


Рис. 2. Сравнение фрагментов глобальных тематических карт наземного покрова тихоокеанского побережья северо-запада США: а – по данным IGBP с 1 км разрешением данных AVHRR, б – данные MODIS, полученные между июлем и декабрем 2000, в – 4 спутниковые сцены Landsat TM

Карта GLC–2000 (Bartholome & Belward, 2005) была разработана как в глобальном варианте, так и для каждого континента отдельно и использовала классификацию LCCS. Карта для Северной Евразии из набора GLC–2000 отражает особенности региона (Барталев и др., 2004). Среди других разработок по картированию покрова следует отметить атлас девственных лесов World Forest Watch (Aksenov et al., 2002). При этом комбинация данных среднего (Terra/Aqua–MODIS или Landsat–7 ETM+) и высокого (ALOS, ICONOS, Quick bird или SPOT–HRV) пространственного разрешения является одним из новых путей оперативного получения сведений о количественных и качественных показателях состояния лесов (Potapov et. al., 2008, Курбанов и др., 2010, Леухин и др., 2010).

В оценках лесных территорий, пройденных нарушениями (пожарами, вредителями, ветровалами, загрязнениями), по мультиспектральным спутниковым данным широко используются вегетационные индексы, которые показывают хорошую корреляцию с уровнем содержания влаги в листьях и хвое древостоев (Deldago et al., 2003; Егоров, 2006; Cuevas–Gonzalez, 2008). Между тем анализ результатов работ по картированию лесного покрова показывает, что существуют большие расхождения между различными тематическими картами, а валидация остается важным моментом для оценки точности карт состояния растительности и их пригодности для оценки изменений растительности после природных и антропогенных нарушений (Pflugmacher et al, 2007; Елсаков и др., 2009; Курбанов и др., 2010б).

Картирование растительного покрова с целью оценки запасов углерода, депонированного тропическими лесами, проводилось в Бразилии, Малайзии и Таиланде (Zheng et al., 2004; Lu et al., 2005; Hall et al., 2006; Myeong et al., 2006). Одной из задач, которую ставили перед собой исследователи этих стран, явился поиск оптимальных алгоритмов и переменных для моделей оценки биомассы/углерода. Некоторые потенциальные методы для таких исследований, как пошаговый регрессионный анализ, корреляционный анализ и частных наименьших квадратов – Бутстреп алгоритм (Bootstrap Algorithm) широко используются при подборе необходимых переменных (вегетационные индексы, текстура, спектральная яркость и т.п.) в изучаемых моделях (Xiaojun et al., 2011).

При выявлении изменений на двух разновременных изображениях важным аспектом остается определение и мониторинг за реальными изменениями спектральных характеристик, отличая их от геометрических погрешностей, изменчивости освещения, сезонности и даты съемки. Между тем, несмотря на широкое использование исследователями линейного регрессионного анализа в современных оценках растительности по спутниковым снимкам, получаемые результаты не отличаются высокой точностью (Muukkonen and Heiskanen, 2005; Labrecque et al., 2006).

Все существующие программные средства по оценке лесного покрова могут быть полезны для исследований и в принятии решений на региональном уровне в ответ на вызовы меняющегося климата. Но некоторые факторы ограничивают использование этих продуктов. Например, для большинства продуктов по оценке лесного покрова приведено недостаточно инструктивной информации по работе со специальными приложениями (Jung et al. 2006). Несмотря на рост методов по распознаванию изменений наземного покрова (Healey et al. 2005), производство точных карт изменений в региональном земле – и лесопользовании остается сложным вопросом. Глобальные обобщения (компиляции) региональных проектов по изучению изменений в наземном покрове, в том числе в связи с загрязнениями и пожарами, выявляют проблему их несовместимости (Lepers et al., 2005) и свидетельствуют о необходимости улучшения картирования растительного покрова и его изменений, а также понимания причин таких трансформаций.

Сравнительный анализ результатов тематического картирования растительности на основе спутниковой съемки показал, что 4 широко используемые глобальные карты различаются по точности. При этом разные карты оказались наиболее точными на некоторых из выбранных тестовых участков (Pflugmacher et al., 2011). В большинстве случаев древесный полог лесов был представлен более точно, чем другие типы растительного покрова.

Основными факторами, лимитирующими использование данных дистанционного зондирования для решения вопросов по мониторингу и прогнозированию состояния лесов Марий-

ского Заволжья, находящихся в районе действия промышленных предприятий (цементный завод, нефтеперегонные станции, химические заводы и свалки твердых бытовых отходов), является недостаток валидации и экспертизы таких работ на региональном уровне (Курбанов и др., 2011). Коллектив центра устойчивого управления и дистанционного мониторинга лесов ПГТУ (ЦУДМЛ) проводит исследования по мониторингу лесных насаждений Поволжья России с использованием спутниковых снимков среднего и высокого разрешений. В своей деятельности сотрудники ЦУДМЛ большую роль уделяют наземным данным, получаемым во время полевых работ. Кроме того, разработка алгоритмов и методик мониторинга лесного покрова, предотвращение и ликвидация ее загрязнения будет способствовать решению других вопросов по оценке региональных экосистем, при научных исследованиях, планировании разработки ресурсов и установлении стандартов качества воздушной среды.

В работе будет использована технология классификации и оценки лесного покрова международных организаций ФАО LCCS (Land Cover Classification System) и NASA (NELDA). Классы наземного покрова по системе LCCS устанавливаются путем комбинирования набора независимых диагностических критериев (классификаторов), которые подчиняются иерархической структуре. Все покрытые растительностью классы земного покрова выделяются при помощи последовательного структурно–физиогномического концептуального подхода, который для естественной либо искусственно созданной растительности объединяет классификаторы жизненная форма, процент покрытия и высота растения, а для культивируемых территорий – жизненная форма и пространственное распределение. Качеству работ по выделению нарушенных лесных территорий, расположенных вблизи от промышленных предприятий, также будут способствовать современные спутниковые снимки высокого разрешения Rapid EYE (со спектральным каналом Red Edge) и ALOS, программные комплексы обработки данных дистанционного зондирования земли ENVI, ERDAS и ArcGIS, а также наземные тестовые участки и базы данных лесоустройства на исследуемую территорию Среднего Поволжья. Методика работ предусматривает не только простые изменения между двумя разновременными спутниковыми изображениями, но и глубокий анализ всей пространственной траектории спектральных характеристик изучаемых лесных участков. Методика также предусматривает последовательное использование оценок происходящих событий (время загрязнения и ее интенсивность).

Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно–педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы соглашение № 14.В37.21.1245 Министерства образования и науки Российской Федерации «Дистанционный мониторинг и прогнозирование состояния лесных насаждений по спутниковым снимкам», ГК № 02.740.11.0838 «Разработка и реализация алгоритмов передачи, обработки и анализа данных дистанционного зондирования лесных покровов для автоматических расчетов фитомассы растительности и пулов углерода», тематического плана министерства науки и образования РФ на 2012–2014 гг. «Оценка, мониторинг и прогнозирование биологической продуктивности лесов по данным спутниковой съемки» и гранта NASA (Американского национального аэрокосмического агентства) (NNX09AK88G)

Библиографический список

1. Aksenov, D. Atlas of Russia's Intact Forest Landscapes. Biodiversity Conservation Center, Greenpeace Russia / D. Aksenov, D. Dobrynin, M. Dubinin, et al. // International Socio-Ecological Union, World Resources Institute, Moscow, Russia 2002. – URL: <http://www.forest.ru/eng/publications/intact>
2. Bartholome, E. GLC 2000: A new approach to global land cover mapping from Earth observation data / E. Bartholome, A.S. Belward // International Journal of Remote Sensing. – 2005. – № 26. – P. 1959-1977.
3. Cohen, W.B. An improved strategy for regression of biophysical variables and Landsat ETM+ data/ W.B. Cohen, T.K. Maersperger, S.T. Gower, D.P. Turner // Remote Sensing of Environment. – 2003. – № 84. – P. 561-571.
4. Cuevas-Gonzalez, M. Studying the change in fAPAR after forest fires in Siberia using MODIS/ M. Cuevas-Gonzalez, F. Gerard, H. Balzter, D. Riano // International journal of remote sensing. – 2008. – № 29 (23). – P. 6873-6892.
5. DeFries, R. Global discrimination of land cover types from metrics derived from AVHRR Pathfinder data/ R. DeFries, M. Hansen, J. Townshend // Remote Sensing of Environment. – 54. – 1995. – P. 209-222.
6. Diaz-Delgado, R. Influence of fire severity on plant regeneration by means of remote sensing imagery / R. Diaz-Delgado, F. Lloret, X. Pons // International journal of remote sensing. – 2003. – № 24. – P. 1751-1763.
7. Friedl, M.A. 2002. Global land cover mapping from MODIS: algorithms and early results / M.A. Friedl, D.K. McIver, J.C.F. Hodges et al. // Remote Sensing of Environment. – 2002. – № 83. – P. 287-302.
8. Hall, R.J. Modelling 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. – № 225. – P. 378-390.
9. Hansen, M.C. Global percent tree cover at a spatial resolution of 500 meters: first results of the MODIS vegetation continuous fields algorithm / M.C. Hansen, R.S. De Fries, J.R.G. Townshend et al. // Earth Interactions. – 2003. – № 7. – P. 10-15.
10. Healey, S.P. Comparison of tasseled cap-based Landsat data structures for use in forest disturbance detection / Healey, S.P., W.B. Cohen, Y. Zhiqiang, O. Krankina // Remote sensing of environment. – 2005. – № 97. – P. 301-310.
11. Jung, M. Exploiting synergies of global land cover products for carbon cycle modeling / M. Jung, L. Henkel, M. Herold, G. Churkina // Remote Sensing of Environment. – 2006. – Vol.101, is. 4. – P. 534-553.
12. Labrecque, S. A comparison of four methods to map biomass from Landsat-TM and inventory data in western Newfoundland / S. Labrecque, R.A. Fournier, J.E. Luther, D. Piercey // Forest Ecology and Management journal. – 2006. – № 226. – P. 129-144.
13. Lepers, E. A synthesis of information on rapid land-cover change for the period 1981-2000 / E. Lepers, E.F. Lambin, A.C. Janetos et al. // BioScience. – 2005. – № 55. – P. 115-124.
14. Lesschen, J.P. Statistical methods for analyzing the spatial dimension of changes in land use and farming systems / J.P. Lesschen, P.H. Verburg, S.J. Staal // LUCC Report. – 2005. – Series No. 7. ILRI & Wageningen University. – URL: http://www.globallandproject.org/Documents/LUCC_No_7.pdf.
15. Loveland, T.R. Development of a global land cover characteristics database and IGBP DISCover from 1km AVHRR data / T.R. Loveland, B.C. Reed, J.F. Brown et al. / Int. J. Remote Sensing. – 2000. – № 21. – P. 1303-1330.
16. Lu, D. Satellite estimation of aboveground biomass and impacts of forest stand structure/ D. Lu, M. Batistella, E. Moran // Photogrammetric engineering and remote sensing. – 2005. – № 71. – P. 967-974.
17. Matthews, E. Global vegetation and land use: new high resolution data bases for limited studies / E. Matthews // Journal of Climatology and Applied Meteorology. – 1983. – № 22. – P. 474-487.
18. Muukkonen, P. Estimating biomass for boreal forests using ASTER satellite data combined with stand wise forest inventory data/ P. Muukkonen, J. Heiskanen // Remote Sensing of Environment. – 2005. – № 99. – P. 434-447.
19. Myeong, S. A temporal analysis of urban forest carbon storage using remote sensing / S. Myeong, D.J. Nowak, M.J. Duggin // Remote Sensing of Environment. – 2006. – № 101. – P. 277-282.
20. Olson, J.S. Major world ecosystem complexes ranked by carbon in live vegetation: A Database. NDP-017, Carbon Dioxide Information Center / J.S. Olson, J.A. Watts, L.J. Allison // Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee. – 1985. – doi: 10.3334 CD-IAC-lue.ndp017. – 26 p.
21. Pflugmacher, D. Satellite-based peatland mapping: potential of the MODIS sensor / D. Pflugmacher, O.N. Krankina, W.B. Cohen // Global and Planetary Change. – 2007. – №56 (3-4). – P. 248-257.
22. Phillips, R.L. Scaling-up knowledge of growing-season net ecosystem exchange for long-term assessment of North Dakota grasslands under the Conservation Reserve Program / R.L. Phillips, O. Beeri // Global Change Biology. – 2008. – №14. – P. 1008-1017.
23. Potapov, P. Combining MODIS and Landsat imagery to estimate and map boreal forest cover loss / P. Potapov, M.C. Hansen, S.V. Stehman et al. // Remote sensing of environment. – 2008. – № 112(9). – P. 3708-3719.
24. Ran, Y. Evaluation of four remote sensing based land cover products over China / Y. Ran, X. Li; L. Lu // International Journal of Remote Sensing. – 2010. – Vol. 31, № 2. – P 391-401.

25. Rindfuss, R.R. Developing a science of land change: challenges and methodological issues / R.R. Rindfuss, S.J. Walsh, B.L. Turner et al. // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 2004. – № 101. – P. 13976-13981.
26. Sohl, T.L. Addressing foundational elements of regional land-use change forecasting/ T.L. Sohl, R.L. Thomas, M.S. Benjamin et al. // *Landscape ecology*. – 2009. – DOI 10.1007/s10980-009-9391-3
27. Temme, A. Mapping and modeling of changes in agricultural intensity at the European extent / A. Temme, P.H. Verburg // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. – 2011. – № 140. – P. 46-56.
28. Turner, B.L. Land change science special feature: The emergence of land change science for global environmental change and sustainability / B. L. Turner, E.F. Lambin, A. Reenberg // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2007. – № 104 (52). – P. 20666-20671.
29. Verburg, P.H. A multi-scale, multi-model approach for analyzing the future dynamics of European land use / P.H. Verburg, B. Eickhout, H.V. Meijl // *Annals of Regional Science*. – 2008. – № 42 (1). – P. 57-77.
30. Walsh, S.J. A multiscale analysis of LULC and NDVI variation in Nang Rong district, northeast Thailand / S.J. Walsh, T.W. Crawford et al. // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. – 2001. – № 85. – P. 47-64.
31. Xiaojun, X. Estimation of aboveground carbon stock of Moso bamboo (*Phyllostachys heterocycla* var. *pubescens*) forest with a Landsat Thematic Mapper image / X. Xiaojun, D. Huaqiang, Z. Guomo et al. // *International Journal of Remote Sensing*. – 2011. – № 32(5). – P.1431-1448.
32. Zheng, D. Estimating aboveground biomass using Landsat 7 ETM+ data across a managed landscape in northern Wisconsin, USA / D. Zheng, J. Rademacher, J. Chen, T. Crow, M. Bresee, J. Le Moine, S.R. Ryu // *Remote sensing of environment*. – 2004. – № 93. – P. 402-411.
33. Zhang, N. Scaling up ecosystem productivity from patch to landscape: a case study of Changbai Mountain nature reserve, China / N. Zhang, Z. Yu, G. Yu, J. Wu // *Landscape ecology*. – 2007. – № 2. – P. 303-315.
34. Антонов, А.В. Построение объединенного каталога распределенных архивов спутниковых данных различных центров / А.В. Антонов, М.А. Бурцев, В.Ю. Ефремов и др. // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. – 2010. – Т.7, № 2. – С.84-89.
35. Барталев, С.А. Использование данных высокого пространственного разрешения в информационной системе дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства РФ (ИСДМ Рослесхоз) / С.А. Барталев, М.А. Бурцев, В.А. Егоров и др. // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. – 2009. – Т.1, Вып. 6. – С.88-95.
36. Барталев, С.А. Исследование возможностей оценки состояния поврежденных лесов по данным многоспектральных спутниковых измерений / С.А. Барталев, В.А. Егоров, А.М. Крылов и др. // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. – М.: ИКИ РАН. – 2010. – Т.7, № 3. – С. 215-226.
37. Егоров, В.А. Мониторинг повреждения растительного покрова Северной Евразии пожарами по данным спутниковых наблюдений: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00034/ В.А. Егоров; ИКИ РАН. – М., 2006 – 24 с.
38. 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*. – М.: ИКИ РАН. – 2009. – Т.2, № 6. – С. 360-364.
39. Замолдчиков, Д.Г. Оценка пула углерода крупных древесных остатков в лесах России с учетом влияния пожаров и рубок / Д.Г. Замолдчиков // *Лесоведение*. – 2009. – №1. – С.3-15.
40. Колесникова, О.Н. Возможности ПК ENVI для обработки мультиспектральных и гиперспектральных данных / О.Н. Колесникова, А.С. Черепанова // *Геоматика*. – 2009. – № 3. – С. 24-27.
41. Курбанов, Э.А. Дистанционный мониторинг динамики нарушений лесного покрова, лесовозобновления и лесовосстановления в Марийском Заволжье / Э.А. Курбанов, Т.В. Нуреева, О.Н. Воробьев и др. // *Вестник МарГТУ*. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет. – 2011. – №3. – С. 23-30.
42. Курбанов, Э.А. Использование космических снимков Alos для выявления площадей бывших сельскохозяйственных угодий, зарастающих лесом / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин // *Геоматика*. – М.: «Совзонд». – 2010. – №4 – С. 68-72.
43. Курбанов, Э.А. Оценка зарастания земель запаса Республики Марий Эл лесной растительностью по спутниковым снимкам / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев и др. // *Вестник МарГТУ*. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет. – 2010. – № 2(9). – С. 14-20.
44. Леухин, А.Н. Оценка типов надземного покрова для распознавания объектов ландшафта на космических снимках/А.Н. Леухин, Э.А.Курбанов, Н.В. Парсаев и др. // *Вестник МарГТУ. Серия «Радиотехнические и инфокоммуникационные системы»* – 2010ю – №3. – С.40-49.

**ОЦЕНКА ЗАРАСТАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ
РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МУЛЬТИВРЕМЕННЫХ СНИМКОВ LANDSAT**

С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова, С.А. Незамаев
Поволжский государственный технологический университет

**ESTIMATION OF REFORESTATION
ON ABANDONED LANDS IN MARI EL
WITH THE USE OF MULTI-TIME IMAGES LANDSAT**

S.A. Lezhnin, Y.A. Polevshikova, S.A. Nezamaev
Volga State University of Technology

В последние годы к проблеме зарастания бывших сельскохозяйственных земель лесной растительностью обращаются во многих странах мира, что обусловлено продовольственной безопасностью и необходимостью оценки глобальных изменений в области землепользования в рамках международных конвенций ООН. В России вопросы зарастания сельскохозяйственных земель обычно возникают в связи с оценкой биомассы лесных насаждений. Например, научный коллектив центра устойчивого управления и дистанционного мониторинга лесов (Курбанов и др., 2010) исследовал накопление фитомассы в молодых березняках, произрастающих на землях запаса и перераспределения в Марийском Заволжье. В ходе исследования получены закономерности пространственного распределения фитомассы от стены материнского леса. Вопросы неравномерности лесовосстановления на бывших сельхозземлях в зависимости от семенных годов затронуты в работах Гульбе (2009). Выявлено, что равномерность возобновления напрямую зависит от полноты формирующегося молодняка и этапа зарастания. Зарубежные ученые (Muukkonen, 2007; Huuskonen, Miina, 2006) показывают возможность оценки биомассы зарастающих земель посредством использования линейных и нелинейных моделей прогноза дальнейшего зарастания.

В связи с развитием технологий и необходимостью снижения затрат на подобные исследования в последние годы большую популярность приобрели исследования с использованием спутниковых данных. Серия нескольких снимков разных лет позволяет выявить динамику изменений в наземном покрове, в том числе зарастания заброшенных сельскохозяйственных земель. Разновременные снимки со спутника Landsat использовались для оценки смены землепользования в Эстонии (Peterson, Aunap, 1998). Английские ученые (Lucas и др., 2007) использовали разновременные снимки для картографирования наземного покрова, а ученые из Бразилии (Pinto, Fernandes, 2011) проводили оценку лесных экосистем на основе мультитременного анализа данных наземного покрова по индексу NDVI.

Целью работы было выявление участков зарастания древесной растительностью на землях запаса и перераспределения юго-западной части Республики Марий Эл с помощью мультитременных спутниковых снимков Landsat. Для выполнения этой цели были решены следующие **задачи**:

- заложены пробные площади на землях запаса и перераспределения для сбора информации о зарастании;

- подобраны спутниковые снимки Landsat на исследуемую территорию за период с 1999 по 2010 год, которые использовались для получения мультिवременных композитов;
- для управляемой классификации на спутниковом снимке выделены участки зарастания древесной растительностью и участки, оставшиеся не заросшими древесно-кустарниковой растительностью за отчетный период;
- проведена управляемая классификация мультिवременных снимков для выявления и оценки площадей зарастания древесной растительностью.

Методика исследования

За полевые сезоны 2009-2010 гг. было заложено 55 пробных площадей на землях запаса и перераспределения, зарастающих древесной растительностью. Каждая пробная площадь привязывалась к местности координатами GPS для их дальнейшего выявления на спутниковых снимках. На основе пробных площадей в программном пакете ENVI-4.8 созданы обучающие выборки (ROI, regions of interests), необходимые для классификации спутниковых снимков (рис. 1). Кроме того были подобраны 65 ROI на участках, где изменения за отчётный период не наблюдались.



Рис. 1. Пример ROI на снимке Landsat, использованных при классификации (красный цвет – участки зарастания, зеленый – участки, оставшиеся неизменными)

Для управляемой классификации использовались мультिवременные снимки Landsat, полученные путем синтеза разновременных спутниковых снимков в одно изображение. Подобное преобразование необходимо, когда требуется отследить изменения на исследуемом изображении в динамике.

На основе выбранных ROI на мультиспектральных композитах проводилась управляемая классификация по методу максимального правдоподобия (Maximum likelihood) в пакете Envi-4.8. Результаты ранее проведенных исследований показали, что процесс зарастания земель запаса и перераспределения на территории Республики Марий Эл начался в конце 90-х годов (Лежнин, 2011). Поэтому объектом классификации явились мультिवременные снимки Landsat за период с 1999 по 2010 год, выделенные по маске «сельскохозяйственные земли».

Результаты исследования

На рис. 2 видно, что на бывших сельскохозяйственных угодьях идёт интенсивный процесс зарастания (участки, обозначенные красным цветом), но при этом пока преобладают поля, на которых изменения еще не произошли (участки зеленого цвета).

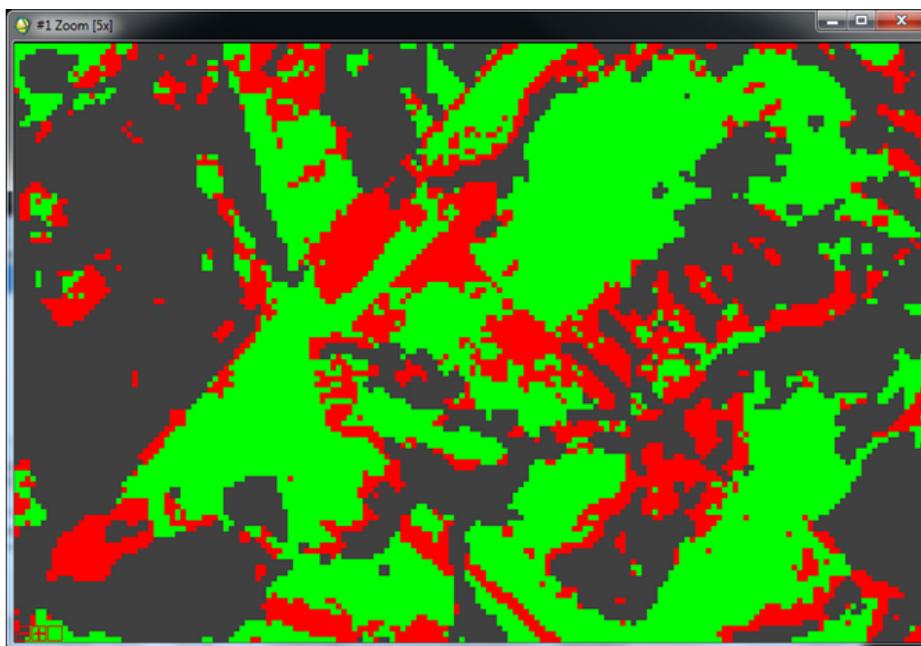


Рис. 2. Пример тематической карты, полученной после классификации

Итогом проведенного исследования стала тематическая карта зарастания древесно-кустарниковой растительностью земель Республики Марий Эл, находящихся в сельскохозяйственном пользовании (рис. 3).

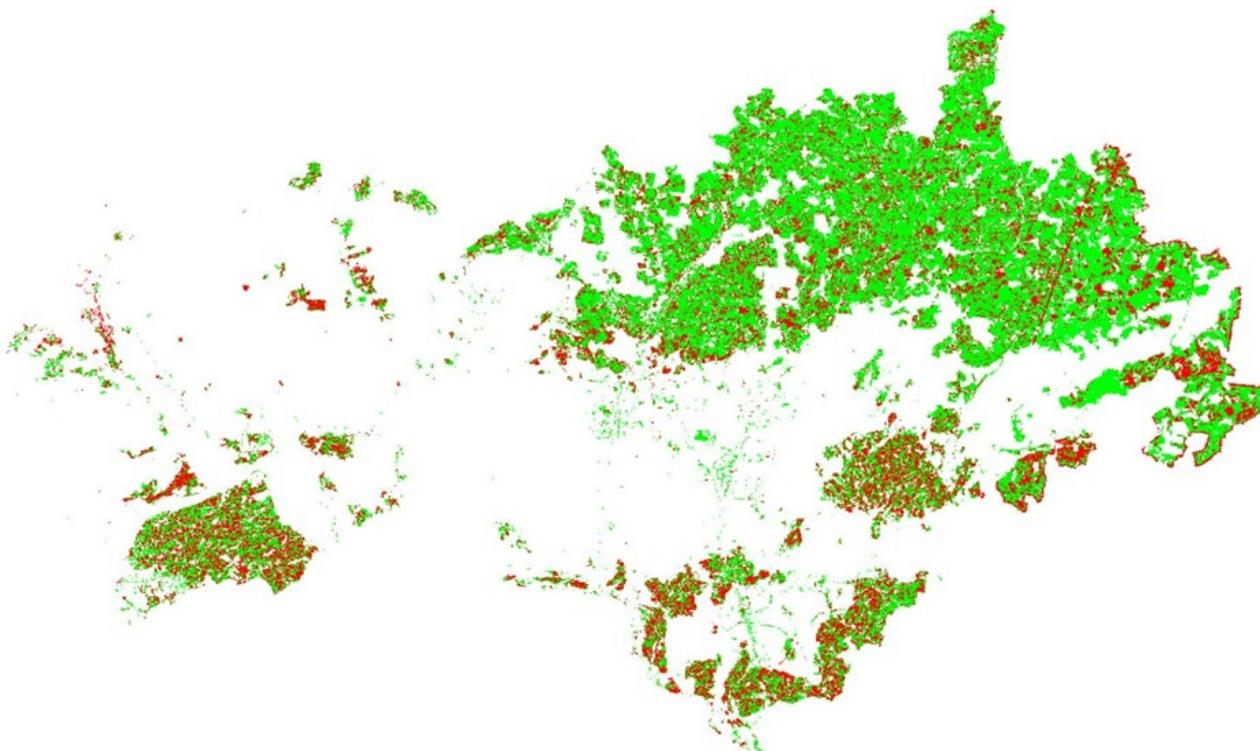


Рис. 3. Тематическая карта зарастания сельскохозяйственных земель с1999 по 2010 гг. (красным указаны земли, зарастающие лесной растительностью, зеленым – остающиеся без изменений)

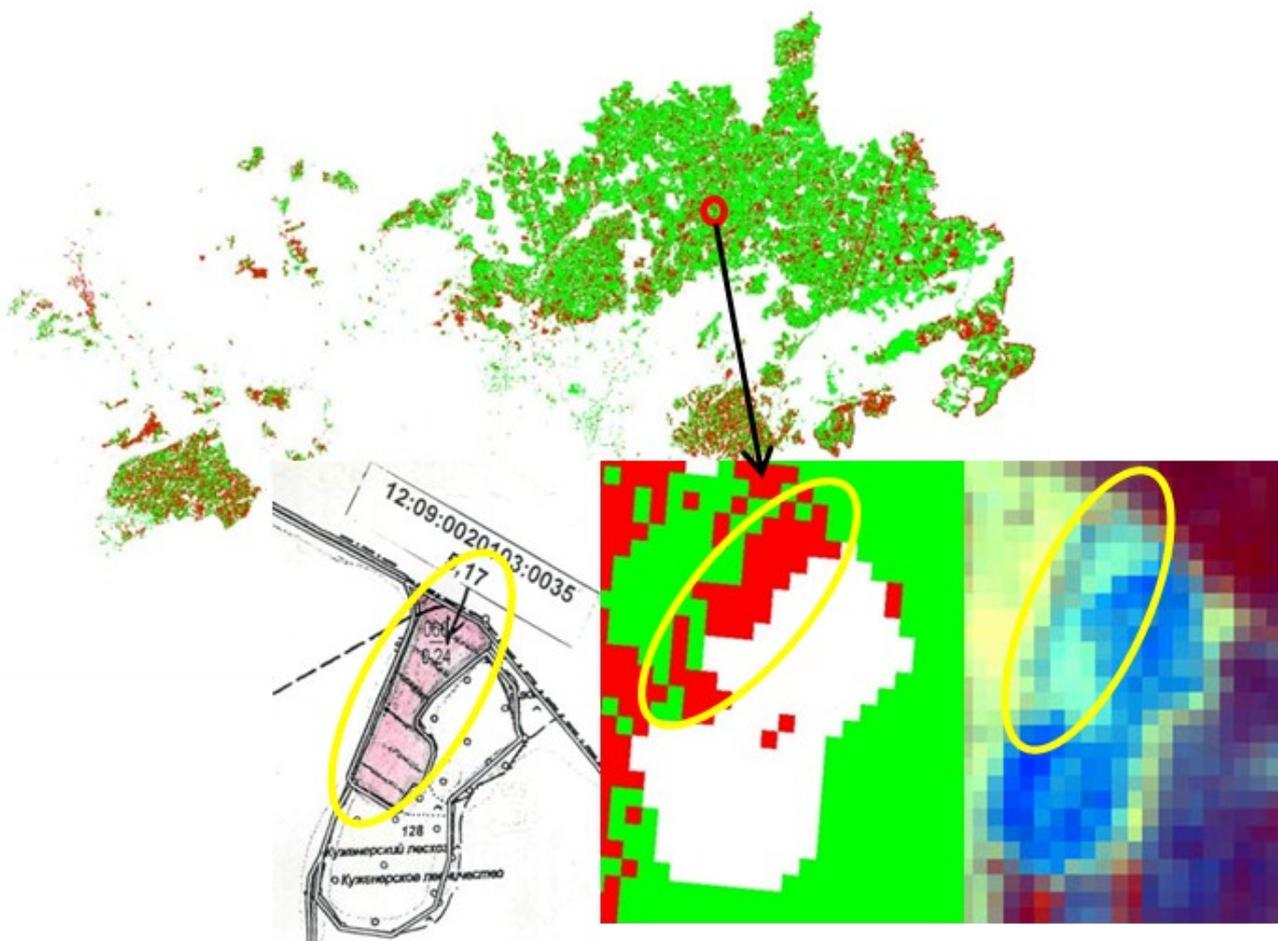


Рис. 4. Участки зарастания, отмеченные на кадастровом плане Министерства госимущества (участок Куженерского района рядом с с. Торяйбеляк), тематической карте и снимке Landsat (синтез BGW)

Валидация полученной карты проходила в два этапа. Первый этап включал в себя полевые работы в сезоне 2011 г. Натурное обследование выявленных участков подтвердило наличие на них естественного зарастания. На втором этапе использовались кадастровые данные сельскохозяйственного фонда Министерства государственного имущества Республики Марий Эл. Сравнение полученных результатов с данными об участках, переданных из сельскохозяйственного фонда в фонд запаса и перераспределения, также подтвердило наличие древесно-кустарниковой растительности (рис. 4).

Библиографический список

1. Гульбе А.Я. Процесс формирования молодняков древесных пород на залежи в Южной тайге: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / А.Я. Гульбе. – Москва, 2009. – 23 с.
2. Курбанов, Э.А. Пространственная динамика фитомассы березняков на бывших сельскохозяйственных землях Марийского Заволжья / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, Л.С. Устюгова, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, С.А. Незамаев // Лесной журнал. – 2010. – № 3 – С. 8-14.
3. Лежнин, С.А. Динамика спектральных характеристик лесного покрова молодняков Марийского Заволжья по спутниковым снимкам / С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг: материалы международного научно-практического семинара [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2011. – С. 19-23. – URL: <http://csfm.marstu.net/publications.html>
4. Huuskonen, S. Stand-level growth models for young Scots pine stands in Finland / S. Huuskonen, J. Miina // Forest Ecology and Management. 2006. – 241. – P. 49–61.

5. Lucas, R. Rule-based classification of multi-temporal satellite imagery for habitat and agricultural land cover mapping / R. Lucas, A. Rowlands, A. Brown et al. // ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing. – 2007. – №62. – P. 165–185.

6. Muukkonen, P. Generalized allometric volume and biomass equations for some tree species in Europe / P. Muukkonen // European Journal of Forest Research. – 2007. – №126(2). – P. 157-166.

7. Peterson, U. Changes in agricultural land use in Estonia in the 1990s detected with multitemporal Landsat MSS imagery / U. Peterson, R. Aunap // Landscape and Urban Planning. – 1998. – №41. – P. 193-201.

8. Pinto, L.. Multitemporal analyses of the vegetation cover of coastal sand dune ecosystems in Natal/RN, based on NDVI index / L. Pinto, L. Fernandes // Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. – Curitiba, PR, Brasil, 2011. – P.1895.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы, ГК № 02.740.11.0838 «Разработка и реализация алгоритмов передачи, обработки и анализа данных дистанционного зондирования лесных покровов для автоматических расчетов фитомассы растительности и пулов углерода», ГБ НИР № 8 «Оценка, мониторинг и прогнозирование биологической продуктивности лесов по данным спутниковой съемки».

УДК 631.92

ОЦЕНКА ДИНАМИКИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА И МИГРАЦИИ НАСЕЛЕНИЯ В МАРИЙСКОМ ПЕСЧАНОМ ЗАВОЛЖЬЕ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова, Е.Н. Демишева
Поволжский государственный технологический университет

ASSESSMENT OF VEGETATION COVER DYNAMICS AND POPULATION MIGRATION IN MARI SANDY ZAVOLGIE WITH THE USE OF REMOTE SENSING DATA

S.A. Lezhnin, Y.A. Polevshikova, E.N. Demisheva
Volga State University of Technology

В последние годы в лесном хозяйстве большое внимание уделяется оценке динамики изменений лесного фонда (Olsson, 2011). Это связано с несколькими важными экономическими событиями, произошедшими в последние 20 лет и изменившими структуру и формы ведения лесного хозяйства. К ним относятся: новый лесной кодекс, арендные отношения в лесной отрасли, переход к постиндустриальным формам экономики, повышение экспортных пошлин на древесину. Все это привело к смене лесопользования, значительному оттоку населения сельскохозяйственных районов в города, зарастанию брошенных сельскохозяйственных угодий древесно-кустарниковой растительностью, нелегальным вырубкам леса и, в конечном итоге, к смене лесо- и землепользования на огромных территориях (Барталев и др., 2005).

Эффективным методом для решения широкого спектра задач по оценке динамики растительного покрова является использование данных дистанционного зондирования со спутников среднего и высокого разрешения (Курбанов и др., 2010). На сегодняшний день они являются надежной основой при проведении научных исследований. Тематические карты, полученные на основе классификации спутниковых снимков, дают объективную информацию о состоянии и динамике лесных экосистем. Поэтому мониторинг растительного покрова является актуальной задачей в настоящее время (Abdulaziz et al, 2009).

Целью нашего исследования является мониторинг растительного покрова в Марийском Песчаном Заволжье с использованием разновременных спутниковых снимков среднего разрешения Landsat.

Для выполнения поставленной цели были решены следующие **задачи**:

- заложить тестовые участки на исследуемой территории;
- выявить тестовые участки на спутниковых снимках Landsat;
- сформировать тематические карты растительного покрова 1985-2010 гг.;
- провести анализ произошедших изменений за 1985-2010 гг.;
- провести оценку социально-экономических показателей в связи с динамикой растительного покрова.

Объектами исследования явились площади лесных и нелесных земель на территории Марийского Песчаного Заволжья.

Методика исследования. Полевые исследования были проведены с июня по сентябрь 2011 года. В результате было заложено 50 тестовых участков на исследуемой территории. Координаты местоположения каждого тестового участка фиксировались с помощью GPS-приемника «GARMIN eTrex» с целью их идентификации на спутниковых снимках. Кроме того, с участков земель запаса был собран материал о распространении на них площадей зарастаний молодой лесной растительностью.

Далее проводились камеральные исследования в программных пакетах ENVI 4.8 и ArcGIS 10. Порядок мониторинга растительного покрова включал в себя ряд работ.

Были использованы разновременные спутниковые снимки 1985, 1988, 1999, 2001, 2006 и 2010 годов. В связи с тем, что все снимки были сделаны в разные периоды фенологического состояния растительного покрова (май-сентябрь), каждый из них прошёл процедуру эмпирического линейного преобразования координат пространства спектральных признаков «Tasseled Cap» («колпачок с кисточкой») в ПК ENVI 4.8 (Cohen et al, 2005). После проведения данной процедуры были получены синтезированные изображения (рис. 1) трех спектральных каналов – «Brightness», «Greenness» и «Wetness» («яркость», «зелень», «влажность»).

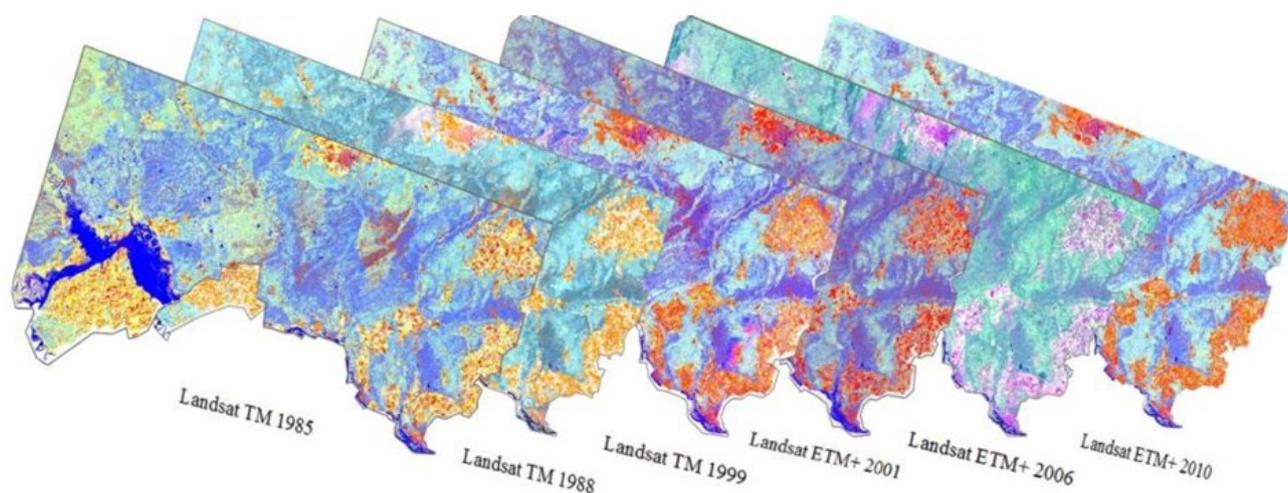


Рис. 1. Серия разновременных мультиспектральных спутниковых изображений Landsat TM и ETM+ на исследуемую территорию 1985-2010 гг.

Формирование тематических карт происходило на базе ВГВ изображений 1985 и 2010 гг. Дополнительно использовались сведения с данных полевых исследований - тестовые участки, трансекты. При классификации класса «лесные земли» - планы лесонасаждений, таксационные описания. Результатом классификации явились тематические карты распределения растительного покрова на исследуемую территорию (рис. 2).

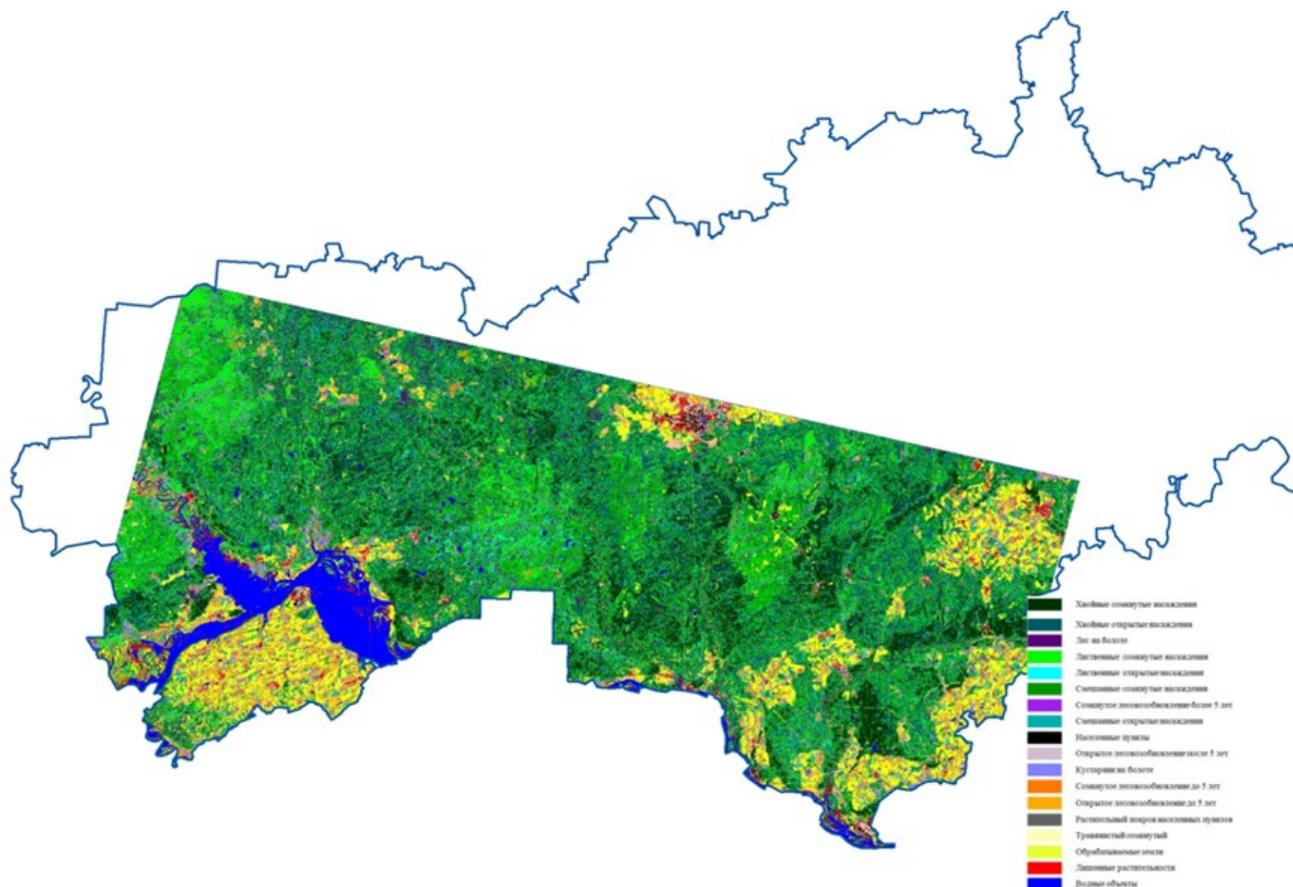


Рис. 2. Тематическая карта растительного покрова 1985 г.

С целью определения точности проведенной классификации и оценки карт была проведена постклассификационная обработка полученных тематических карт растительного покрова за 1985 и 2010 гг. на территорию Песчаного Марийского Заволжья. Средняя общая точность составила 83,5 %. Кроме того, для оценки точности тематических карт был вычислен Каппа коэффициент, который составил 0,72. Полученные коэффициенты указывают на высокую достоверность полученных тематических карт в сравнении с независимыми данными (данные Министерства лесного хозяйства, полевых исследований).

Для оценки изменений за 25-летний период был проведен анализ тематических карт. При этом 18 классов были объединены в 6 более крупных классов - хвойные, лиственные, смешанные насаждения, заболоченные участки, кустарники и сельскохозяйственные угодья. Согласно полученным результатам, динамика распределения площадей по годам неоднородна. Для наглядности данная информация представлена в виде диаграммы (рис. 3).

Результаты показали, что произошло увеличение площадей в классах «лиственные насаждения» (50%) и «смешанные насаждения» (20,9%). Значительное снижение по площадям наблюдается в классах «болота» (-44%) и «хвойные насаждения» (-27,5%). Это можно объяснить хозяйственной деятельностью, пожарами и засухой 2010 года. Отдельное внимание сле-

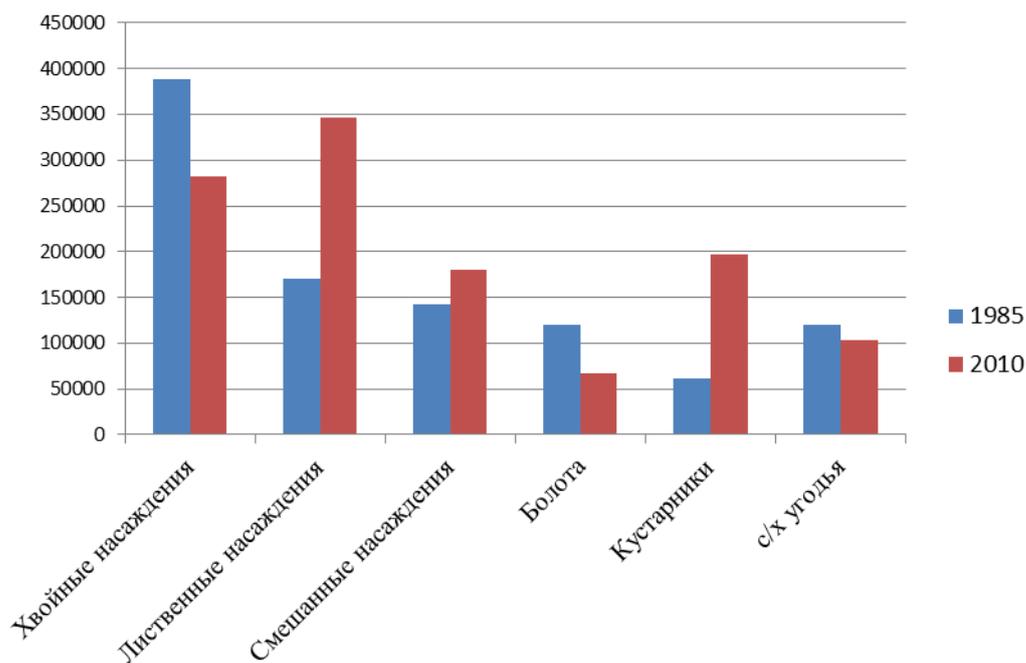


Рис. 3. Диаграмма распределения классов тематической карты

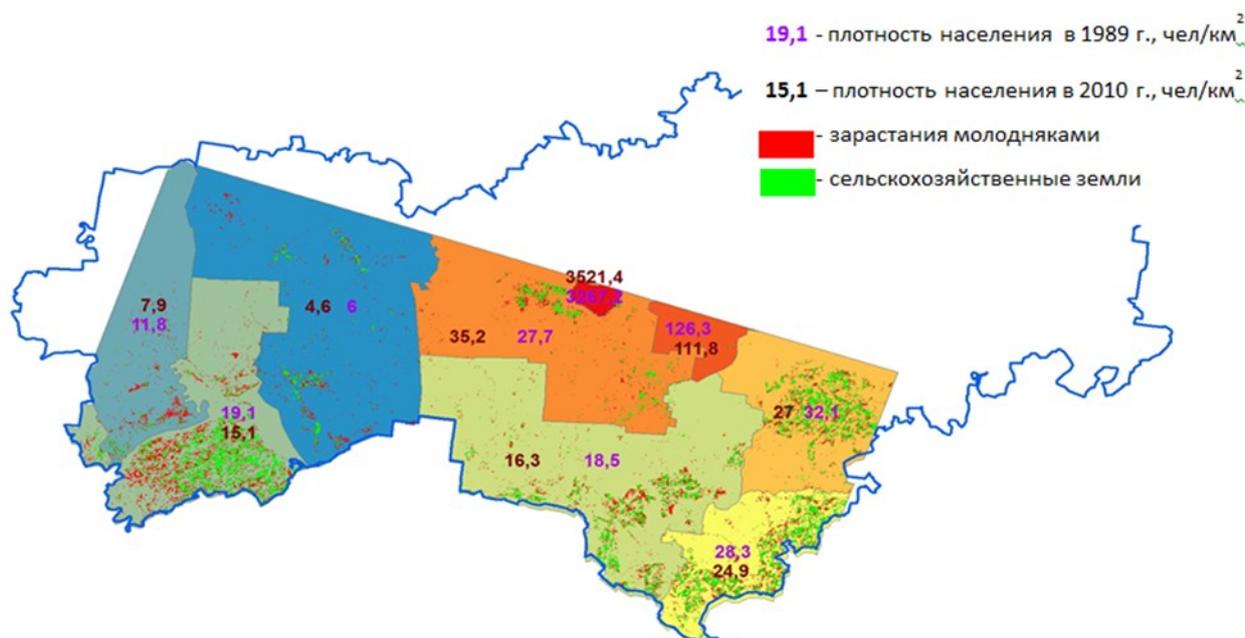


Рис. 4. Карта распределения плотности населения с динамикой сельскохозяйственных земель

дует уделить значительному увеличению класса «кустарники» (68,5%) и уменьшению класса «сельскохозяйственные угодья» (-14%). Об этом свидетельствуют произошедшие экономические события в России, которые изменили структуру и формы ведения лесного хозяйства. Это привело к значительному оттоку населения сельскохозяйственных районов в города, забрасыванию сельскохозяйственных угодий и зарастанию их молодой лесной растительностью.

В подтверждение последним цифровым данным были собраны данные о численности населения по годам и сформированы карты распределения плотности населения за 1985 и 2010 гг. (рис. 4).

Анализ полученных карт показал, что миграция населения сельскохозяйственных районов в города не равномерна на всей территории. В районах значительной миграции населения в города прослеживается уменьшение площадей сельскохозяйственных угодий, которые не используются и зарастают древесно-кустарниковой растительностью.

Например, такая тенденция наблюдается в Горномарийском районе. Так, в 1985 году плотность населения составляла 19,1 чел./км², а в 2010 году – 15,1 чел./км². В Звениговском районе в этом же году плотность населения составляла 18,5 чел./км², в 2010 году – 16,3 чел./км². Эти данные подтверждают увеличение заброшенных сельскохозяйственных площадей и зарастание их молодой лесной растительностью.

Выводы

В ходе исследования выполнены работы по апробации методик:

- формирования классов обобщенной легенды растительного покрова (FAO и NASA, NELDA и LCCS);

- спектрального выравнивания «Tasseled Cap»;
- картирования растительного покрова;
- формирования тематических карт распределения плотности населения;
- оценки динамики растительного покрова сельскохозяйственных земель.

Практическая и научная значимость работы:

- проведение мониторинга растительного покрова на территории Марийского Песчаного Заволжья за 25-летний период (1985-2010 гг.);

- определение площадей лесорастительных тематических классов на территории Марийского Песчаного Заволжья по спутниковым снимкам среднего разрешения.

Полученные сведения позволят оперативно отслеживать происходящие изменения, планировать проведение лесохозяйственных мероприятий по уходу за лесонасаждениями, совершенствовать прогнозы развития лесных ландшафтов и территорий. Кроме того, разработанная методика позволит повысить эффективность проведения научно-исследовательских работ и деятельность лесохозяйственных предприятий при оценках смены лесопользования и повысить качество тематического картирования.

Библиографический список

1. Барталев, С.А. Оценка состояния сельскохозяйственных культур на основе межгодовой динамики с использованием данных MODIS / С.А. Барталев, В.А. Толпин, М.А. Бурцев и др. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: сб. ст. – 2005. – Т.1, Вып. 2. – С.140-148.

2. Курбанов, Э.А. Использование космических снимков ALOS для выявления площадей бывших сельскохозяйственных угодий, зарастающих лесом. / Э.А.Курбанов, О.Н.Воробьев, А.В.Губаев и др. // Геоматика. – 2010. – №4. С.68-72.

3. Курбанов, Э.А. Оценка зарастания земель запаса Республики Марий Эл лесной растительностью по спутниковым снимкам / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев и др. // Вестник МарГТУ. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет. – 2010. – № 2(9). – С. 14-20.

4. Курбанов, Э.А. Пространственная динамика фитомассы березняков на бывших сельскохозяйственных землях Марийского Заволжья / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, Л.С. Устюгова и др. // Лесной журнал. – Архангельск: Архангельский государственный технический университет. – 2010. – №3. – С. 8-14.

5. Abdulaziz M. Abdulaziza. Application of multitemporal Landsat data to monitor land cover changes in the Eastern Nile Delta region, Egypt / Abdulaziz M. Abdulaziza, José M. Hurtado, J.a; Raed Al-Douri // International Journal of Remote Sensing. – 2009. – No. 11, Vol. 30. – P.2977–2996.

6. Warren B.Cohen. Comparison of Tasseled Cap –based Landsat data structures for use in forest disturbance detection / Warren B.Cohen, Sean P.Healey, Yang Zhiqiang, Olga N.Krankina //Remote Sensing of Environment. – Vol. 97. – 2005. – P.301-310.

7. Olsson, H. A method for using Landsat time series for monitoring young plantations in boreal forests / H. Olsson // International Journal of Remote Sensing. – 2011 – No. 19, Vol. 30 – P.5117-5131.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы, ГК № 02.740.11.0838 «Разработка и реализация алгоритмов передачи, обработки и анализа данных дистанционного зондирования лесных покровов для автоматических расчетов фитомассы растительности и пулов углерода», ГБ НИР № 8 «Оценка, мониторинг и прогнозирование биологической продуктивности лесов по данным спутниковой съемки».

УДК 631.92

ОЦЕНКА РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ЗЕМЕЛЬ ЗАПАСА МЕДВЕДЕВСКОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ ПО СПУТНИКОВЫМ СНИМКАМ

А.А. Алгаева, С.Д. Исламов, Е.В. Глушкова
Поволжский государственный технологический университет

ESTIMATION OF VEGETATION COVER ON RESERVE LAND OF MEDVEDEVSKII REGION OF REPUBLIC MARI EL BY SATELLITE IMAGES

A.A. Algaeva, S.D. Islamov, E.V. Glushkova
Volga State University of Technology

Введение

Российская Федерация является лесной державой. Площадь лесных насаждений составляет более 800 млн. га, что требует организации оперативного мониторинга их состояния с целью развития устойчивого лесопользования. Это можно достигнуть с помощью современных методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), которые в последние годы находят широкое применение и развитие в различных областях деятельности человека.

Многие страны уделяют большое значение глобальным тенденциям мониторинга динамики землепользования и оценки происходящих изменений в наземном покрове. С 1984 года работу по валидации спутниковых данных Земли ведет Рабочая группа (WGCV – Working Group on Calibration and Validation), в которую входят представители различных стран, включая Россию. На данный момент разработан пятилетний план развития Рабочей группы, обеспечивающий её цели и задачи, а также разработаны мероприятия до 2016 года (WGCV, 2012).

В Методических рекомендациях по проведению государственной инвентаризации лесов Российской Федерации (2011) большое внимание уделяется дистанционному мониторингу лесов, а также проверке соответствия фактических границ лесных участков на основе геоинформационных систем (ГИС). В большей степени вопрос валидации освещен в нормативных документах Федерального Космического Агентства. В материалах концепции развития российской космической системы ДЗЗ на период до 2025 года уделяется внимание решению за-

дач в сфере лесного хозяйства. В частности в этом документе приведены требования к периодичности обзора и пространственному разрешению для различных областей применения космических аппаратов (рис. 1).

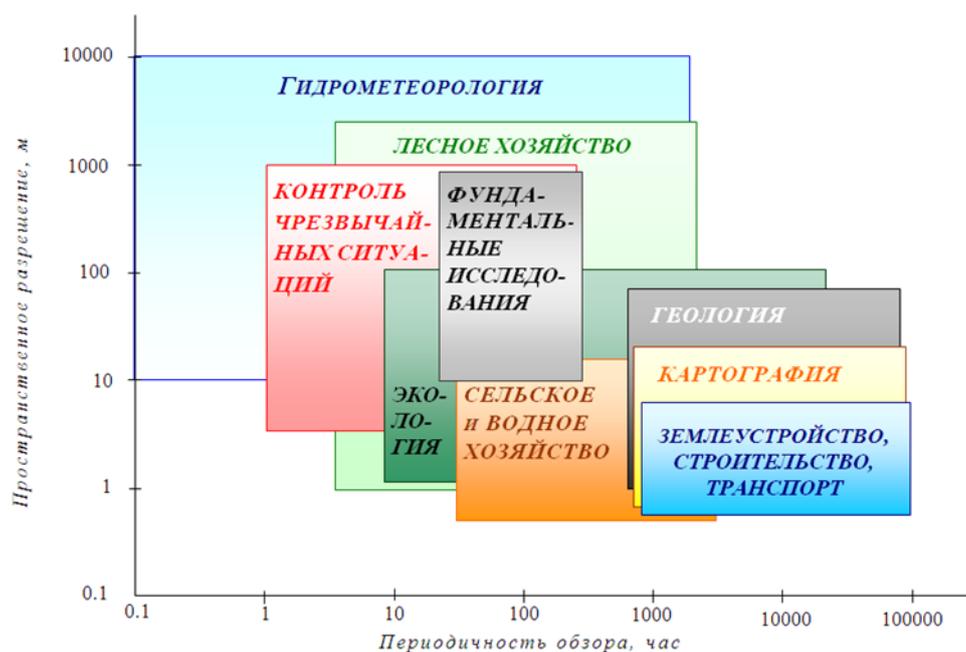


Рис. 1. Требования к периодичности обзора и пространственному разрешению для различных областей применения космических аппаратов

Валидация информационных продуктов, получаемых с использованием данных дистанционного зондирования, является одним из важных элементов работы со спутниковой информацией (Козодёров и др., 2007; Курбанов и др., 2010; Justice et al., 200; Елсаков и Марущак, 2011).

Цель исследования: валидация растительного покрова земель запаса Медведевского района Республики Марий Эл по спутниковым снимкам. Для решения этой цели были сформированы следующие задачи:

- 1) с помощью спутниковых снимков и материалов лесоустройства определить площади естественного зарастания земель запаса Медведевского района Республики Марий Эл;
- 2) заложить тестовые участки, включающие пробные площади на исследуемой территории, для последующей оценки точности полученной тематической карты зарастающих сельскохозяйственных угодий;
- 3) провести оценку точности созданной тематической карты с помощью коэффициента Каппа, снимков высокого разрешения и кадастровых материалов.

Материалы и методика исследования. Сбор полевого материала осуществлен методом закладки 169 тестовых участков, в том числе 10 пробных площадок на территории Медведевского района РМЭ. Заложенные тестовые участки выявлены на снимках в программных пакетах ENVI 4.8 и ERDAS Imagine с помощью координат, полученных с GPS приемника “GARMIN eTrex”. Тематическая карта местности была получена путем классификации спутникового снимка, под которой понимают процесс отнесения объектов растрового изображения к одному из заранее заданных тематических классов (Сухих, 2005). В работе использовалась неуправляемая классификация, которая относится к автоматическим, так как менее за-

висит от управления со стороны пользователя. В результате получена тематическая карта на 18 классов, которая наиболее детально отражает интересующий нас объект исследования (рис. 2).

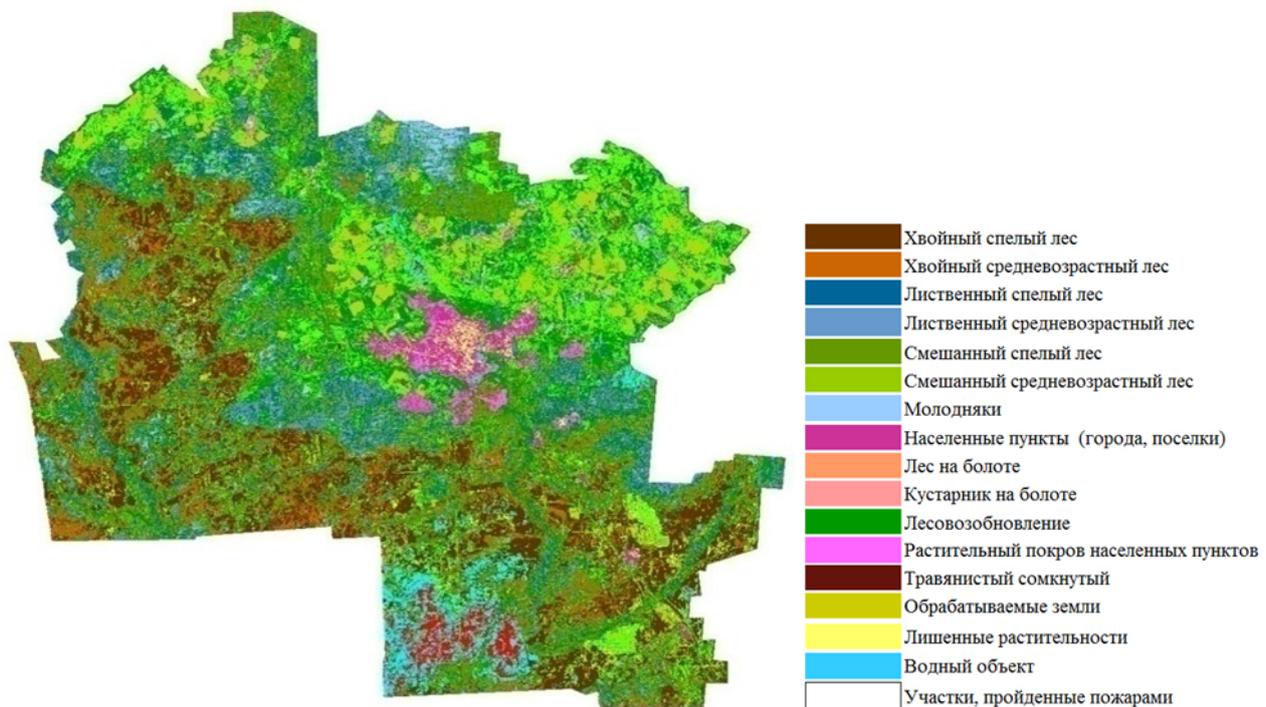


Рис. 2. Тематическая карта Медведевского района Республики Марий Эл, полученная методом неуправляемой классификации в среде ENVI 4.8

Следующим шагом работ являлась оценка точности проведённой классификации наземного покрова с использованием матрицы различий (Confusion Matrix) в программном пакете ENVI 4.8, позволяющая определить правильность выбранных классов полученной тематической карты на основе данных полевых исследований (рис. 3).

		Классифицируемое изображение (растр, тематическая карта)						
		A	B	C	D	E	F	Σ
Опорное изображение	A	n_{AA}						n_{A-}
	B		n_{BB}					n_{B-}
	C			n_{CC}				n_{C-}
	D				n_{DD}			n_{D-}
	E					n_{EE}		n_{E-}
	F						n_{FF}	n_{F-}
	Σ	n_{A-}	n_{B-}	n_{C-}	n_{D-}	n_{E-}	n_{F-}	N

Рис. 3. Матрица различий (Confusion Matrix)

Для выявления степени достоверности полученного слоя зарастающих земель была проведена процедура валидации. Для этих целей получены кадастровые изображения отдельных участков Медведевского района, взятые с официального интернет-портала Мингосимущества РМЭ (http://portal.mari.ru/mingosim/Pages/land_shares.aspx) и использованы фрагменты снимков высокого разрешения Rapid Eye (2011) (рис. 4).

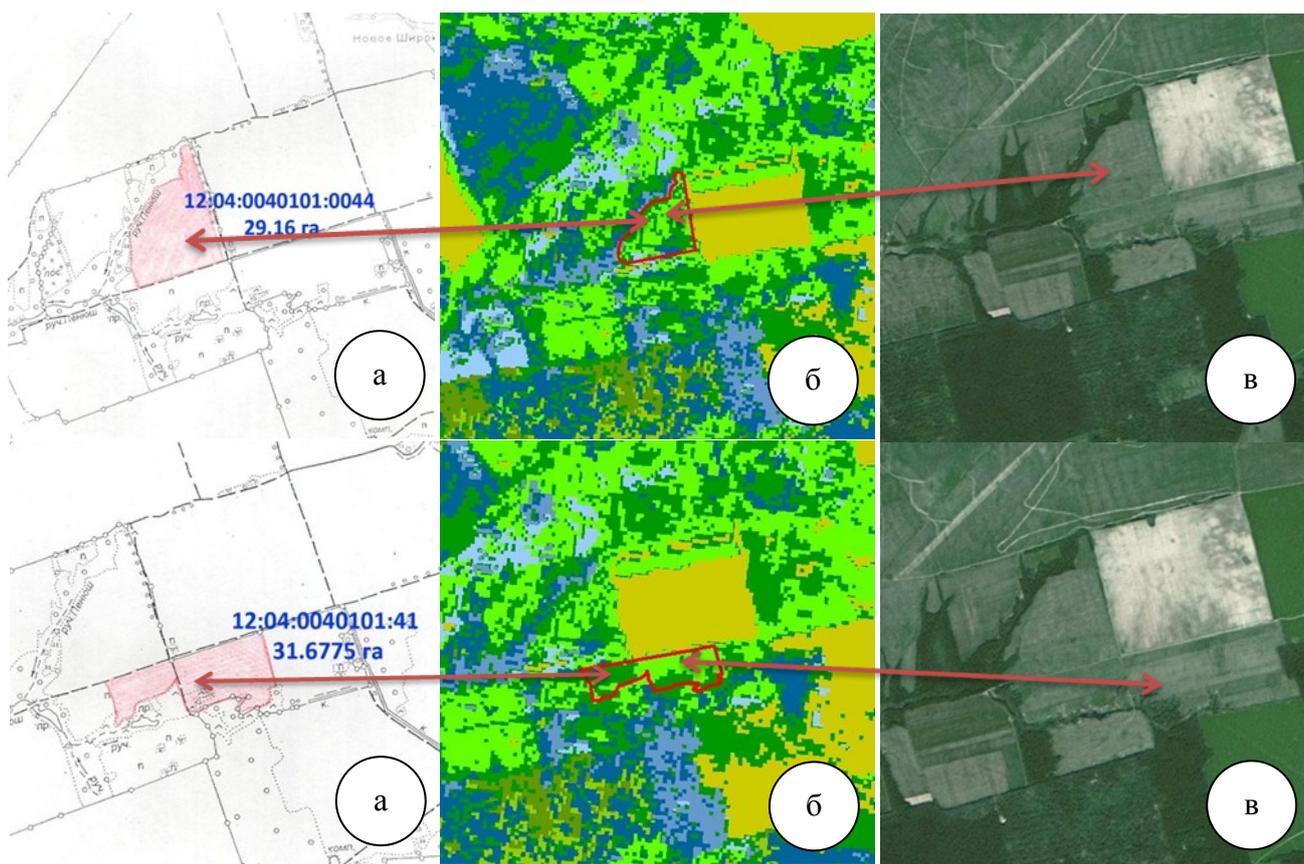


Рис. 4. Площади зарастающих участков ДКР на кадастровом изображении (А), тематической карте (Б), снимке Rapid Eye (В)

При помощи визуального сравнения площадей зарастания полученной тематической карты со снимком высокого разрешения Rapid Eye и кадастровой карте были выборочно проверены 10 участков зарастающих земель запасов и перераспределения (табл. 1). Валидация показала значительное соответствие кадастровых данных и снимков высокого разрешения данным созданной тематической карты. Из 10 выбранных участков совпали 8 (80%), что свидетельствует о значительной достоверности выделенного слоя зарастающих земель (бывших с/х угодий).

Таблица 1

Оценка соответствия показателей тестовых участков по кадастровым картам и данным снимка высокого разрешения

Кадастровый номер	Категория земель	Характеристика тестового участка	Характеристика участка по снимку высокого разрешения	Оценка соответствия по кадастровым картам	Оценка соответствия по Rapid Eye
12:04:0030101:0047	Земли с/х назначения - фонд перераспределения	Земли зарастания	Древесно-кустарниковая растительность	Совпадение	Совпадение
12:04:0030101:0049	Земли с/х назначения - фонд Перераспределения	Земли зарастания	Травянистая растительность	Несовпадение	Несовпадение
12:04:0030101:48	Земли с/х назначения - фонд перераспределения	Земли зарастания	Древесно-кустарниковая растительность	Совпадение	Совпадение
12:04:0030103:0007	Земли с/х назначения - фонд перераспределения	Земли зарастания	Древесно-кустарниковая растительность	Совпадение	Совпадение

12:04:0030103:0008	Земли с/х назначения - фонд перераспределения	Земли зарастания	Травянистая растительность	Несовпадение	Несовпадение
12:04:0120104:0002	Земли с/х назначения - фонд перераспределения	Земли зарастания	Древесно-кустарниковая растительность	Совпадение	Совпадение
12:04:0040101:0037	Земли с/х назначения - фонд перераспределения	Земли зарастания	Древесно-кустарниковая растительность	Совпадение	Совпадение
12:04:0040101:0038	Земли с/х назначения - фонд перераспределения	Земли зарастания	Древесно-кустарниковая растительность	Совпадение	Совпадение
12:04:0040101:0041	Земли с/х назначения - фонд перераспределения	Земли зарастания	Древесно-кустарниковая растительность	Совпадение	Совпадение
12:04:0040101:0043	Земли с/х назначения - фонд перераспределения	Земли зарастания	Древесно-кустарниковая растительность	Совпадение	Совпадение

Выводы

Получена тематическая карта Медведевского района с помощью неуправляемой классификации, которая прошла постклассификационную обработку, позволяющую определить правильность выбранных классов пикселей полученной тематической карты, соответствие данным полевых исследований с использованием матрицы различий. Общая точность классификации составила 76,33 %. Коэффициент Каппа составил 0,69, что свидетельствует о значительном соответствии проведенной неуправляемой классификации нашим полевым данным. При использовании программных продуктов ENVI 4.8 и ERDAS Imagine 2011 были выявлены значительные площади зарастания земель запаса Медведевского района лесной растительностью, которая составила 18728 га, т.е. 6,7% от общей площади исследуемого района.

Библиографический список

1. Working Group on Calibration and Validation, Work plan 2011–2016 / WGCV Secretariat Marie-Claire Greening. – Режим доступа: [www.URL:http://www.ceos.org/images/MCG/WGCV34/Presentations/MeetingDocumentation/WGCV_work_plan_v5.3.pdf](http://www.ceos.org/images/MCG/WGCV34/Presentations/MeetingDocumentation/WGCV_work_plan_v5.3.pdf) – 14.04.2012
2. Методические рекомендации по проведению государственной инвентаризации лесов от 10.11.2011 № 472 [Текст] / Рослесхоз. – 2011. – 37 с.
3. Козодёров, В.В. Космические системы наблюдений на службе регионов / В.В. Козодеров, Е.В. Дмитриев, Ю.А. Думлер и др. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2007. – Т.2, №4. – С. 247-255.
4. Курбанов, Э.А. Тематическое картирование фитомассы молодняков сосны Юринского района по спутниковым снимкам / Э.А. Курбанов, И.В. Комарова, Е.В. Новокшонова // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность, мониторинг и адаптационные технологии: материалы международной конференции с элементами научной школы для молодежи [Электронный ресурс]. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2010. – С.153-157. – URL: <http://csfm.marstu.net/publications.html>
5. Justice, C. Developments in the validation of satellite sensor products for the study of the land surface / C. Justice, A. Belward, J. Morisette et al. // International Journal of Remote Sensing. – 2000. – Vol. 21, №17. – P.3383-3390.
6. Елсаков, В.В. Спектрональные спутниковые изображения в выявлении трендов климатических изменений лесных фитоценозов Западных склонов Приполярного Урала / В.В.Елсаков, И.О.Марущак // Компьютерная оптика. – 2011. – Т.35, №2. – С. 281-285.
7. Сухих, В.И. Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве: учебник / В.И. Сухих. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. – 392 с.

**ТЕМАТИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ ЮЖНОЙ ЧАСТИ
МАРИЙСКО-ВЯТСКОГО ВАЛА ПО СПУТНИКОВЫМ СНИМКАМ LANDSAT ETM+**

С. А. Незамаев, А. В. Губаев, Т. Л. Александра
Поволжский государственный технологический университет

**THEMATIC MAPPING OF FOREST STANDS OF VYATKA-MARI RIDGE'S SOUTH
PART ON LANDSAT ETM+ SATELLITE IMAGERY**

S.A. Nezamaev, A.V. Gubaev, T.L. alexandrova
Volga State University of Technology

Леса являются важнейшим компонентом биосферы и источником различных ресурсов, имеют глобальное экологическое, экономическое и социальное значение и выполняют функцию важнейшего регулятора фундаментальных природных процессов на планете. Необходимость осуществления регулярного мониторинга состояния лесов обусловлена их непрерывной динамикой вследствие влияния природных и антропогенных факторов (таких как пожары, вырубки, техногенные загрязнения и некоторых других), масштабы проявления которых существенно варьируют в зависимости от региона. Современный этап развития методологии мониторинга лесов с целью выработки стратегий рационального лесопользования и защиты окружающей среды предполагает в качестве обязательной компоненты использование методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и геоинформационных систем (ГИС). Поэтому для дешифрирования ландшафтов и растительного покрова используют методы, основанные на цифровой обработке космических изображений, которые уменьшают трудоемкость, увеличивают и дополняют степень объективности дешифрирования некоторых характеристик ландшафтов и их компонентов по сравнению с визуальными методами (Губаев и др., 2011). В настоящее время данные ДЗЗ находят свое применение в различных областях современного лесного хозяйства, таких, как изучение лесных экосистем, инвентаризация и картографирование лесов, регистрация текущих изменений в лесном фонде, анализ долговременной динамики лесного покрова, оценки соблюдения правил заготовки древесины и многих других, как на региональном, так и на глобальном уровне (Lu et al., 2004; Chen et al., 2006; Clark, Bobbe, 2007; Wang et al., 2009; Forkuor, Cofie, 2011; Сухих и др., 2006; Бартаев, 2007; Грешнов, 2009; Архипкин и др., 2010). При региональной оценке лесных ресурсов важным направлением является распознавание типов растительного покрова лесных насаждений по снимкам среднего разрешения (Леухин и др., 2010).

Цель. Целью работы является создание тематической карты растительного покрова на территории южной части Вятско-Марийского вала на примере двух лесничеств (Алексеевское и Кужерское) по спутниковым снимкам среднего разрешения Landsat ETM+ для обновления региональных баз географических данных земле- и лесопользования.

Методика. В работе были использованы сцена спутника Landsat ETM+ (пространственное разрешение 28,5 м, 7 спектральных диапазонов) за 2011 г. и сцены спутника Rapid Eye (пространственное разрешение 5 м, 5 спектральных диапазонов) за 2010 г. Объектом исследования явились лесные насаждения южно-таежной части Вятско-Марийского вала Республики Марий Эл (РМЭ), в который вошли Алексеевское и Кужерское лесничества (рис. 1).

Накопление и обработка наземной информации о видовом составе растительного покрова осуществлялись при помощи закладки тестовых площадей на территории Алексеевского и Кужерского лесничеств РМЭ методом глазомерной таксации для различных классов растительного покрова с их географической привязкой на местности и нахождением на снимках спутника Landsat ETM+. При выборе участков для закладки тестовых площадей проводился детальный анализ лесостроительных материалов. Главным критерием при выборе было выявление наиболее представленных участков леса с целью их дальнейшего распознавания на исследуемой территории. Основными количественными показателями оценки древостоев были: высота, диаметр, состав и возраст главной породы. В результате были заложены 16 тестовых площадей, а также собраны и обработаны лесостроительные данные по двум лесничествам.

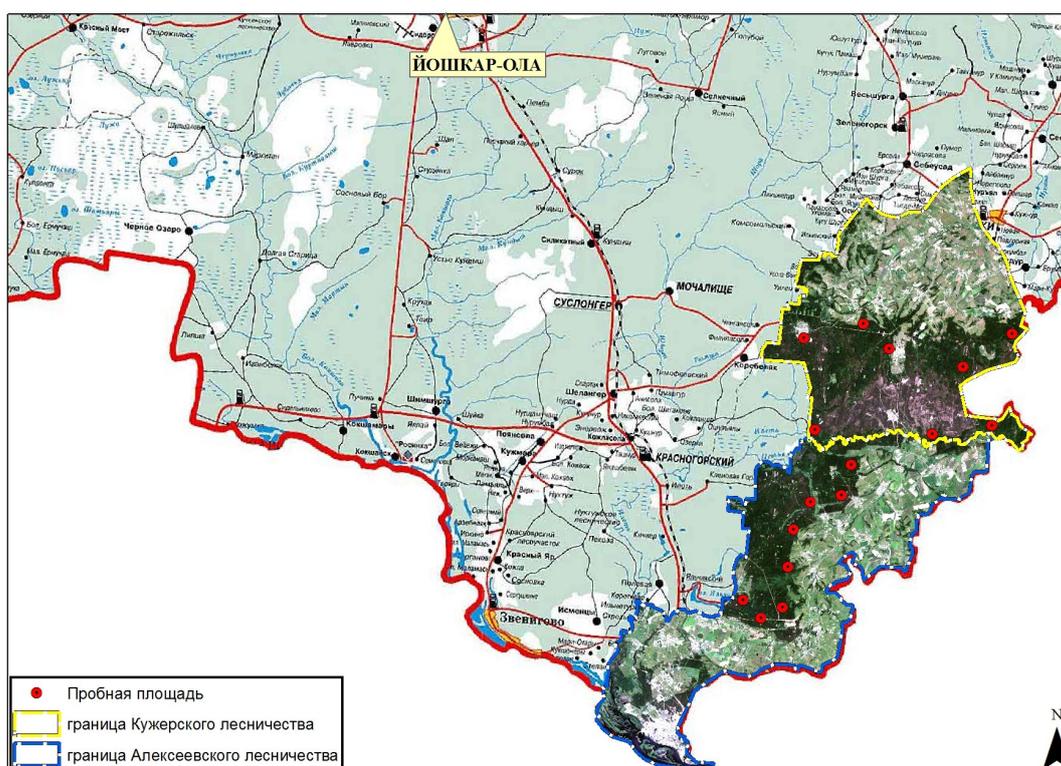


Рис. 1. Карта-схема региона исследования в пределах административных границ РМЭ, представленного в естественных цветах синтезом каналов 3-2-1, с указанием 16 тестовых площадей на территории Алексеевского и Кужерского лесничеств

Создание и классификация тематической карты наземного покрова по спутниковому снимку Landsat ETM+ проводились по методике оценки наземного покрова по спутниковым снимкам среднего разрешения, разработанной коллективом центра устойчивого управления и дистанционного мониторинга лесов ПГТУ. Обработка и анализ данных проводились в несколько этапов в программных пакетах ENVI 4.8 и ArcGIS-10.0. Первый этап работ состоял в предварительной подготовке изображения – радиометрическая, геометрическая и атмосферная коррекция; преобразование *Tasseled Cap*; проведение первичной классификации (Курбанов и др., 2011). В результате были получены тематические изображения четырех классов (лесные, нелесные земли, водные объекты и населенные пункты) (рис. 2,3). Во время второго этапа выполнялась автоматическая классификация спутникового снимка алгоритмом неуправляемой классификации *ISODATA* (*Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique – итеративный самоорганизующийся способ анализа данных*) на 25 кластеров. Третий этап

заклучался в пространственном анализе результатов, полученных на первых двух этапах, с использованием планов лесонасаждений и таксационных описаний по лесничествам и выделением 16 классов (страт). Во время четвертого этапа проводилась оценка точности и валидация сформированной тематической карты по существующим картам грубого разрешения, планам насаждений лесоустройства (для сравнения полученных результатов с данными лесохозяйственных регламентов формировалась тематическая карта с легендой на 7 классов) и спутниковым данным высокого разрешения (Губаев и др., 2011).

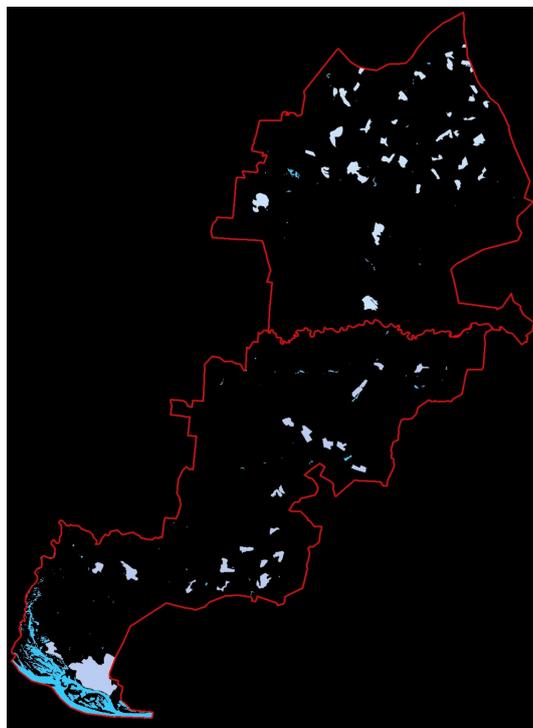


Рис. 2. Объединенные маски изображений на водные объекты и населенные пункты

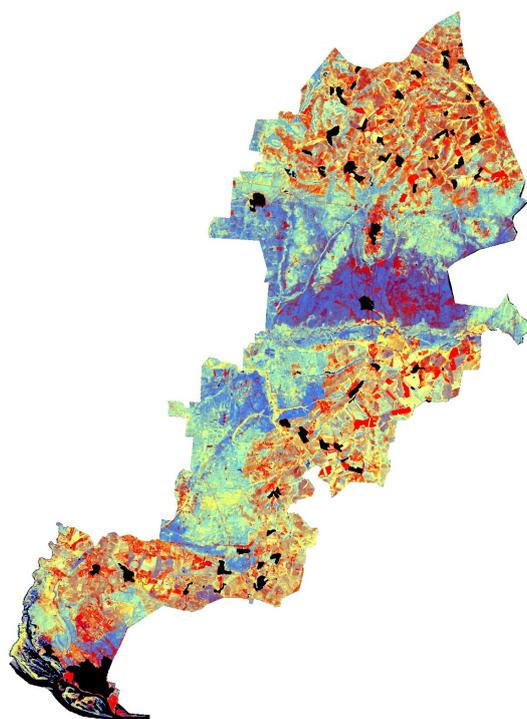


Рис. 3. Снимок BGW без водных объектов и населенных пунктов

Результаты и выводы

Была сформирована тематическая карта территории Кужерского (Моркинский район) и Алексеевского (Волжский район) лесничеств РМЭ по спутниковым снимкам Landsat ETM+ 2011г. (рис. 4) с легендой на 16 (табл. 1) и 5 классов.

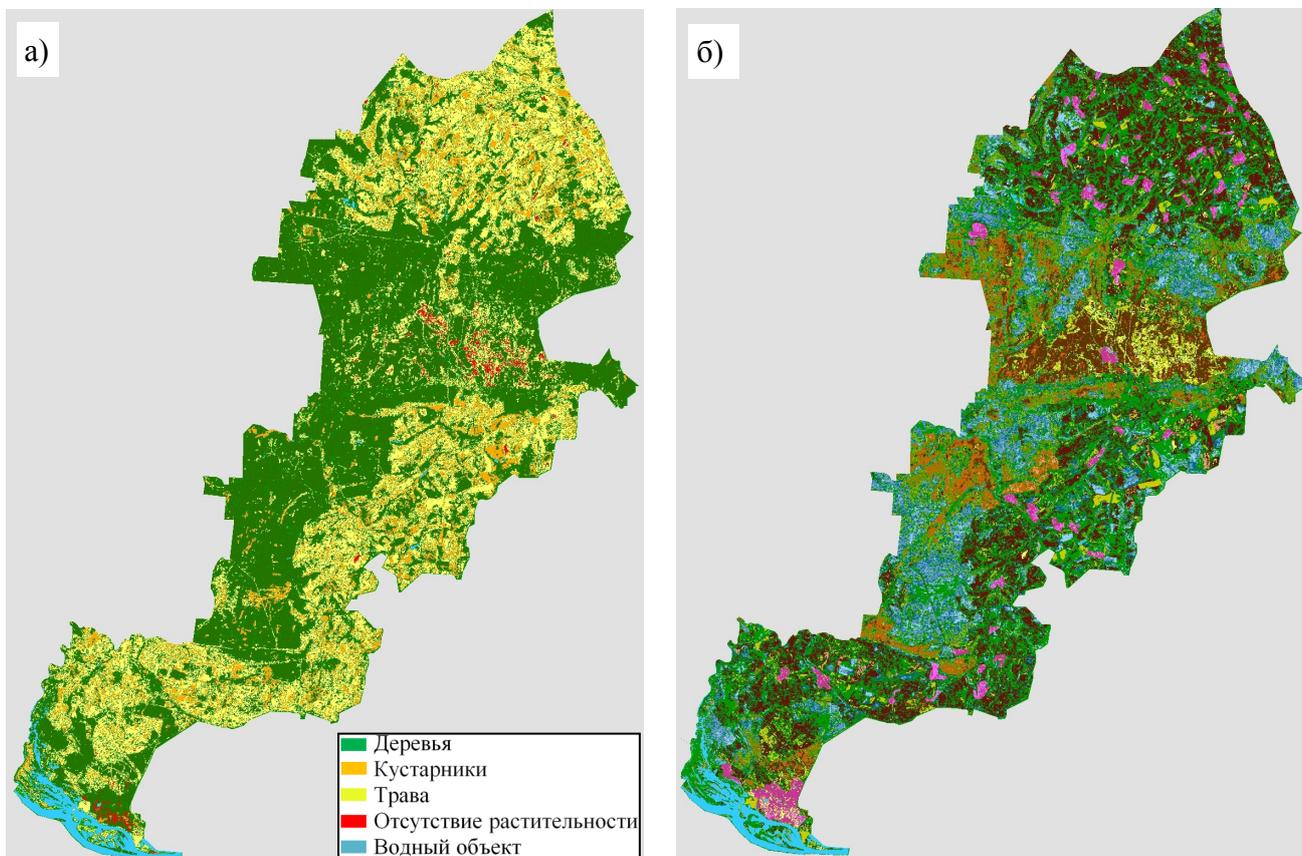


Рис. 4. Тематические карты наземного покрова:
а – обобщенная карта на 5 классов; *б* – детальная карта на 16 классов

Таблица 1

Легенда тематической карты наземного покрова на 16 классов

№	Наименование класса по стратам	Цвет
1	Светлохвойные спелые и перестойные среднепроизводительные	Бордовый
2	Светлохвойные средневозрастные среднепроизводительные	Оранжевый
3	Лиственный сомкнутый спелый и перестойный	Темно-синий
4	Лиственный сомкнутый средневозрастный	Синий
5	Смешанный спелый и перестойный	Зеленый
6	Смешанный средневозрастный	Лимонный
7	Лес молодняки	Светло-голубой
8	Лес на болоте	Оранжево-красный
9	Трава на болоте	Розовый
10	Лесовозобновление на заброшенных с.-х. землях (землях запаса и перераспределения)	Зеленый
11	Обрабатываемые земли	Желтый
12	Травянистый сомкнутый	Коричневый
13	Растительный покров населенных пунктов (города, поселки)	Фиолетовый
14	Кустарники населенных пунктов	Розовый
15	Лишенный растительности	Желтый
16	Водный объект	Синий

Оценка точности тематической карты наземного покрова проводилась методом каптастатистики (*Confusion Matrix*). Общая точность по сценам составила: по Кужерскому лесничеству – 74,6 %, по Алексеевскому лесничеству – 87,6 %. Каппа-коэффициент равен 0,69, что свидетельствует о значительном соответствии проведенной классификации полевым и эталонным (таксационные описания) данным. Согласно полученной тематической карте, общая лесистость территории исследования составила: в Кужерском лесничестве – 40 % (27,5 тыс. га) и 32 % (24 тыс. га) – в Алексеевском лесничестве (рис. 5), что в целом составляет 35,6 % от площади всего района (145 тыс. га). Наибольшую площадь в Алексеевском лесничестве занимают лиственные насаждения (37 %), затем идут смешанные (27 %) и хвойные (23 %) насаждения. В Кужерском лесничестве наибольшую площадь занимают хвойные насаждения (40 %), далее идут лиственные (31 %) и смешанные (29 %) насаждения.



Рис. 5. Распределение земельного фонда по категориям земель

Для сравнения полученных результатов с данными лесохозяйственных регламентов были рассчитаны площади основных лесных классов (хвойные, лиственные и смешанные) только в пределах квартальных сеток (рис. 6) каждого лесничества. Из табл. 2 видно, что общая площадь лесных насаждений Алексеевского лесничества составила 15252,9 га, а в Кужерском лесничестве – 21631,6 га. Согласно лесохозяйственным регламентам лесничеств за 2008 г. (с учётом дополнений и изменений на 31.12.2010 г.) площадь лесных насаждений Алексеевского лесничества составила 17345,0 га, Кужерского лесничества – 29879,0 га. Таким образом, в обоих лесничествах произошло уменьшение площади лесных насаждений. Такие изменения могли быть вызваны сплошными рубками (более характерно для Алексеевского лесничества), болезнями, гибелью лесов в результате пожаров 2010 г. (более характерно для Кужерского лесничества) и многими другими факторами природного и антропогенного характера.

Задача формирования репрезентативного набора данных для валидации полученных тематических карт, которые с достаточным уровнем обоснованности могли бы рассматриваться для рекомендации производству, усложняется в связи с трудностью практической реализации сбора эмпирического материала. Очевидно, что одним из основных требований, предъявляемых к опорным данным, является применение методов, обеспечивающих существенно более высокую геометрическую точность и детальность пространственных измерений по отношению к исходным спутниковым изображениям. Этим требованиям могут удовлетворять

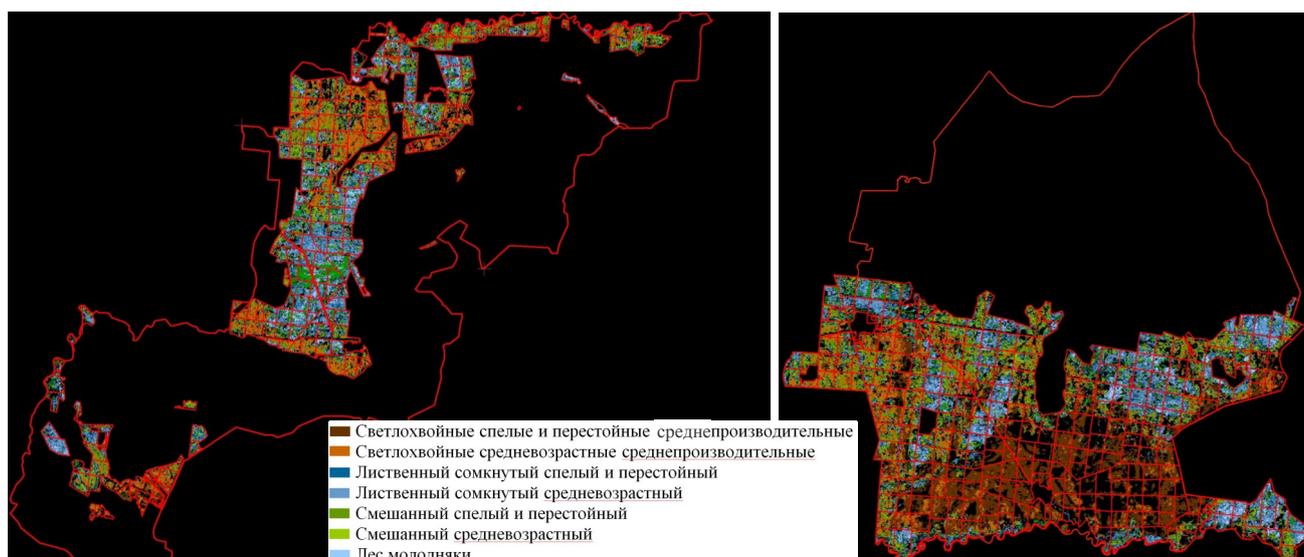


Рис. 6. Тематическая карта распределения лесного покрова на 7 классов в пределах квартальных сеток Алексеевского (слева) и Кужерского (справа) лесничеств РМЭ

Таблица 2

Оценка площадей лесного покрова по двум лесничествам

Насаждение под кварталами	Алексеевское лесничество	Кужерское лесничество
	Площадь, га	Площадь, га
Хвойные спелые	693,8	6456,7
Хвойные средневозрастные	3387,3	3199,2
Лиственные спелые	2179,8	2508,5
Лиственные средневозрастные	2587,8	2849,1
Смешанные спелые	2862,6	4009,5
Смешанные средневозрастные	1363,1	1478,3
Молодняки	1014,4	1160,1
ИТОГО	15252,9	21631,6

данные, получаемые по спутниковым изображениям высокого пространственного разрешения (Барталев и др., 2005). Поэтому формирование репрезентативного набора данных было проведено по снимкам спутника Rapid Eye, пространственное разрешение которого превышает разрешение изображений Landsat ETM+. В результате сопоставления значений площадей участков опорной (Rapid Eye) и контрольной (Landsat ETM+) выборок была проведена оценка совпадений лесных страт в пределах соответствующего квартала в процентах (рис. 7). Процент совпадения по Алексеевскому лесничеству составил 0,76%, по Кужерскому лесничеству – 0,72%. Данные показатели свидетельствуют о том, что полученная карта демонстрирует хороший уровень согласованности результатов, полученных из двух независимых источников.

Во всём мире остаются востребованными традиционные ГИС-приложения американских компаний, являющихся одними из лидеров мирового рынка ГИС-технологий, таких как ENVI (продукт компании ITT Visual Information Solutions) и ArcGIS (продукт компании Environmental Systems Research Institute, ESRI), которые представляют набор мощных инструментов для визуализации больших объёмов данных ДЗЗ, их обработки и картографирования. Тематические карты лесного покрова, сопряженные с ГИС, позволяют оперативно создавать прогнозные карты (визуализацию результатов расчета), предоставляют возможность ставить задачи оптимизации управления лесными экосистемами и проектировать лесохозяйственную деятельность.

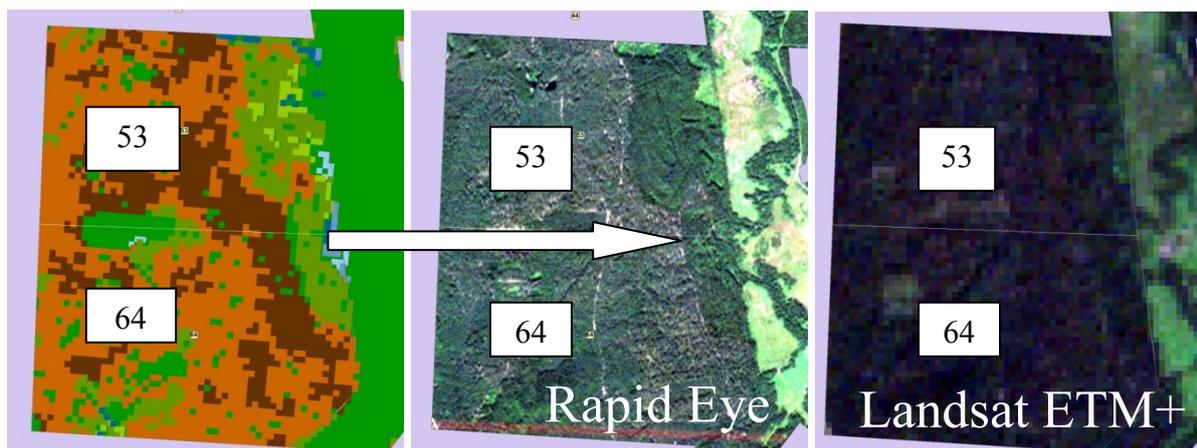


Рис. 7. Пример валидации лесного покрова по снимкам Rapid Eye и Landsat ETM+

Результаты валидации по снимку Rapid Eye помогли оценить точность определения площадей лесного покрова, что является одним из важнейших аспектов дальнейшего практического использования данных полученной тематической карты. Таким образом, комплексное использование результатов классификации лесов по данным Landsat-ETM+ и Rapid Eye обеспечивает эффективную возможность оценки лесистости как одного из важнейших индикаторов экологического состояния лесов региона.

Результат работы направлен на повышение информативности и достоверности оценки лесных насаждений на основе применения спутниковых средств наблюдения и создание цифрового, векторного, информационного слоя границ лесничеств и квартальной сети. Точность проведенных исследований позволяет рекомендовать полученную тематическую карту лесохозяйственному производству РМЭ. Результаты исследования могут быть также важны при оценке пространственного распределения запасов фитомассы и оценке углерододепонирующих функций лесных насаждений.

Библиографический список

1. Архипкин, О.П. Картирование крупных пожаров на основе временных рядов данных космического мониторинга / О.П. Архипкин, Л.Ф. Спивак, Г.Н. Сагатдинова // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов: сб. науч. ст. – М.: ООО «ДоМира», 2010.– Т. 7, No. 2. – С. 90-96.
2. Барталев, С.А. Валидация результатов выявления и оценки площадей, поврежденных пожарами лесов по данным спутникового мониторинга / С.А. Барталев, А.И. Беляев, В.А. Егоров и др. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов: сб. науч. ст. – М.: ИКИ РАН, 2005. – Т. 2. – С. 343-353.
3. Барталев, С.А. Разработка методов оценки состояния и динамики лесов на основе данных спутниковых наблюдений / С.А. Барталев // Дис...д-ра техн. наук. – М.: ИКИ РАН, 2007. – 291с.
4. Грешнов, С.П. Средства дистанционного зондирования и геоинформационные технологии в лесном хозяйстве и лесоустройстве / С.П. Грешнов // Земля из космоса – наиболее эффективные решения. – М.: ИТЦ «СКАНЭКС», 2009. – №. 1. – С. 34-35.
5. Губаев, А.В. Классификация наземного покрова Среднего Поволжья по спутниковым снимкам среднего разрешения / А.В. Губаев, Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьёв и др. // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг: материалы международного научно-практического семинара. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2011. – С. 7-19. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://csfm.marstu.net/publications.html>

6. Курбанов, Э.А. Дистанционный мониторинг динамики нарушений лесного покрова, лесовозобновления и лесовосстановления в Марийском Заволжье / Э.А. Курбанов, Т.В. Нуреева, О.Н. Воробьев и др. // Вестник МарГТУ. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2011 – № 3. – С. 17-24.

7. Сухих, В.И. Научные основы и первые результаты дистанционного мониторинга незаконных рубок леса / В.И. Сухих, М.Д. Гиряев, В.И. Архипов и др. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов: сб. науч. ст. – М.: ИКИ РАН, 2006. – Т. 1. – С. 32-38.

8. Chen, W. Canada's forest cover indicator: definition, methodology and results / W. Chen, R.H. Moll, B.D. Haddon et al. // Natural Resource Modeling, 2006. – Vol. 19. – P. 91-116.

9. Clark, J. Using remote sensing to map and monitor fire damage in forest ecosystems / J. Clark, T. Bobbe // Understanding forest disturbances and spatial pattern: remote sensing and GIS approaches. – CRC Press: Taylor & Francis, 2007. – P. 113-132.

10. Forkuor, G. Dynamics of land-use and land-cover change in Freetown, Sierra Leone and its effects on urban and peri-urban agriculture – a remote sensing approach / G. Forkuor, O. Cofie // International Journal of Remote Sensing. – 2011. – Vol. 32, No. 4. – P. 1017-1037.

11. Lu, D. Change detection techniques / D. Lu, P. Mausel, E. Brondizio, E. Moran // International Journal of Remote Sensing. – 2004. – Vol. 25, No. 12. – P. 2365-2407.

12. Wang, Le. Land cover change detection with a cross-correlogram spectral matching algorithm / Le Wang, Jin Chen, Peng Gong et al. // International Journal of Remote Sensing. – 2009. – Vol. 30, No. 12. – P. 3259-3273.

УДК 630*587.6

ВАЛИДАЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ЗЕМЕЛЬ ЗАПАСА ОРШАНСКОГО РАЙОНА ПО СПУТНИКОВЫМ СНИМКАМ LANDSAT

С.А. Меньшиков, П.О. Стародубцев, О.М. Акбаров, А.А. Алгаева
Поволжский государственный технологический университет

VALIDATION OF FOREST COVER ON ABANDONED LANDS OF ORSHANSKI DISTRICT ON SATELLITE LANDSAT IMAGES

S.A. Menshikov, P.O. Starodubcev, O.M. Akbarov, A.A. Algaeva
Volga State University of Technology

На сегодняшний день самым эффективным способом получения информации о распределении и состоянии растительного покрова является дистанционное зондирование земли (ДЗЗ). Спутниковые снимки среднего и высокого разрешений являются важным материалом для составления и обновления тематических карт наземного покрова, обнаружения изменений и выявления оценки точности проведенных работ. Методы ДЗЗ широко используются в инновационной хозяйственной деятельности экономически ведущих стран мира.

Информация, получаемая по данным дистанционных наблюдений, позволяет создавать тематические цифровые и векторные карты, базы данных, которые необходимы для оптимального управления территориями, организации рационального природопользования, охраны окружающей среды, проведения фундаментальных исследований в области наук о Земле. Оперативность, разнообразие и доступность данных ДДЗ предоставляют возможность получения тематических карт заданной точности при решении различных задач в лесном хозяйстве. Для повышения достоверности интерпретации наблюдаемых в момент съемки объектов требуется валидация (наземное подтверждение) получаемой информации. Этот процесс также является одним из ключевых шагов при оценке точности тематических карт на основе спутниковых снимков высокого разрешения и данных полевых исследований. Использование временных серий спутниковых данных при процедуре валидации дает возможность получения объективной информации о динамике растительного покрова. Сочетание наземного

обследования с применением спутниковой информации также позволяет повысить точность и скорость оценки, существенно снижая при этом затраты.

Целью исследования была валидация растительного покрова Оршанского района с помощью снимков Landsat и лесоустроительных данных.

Объектом исследования явились площади естественного зарастания земель запаса и перераспределения Оршанского района РМЭ.

Методика. На исследуемой территории было заложено 6 пробных площадей (ПП), 10 ПП глазомерной таксацией, а также были использованы 10 ПП, заложенные центром устойчивого управления и дистанционного мониторинга лесов в прошлые годы (Курбанов и др., 2010). Площадь каждой пробы составила в среднем 0,5 га. Каждая ПП привязывалась к квартальной сети и стене леса. Данные ее привязки наносили на абрис. Исследования проводились таким образом, чтобы максимально учесть густоту и пространственное распределение кустарниково-древесной растительности (ДКР). В каждом подсекторе определялось среднее дерево, у которого измеряли диаметр и высоту. Диаметры измеряли у корневой шейки с помощью мерной вилки. Высоты измеряли с помощью специального измерительного шеста с точностью до 5 см. В каждом подсекторе также был произведен сплошной пересчет ДКР по породам и ступеням толщины (Курбанов и др., 2010).

Методика проведения валидации включала в себя определение в полевых условиях точного местоположения тестовых полигонов и границ зарастания земель запаса с использованием приемника GPS (табл. 1). В последующем проводилась их идентификация в виде тестовых полигонов на снимке Landsat (рис. 1). Следующий этап работ включал в себя создание тематических карт наземного покрова с использованием методов неуправляемой классификации в среде ENVI-4.8.

Таблица 1

Координаты пробных площадей

№ кв. № ПП	Широта, град. мин.	Долгота, град. мин.
ПП №1	N 56 52.6.03	E 4758.47.21
ПП №2	N 56 52.18.47	E 4759.19.89
ПП №3	N 56 53.7.95	E 48 0.39.26
ПП №4	N 56 53.3.19	E 48 1.23.97
ПП №5	N 56 58. 1.98	E 48 16.8.27
ПП №6	N 56 59.30.20	E 48 19.47.64

Для получения данных по пространственному расположению пробных площадей на снимке Landsat и тематической карте следующим шагом стало определение их местоположения с помощью GPS координат в программе «ArcGIS» (рис. 2).

Процедура валидации включала в себя также оценку точности выделенных полигонов (класс «молодняки березовых насаждений») на полученной тематической карте и синтезированном снимке Landsat площадей зарастания земель сельскохозяйственных угодий.

Результаты. Спектральные значения были определены на 6 эталонных (где были заложены ПП) и на 18 тестируемых участках созданного тематического класса зарастания молодняками березы в пределах границ Оршанского района РМЭ (табл. 2).

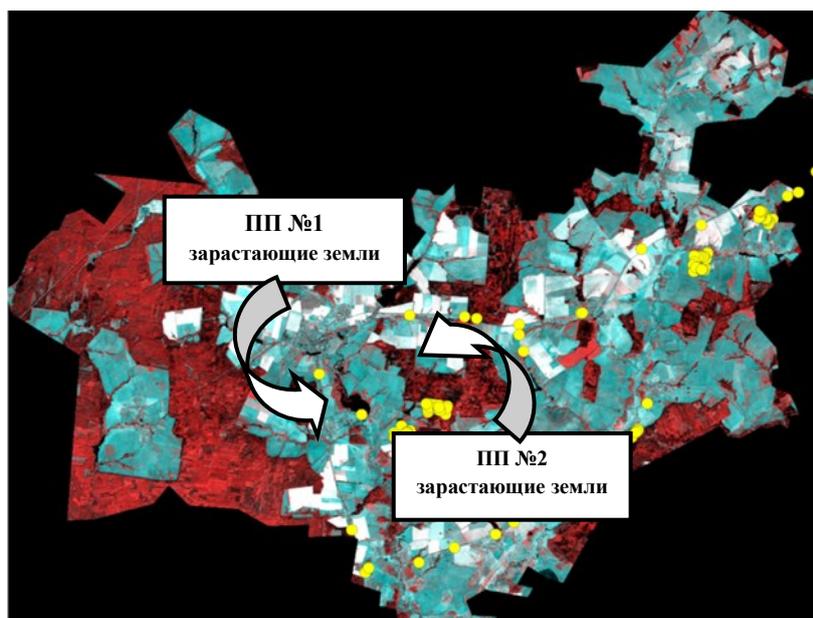


Рис. 1. Пробные площади на спутниковом снимке Landsat ETM+

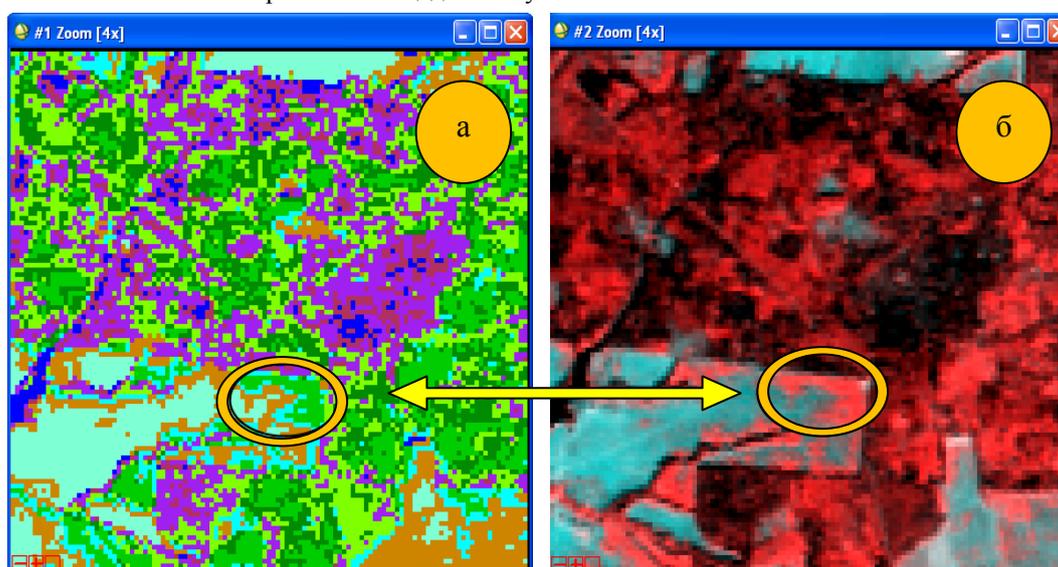


Рис. 2. Идентификация одного из участков зарастания земель запаса на фрагменте тематической карты (а) и синтезированном изображении Landsat в псевдоцветах (б)

Таблица 2

Значения спектральной яркости пробных площадей на снимке Landsat

№ ПП	Каналы										
	RED	NIR									
1	137	114	7	149	168	13	93	112	19	118	148
2	112	46	8	93	141	14	146	187	20	118	163
3	131	104	9	118	102	15	134	156	21	131	156
4	137	87	10	137	177	16	137	158	22	137	182
5	137	92	11	143	187	17	124	143	23	149	175
6	136	115	12	137	158	18	93	117	24	131	158

Для анализа соответствия принадлежности выборок спектральной яркости зарастающих земель, спектральной яркости эталонных и тестовых участков был использован пакет «MS Excel». Каждая переменная содержала данные одной группы (табл. 3).

Таблица 3

Показатели спектральных значений тестовых участков

Тестовые участки		Тестовые участки		Тестовые участки		Эталонные пробные площади	
Red (4)	Nir (5)	Red (4)	Red (4)	Nir (5)	Nir (5)	Red (4)	Nir (5)
149	168	93	137	114	148	137	114
93	141	146	112	46	163	112	46
118	102	134	131	104	156	131	104
137	177	137	137	87	182	137	87
143	187	124	137	92	175	137	92
137	158	93	136	115	158	136	115
Максимальное значение				149	187	137	115
Минимальное значение				93	102	112	46
Среднее значение				127,1	154,9	131,7	93
Стандартное отклонение				18,45	24,75	9,91	25,66
Коэффициент корреляции				0,79		0,85	

Из таблицы 3 видно, что между средними значениями спектральной яркости каждой эталонной ПП и дополнительного тестового участка достоверного различия нет, то есть выборки однородны и представляют собой одну генеральную совокупность. Общая точность классификации составила 84,45 %

Для оценки точности тематической карты был рассчитан коэффициент согласования Каппа. Он равен 0,83, что свидетельствует о значительном соответствии проведенной классификации нашим полевым (эталонным) данным.

По результатам валидации данных наземного наблюдения и спутниковой информации выявлено 90-процентное совпадение класса зарастания на 9 из 10 тестовых участков и полигонов. Площадь зарастания породами пионерами на землях запаса и перераспределения Оршанского района составила более 13 % (12130 га). Таким образом, на основе полевых и камеральных работ проведена валидация площадей зарастания на землях перераспределения и запаса в Оршанском районе по спутниковым снимкам среднего разрешения Landsat. В целом, методика валидации показала высокую достоверность и может быть рекомендована для применения при оценке лесных насаждений на мультиспектральных и панхроматических снимках высокого и среднего разрешения.

Библиографическое описание

1. Курбанов, Э.А. Пространственная динамика фитомассы березняков на бывших сельскохозяйственных землях Марийского Заволжья / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, Л.С. Устюгова и др. // Лесной журнал. – 2010. – № 3 – С. 8-14.
2. Курбанов, Э.А. Оценка зарастания земель запаса Республики Марий Эл лесной растительностью по спутниковым снимкам / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев и др. // Вестник МарГТУ. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет. – № 2. – 2010. – С. 14-20.

**МОНИТОРИНГ ФРАГМЕНТАЦИИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА
ОРШАНСКОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ
ПО СПУТНИКОВЫМ СНИМКАМ LANDSAT**

О.Н. Воробьев, Е.Н. Демишева, Е.В. Глушкова, С.Д. Исламов
Поволжский государственный технологический университет

**MONITORING OF FOREST COVER FRAGMENTATION IN ORSHANSKI DISTRICT
OF REPUBLIC MARI EL WITH THE USE OF LANDSAT IMAGES**

O.N. Vorobyov, E.N. Demisheva, E.V. Glushkova S.D. Islamov
Volga State University of Technology

Согласно критериям и индикаторам устойчивого управления лесами, которые детально разработаны в ходе Монреальского процесса (Критерии и индикаторы..., 2009), фрагментация лесов является одним из параметров, которые учитываются при оценке устойчивости лесных экосистем. По определению ФАО, лесная фрагментация является результатом процессов перехода ранее целостных (ненарушенных) древостоев в отдельные группы лесов, разделенных нелесными землями (Schoene, Killmann, 2007). Эти процессы, ведущие к нарушению целостности лесных массивов, могут быть как антропогенного, так и природного характера.

В последнее время для оценки фрагментации лесных земель широко используются методы дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) и геоинформационные технологии (ГИС). Данные ДЗЗ являются важным источником для получения тематических карт, учитывающих площади покрытых и не покрытых лесом территорий, а ГИС-технологии позволяют проводить пространственный анализ изучаемых ландшафтов для оценки степени фрагментированности лесных экосистем. Вопросам влияния фрагментации лесных экосистем на ареалы обитания диких животных и птиц, биоразнообразия было посвящено значительное число публикаций (Franklin, Noon, George, 2002; Wade, 2003; United Nations Forum..., 2011). Исследованиями охвачены практически все континенты, включающие различные лесные экосистемы (умеренные, бореальные, тропические леса, лесотундра и лесостепные районы).

Фрагментация растительного покрова. Проблема фрагментации наземного покрова является актуальной задачей, решением которой занимаются ученые разных стран мира. Фрагментация природных экосистем обычно рассматривается как одна из наиболее серьезных угроз биоразнообразию. Она наблюдается, когда в результате антропогенной деятельности (сельскохозяйственной, лесохозяйственной, урбанизации и т.п.), природных процессов разделяются значительные по площади лесные участки, превращаясь в отдельные фрагменты. На сильноурбанизированных территориях процесс фрагментации снижает эффективность лесов при выполнении водоохраных и воздухоочистительных функций.

Такое влияние можно увидеть на примере южной части провинции Онтарио, где дороги, постройки или сельскохозяйственные угодья обычно прерывают естественное растительное покрытие (Rusak, 2011). Даже небольшие грунтовые дороги или тропы через лес могут повлиять на естественные функции леса. Как отмечают авторы исследования, фрагментация не только уменьшает площади леса, но и влияет на другие биофизические аспекты леса – состав насаждения, температуру, влажность воздуха и световой режим. Это нарушает среду обита-

ния, к которой на протяжении тысячелетий приспособились все лесные животные и растения.

Большой вклад в оценку фрагментации лесов внесли канадские ученые (Soverel, Coops, White, 2009). Они провели обследование около 2000 лесных участков в 26 национальных парках Канады и сравнили их с насаждениями, окружающими эти парки. В качестве критериев оценки фрагментации лесов было принято пять показателей: число лесных участков, средний размер лесного участка, стандартное отклонение размера лесного участка, отношение периметра лесного участка к площади и густота лесных участков. Полученные результаты позволили выявить разницу в структуре лесных массивов национальных парков и окружающих их лесов. Почти все национальные парки имели значительно меньшую фрагментированность, чем окружающие их лесные территории. А на 46% территории национальных парков имелись лесные участки, по своим размерам значительно превышающие средние размеры лесного участка, определенного на территории исследования. Это говорит о значительной степени ненарушенности древостоев национальных парков Канады в результате принятых законодательных инициатив по сохранению биоразнообразия и устойчивости лесопарковых экосистем.

Одним из ключевых моментов при оценке лесных экосистем является определение унифицированных общих критериев (количественных показателей) их фрагментации. С их помощью определяется степень нарушенности древостоев, позволяющих проводить по единой принятой системе анализ разнообразных территорий и ландшафтов (Jaeger, 2000).

Так, исследования, посвященные оценке степени фрагментации лесных экосистем Ленинградской области, позволили определить количественные показатели, характеризующие степень связности ландшафта, уровень процессов энтропии, и получить коэффициент минимальной необходимой площади лесных участков (Агаханянц, 2003). Для этого на карте Ленинградской области было выбрано 50 участков площадью 100 км². На выбранных участках была измерена площадь контуров «естественных территорий», ограниченных фрагментирующими элементами, и вычислены показатели фрагментации. По полученным данным исследуемые участки были разделены на три группы: сильнофрагментированные участки (степень связности изменяется в пределах $0 \leq C \leq 0,4$), их встречаемость на территории Ленинградской области – 86%; среднефрагментированные участки ($0,4 < C \leq 0,8$), их встречаемость – 10%; слабофрагментированные участки ($0,8 < C \leq 1$), их встречаемость – 4%.

По результатам оценки было выявлено, что территория Ленинградской области относится к сильнофрагментированной. Эти данные дают возможность судить о фрагментации экосистем территории Ленинградской области, а также дают основу для зонирования территории с точки зрения прогнозов дальнейшей фрагментации лесных экосистем при экологическом нормировании изучаемой территории.

За прошедшие три десятилетия особое внимание мировой общественности было обращено на фрагментацию тропических лесов. Группой ученых был проведен анализ увеличения объема краевого эффекта и количества лесных участков тропических лесов Бразилии на территории более 1,1 млн га с использованием средств ДЗЗ и ГИС-технологий (Eben, Broadbent и др. 2008). Было отмечено, что ключевое значение при увеличении фрагментации тропических экосистем имеет антропогенное воздействие, в особенности увеличивающийся объем сплошных рубок. В следующей работе был проведен анализ последствий фрагментации ле-

сов центральной Амазонии. В выводах по результатам исследований констатируются негативные последствия такого рода процессов (Laurance, 2000). Авторами отмечено, что в тропиках деревья, растущие в лесу, и одиночные деревья являются основным источником фруктов, цветов и местообитанием популяций животных. Они также являются репродуктивными доминантами и сильно влияют на состав и структуру леса, динамику развития, гидрологию и накопление углерода. Фрагментация лесов в центральной Амазонии оказывает жесткий эффект на крупные деревья, потеря которых приводит к большим нарушениям тропических экосистем. Приведены три причины, почему крупные деревья необычайно уязвимы во фрагментированных тропических лесах. Во-первых, крупные деревья больше подвержены ветровалу и бурелому, так как расположены ближе к опушке, характеризуются большим ростом, относительно большей толщиной и хрупкостью стволов. Во-вторых, лианы, ослабляющие состояние древостоя, больше распространены на опушке леса, а крупные старые деревья очень чувствительны к инвазии лианами. В-третьих, кроны крупных тропических деревьев на опушках подвергаются интенсивному облучению солнечной радиацией и испарению.

Детальный анализ состояния лесных экосистем с учетом фрагментарности лесных массивов, процента лесистости территорий и других важных показателей был проведен при формировании государственного отчета по критериям и индикаторам устойчивого управления лесами (Критерии и индикаторы..., 2009). Эти показатели оценивались как ключевые при оценке устойчивости экосистем России. На основе анализа фрагментации лесов с использованием космических снимков разного разрешения спутников серии «Ресурс-О1» и американского спутника Landsat 7 ETM+ был составлен «Атлас малонарушенных лесных территорий России» (Аксенов, Добрынин и др., 2003). Авторы исключили из классификации большую часть пахотных земель, массивы сплошных рубок последних десятилетий и фрагменты потенциально малонарушенных территорий, площадь которых оказалась менее 50 тыс. га. Для нахождения окончательных границ малонарушенных территорий были использованы снимки системы Terra ASTER с разрешением 15 м и «Ресурс-О1» МСУ-Э с разрешением 35 м. По результатам исследований была выявлена площадь малонарушенных лесных территорий России, которая, по данным на 1999–2001 г., составила около 289 млн га (32% от всей лесопокрытой площади). При этом было выявлено их крайне неравномерное распределение – почти половина всех малонарушенных лесных территорий находится в пяти сибирских регионах: Республике Саха (Якутия), Эвенкийском автономном округе, Красноярском крае, Ханты-Мансийском автономном округе и Иркутской области. Авторы исследования считают, что для сохранения больших массивов малонарушенных лесов необходима организация новых национальных парков и заповедников.

Интересен опыт оценки фрагментации горных лесных массивов при строительстве олимпийских объектов с использованием данных ДЗЗ и ГИС (Ивонин, Егошин, 2012). Авторы выделяют пять типов рубежей фрагментации горных лесов при строительстве туристских объектов в районе Красной Поляны. Дополнительно определяется ширина распространения негативного краевого (опушечного) эффекта по типам рубежей. По предложенным показателям рассчитаны коэффициенты контакта фрагмента с изолирующими рубежами (от 0,0037 до 2,3333 м/м²), негативного воздействия изолирующих рубежей на лесную обстановку фрагмента (от 0 до 1), деградированности лесной обстановки под влиянием фрагментации (от 0 до 63). Наиболее значимым показателем явился коэффициент негативного воздействия (КНВФ), тесно связанный с площадями лесных фрагментов.

Использование ландшафтных индексов при изучении фрагментации лесов Белоруссии дает ряд преимуществ и может помочь в оценке, планировании и мониторинге биоразнообразия (Усова, 2007). Автором отмечается, что данные индексы могут применяться на различных этапах изучения лесов. Так, на стадии анализа размещения лесов используются индексы для описания структуры и пространственного распределения, а на этапе планирования территории оценивается среднее расстояние между контурами. Для анализа и дешифрирования использовались снимки среднего разрешения Landsat 7 ETM+. В результате была получена карта типов земель, которая включала лесные и нелесные территории. Для ландшафтно-структурной оценки организации лесов были рассчитаны индексы, которые характеризуют структуру, форму и фрагментацию насаждений. Расчет ландшафтных индексов проводился с использованием модуля PatchGrid 3.1 и ArcView 3.2. Как показали результаты оценки, количество контуров лесных массивов изменяется в широких пределах. На территории республики преобладают участки с невысоким количеством лесных массивов, что указывает в одних случаях на слабозалесенные территории, а в других – наличие крупных массивов. Результаты показали, что фрагментация лесов обусловлена высокой степенью сельскохозяйственного использования территории и высокой плотностью населенных пунктов. Наиболее высокая степень трансформации лесов отмечается в окрестностях крупных городов и сельскохозяйственных центров. Таким образом, ландшафтные индексы могут помочь при описании структуры лесных массивов и могут быть использованы в управлении лесными территориями на региональном уровне.

Несмотря на то что увеличение фрагментации лесных массивов в основном негативно влияет на устойчивость лесных экосистем, некоторыми авторами отмечается, что с позиций оценки уровня биоразнообразия фрагментация лесных массивов в лесной зоне имеет некоторый положительный аспект. В пограничных полосах между лесными и нелесными участками формируются экотонные комплексы, которые, как правило, характеризуются повышенным видовым разнообразием и устойчивостью. В настоящее время отсутствует научное обоснование оптимальной меры фрагментации лесного покрова в различных географических зонах и многие вопросы в этой области исследований остаются открытыми (Критерии и индикаторы..., 2009).

1. Объект исследования

Объектом исследований являлся растительный покров на территории Оршанского района Республики Марий Эл (рис.1).

2. Материалы и методы

В процессе работы была использована методика оценки фрагментации растительного покрова по снимкам среднего разрешения Landsat в пакете ENVI 4.8 и ArcGIS 10 с использованием международных индексов оценки фрагментации ландшафта, которая включала в себя:

- полевые исследования с закладкой тестовых участков;
- камеральные работы, включающие тематическую оценку фрагментации растительного покрова Оршанского района путем классификации спутниковых изображений.

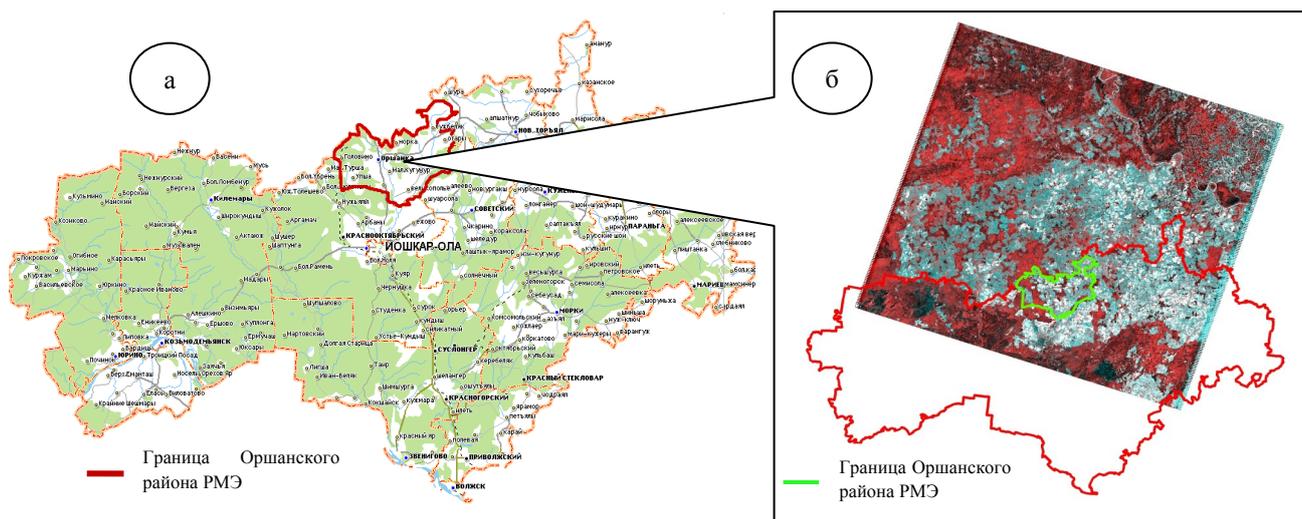


Рис. 1. Контур Оршанского района на карте Республики Марий Эл (а) и на снимке Landsat (б)

2.1. Полевые исследования

Данные были собраны во время проведения полевых работ в 2011 г. Дополнительно в качестве рабочего материала использовались материалы лесоустройства и мультиспектральные снимки среднего разрешения спутника «Landsat-5 TM» 2011 г. территории исследования.

В процессе исследований оценивались все объекты наземного покрова с последующим разделением его на два класса:

- лесные земли, на которых были заложены 20 пробных площадей методом глазомерной таксации;
- нелесные земли, куда вошли земли сельхозугодий (зарастающие древесно-кустарниковой растительностью, задерненные, обработанные поля) и земли других категорий (населенные пункты, дороги, водные объекты).

В дальнейшем земли сельхозугодий были объединены в один класс. На них были заложены 15 тестовых участков с использованием глазомерной оценки на местности. Подбор участков для закладки пробных площадей проводился с помощью таксационных описаний, планов лесных насаждений и материалов спутниковой съемки.

Пробные площади были заложены методом глазомерной таксации согласно ОСТ 56-69-83 «Методика закладки пробных площадей» с целью:

- оценки соответствия категории объекта на спутниковом снимке и на местности;
- выявления мест максимальной фрагментации под влиянием антропогенной нагрузки.

Координаты каждой пробной площади фиксировались с помощью GPS-приёмника “GARMIN eTrex” с целью последующего определения тестовых участков на снимках. Дополнительно были использованы результаты исследований, проведенные ЦУДМЛ в 2009–2011 гг. (рис. 2).



Рис. 2. Тестовый участок № 10 (зарастание молодняками березы земель сельхозугодий у опушки леса), Оршанское лесничество, кв. 42, выдел 8

2.2. Методика исследования

Следующий этап работы включал в себя обобщение полевых материалов, формирование тематических карт, расчет индексов фрагментации и заключение о степени фрагментированности территории Оршанского района.

2.2.1. Формирование разновременных тематических карт на территорию Оршанского района

В качестве рабочего материала использовались мультиспектральные снимки среднего разрешения спутников «Landsat – 7 ETM+» 2001 г. и «Landsat – 5 TM» 2011 г. Все снимки прошли радиометрическую и атмосферную коррекцию, им была присвоена система координат WGS-84.

Процесс обработки снимков с помощью программных пакетов ENVI 4.8 и ArcGIS 10 включал следующие этапы:

- получение синтезированных изображений. В качестве базовых изображений для последующего тематического картирования были получены изображения в псевдоцветах R-NIR (красная – ближняя инфракрасная зоны спектра) для снимков 2001 и 2011 гг.;
- выделение фрагмента территории Оршанского лесничества по ранее созданному полигону-маске с наложением координат тестовых участков на снимок (рис. 3);

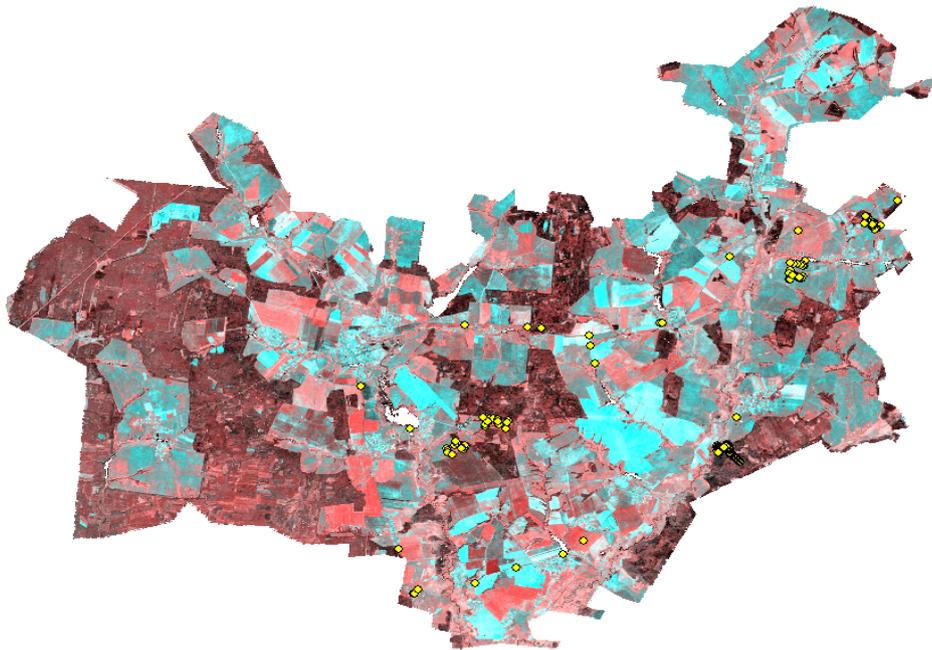


Рис. 3. Синтезированное изображение в псевдоцветах Landsat 2011 г. с наложением тестовых участков полевых исследований

- проведение поэтапной неуправляемой классификации на основе полученных фрагментов сцен на территорию субъекта 2001 и 2011 гг. в программном пакете ENVI-4.8;
- оценка точности полученных тематических карт с помощью методики оценки коэффициента Каппа. Значение коэффициента для карты 2011 г. было определено в пределах 0,8; для карты 2001 г. – 0,82, что означает высокую степень согласованности с данными полевых исследований.;
- поэтапное формирование тематических карт. На первом этапе были удалены полученные классы, не относящиеся к категории «лесные и нелесные земли» (населенные

пункты, водные объекты). На втором этапе после проведения вторичной классификации была проведена процедура объединения отдельно классов «лес» и «не лес». В результате были получены тематические карты на два основных класса: лесные и нелесные земли для 2001 и 2011 гг.;

- проведение автоматической векторизации, т.е. преобразование растровой тематической карты в векторный слой.

Весь последующий анализ фрагментации лесных экосистем осуществлялся в ПО ArcGIS 10 (Рис.4, 5).

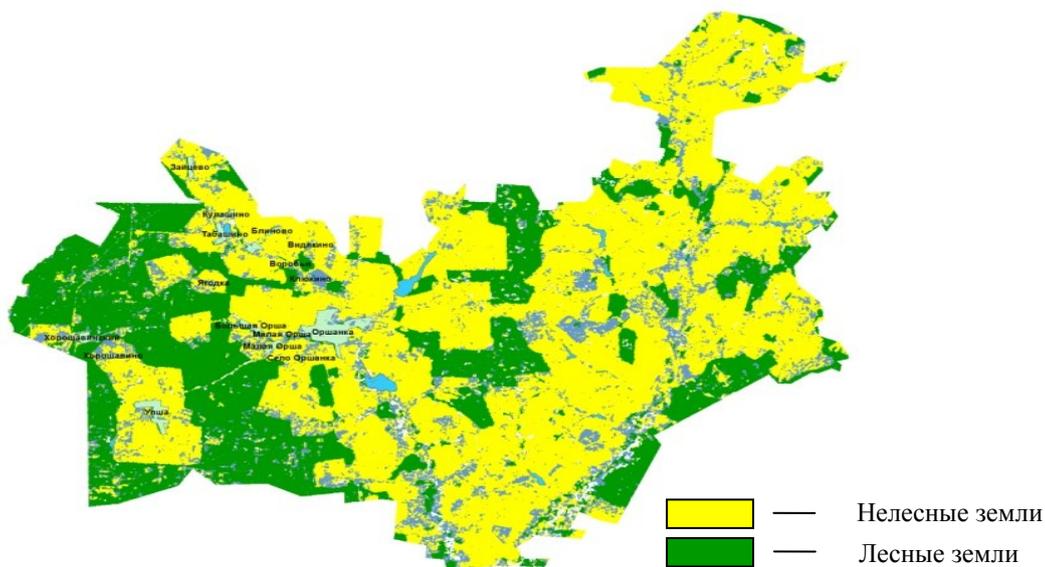


Рис. 4. Тематическая карта на два класса («лес» и «не лес») на территорию Оршанского района РМЭ 2001 г.

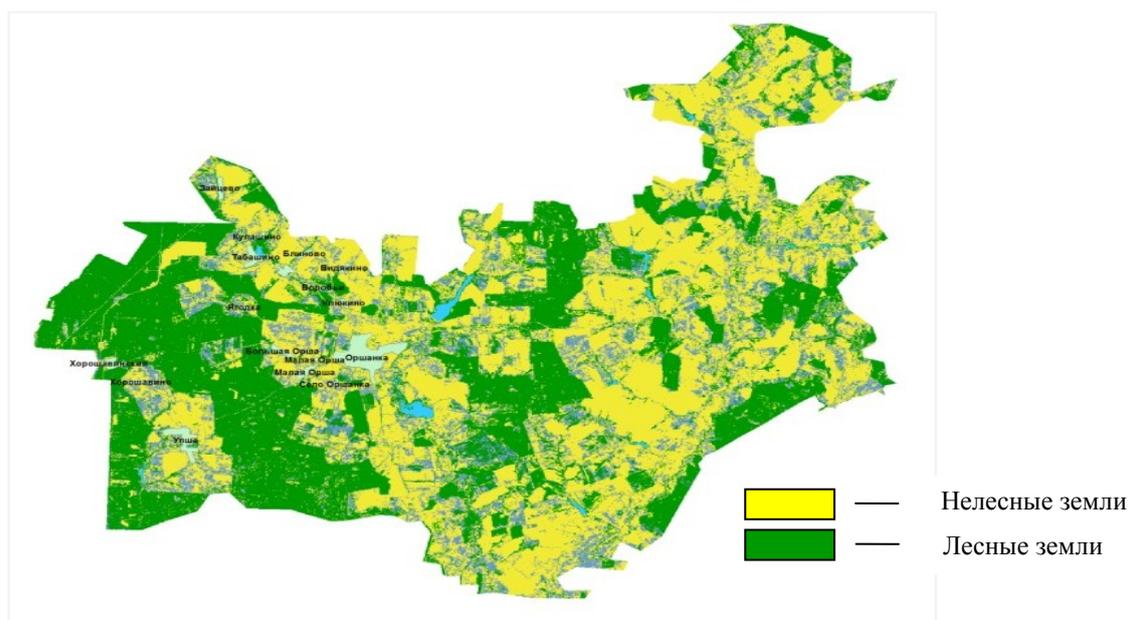


Рис. 5. Тематическая карта на два класса («лес» и «не лес») на территорию Оршанского района РМЭ 2011 г.

2.2.2. Оценка фрагментации растительного покрова на базе сформированных тематических карт с использованием международных индексов фрагментации растительного покрова.

В качестве стандартных параметров оценки фрагментации на ландшафтном уровне были использованы следующие индикаторы:

1) процент лесистости (PFOR) – отношение покрытой лесом площади (FA) к общей площади исследуемого района (TA):

$$PFOR = \frac{FA}{TA}, \%; \quad (1)$$

2) количество групп лесных участков (NP) – число оцениваемых лесных участков. Чем их больше, тем фрагментированнее считаются леса;

3) плотность лесных участков (PD) – количество лесных участков на 100 га:

$$PD = \frac{NP}{TA}, \text{ га}^{-1}; \quad (2)$$

4) общая длина кромки всех лесных участков (TE) – общая протяженность границ лесных участков:

$$TE = \sum_1^{NP} e, \text{ км}; \quad (3)$$

5) относительная длина лесных участков (REL) – общая длина границ лесных участков с поправкой на долю от общей площади лесов:

$$REL = \frac{TE}{PFOR}; \quad (4)$$

6) средний размер лесных участков (MPS) – среднее арифметическое площадей лесных участков:

$$MPS = \frac{a1 + a2 + \dots + an}{NP}; \quad (5)$$

7) отношение площадей к периметру (PAR):

$$PAR = \frac{p}{a}, \quad (6)$$

где p – периметр лесных участков;

a – площадь лесных участков.

8) интегрированный индекс фрагментации лесных участков (PROX):

$$PROX = \sum_1^{NP} \frac{a}{h}, \quad (7)$$

где h – расстояние между двумя лесными участками (от края до края).

Оценка индексов осуществлялась в модуле ArcMap с использованием встроенных инструментов вычисления площадей, периметров и расстояний между полученными полигонами лесных участков 2001 и 2011 гг. (табл.1).

Таблица 1

Индексы фрагментации древостоев Оршанского района

Индексы	Единицы измерения	2001 г.	2011 г.
1. PFOR – процент лесистости	%	0,31	0,38
2. NP – количество лесных участков	шт.	170	186
3. PD – плотность лесных участков	га ⁻¹	0,2	0,2
4. TE – общая длина кромки всех лесных участков	м	1387860	1384037
5. REL – относительная длина лесных участков	м	4476967,7	3642202,6
6. MPS – средний размер лесных участков	га	32,6	12,07
7. PAR – отношение площадей к периметру	м	0,01	0,001
8. Среднее расстояние между лесными участками	м	3088,55	3096,7
9. PROX – интегрированный индекс лесных участков	м	3742	4629

3. Результаты исследований

В ходе исследования собран и обработан материал 35 тестовых участков на территории Оршанского района, включающий 20 пробных площадей, оцененных методом глазомерной таксации.

Обработка данных выполнена с помощью программных пакетов ENVI 4.8 и ArcGIS 10. На основе спутниковых снимков Landsat-5 TM 2011 г. и Landsat 7 ETM+ 2001 г. сформированы тематические карты с разделением наземного покрова Оршанского района на два класса: лесные и нелесные земли. Статистический анализ точности с использованием матрицы различий и коэффициента Каппа выявил высокую степень соответствия полученных тематических карт данным полевых исследований и материалам лесоустройства. Визуальный анализ тематических карт, снимков Landsat и снимков высокого разрешения Alos и Rapid Eye выявил увеличение количества мелких лесных участков за счет зарастания земель сельхозугодий.

Расчитаны индексы фрагментации растительного покрова по тематическим картам на базе разновременных снимков Landsat-5 TM и Landsat-7 ETM+.

Площадь лесных земель Оршанского района в 2001 г. составила 27126,72 га; в 2011 г. – 33227,19 га. Увеличение площади лесных участков произошло в первую очередь за счет зарастания опушечных территорий, прилегающих к лесным массивам, и интенсивного зарастания земель сельхозугодий (земли запаса). Среднее расстояние между лесными участками не должно превышать оптимально принятого расстояния 700 м. В 2001 году этот показатель был равен 3088,6 м, в 2011 г. – 3096,7 м, что гораздо выше оптимального в 4,4 раза. Критерий «отношение площадей к периметру (PAR)» составлял 0,01 в 2001 г. и 0,001 в 2011 г. Чем ближе этот показатель к 0, тем более выражена фрагментация. Средняя площадь лесных участков (MPS) с 2001 по 2011 г. уменьшилась с 32,6 га до 12,07 га.

Общий интегрированный индекс (PROX) в 2011 г. по сравнению с 2001 г. увеличился с 3742 до 4629, но его значение не соответствует оптимально принятому показателю 10000 (Soverel et al, 2009).

Одним из дополнительных критериев оценки степени фрагментации лесов выступает степень соответствия формы лесных участков правильным фигурам. Проведенный анализ лесных полигонов выявил, что формы лесных участков имеют неправильную форму, т.е. имеют явно выраженную угольчатость, вытянутость, что свидетельствует о сильной антропогенной нагрузке и неустойчивости лесной экосистемы.

Таким образом, общий анализ индексов, полученных на основе тематических карт 2001 и 2011 гг., данные полевых исследований, оценка спутниковой информации по разновременным снимкам среднего разрешения и валидация данных по снимкам высокого разрешения выявили явную динамику увеличения площади лесных угодий на территории Оршанского района РМЭ. В первую очередь, увеличение класса «лесные земли» произошло за счет зарастания земель запаса и перераспределения. Тем не менее оценка количественных показателей критериев фрагментации растительного покрова по спутниковым снимкам выявила значительную фрагментированность лесного покрова на территории Оршанского района РМЭ. Это говорит о высокой степени антропогенной нагрузки на лесные экосистемы в виде лесохозяйственной деятельности за изучаемый период. Полученные тематические карты позволяют выявить ключевые участки, которые можно формировать в виде центров, где будут восстанавливаться наиболее устойчивые к внешнему антропогенному воздействию древостои. Результаты работы могут быть использованы в виде рекомендаций лесохозяйственной дея-

тельности для Оршанского лесничества с точки зрения устойчивого управления лесными ресурсами.

Библиографический список

1. Агаханянц, П.Ф. Экологическая оценка фрагментации территории при проектировании дорожно-транспортных сетей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: утв. 03.00.16 / Агаханянц Полина Феликсовна – СПб, 2003. – С. 20.
2. Аксенов, Д.Е. Атлас малонарушенных лесных территорий России / Д. Е. Аксенов, Д. В. Добрынин, М. Ю. Дубинин [и др.]. – М., 2003. – С. 185 .
3. Критерии и индикаторы сохранения и устойчивого управления лесами умеренной и бореальной зон (Монреальский процесс): национальный доклад Российской Федерации. – М.: ВНИИЛМ, 2009. – С.18-19.
4. Усова, И.П. Оценка фрагментации лесов с использованием ландшафтных индексов (на примере восточно-белорусской ландшафтной провинции) / И.П. Усова // Актуальные проблемы геоботаники. III Всероссийская школа-конференция. II часть. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. – С. 250-253.
5. Ивонин, В.М. Фрагментация горных лесов при строительстве олимпийских объектов в Сочи / В.М. Ивонин, А.В. Егосин // ArcReview № 3. Тема номера: ГИС: теория и практика. ArcGIS 10.1 (62) 2012. – URL: http://www.dataplus.ru/ARCREV/Number_62/18_fragment.html.
6. Eben, N. Forest fragmentation and edge effects from deforestation and selective logging in the Brazilian Amazon / N. Eben, B. Broadbent, P. Gregory // Biological Conservation. – 2008. – Vol. 141, is. 7. – P. 1745–1757.
7. Franklin, A. What is habitat fragmentation? / A. Franklin, B. Noon, T. George // Studies in Avian Biology. – 2002. – No. 25. – P. 20–29.
8. Schoene, D. Forests and Climate Change: Working Paper 5 / D. Schoene, W. Killmann // Food and agriculture organization of the United Nations and agriculture organization of the United Nations. – Rome, Italy, 2007. – P. 27.
9. Soverel, N. Characterizing the forest fragmentation of Canada's national parks / N.O. Soverel, N.C. Coops, J.C. White, M.A. Wulder // Environmental Monitoring and Assessment. – 2009. – P. 481-499.
10. Jaeger, J.A.G. Landscape division, splitting index, and effective mesh size: New measures of landscape fragmentation / J. A.G. Jaeger // Landscape ecology. – 2000. – 15, Vol. 2. – P. 115-130.
11. Laurance, W.F. Mega-development trends in the Amazon: implications for global change / W.F. Laurance // Environmental Monitoring and Assessment. – 2000. – №61. – P. 113-122.
12. Rusak, H. Forest Fragmentation / H. Rusak // Ontario Nature. – 2011. – №2 (May). – URL: <http://www.ontarionature.org/discover/resources/PDFs/factsheets/fragmentation.pdf>
13. United Nations Forum on Forests Ninth Session 6th Meeting (AM)/ Forest Loss, Degradation Blamed on Neglect of Social, Cultural, Human Aspects as Forum Holds Multi-Stakeholder Dialogue// Economic and Social Council, Department of Public Information, News and Media Division. – New York – ENV/DEV, 2011. – P. 1181.
14. Wade, T. Distribution and causes of global forest fragmentation / T. Wade, G. Riitters et al. // Conservation Ecology. – 2003. – Vol. 7, is.2. – URL: <http://www.consecol.org/vol7/iss2/art7>.

УДК 630*587

ОБЗОР ОЦЕНКИ ДИНАМИКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕСОВ ДИСТАНЦИОННЫМ ЗОНДИРОВАНИЕМ

Д.Ю. Арефьев, А.С. Коморкин, Е.В. Загайнова, А.Э. Курбанов
Поволжский государственный технический университет

OVERVIEW ON ESTIMATION OF DYNAMICS OF FORESTS ECOLOGICAL CONDITIONS WITH THE USE OF REMOTE SENSING

D.Y. Arefiev, A.S. Komorkin, E.V. Zagainova, A.E. Kurbanov
Volga State University of Technology

Изучение экологических и биосферных функций лесных насаждений приобретает все большее научно-практическое значение в условиях меняющегося климата и глобализации мировой экономики. Важнейшим направлением в подобных исследованиях является изучение водоохраной, водорегулирующей и защитной роли лесов России, что связано со снижением их устойчивости под влиянием хозяйственной деятельности человека. В настоящее

время для получения достоверной информации о динамике экологического состояния лесных экосистем широко используются данные дешифрирования разновременных мультиспектральных спутниковых снимков разного разрешения. Цель данного исследования – анализ состояния вопроса на основе существующих научных источников в данной области как в России, так и за рубежом.

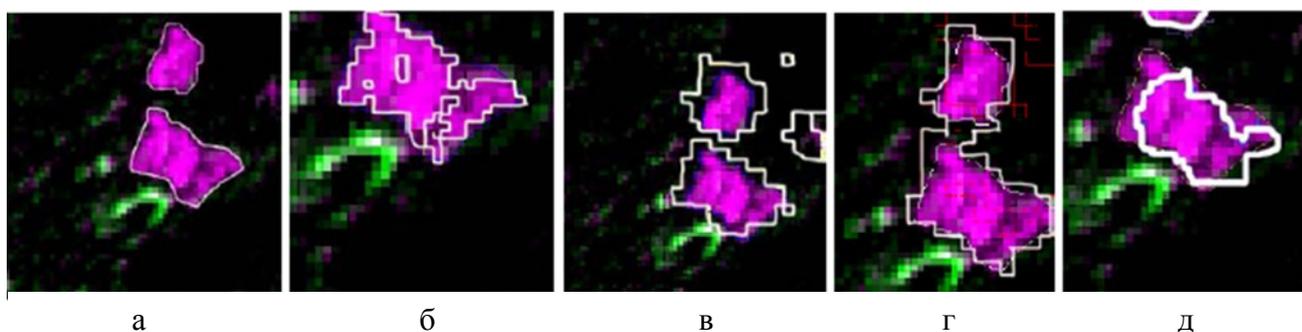
Коллектив ИКИ РАН рассматривает один из возможных подходов к решению этой задачи, который предполагает первоначальное проведение взаимной яркостной нормализации изображений с целью их последующей совместной классификации (Барталев и др., 2011). В основу метода яркостной нормализации изображений, полученных одним и тем же прибором дистанционного зондирования, положено предположение о том, что при отсутствии качественных изменений лесов в период между двумя датами наблюдений различия регистрируемой яркости прежде всего связаны с изменениями характеристик пропускания и рассеяния излучения атмосферой, а также фенологической динамикой растительности. Но основным недостатком данного метода является сильная зависимость от условий и времени съемки.

Для снижения этой зависимости М.А. Рублева (2009) использовала комплекс методов цифровой обработки космических мультиспектральных изображений, в том числе метод главных компонент, метод «наложения», метод вегетационных индексов (в частности NDVI-Normalised Difference Vegetation Index), выделения объектов по яркостному порогу и метод кластерного анализа с целью получения дополнительной информации, недоступной при использовании каждого из методов по отдельности.

Решению подобных задач посвящено также большое количество работ зарубежных ученых. Например, для анализа экологического состояния дубрав произведена классификация мультиспектральных изображений с обучением методом максимального правдоподобия. На основе полученных классификаций получена положительная оценка на основе статистики изменений (Auda and Hamze, 2009).

Кроме методов, основанных на изучении спектральных признаков лесных насаждений, существует большая группа методов, основанная на оценке их структурных признаков. Структурные методы в меньшей степени зависят от внешних факторов, так как в этом случае используется не спектральная яркость изображения объекта местности, а другая, более устойчивая характеристика.

На основе структурных признаков по спутниковым снимкам можно выделить информацию, определить которую было бы невозможно, используя только спектральные свойства изучаемых объектов. Подобный метод, например, используется в работах А.М. Алтынцева и А.С. Гордиенко (2011). Авторы для изучения и автоматизированного дешифрирования космических снимков использовали алгоритмы Tasseled Cap – Колпачок с кисточкой (Курбанов и др., 2011) и «Дерево решений», а для выделения изменений – вейвлет-преобразование и коэффициенты корреляции. Для исследования эффективности разработанной методики выявления изменений в лесных массивах, основанной на вейвлет-преобразовании, авторами было выполнено сравнение данной методики с другими методами выявления изменений (см. рисунок).



а

б

в

г

д

Примеры выделения изменений по разновременным космическим снимкам:

а – на основе визуального анализа; б – на основе создания разностного изображения;

в – на основе классификации; г – на основе метода главных компонент; д – на основе вейвлет-анализа

Авторы считают, что метод на основе вейвлет-анализа практически не выделяет лишнюю информацию. Для выявления изменений в лесных массивах достаточно изображения в панхроматическом канале. Особенностью предложенной методики является то, что она может быть почти полностью автоматизирована.

В результате анализа методов оценки экологического состояния лесов в современной научной литературе на основе данных спутниковой съемки высокого разрешения было установлено, что для региональных исследований в этой области необходим комплексный подход, включающий использование как спектральной яркости природных объектов, так и другие признаки дешифрирования (форма, текстура, рельеф местности). Работа будет заключаться в закладке тестовых участков на территории Марийского лесного Заволжья и тематическом картировании серии разновременных спутниковых снимков среднего (Landsat) и высокого (Rapid Eye) разрешений. Обработка данных будет производиться в комплексных программных пакетах ENVI-4.8, ERDAS и ArcGIS, установленных на ПК центра устойчивого управления и дистанционного мониторинга лесов ФГОУ ВПО «ПГТУ». Валидация полученных результатов тематического картирования будет осуществляться по ранее заложенным тестовым участкам сотрудниками ЦУДМЛ и другим картографическим и лесоустроительным данным района исследований.

Библиографическое описание

1. Алтынцев, М.А. Разработка методик автоматизированного дешифрирования многозональных космических снимков высокого разрешения для мониторинга природно-территориальных комплексов: автореф. канд. техн. наук: 29.11.11 / М.А. Алтынцев; ФГБОУ ВПО «Сибирская государственная геодезическая академия». – Новосибирск, 2011. – 25с.
2. Барталев, С.С. Разработка методики региональной экологической оценки состояния лесов по данным спутниковых наблюдений: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.10.2006 / С.С. Барталев; МИИГА и К. – М., 2011. – 29 с.
3. Гордиенко, А.С. Разработка методики использования вейвлет-преобразования для обработки космических снимков высокого и среднего разрешения при мониторинге лесных массивов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 28.06.10 / А.С. Гордиенко; ФГБОУ ВПО «Сибирская государственная геодезическая академия». – Новосибирск, 2010. – 19 с.
4. Курбанов, Э.А. Оценка зарастания земель запаса Республики Марий Эл лесной растительностью по спутниковым снимкам / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев и др. // Вестник МарГТУ. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2010. – № 2(9). – С. 14-20.
5. Рублева, М.А. Применение цифровых методов обработки космических изображений при ландшафтных исследованиях: автореф. дис. ... канд. с.х. наук: 12.09.09 / М.А. Рублева; МГУ. – М., 2009. – 21 с.
6. Auda, Y. Analysis of Eastern Mediterranean Oak Forests Over the Period 1965–2003 Using Landscape Indices on a Patch Basis / Y. Auda, M. Hamze // Landscape Research. – 2009. – Vol. 34. – P.105-124.
7. Binkley, D. Plant diversity in riparian forests in northwest Colorado: Effects of time and river regulation / D. Binkley, A. Uowolo // Forest Ecology and Management. – 2005. – Vol. 218. – P.107-114.

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОНИТОРИНГА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ

Д.Э. Сетуридзе, Н.Г. Аленикова

Пермская государственная сельскохозяйственная академия

INFORMATION FOR MONITORING OF AGRICULTURAL LANDS

D. Seturidze, N. Alennikova

Perm Agricultural Academy

Владение точной, достоверной и своевременной информацией позволяет решать проблемные вопросы вовремя и принимать взвешенные и грамотные решения. Чаще всего эту информацию заносят в многофункциональные системы. Одной из таких многофункциональных систем является государственный кадастр недвижимости, который был создан для ведения кадастра объектов недвижимости. Эта система должна гарантировать полную и достоверную информацию об объектах, стоящих на кадастровом учете. Одним из минусов данной системы, пришедшей на смену Государственному земельному кадастру, является то, что она не предусматривает учет качественных характеристик объектов. Необходимость владения такой информацией прежде всего относится к землям сельскохозяйственного назначения. В свою очередь, Государственный кадастр недвижимости учитывает в основном сведения, необходимые для регистрации прав и сделок с земельными участками, юридического закрепления прав их владельцев, налогообложения, а также для решения дальнейшей судьбы этих участков. Данная информация является количественной характеристикой, а для сельскохозяйственных земель, как говорилось ранее, необходимо учитывать и качественные характеристики. К данным характеристикам можно отнести балл бонитета, урожайность, средневзвешенное эквивалентное расстояние, а также технологические свойства почвы и другие характеристики. К сожалению, при ведении «сегодняшнего» кадастра нет возможности для учета этих характеристик. Тем не менее учет качественных показателей для земель сельскохозяйственного назначения важен, особенно это необходимо на государственном уровне.

Для обеспечения заинтересованных сторон в проведении качественного учета информация, полученная в процессе мониторинга, отображающая качественное состояние земель, должна быть занесена в кадастр. Это позволит следить за их использованием и пресекать нарушения на начальной стадии.

Во время проведения мониторинга в сферу наблюдения важно включать все сельскохозяйственные угодья, в том числе и неиспользуемые земельные участки. Это имеет важное значение, так как неиспользуемые угодья деградируют, зарастают древесно-кустарниковой растительностью и выпадают из сельскохозяйственного оборота. Проведение учета использования земель сельскохозяйственного назначения и их мониторинг Министерством сельского хозяйства Российской Федерации позволил бы учесть эти задачи более качественно.

Имея информационную основу о количестве угодий, которые не используются, можно принять решение об их дальнейшем использовании. На федеральном уровне, согласно федеральному закону от 29.12.2010 года ФЗ № 435 «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части совершенствования оборота земель сельскохозяйственного назначения», было принято решение, что неиспользуемые и невостребованные

земли должны быть переданы в муниципальную собственность. Однако при этом необходимо будет решить ряд вопросов. Какие земли и какого качества будут переведены в муниципальную собственность? Что делать с землями, заросшими древесно-кустарниковой растительностью?

В статье рассматривается методика оценки культуртехнического состояния таких земель и предлагаются варианты по дальнейшему их использованию.

В основу проведения исследований положены информационные данные полевых обследований земель сельскохозяйственного назначения типичного сельскохозяйственного предприятия ООО «Ломь» Уинского района Пермского края. Полевые обследования позволили установить, что из 3380 га пашни в обработке находятся 2085 га (61,7%), при этом 1295 га (32,9%) остаются неиспользуемыми. На территории предприятия распространены дерново-мелкоподзолистые тяжелосуглинистые почвы, средний балл бонитета равен 46. Неиспользуемые земли заросли кустарником площадью 644 га, мелколесьем – 354 га и лесом – 297 га.

Перечень баллов качественных характеристик приведен в таблице 1.

Таблица 1

Качественная характеристика неиспользуемой пашни

Земли заросшие				
Интервалы баллов	Средний балл бонитета	Кустарник	Мелколесье	Лес
		Площадь, га	Площадь, га	Площадь, га
До 40	35	73	54	107
40,1 - 43	41	139	79	39
43,1 – 46	43	148	87	63
Более 46	51	283	134	88
ИТОГО		644	354	297

По данным таблицы 1, земли, заросшие кустарником(283 га), расположены на почвах с высоким баллом бонитета, а средний балл бонитета у этих почв равен 51. Это относится и к пашне, заросшей мелколесьем: из 354 га, заросших мелколесьем, 134 га находятся на землях со средним баллом 43. А участки большей площади, заросшие лесом, расположены на почвах с наименьшим баллом бонитета.

После анализа количественных и качественных характеристик необходимо принять решение, как поступить с заросшими землями: либо передать земли в муниципалитет, либо проводить рекультивацию и вернуть земли в сельскохозяйственный оборот или же передать их в лесной фонд. Культуртехнические мероприятия по вовлечению земель в сельскохозяйственный оборот потребуют капиталовложений. И также естественно, что на землях разного качества эффективность этих работ также будет различной.

Для определения эффективности работ на почвах разного качества все земли, заросшие лесом и кустарником, мелколесьем и лесом, были сгруппированы по группам почв.

Были выделены земли с низким плодородием, средним и высоким. И на них же расположены угодья разного культуртехнического состояния (заросшие кустарником, мелколесьем и лесом). Следовательно, на землях разного качества будет разный рентный доход. Таким образом, удалось установить, что на землях с баллом бонитета от 43 до 51 рентный доход составляет 958,96 руб./га; от 41 до 43 – рентный доход 772,80 руб./га; от 35 до 41 – рентный доход 673,83 руб./га; менее 35 – рентный доход 676,77 руб./га.

Проведен расчет капитальных или единовременных вложений на проведение культуртехнических работ. В результате установлено, что для проведения улучшений земель, занятых кустарником, потребуется 3800,8 руб./га., мелколесьем – 2891,78 руб./га, лесом – 13 699,02 руб./га. Следующий шаг – определение срока окупаемости капиталовложений. В результате получается, что при возврате пашни в сельхозоборот для земель, заросших кустарником, срок окупаемости капиталовложений составит на почвах низкого качества около 6 лет, на почвах среднего качества – 5 лет, высокого качества – около 4 лет.

Для земель, заросших мелколесьем, на почвах низкого качества срок окупаемости составит 4 года, среднего качества – около 4 лет, высокого качества – около 3 года. Для земель, заросших лесом, на почвах низкого качества срок окупаемости составит более 20 лет, среднего качества – около 18 лет, высокого качества – около 14 лет.

Таким образом, срок окупаемости капитальных вложений на землях различного качества разный. Из расчетов можно сделать следующий вывод: земли, заросшие кустарником и мелколесьем, вовлекать в сельскохозяйственный оборот выгодно, срок окупаемости от 3 до 5 лет. Затраты в среднем через 4 года полностью окупятся. А потом эти земли начнут приносить прибыль.

Что касается земель, заросших лесом, то, исходя из срока окупаемости, использовать следует те земли, балл бонитета которых от 43 до 51 и выше. А вот остальные участки (с баллом бонитета менее 41) вовлекать нерентабельно (сроки окупаемости более 20 лет).

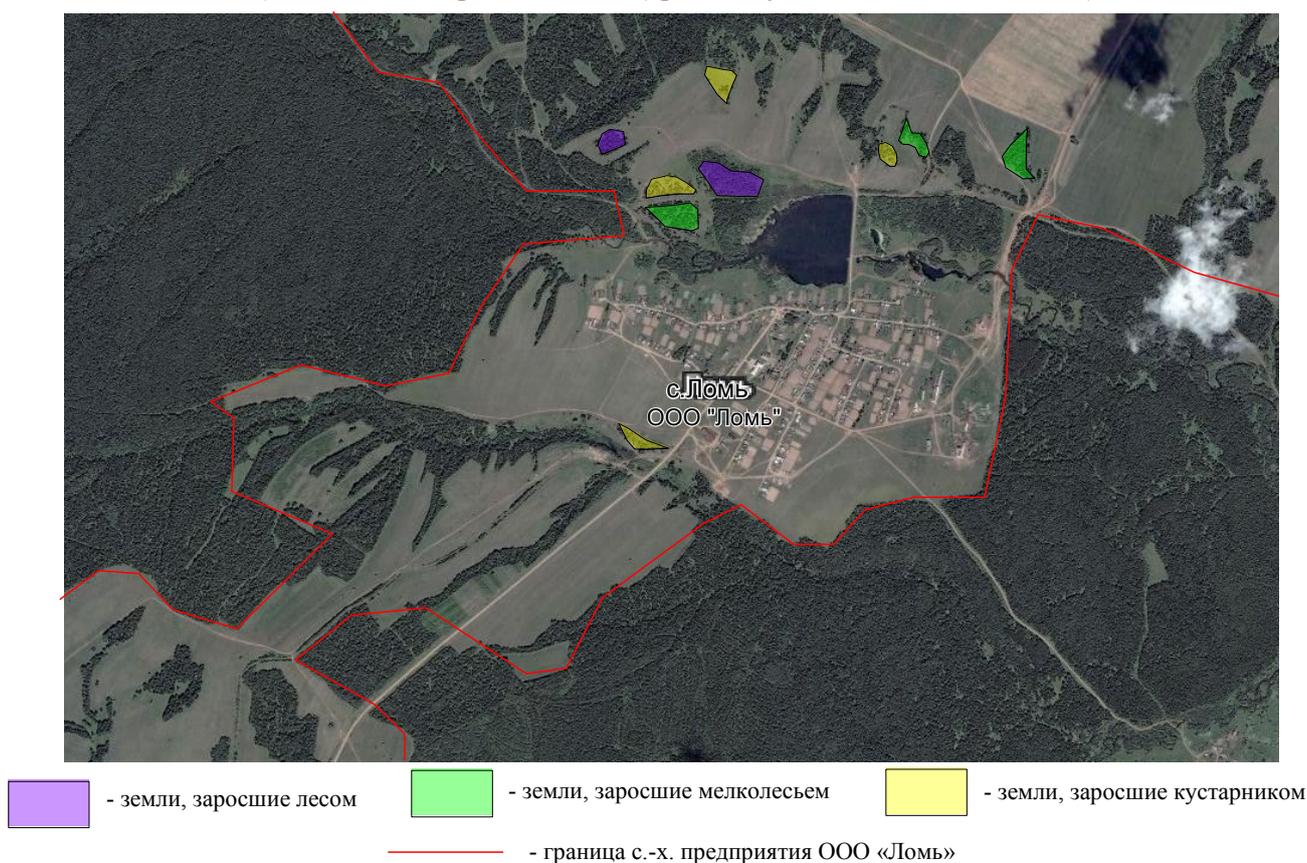


Рис.1. Мониторинг использования сельскохозяйственных угодий и корректировка планово-картографического материала на землях ООО «Ломь» Уинского района Пермского края

Также информацию о состоянии земельных угодий можно косвенно получать с помощью современных космических технологий. Перспективы развития современных космических технологий и их практическое применение в будущем не вызывают сомнений. Информация, получаемая с космических спутников, сегодня всё шире используется в самых разных областях. В то же время многие специалисты считают, что пока задействована лишь малая часть огромного потенциала спутникового мониторинга Земли.

Система спутникового мониторинга Земли создавалась почти 50 лет назад. За это время спутниковые приборы стали «измерительными», то есть теперь они позволяют получать не просто «картинки», а устойчивые, практически не зависящие от времени и условий наблюдения характеристики различных объектов, которые можно использовать для автоматического анализа состояния и прогноза динамики этих объектов. В последние годы в этом направлении в стране ведутся активные работы.

Для обработки спутниковых данных стали использоваться полностью автоматизированные методы, позволяющие получать характеристики различных объектов без участия человека. И вот в этом направлении российские разработки не только не уступают, но часто и превосходят зарубежные аналоги. В частности, в ИКИ РАН такие технологии созданы для мониторинга состояния растительного покрова Земли.

Созданы технологии и специализированные системы мониторинга, в которых постоянно используются спутниковые данные. И в этом плане с определённой гордостью можно отметить, что в России сегодня создано несколько систем, которые во многом превосходят в своем классе зарубежные аналоги. Например, система мониторинга лесных пожаров (ИСДМ-Рослесхоз), Отраслевая система мониторинга Росрыболовства. В их разработке ИКИ РАН вместе с другими научными организациями принимал самое активное участие [1].

Благодаря современным спутниковым технологиям, когда космические снимки обрабатываются в режиме реального времени, отслеживать любые изменения возможно практически моментально. Таким образом, эти прогрессивные технологии могут облегчить ведение учета характеристик, которые необходимо учитывать, с минимальными финансовыми затратами и позволят более грамотно и четко вести кадастры земельного фонда.

Библиографический список

1. Лупян, Е. Спутниковые технологии – источник объективной информации / Е. Лупян // Промышленник России. – 2012. – URL: www.promros.ru/magazine/2012/apr/481.phtml.

УДК 630*232.32(470.5)

ЛЕСНЫЕ ПИТОМНИКИ ПРЕДУРАЛЬЯ: ПРОБЛЕМЫ ВЫРАЩИВАНИЯ ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА ХВОЙНЫХ ПОРОД

А.К. Касимов, Р.А. Соколов, С.Ю. Бердинских
Ижевская государственная сельскохозяйственная академия

FOREST NURSERIES OF PREDURAL REGION: PROBLEMS OF GROWING CONIFER SEEDLINGS

A.K. Kasimov, R.A. Sokolov, S.J. Berdinskikh
Izhevsk State Agricultural Academy

Значительным препятствием при выращивании посадочного материала в лесных питомниках является сорная растительность, которая при разрастании сдерживает рост сеянцев хвойных пород, снижает качество и выход получаемой продукции.

Особые условия агротехники в питомниках, поля которых в течение нескольких лет заняты одной культурой, способствуют формированию в них сложных травяных сообществ. Поэтому каждый питомник находится под постоянной угрозой массового распространения сорной растительности, борьба с которой усложняется из-за сильной биологической приспособленности травянистых растений к внешней среде, выражающейся в чрезмерной плодовитости, быстром распространении семян и плодов, особых биологических свойствах семян, позволяющих создавать их запасы в почве, а также в больших потенциальных возможностях вегетативного размножения. В связи с этим актуальными признаются исследования биологии сорняков и их влияние на сеянцы [1].

В настоящее время на территории Удмуртской Республики действуют 20 лесных питомников общей площадью 310,07 га. Лесничества полностью обеспечивают себя посадочным материалом для лесовосстановления и лесоразведения на землях лесного фонда. Основными породами для выращивания являются ель европейская (*Picea abies* Karst.) и сосна обыкновенная (*Pinus silvestris* L.)

Министерством лесного хозяйства принята стратегия сокращения числа питомников ввиду неполной востребованности в посадочном материале, неоправданных затрат, идущих на содержание этих объектов. Планируется оставить 4 питомника с дифференциацией по числу обслуживаемых лесничеств с целью обеспечения посадочным материалом всей территории республики: в северной части – Игринский питомник площадью 25 га, в южной – Кизнерский площадью 21 га, в западной – Вавожский площадью 20 га и в восточной – Завьяловский площадью 36,3 га соответственно.

С учетом стратегического значения отмеченных четырех питомников главный акцент в наших исследованиях был сделан на характеристику агрохимических свойств этих объектов, степень засорённости полей на момент наблюдений.

Анализируя основные показатели плодородия почвы как ныне существующих, так и планируемых четырех питомников, можно отметить, что почвы сбалансированы всеми элементами питания: содержание гумуса среднее – от 3 до 4 %. Почвы среднекислые – рН от 5 до 5,7. Содержание фосфора (мг/100 г почвы) колеблется от 5,8 в Игринском питомнике до 15,6 в Завьяловском. Калия (мг/100 г почвы) содержится от 6,5 в Завьяловском питомнике до 14,5 в Вавожском (табл. 1).

Агрохимический анализ почв стратегически ориентированных питомников показал, что содержание гумуса колеблется от 2,40 % в южном направлении до 4,33 % в западном. Почвы среднекислые – рН от 5,11 до 6,40 (табл. 2). В результате проведённых исследований выявлено (табл. 3), что причина гибели посевов связана с полеганием и выжиманием (Игринский питомник), а также заражением грибом шютте (Завьяловский, Кизнерский питомники).

Таблица 1

Показатели плодородия почв на 2005 год

Наименование лесничества (местонахождение питомника)	Содержание гумуса, %	Показатель pH (кислотность)	Наличие фосфора (мг/100 г почвы)	Наличие калия (мг/100 г почвы)
Балезинское	3,7 (среднее)	5,3	12,5	8,5
Вавожское	3 (среднее)	5,7	11,9	14,5
Глазовское	3 (среднее)	5,0	3,0	15,0
Игринское	3,1 (среднее)	5,0	5,8	8,7
Завьяловское	3,1 (среднее)	5,0	15,6	6,5
Красногорское	3,3 (среднее)	5,0	4,9	8,4
Кизнерское	4,0 (среднее)	5,0	5,4	7,0
Можгинское	1,9 (низкое)	5,0	9,9	7,8
Сарапульское	3,4 (среднее)	5,0	13,6	9,6
Увинское	5,4 (повышенное)	4,8 (среднекислые)	6,9 (низкое)	3,8 (очень низкое)

Таблица 2

Агрохимические показатели почв стратегически ориентированных (по зонам охвата лесничеств) питомников (на 01.10.2011 г.)

pH _{KCl}	N _г , ммоль/100 г почвы	S, ммоль/100 г почвы	Гумус, %	P ₂ O ₅	K ₂ O	NO ₃	NH ₄
				мг/кг	мг/кг	мг/кг	мг/кг
Дерново-сильноподзолистая на опесчаненных желто-бурых суглинках, закреплённая за Завьяловским лесничеством (восток)							
5,77±0,23	0,82±0,09	11,25±2,89	4,08±2,09	325,09±74,37	76,20±11,76	16,96±8,42	12,48±0,85
Дерново-подзолистая супесчаная, закреплённая за Игринским лесничеством (север)							
5,11±0,08	1,60±0,13	7,28±0,90	2,66±0,01	52,85±7,99	70,65±10,90	33,60±5,01	12,58±0,28
Дерново-среднеподзолистая супесчаная, закреплённая за Кизнерским лесничеством (юг)							
5,21±0,12	1,11±0,12	5,71±0,69	2,40±0,72	128,91±9,56	96,44±3,94	20,77±3,89	12,18±0,92
Дерново-сильноподзолистая легкосуглинистая, закреплённая за Вавожским лесничеством (запад)							
6,40±0,10	0,89±0,19	25,49±1,99	4,33±0,45	332,95±46,99	133,35±8,01	21,46±5,81	11,70±0,52

Характеристика существующих лесных питомников на 01.01.2010 г.

Наименование лесничества (местонахождение питомника)	Год создания	Лесничества, закреплённые за питомником по обеспечению их посадочным материалом	Площадь, га		Наличие стандартного посадочного материала (01.01.2010 г.), млн.шт.		Выход от норматива, %	Состояние посевов (2006-2011 гг.)
			общая	производящая	сеянцы	саженцы		
Балезинское	1967	Балезинское, Кезское	12	9,0	1,057	0,879	123	Выжимание в 2007 г. (62%)
Вавожское*	1963	Вавожское, Увинское, Сюмсинское, Селтинское	20	18,0	3,141	1,000	150	Удовлетворительное
Глазовское	1999	Глазовское, Ярское	17,3	14,0	0,216	0,650	208	Выжимание, полегание
Игринское*	1965	Игринское, Як-Бодьинское, Дебесское, Шарканское	25	15,0	1,402	0,300	104	Удовлетворительное, выжимание в 2007 г.
Завьяловское*	1966	Завьяловское, Воткинское, Камбарское, Яганское	36,3	15,5	0,8553	0,60,8	82	Выжимание, шютте в 2006-2007 гг.
Красногорское	1970	Красногорское; Юкаменское	12,0	11,2	1,190	0,400	102	Удовлетворительное
Кизнерское*	2002	Кизнерское, Можгинское, Алнашское, Граховское	21,0	16,0	2,494	-	111	Шютте
Можгинское	1988	Кизнерское, Можгинское, Алнашское, Граховское	14,0	11,5	0,600	-	133	Смыв, погрыва животными
Сарапульское	1993	Сарапульское, Каракулинское, Киясовское	3,8	2,8	0,679	-	102	Удовлетворительное
Увинское	1963	Увинское, Вавожское, Сюмсинское, Селтинское	20,0	14,5	0,1280	-	140	Удовлетворительное

* Лесные питомники, планируемые на перспективу

Ситуация с сорняками в питомниках неоднозначна и, как показывают проведённые нами исследования, наибольшее количество их видов выявлено в восточном направлении – 32 вида (табл. 4). Для создания благоприятных условий выращивания стандартного посадочного материала в более короткий срок в постоянных питомниках необходим комплекс мероприятий, направленных на борьбу с сорняками, на устранение их конкуренции за свет, влагу и элементы минеральной пищи.

Таблица 4

Характеристика сорной растительности питомников, планируемых на перспективу по зонам охвата лесничеств

Виды сорняков, выявленных на питомниках	Латинские названия растений	Семейства
Восточное направление		
Подмаренник цепкий	<i>Galium aparine</i> L.	<u>Мареновые</u>
Одуванчик лекарственный	<i>Taraxacum officinale</i> WEBB	<u>Астровые</u>
Горец птичий	<i>Polygonum aviculare</i> L.	<u>Гречишные</u>
Клевер ползучий	<i>Trifolium repens</i> L.	<u>Бобовые</u>
Ежовник рисовидный	<i>Echinochloa oryzoides</i> (Ard.)Fritsch	Злаковые
Звездчатка злчаная	<i>Stellaria graminea</i> L.	Гвоздичные
Мятлик однолетний	<i>Poa annua</i> L.	Злаковые
Кульбаба осенняя	<i>Leontódon autumnális</i> L.	Астровые
Пырей ползучий	<i>Elytrigia repens</i> L.	Злаковые
Щирица запрокинутая	<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	Амарантовые
Икотник серый	<i>Berteroa incana</i> L.	Капустные
Зверобой продырявленный	<i>Hypericum perforatum</i> L.	Зверобойные
Куриное просо	<i>Echinochloa crus-galli</i> L.	Злаковые
Жерушник болотный	<i>Rorippa palustris</i> (L.) Bess.	Капустные
Пастушья сумка обыкновенная	<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.)	Капустные
Латук дикий	<i>Lactuca scariola</i> L.	Астровые
Полевица тонкая	<i>Agrostis capillaris</i> L.	Злаковые
Гибискус тройчатый	<i>Hibiscus trionum</i> L.	Мальвовые
Фиалка полевая	<i>Viola arvensis</i> MURRAY	Фиалковые
Молочай садовый	<i>Euphorbia peplus</i>	Капустные
Молочай Вальдштейна	<i>Euphorbia waldsteinii</i> (Sojak) Czer.	Молочайные
Горчица полевая	<i>Sinapis arvensis</i> L.	Капустные
Вьюнок полевой	<i>Convolvulus arvensis</i> L.	Вьюнковые
Редька дикая	<i>Raphanus raphanistrum</i> L.	Капустные
Паслён сладко-горький	<i>Solanum dulcamara</i> L.	Паслёновые
Клевер розовый	<i>Trifolium hybridum</i> L.	Бобовые
Льнянка обыкновенная	<i>Linaria vulgaris</i> MILL.	<u>Подорожниковые</u>
Щавелёк малый	<i>Rumex acetosella</i> L.	Гречишные
Хориспора нежная	<i>Chorispora tenella</i> (Pall.) DC.	Капустные
Хрустявник полевой	<i>Polycnemum arvense</i> A.Br.	Маревые
Овсяница луговая	<i>Festuca pratensis</i> HUDS.	Злаковые
Сурепка обыкновенная	<i>Barbarea vulgaris</i> W.T.AITON	Капустные
Мышиный горошек	<i>Vicia cracca</i> L.	Бобовые
Северное направление		
Иван-чай узколистый	<i>Chamerion angustifolium</i> (L.)	Кипрейные
Пастушья сумка	<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.	Капустные
Бодяк розовый	<i>Cirsium arvense</i>	Астровые
Латук дикий	<i>Lactuca scariola</i> L.	Астровые

Щирица запрокинутая	<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	Амарантовые
Пырей ползучий	<i>Elytrigia repens</i> L.	Злаковые
Куриное просо	<i>Echinochloa crus-galli</i> L.	Злаковые
Фиалка полевая	<i>Viola arvensis</i> MURRAY	Фиалковые
Одуванчик лекарственный	<i>Taraxacum officinale</i> WEBB	Астровые
Мышиный горошек	<i>Vicia cracca</i> L.	Бобовые
Полевица тонкая	<i>Agrostis capillaris</i> L.	Злаковые
Клевер ползучий	<i>Trifolium repens</i> L.	Бобовые
Звездчатка злачная	<i>Stellaria graminea</i> L.	Гвоздичные
Южное направление		
Черда трёхраздельная	<i>Bidens tripartita</i> L.	Астровые
Одуванчик лекарственный	<i>Taraxacum officinale</i> WEBB	Астровые
Латук дикий	<i>Lactuca scariola</i> L.	Астровые
Пастушья сумка	<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.	Капустные
Щирица запрокинутая	<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	Амарантовые
Пырей ползучий	<i>Elytrigia repens</i> L.	Злаковые
Звездчатка злачная	<i>Stellaria graminea</i> L.	Гвоздичные
Западное направление		
Хвощ полевой	<i>Equisetum arvense</i>	Хвощевые
Одуванчик лекарственный	<i>Taraxacum officinale</i> WEBB	Астровые
Латук дикий	<i>Lactuca scariola</i> L.	Астровые
Пастушья сумка	<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.	Капустные
Полевица тонкая	<i>Agrostis capillaris</i> L.	Злаковые
Бодяк розовый	<i>Cirsium arvense</i>	Астровые
Щирица запрокинутая	<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	Амарантовые
Пырей ползучий	<i>Elytrigia repens</i> L.	Злаковые
Звездчатка злачная	<i>Stellaria graminea</i> L.	Гвоздичные

В борьбе с сорной растительностью можно использовать разные стратегии: полное уничтожение сорняков после появления их в массовом количестве; профилактическое уничтожение, когда гербициды используются каждый год вне зависимости от засоренности полей; сдерживание – поддержание засоренности на некотором уровне, когда сорняки не наносят заметного ущерба. Полное уничтожение сорняков – дорогая процедура, как правило, не оправдывающая затрат. Ее применение целесообразно лишь в случае карантинных сорняков. Использование гербицидов с целью профилактики засорения угодья может приводить к излишнему загрязнению продукции и окружающей среды, неоправданным тратам на препараты и их внесение. Стратегия сдерживания позволяет оптимизировать механические и химические меры борьбы применительно к конкретному угодью. Она основана на мониторинге и прогнозе засоренности [1, 2].

Существует три основных способа борьбы с сорняками: механический, биологический и химический. Механические способы борьбы широко применялись до появления гербицидов. К ним можно отнести ручную прополку и использование почвообрабатывающих орудий. Недостаточная эффективность и ограниченные возможности применения средств механизированного регулирования травяного покрова обуславливают необходимость применения в довольно большом объеме ручного ухода. Ручная прополка – трудоемкий и малоэффективный способ борьбы с сорняками; применение его на больших площадях затруднено, особенно при сильном развитии многолетних трав [1].

Для борьбы с сорняками и грибковыми заболеваниями в питомниках Удмуртской Республики применяют гербициды (раундап, симазин) и фунгициды (байлетон, фундазол). В 2010-2011 гг. нами были проведены исследования по выявлению наиболее эффективного гербици-

да. Для анализа были взяты гербициды – Раундап, Зеро, Фюзилад Форте. Применение гербицидов в питомниках положительно оценивается в целом при соблюдении трех основных условий: отсутствии вредного влияния используемых веществ на плодородие почвы, отсутствии отрицательного их действия на качество и выход посадочного материала, экономии трудовых и денежных затрат на уход за посевами и посадками. При соблюдении правил применения гербицидов сеянцы и саженцы древесных пород растут при химическом уходе, как правило, гораздо лучше, чем при обычных прополках. Улучшение роста древесных пород прежде всего, по-видимому, связано с тем, что гербициды полностью или на более длительный срок, чем обычные уходы, освобождают культивируемые растения от конкурентного влияния сорняков. Отмечается, что отсутствие мер борьбы с сорняками резко снижает эффективность механической обработки почвы и внесения удобрений, приводит к заглушению посевов и посадок, а в некоторых случаях и к их гибели, что обусловлено огромной конкурентной способностью сорняков [3].

Библиографический список

1. Нечаева, И.С. Сорная растительность лесных питомников средней подзоны тайги Архангельской области: автореферат канд. дис. / И.С. Нечаева. – Архангельск: ГОУ ВПО АГТУ, 2009. – 19 с.
2. Васильев, Н.Д. Сорняки лесных питомников и меры борьбы с ними: учеб. пособие для студентов / Н.Д. Васильев. – Йошкар-Ола: МарГУ, 1988. – 68 с.
3. Редько, Г.И. Лесные питомники России: учеб. пособие для студентов / Г.И. Редько, Н.А. Бабич, Н.Г. Редько. – Вологда: АГТУ, 1996 – 413 с.

EXTREME WEATHER EVENTS AND LONG-TERM FORESTRY OBLIGATIONS: IS RELIANCE ON FOREST CERTIFICATION POSSIBLE?

A.V. Tikina¹, E.A. Kurbanov²

¹University of British Columbia

²Volga State University of Technology

Forest dynamics present investors with a number of issues. On the one hand, long-term forest tenures give stable access to a dynamic renewable resource; but on the other hand, disturbance events – both of natural and human origin – are inevitable in any forest ecosystem. Severe weather events add to the complexity of business planning and forest management. What is the effect of extreme weather events on the stability of forest tenures on public land? What is the probability that the long-term projections in forest planning, as required by forest certification, are brought to reality? We discuss these questions in greater detail.

Climate change impacts the frequency and intensity of extreme weather events as well as their distribution; so the nature brings more risk, surprises and uncertainty (Childress, Siegel, and Torhonen, 2012). The U.S. data show that extreme weather (droughts, floods, hurricanes, heavy rain) is observed on a larger area than in the past (Lubchenco and Karl, 2012). As the current outlook for extreme weather events predicts greater frequency and severity of such events (Childress, Siegel, and Torhonen, 2012), taking these future conditions as considerations of business risk will assist in maintaining a more sustainable economy.

FAO places extreme weather events within the set of abiotic disturbances (Moore and Allard, 2011) and, with a current thread of unpredicted consequences of climate change, calls for a tenure reform in countries with weak governance (FAO, 2011). Although the discussion on reforming for-

est tenures in some parts of Canada has been happening for several decades, the current tenure system can be called relatively stable (Luckert, Haley and Hoberg, 2011). On the other hand, the increased pressures of the unprecedented climate change and associated extreme weather events may render the experience of the previous century less useful in the future. The amount of climate and weather related disturbance has increased over past decades in Canada, with a spike in forest fires in 2010 (Table 1 illustrates the fire activity by province or territory) and a notable outbreak of the mountain pine beetle (*Dendroctonus ponderosae*). The latter, although an biotic disturbance, is considered to be an effect of climate change (Carroll et al., 2006). There is an indication that forest companies can pressure provincial governments to relax tenure responsibilities in the face of climate change (Williamson, 2008).

Table 1

Fire Activity by Province/ Territory in Canada in 2010

Province/ Territory	# of Fires	Hectares
British Columbia	1598	339889
Yukon	86	155861.76
Alberta	1742	83421.36
Northwest Territories	224	320808.55
Saskatchewan	570	1787229.04
Manitoba	569	150179
Ontario	897	15025.8
Quebec	719	352627.9
Newfoundland and Labrador	56	816.5
New Brunswick	174	150.1
Nova Scotia	295	484.6
Prince Edward Island	2	4.8
Nunavut	102	6172.97
Total	7034	3212671.38

Source: CIFFC 2010

The availability of timber drops after a large-scale abiotic disturbance, such as severe forest fires, hurricanes, and floods; however, this has not been directly linked to the changes in forest tenure. Investigating the trends of long-term forest tenure obligations and linking them with extreme weather events/ climate change will provide useful information for policy-makers and forest investors. The bad that can happen to a forest company in the case of an extreme weather event ranges from a complete loss of available timber and possible bankruptcy to relatively unrelated consequences, such as an increase in the price of business insurance (Mills, 2009).

Although it is difficult to overlook the increased business risks associated with extreme weather events, there exist a few considerations that reduce the “scare” of the consequences of such events. First of all, it is the resilience of forest ecosystems (given that they have not been degraded). Certain tree species have adapted to protect themselves from disturbances, e.g., the adaptations of coastal redwoods (*Sequoia sempervirens*) to flood and fire. Each disturbance, no matter how severe it is, favours certain species that dominate the site after the event, producing new forest (Oliver and Larson, 1996). The term of a tenure (how long the company has rights for timber harvesting) is a

factor in decisions to keep or transfer the tenure: the long term may be sufficient for a company to obtain another rotation of merchantable timber, or the government may have assistance for tenure-holders that have lost their whole timber supply after an extreme weather event.

Monitoring how forest tenure-holders respect their long-term obligations with an increased unpredictability can shed some light on the effectiveness of governance – both governmental (regulatory, or “hard law”) and non-governmental (voluntary programs, “soft law”; in this case forest certification). Forest certification is often mentioned as a tool to mitigate climate change (PEFC, 2010; Forest Products Association of Canada, 2009). The reverse impacts (i.e., how climate change in general and extreme weather events in particular can affect the certificate holders and their forest management) is stressed in less detail (e.g., PEFC, 2010). The level of probability is mentioned in the explanatory notes to the newly approved Forest Stewardship Council (FSC) generic standard (FSC 2012). The notes include the unpredictability of climate change as one of business risks that need to be assessed by a forest company that wishes to obtain a certificate (FSC, 2012).

The Canadian forest certification standard CSA Z809 that is endorsed by the Programme for Endorsement of Forest Certification (PEFC), the other international body for forest certification, requires the companies to discuss the impact and adaptation to climate change in regards to ecosystem condition and productivity (Criterion 2) (CSA, 2008). The guidelines to the standard also suggest maintaining a variety of forest species and structures as well as the use of anticipatory forest planning (CSA, 2008). The Russian National Standard endorsed by PEFC (PEFC ST 1003:2010) similarly mentions climate change in Criterion 2 and requires monitoring of climate-induced disturbance (Russian National Council for Forest Certification, 2010), without any requirements of proactive actions to mitigate the consequences of the climate change or decrease the risk of abiotic disturbance. It is yet to be seen whether national standards under the FSC or future revisions of both international forest certification systems pay more attention to the effects of climate change and associated extreme weather events.

Although there are no studies that link the examples of forest companies shying from their long-term tenure obligations to climate change/ extreme weather events, governmental regulation continues to play a much greater role in ensuring long-term forest management through contractual (tenure) obligations than do voluntary programs such as forest certification.

References

1. Carroll, A.L. Impacts of Climate Change on Range Expansion by the Mountain Pine Beetle / A.L. Carroll, J. Regniere, J.A. Logan et al. // Working Paper. – Victoria, British Columbia: Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Pacific Forestry Centre, 2006. – URL: <http://warehouse.pfc.forestry.ca/pfc/26601.pdf>.
2. CSA. Sustainable forest management. Z809-08. – 2008. – URL: <http://www.csa.ca/documents/publications/2419617.pdf>
3. Childress, M. A New Conceptual Framework for Linking Land Policy with Climate Change Adaptation and Mitigation in the ECA Region: Toward a Multi-dimensional Landscape Approach to Natural Resource Governance and Tenure / M. Childress, P. Siegel and M.-P. Torhonen. – Washington, D.C.: World Bank, 2012. – URL: http://www.landandpoverty.com/agenda/pdfs/paper/childress_full_paper.pdf.
4. FAO. Reforming forest tenure : Issues, principles and process. – Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011. – URL: <http://www.fao.org/docrep/014/i2185e/i2185e00.pdf>.
5. FSC. The revised Principles & Criteria. – 2012. – URL: <http://www.fsc.org/the-revised-pc.191.htm>
6. Forest Products Association of Canada. Tackle climate change. Use wood – 2009. – URL: <http://www.natural-wood.com/sites/default/files/Tackle-Climate-Change-Use-Wood.pdf>
7. Lubchenco, J. Predicting and Managing Extreme Weather Events / J. Lubchenco, T.R. Karl // Physics Today. – 2012. – Vol.65, №3. – P. 31–37.
8. Luckert, M.K. Policies for Sustainably Managing Canada’s Forests: Tenure, Stumpage Fees, and Forest Practices / M.K. Luckert, D. Haley, G. Hoberg // UBC Press. – 2011.

9. Mills, E. From risk to opportunity: insurer responses to climate change / E. Mills. – 2009. – URL: <http://insurance.lbl.gov/opportunities/risk-to-opportunity-2008.pdf>
10. Moore, B. Abiotic disturbances and their influence on forest health / B. Moore, G. Allard. – Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011. – URL: <http://www.fao.org/docrep/014/am664e/am664e00.pdf>.
11. Oliver, C. Forest Stand Dynamics / C. Oliver, B. Larson. – New York: John Wiley & Sons, Inc., 1996.
12. PEFC. N.d. Climate change. – URL: <http://www.pefc.org/forest-issues/sustainability/climate-change>
13. Russian National Council for Forest Certification / PEFC-SFM Requirements. PEFC ST 1003:2010. – URL: http://www.pefc.ru/doc/doc2/PEFC_ST_1003-2010_SFM_-_Requirements_2010-11-26_rus.doc
14. Williamson, T. Responding to climate change. Presentation at the Forest Tenure National Workshop / T. Williamson. – Vancouver, Canada, 2008. – June, 9-10.

УДК 630*53

КОРРЕКТИРОВКА НОРМАТИВОВ ТЕКУЩЕГО ПРИРОСТА ПО ЗАПАСУ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

В.К. Хлюстов, М.М. Устинов

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева

CORRECTION OF CURRENT INCREMENT OF FOREST INVENTORY INDICES ON STOCK IN THE CONDITIONS OF GLOBAL CLIMATE CHANGE

V.K. Hlyustov, M.M. Ustinov

Russian State Agrarian University – MTAА named after K.A. Timiryazev

***Аннотация.** В работе предложен способ прогнозирования текущего прироста по запасу, что обеспечивает повышение производительности натуральных работ (отпадает необходимость в многократном определении ширины годичных слоёв на 25...30 деревьях в каждом выделе леса). Прирост базового древостоя отражает колебания ширины годичных слоёв того периода, за который определяется текущий прирост, что позволяет учитывать климатические колебания.*

***Abstract.** In this paper proposes a method of predicting the current increment of stock that enhances the performance of natural work (no need for repeated determination of the width of annual rings at 25..30 trees in each sector of the forest). Increase of the base stand reflects the fluctuations of the width of year layers of the period for which the current is determined by the increment that takes into account the climatic fluctuations.*

Цель. повышение производительности натуральных работ при прогнозном определении текущего прироста таксированного древостоя в условиях климатических колебаний, а также решение проблем разработки нормативов, связанных с цикличностью колебаний климата.

Purpose. To increase the productivity of natural operations for determining the current increment forecast stand to climate fluctuations and also addressing the development of standards related to cyclical variations in climate.

Пути достижения поставленной цели требуют выявления общих закономерностей таксационных показателей, выраженных в относительных величинах.

Текущие климатические изменения отображаются на приросте конкретного климатического периода.

Необходимо включение в модель текущего прироста по запасу (ЗБтек.) в базовых древостоях, соответствующего конкретному климатическому периоду.

Закономерности прироста по запасу отображаются зависимостью $Z_{\text{Бтек.}}$ от уровня продуктивности, выраженного средней высотой древостоя в конкретном возрасте, зависимостью $Z_{\text{Бтек.}}$ от полноты древостоя, зависимостью $Z_{\text{Бтек.}}$ от возраста, включающая одну из ростовых функций. Обязательным требованием является сочетание этих функций в одной структурно-связанной модели

При моделировании перед началом работ выбирают базовый древостой, представленный естественно формирующимся чистым одновозрастным древостоем в возрасте 30...60 лет. В нем методами перечислительной таксации определяют возраст ($A_{\text{Б}}$), среднюю высоту ($H_{\text{Б}}$), сумму площадей поперечного сечения стволов деревьев в древостое ($G_{\text{Б}}$), которая переводится в относительную полноту ($\Pi_{\text{Б}}$) по разработанным для данного лесорастительного региона стандартным таблицам или таблицам хода роста, текущий прирост по диаметру на высверленных 25...30 кернях стволовой древесины и вычисляют величину текущего прироста запаса ($Z_{\text{Бтек.}}$).

В последующем, в период проведения лесоустроительных работ, у таксируемых древостоев определяют только возраст ($A_{\text{Т}}$), среднюю высоту ($H_{\text{Т}}$) и полноту ($\Pi_{\text{Т}}$), а текущий прирост запаса ($Z_{\text{Ттек.}}$) устанавливают по математической зависимости, учитывающей соотношение таксационных характеристик базового и таксируемого древостоев:

$$Z_{M_T}^{\text{тек.}} = -\frac{Z_{M_B}^{\text{тек.}}}{\Pi_B^{0,732}} * \left(\frac{H_T}{H_B} * \left(\frac{A_B}{A_T} \right)^{3,090} * e^{\left(0,332 * \left(\ln \left(\frac{A_B}{A_T} \right) \right)^2 - 0,663 * \ln(A_B) * \ln \left(\frac{A_B}{A_T} \right) \right)} \right)^{1,190} * \left(\frac{A_T}{A_B} \right)^{1,537} * e^{\left(-0,530 * \ln(A_B) * \ln \left(\frac{A_T}{A_B} \right) - 0,327 * \left(\ln \left(\frac{A_T}{A_B} \right) \right)^2 + 0,015 * \ln(A_B) * \left(\ln \left(\frac{A_T}{A_B} \right) \right)^2 \right)} * \Pi_T^{0,732} \quad (1)$$

- где $Z_{M_T}^{\text{тек.}}$ – текущий прирост запаса таксируемого наличного древостоя, м/га;
 $Z_{M_B}^{\text{тек.}}$ – текущий прирост запаса наличного древостоя базового объекта, м³/га;
 Π_T – относительная полнота таксируемого древостоя;
 Π_B – относительная полнота базового объекта;
 H_T – средняя высота таксируемого древостоя, м;
 H_B – средняя высота древостоя на базовом объекте, м;
 A_T – возраст таксируемого древостоя, лет;
 A_B – возраст древостоя на базовом объекте, лет.

Пример. Перед началом проведения работ был выбран базовый древостой, представленный естественно формирующимся берёзовым насаждением, в котором заложили пробную площадь, насчитывающую не менее 200 деревьев основного элемента леса (ОСТ 56-69-83). На пробной площади методом перечислительной таксации установили возраст ($A_{\text{Б}} = 40$ лет), среднюю высоту ($H_{\text{Б}} = 14$ м), сумму площадей сечения ($G_{\text{Б}} = 13,5$ м²/га). По таблицам хода роста сумма площадей сечения при полноте 1,0 ($G_{1,0}$) составила 22,5 м²/га. Определили относительную полноту базового древостоя: $\Pi_{\text{Б}} = \frac{G_{\text{Б}}}{G_{1,0}} = 0,6$. Текущий прирост запаса базового древостоя ($Z_{M_B}^{\text{тек.}}$) установили расчётным путём, принятыми в лесной таксации методами, предусматривающими использование показателей прироста по диаметру, определённого на кернях древесины, высверленных из 25...30 деревьев, близких к средним. Он составил 3,4 м/га. При проведении работ установили, что таксируемый выдел леса представлен берёзовым древостоем, насчитывающим возраст $A_{\text{Т}} = 25$ лет, со средней

высотой $H_T = 8$ м, относительной полнотой $ПТ = 0,8$. Текущий прирост запаса таксируемого древостоя определили в соответствии с полученными значениями по формуле

$$Z_{M_T}^{тек} = -\frac{3,4}{0,6^{0,732}} * \left(\frac{8}{14} * \left(\frac{40}{25} \right)^{3,090} * e^{\left(0,332 * \left(\ln\left(\frac{40}{25} \right) \right)^2 - 0,663 * \ln(40) * \ln\left(\frac{40}{25} \right) \right)} \right)^{1,190} * \left(\frac{25}{40} \right)^{1,537} * e^{\left(-0,530 * \ln(40) * \ln\left(\frac{25}{40} \right) - 0,327 * \left(\ln\left(\frac{25}{40} \right) \right)^2 + 0,015 * \ln(40) * \left(\ln\left(\frac{25}{40} \right) \right)^2 \right)} * 0,8^{0,732} = 3,87 \text{ (м}^3/\text{га)}$$

Графическая интерпретация структурно-связанных моделей представлена на рисунках 1 и 2.

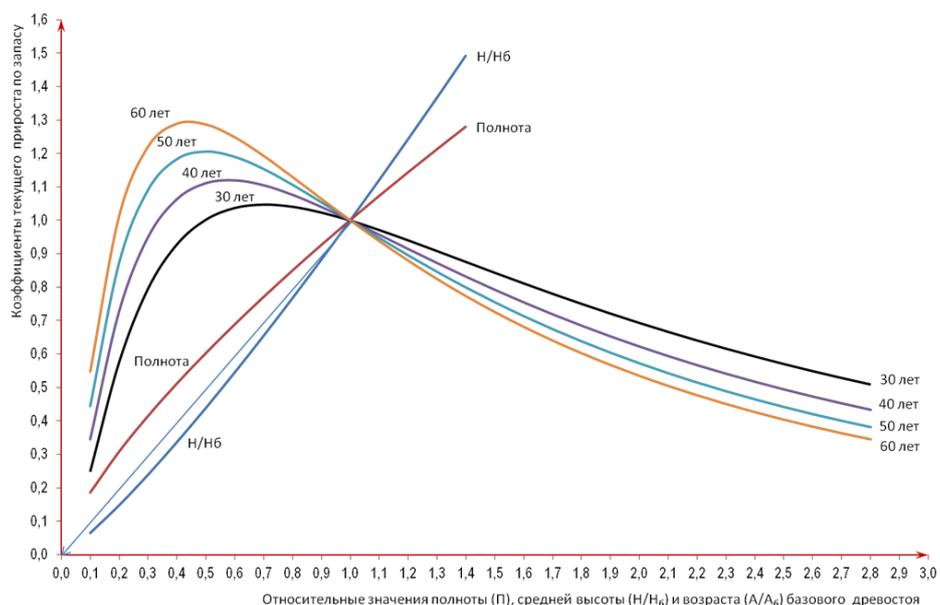


Рис. 1. Зависимость относительных значений прироста по запасу от относительных значений полноты, средней высоты и возраста древостоев.

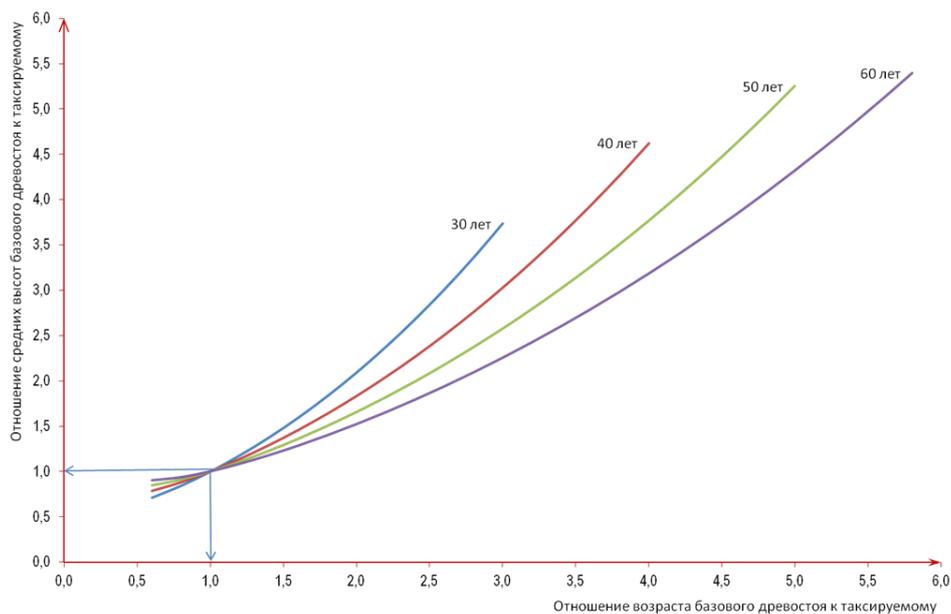


Рис. 2. Зависимость отношения средней высоты базового древостоя к таксируемому от отношения возраста базового древостоя к таксируемому.

Предлагаемый способ при прогнозном определении текущего прироста обеспечивает повышение производительности натуральных работ, т.е. отпадает необходимость в многократном определении ширины годичных слоёв на 25...30 деревьях в каждом таксируемом выделе леса. Прирост базового древостоя отражает колебания ширины годичных слоёв того периода, за который определяется текущий прирост, что позволяет учитывать климатические колебания.

Библиографический список

1. Хлюстов, В.К. Древесный прирост и лесопользование / В.К. Хлюстов. – М.: ВИНТИ, 1992. – 495 с.

УДК 631.67 (470.44)

ИЗМЕНЕНИЕ ЭКОЛОГО-МЕЛИОРАТИВНОГО СОСТОЯНИЯ СТАРООРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ СУХОСТЕПНОЙ ЗОНЫ САРАТОВСКОГО ЗАВОЛЖЬЯ

Б.И. Туктаров, Р.Р. Гафуров, Р.Б. Туктаров, Н.Б. Казакова
Саратовский государственный аграрный университет

CHANGE OF ECOLOGICAL AND LAND RECLAMATION OLD IRRIGATED LANDS DRY STEPPE ZONE EAST OF THE VOLGA SARATOV

B.I. Tuktarov, R.R. Gafurov, R.B. Tuktarov, N.B. Kazakova
Saratov State Agrarian University

***Аннотация.** В статье рассматривается целесообразность проведения мониторинга орошаемых земель с целью выявления отрицательного влияния орошения на эколого-мелиоративное состояние земель.*

***Abstract.** The paper considers the feasibility of monitoring of irrigated land in order to identify the negative impact of irrigation on environmentalreclamation of land.*

Ключевые слова: агроэкологический мониторинг, орошаемые земли, эколого-мелиоративное состояние земель, водная мелиорация, геоморфологические данные.

Keywords: agroecological monitoring, irrigated land, environmental condition of land, water reclamation, geomorphological data.

Орошение является важнейшим компонентом рационального ведения сельскохозяйственного производства в аридной зоне. В сухостепной зоне производство продукции земледелия без дополнительного увлажнения невозможно, а в степных зонах ирригация является одним из важнейших условий получения гарантированных урожаев [2].

Расцвет водной мелиорации в России пришелся на 80-е годы прошлого столетия. Во время реформы АПК 1992-1995 годов произошли значительные негативные изменения в мелиоративном комплексе страны, сократились площади орошаемых земель. Во многих регионах нашей страны практически прекращены мелиоративные работы или находятся в подвешенном состоянии. В течение последних 15 лет площадь орошаемых и осушенных земель сократилась на 2 млн га. Кроме того, постоянно ухудшается их мелиоративное состояние.

Саратовская область традиционно является сельскохозяйственным регионом. По объёму произведённой сельскохозяйственной продукции область занимает 10 место среди россий-

ских регионов. Одной из главных особенностей климата области является частая повторяемость засух и суховеев. За последние 105 лет в регионе повторяемость засух в весенне-летний период составила в среднем 48 %, то есть практически каждый второй год отмечаются засушливые явления той или иной интенсивности [2].

Ирригация изменяет факторы почвообразования, что приводит к трансформации почвенных процессов и находит отражение в свойствах почв [4].

При эксплуатации орошаемых территорий необходимо в первую очередь проведение их инвентаризации и мониторинга (непосредственно каждого конкретного поля) с использованием современных методов исследования для уточнения интенсивности эксплуатации и понимания сущности протекающих почвенных процессов, что необходимо для предотвращения деградации почв и получения гарантированных урожаев сельскохозяйственных культур.

Основной целью наших исследований является проведение агроэкологического мониторинга орошаемых земель, выявление негативных последствий и разработка мероприятий по улучшению состояния земель.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) определить режим уровня грунтовых вод и их минерализации;
- 2) проанализировать засоленность почвенного покрова;
- 3) проанализировать содержание гумуса.

В качестве объекта наших исследований была выбрана Ершовская оросительная система (ОС), расположенная в Ершовском районе в сухостепной зоне Саратовской области. Климат континентальный с резкими колебаниями температуры, большой сухостью воздуха, малым количеством атмосферных осадков и суховеями, что и вызывает необходимость оросительной мелиорации.

Для выполнения оценки и анализа качественного и количественного состояния орошаемых земель Ершовской ОС нами были выбраны следующие показатели:

- режим грунтовых вод и их минерализация;
- засоленность почвенного покрова;
- содержание гумуса;
- водно-физические свойства почв.

Для анализа использовались архивные данные Саратовской гидромелиоративной партии и данные полевых исследований.

Ершовская оросительно-обводнительная система введена в эксплуатацию в 1973 году и расположена в пределах Средней и Низкой Сыртовой равнины. С 1978 по 2011 год в работе Ершовской оросительной системы произошли большие качественные изменения.

Интенсивное орошение земель в Ершовском районе началось в 1976 году с вводом в эксплуатацию Саратовского канала и двух хозяйственных каналов. Площадь орошения I очереди составила 5128 га. С вводом в эксплуатацию в 1978 году Марьевского, Ерусланского, Спартаковского и других каналов и введением в эксплуатацию II очереди земель площадью 10971 га площадь орошаемых земель в районе достигла 17606 га, из них 17200 га были землями государственной системы и 406 га представляли собой локальные участки в долинах рек.

К 1982 году площадь поливных земель выросла до 37678 га, при этом в структуре посевных площадей 55-70% были заняты под кормовые культуры (люцерну, суданскую траву, кукурузу на силос), под зерновые культуры отводилось не более 15%, под технические – 10%.

Реформирование в агропромышленном комплексе России в 1992-1995 годах привело к значительным негативным изменениям в мелиоративной системе. В связи с ухудшением эколого-мелиоративного состояния орошаемых агроландшафтов в течение 20-25-летнего их использования, а также снижением урожайности сельскохозяйственных культур площадь орошаемых земель на территории Ершовской оросительной системы с 36027 га уменьшилась до 20819 га, т.е. на 15208 га, или 42%.

Основная часть орошаемых земель Ершовского района (по состоянию на 1990 год более 30 тыс. га, или 80%) расположена на водораздельных пространствах и склонах Средней и Низкой Сыртовой равнины, остальная часть – в долинах малых рек.

Генетически территория Сыртовой равнины является денудационно-аккумулятивной равниной нижнечетвертичного времени. Равнина сложена породами неогенового возраста.

Средняя область Сыртовой равнины развита в пределах района севернее села Осинов Гай и имеет следующий присущий ей набор геоморфологических признаков: абсолютные отметки территории от 80 до 120 м, глубина эрозионного вреза 40-60 м, долины рек углублены в сыртовые и акчагыльские породы, расчленённость водоразделов слабая. Основная часть (80%) мелиорированных земель Ершовской ОС расположена в пределах этой области.

Низкая область Сыртовой равнины занимает южную часть района и характеризуется следующими геоморфологическими признаками: абсолютные отметки территории 50-80 м, глубина эрозионного вреза рек 20-40 м, долины углублены только в сыртовые отложения, расчленённость водоразделов очень слабая.

До начала орошения рассматриваемая территория имела благоприятные эколого-мелиоративные условия, но в результате 20-летнего интенсивного орошения (до 90-х годов) произошло их негативное изменение.

По геоморфологическим данным с учетом водопроницаемости подстилающих пород, изменения уровня грунтовых вод и их минерализации и другим показателям на сегодняшний день нами были выделены две зоны.

Зона экологически стабильных агроландшафтов – это земли, расположенные в пределах Сыртовой равнины. В данной зоне находятся земли, расположенные на территории следующих хозяйств: ОПХ «Декабрист», АО им. «Энгельса», ОПХ «Красный боец», ПХ «Рефлектор» и т.д. Грунтовые воды описываемой территории встречаются на глубинах от 0,5-8,5 м до 25-35 м, мощность их изменяется от 2 до 5-6 м в зависимости от условий рельефа местности. До орошения грунтовые воды в этой зоне встречались на глубине более 35 м. Здесь за 20-летний период наблюдений амплитуда подъема составляет 4-5 м при глубине залегания 3-5 м. Минерализация грунтовых вод сыртовых отложений на участках с повышенным инфильтрационным питанием не превышает 3 г/л, на участках с залеганием грунтовых вод более 4 м минерализация увеличивается до 10-24 г/л.

Зона экологически нестабильных агроландшафтов – это земли, расположенные в долинах малых рек. На территории данной зоны находятся землепользования АО «Путь Ильича», ГУП «Осиновгайский», СХПК «Поляченко», АО «им. Кирова» и т.д. Глубина залегания грунтовых вод колеблется от 0,5 до 8,0 м. Грунтовые воды этой зоны характеризуются величиной минерализации от 0,5 до 23 г/л, но чаще всего встречаются воды с сухим остатком 3-6 г/л. По характеру минерализации воды смешанные. При сухом остатке до 1 г/л преобладают гидрокарбонатные кальциево-натриевые воды, при остатке до 5 г/л – сульфатно-натриевые, более 5 г/л – хлоридно-натриевые. Кроме того, наблюдается увеличение минерализации с глубиной.

До начала орошения верхний метровый слой почвы на территории Ершовской оросительной системы (1973 г.) был промыт от легкорастворимых солей. Содержание их составляет не более 0,09–0,11 %. Во втором метре количество солей возросло до 1,35–1,86 %, то есть эти почвы по мелиоративной оценке относились к глубокозасоленным.

За период интенсивной эксплуатации Ершовской оросительной системы (20 лет) на территории I зоны отмечается увеличение степени засоления верхнего метрового слоя почвы, как правило, сульфатного и хлоридно-сульфатного типа. Ввиду того что орошение достигло своего пика в конце 80-х, начале 90-х годов, наиболее характерными являются показатели 1990 и 2010 годов, когда началось восстановление экосистемы после прекращения орошения и перевода основной части регулярно орошаемых земель в условно-орошаемые земли (табл. 1).

Таблица 1

Динамика площадей засоления орошаемых земель Ершовской оросительной системы в 1978-2011 гг.

Зона	Год	Площадь орошаемых земель, га	Площади, га				
			незасоленные	слабо-засоленные	средне-засоленные	сильно-засоленные	вторичное засоление
I	1978	11972	11972	-	-	-	-
II		5634	5598	45	-	-	-
I	1990	25252	23093	523	837	22	-
II		12091	7958	1721	1182	573	190
I	2011	12595	12531	36	28	-	-
II		8185	7972	18	195	-	-

По данным таблицы 1 в 1978 году засоленных земель на территории I зоны не наблюдается, а к 1990 году площадь слабозасоленных земель увеличивается до 523 га, средне- и сильнозасоленных земель – 859 га, то есть 5,5% от общей площади орошаемых земель. В 2011 году можно наблюдать практически полное восстановление орошаемых земель, незасоленные земли составляют уже 99,5 % от общей площади орошаемых земель.

Земли, расположенные на территории II зоны, а именно надпойменные террасы рек, сложены аллювиально-делювиальными тяжелыми суглинками. На засоленных аллювиально-делювиальных отложениях сформировались солонцы лугово-каштановых и террасовых среднесолонцеватых почв, для которых характерно увеличение степени природного засоления. Также наблюдается вторичное засоление. Примером могут служить орошаемые земли АО «Путь Ильича» – 140 га, ГУП «Осиновгайский» – 528 га.

В пределах II зоны в 1978 году, когда началось интенсивное орошение, природному засолению были подвержены лишь 45 га, или 0,8% от общей площади орошаемых земель. Из-за интенсивной антропогенной нагрузки к 1990 году площадь засоленных земель увеличилась до 3666 га, или 30% от всей площади. К 2011 году площадь засоленных земель уменьшилась до 213 га, или 2,6%. Необходимо отметить, что восстановление солевого баланса почвы на территории II зоны идет несколько медленнее, чем на территории I зоны в силу природного засоления.

Из-за нерационального использования орошаемых земель произошла дегумификация орошаемых земель, а именно снижение содержания гумуса. После интенсивного 20-летнего орошения произошло изменение содержания гумуса в верхних слоях почвы (табл. 2).

Изменение содержания гумуса почв различных мелиоративных агроландшафтов при 20-25-летнем орошении

Год	Мощность гумусового горизонта, см	Содержание гумуса, %	Гранулометрический состав	Валовой гумус, т/га
I зона				
1978	32,5	4,9	тяжелосуглинистый	197,5
2011	47,5	3,8		223,8
II зона				
1978	22,5	2,2	глинистый	63,8
2011	32,5	1,7		71,3

При длительном орошении в связи с образованием большей надземной и корневой массы орошаемых культур по сравнению с неорошаемыми землями, происходит значительное отложение органических веществ в почве, их минерализация, гумусообразование и, следовательно, улучшение гумусового баланса.

Вследствие длительной антропогенной нагрузки также произошло перераспределение содержания гумуса. Из верхних слоев почвы гумус распределился в более нижние слои. За счет этого увеличилась мощность гумусового горизонта и, как следствие, произошло увеличение и валового гумуса. Такая картина наблюдается на территории обеих зон. На территории зоны экологически стабильных агроландшафтов валовой гумус увеличился на 26,3 т/га, в то же время на территории зоны экологически нестабильных агроландшафтов валовой гумус увеличился всего на 7,5 т/га. То есть наблюдается улучшение состояния плодородия орошаемых земель. Это происходит за счет перераспределения гумуса в более нижние слои и процесса фитомелиорации.

В настоящее время в связи с недостатком финансирования происходит спад орошения и восстановления плодородия орошаемых земель. В связи с сокращением антропогенной нагрузки на мелиоративный агроландшафт, то есть за счет уменьшения водной нагрузки произошло снижение уровня грунтовых вод ниже критического уровня их залегания, а легкорастворимые соли были вынесены в слой 1-2 метра. Также произошел вынос солей из верхнего слоя почвы за счет фитомелиорации, посева однолетних и многолетних трав.

Сыртовая равнина является второй по значению и перспективам развития орошения. Благоприятными факторами являются равнинность рельефа, отсутствие засоленности и солонцеватости в слое 0-1 метр в пределах I зоны, большие глубины исходного залегания грунтовых вод.

В результате проведения агроэкологического мониторинга можно сделать вывод, что на территории II зоны орошаемые почвы имеют неудовлетворительное мелиоративное состояние после 20-25 лет орошения. В первую очередь, это связано с подъемом уровня грунтовых вод, разной степенью засоления и тенденцией к накоплению поглощенного натрия. На территории II зоны можно рекомендовать реконструкцию и строительство дренажа, а также внедрение севооборотов, в составе которых должны присутствовать многолетние травы, способствующие снижению уровня грунтовых вод, накоплению гумуса, опреснению засоленных и солонцеватых почв.

Библиографический список

1. Кирейчева, Л.В. Комплексная мелиорация агроландшафтов / Л.В. Кирейчева // Мелиорация и водное хозяйство. – 1999. – № 5. – С. 14–17.
2. Концепция программы «Обеспечение воспроизводства плодородия земель сельскохозяйственного назначения // Вопросы мелиорации». – 1999. – № 3-4.
3. Царев, А.П. Орошаемое земледелие в Саратовской области (история, взлет и падение): монография / А.П. Царев, М.А. Царева ; ФГОУ ВПО СГАУ. – Саратов: Новый ветер, 2010. – 258 с. : ил.
4. Туктаров, Б.И. Ресурс-, водосбережение на орошаемых землях Саратовской области / Б.И. Туктаров, В.А. Нагорный; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2005. – 352с.

УДК 574.23

ПАРАДОКСЫ БИОСФЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

В.А. Усольцев

Уральский государственный лесотехнический университет

PARADOXES OF BIOSPHERIC PROBLEMS

V.A. Usoltsev

Ural State Forest Engineering University

Биосфера планеты, в том числе ее растительный покров, находится под влиянием космоса, ее процессы определяются излучениями не только Солнца, но и других звезд, а также орбитальными воздействиями планет, орбитальными смещениями Земли, внутренне обусловленными атмосферными процессами, количественно описывать и прогнозировать которые современная наука пока не в состоянии [1].

Эти неопределенности в прогнозируемости влияния космических и атмосферных процессов на биосферу во все возрастающей степени усугубляются антропогенным фактором. Многие ученые и природоохранные организации считают, что огромные масштабы сжигания ископаемого топлива (нефтепродукты, уголь, газ) нарушили естественный газовый состав атмосферы, что привело к так называемому «парниковому эффекту» и резкому потеплению климата в последние десятилетия. Масштабы и последствия изменений в атмосфере сопоставимы с крупными геологическими и климатическими событиями в истории Земли.

Таким образом, в результате неуклонного роста антропогенного вмешательства в биосферу и выбросов в атмосферу продуктов жизнедеятельности, в том числе такого биогена, как углерод, человечество столкнулось с крупнейшей, фактически тупиковой проблемой современности, и сегодня нет более широко обсуждаемого понятия, чем «устойчивое развитие» [2, 3]. В рамках концепции устойчивого развития промышленно развитые страны взяли обязательства о снижении эмиссии парниковых газов (СО₂, метан и др.) на 8% в течение 10 лет. Согласно достигнутым договоренностям, страна, в которой выбросы этих газов в атмосферу превышают их количество, поглощаемое лесами, должна платить «неустойку» стране, в которой ситуация прямо противоположная.

Для России, располагающей наибольшей площадью планетарных лесов, с ратификацией Киотского протокола открывались благоприятные перспективы в оценке биосферной роли национальных лесов с получением существенных экологических и экономических выгод, поскольку удельные затраты на сокращение 1 тонны выбросов СО₂ в России на два порядка ниже, чем в США и Японии [4]. Определенные надежды связывались с возможностью разра-

ботки проектов совместного осуществления. Однако в действительности оказалось все гораздо сложнее.

«Принцип дополнительности», принятый в Марракеше в развитие Киотского протокола [5], является дискриминационным по отношению к России, поскольку не учитывается роль ее естественных лесов, составляющих 22% от планетарных, поскольку в зачет входит количество поглощенного CO₂ лишь вновь создаваемыми лесами, не связанными с обычной практикой ведения лесного хозяйства, поскольку игнорируется также роль лесов, интенсивно заселяющих огромные площади РФ, вышедшие из-под сельскохозяйственного пользования.

В результате Россия не имеет никаких выгод от ратификации Киотского протокола. Российские исследователи доказывают, что наши леса за последние 10 лет поглощали около 600 млн тонн углерода в год, при годичных выбросах 500 млн. тонн, т.е. они перекрывают антропогенное загрязнение и вносят существенный вклад в очищение атмосферы от парниковых газов [6]. У зарубежных исследователей совершенно иная «бухгалтерия», и они утверждают, что поскольку леса России интенсивно горят, они являются источником выброса углерода в атмосферу, т.е. Россия не имеет права продавать свои квоты на чистый воздух.

По некоторым оценкам [7], депонируемый мировыми лесами углерод в 8 раз превышает нынешнюю потребность в энергии, а лесами России ежегодно производится около 8 млрд тонн условного топлива [8]. Однако вместо того, чтобы по примеру западных стран финансировать разработки по возобновляемой биоэнергетике, вкладываются колоссальные средства в строительство новой, Богучанской ГЭС, и в этой связи продолжается, как и при создании Угличского, Рыбинского и многих других водохранилищ, затопление деревень – старожильческих, уникальной ангарской культуры, многим из которых по три с половиной века. Сжигаются деревни, леса, покосы и погосты, сгоняются с обжитых мест люди – все это обратится в прибыли «РУСАЛ» и «РусГидро» «ради новой светлой жизни, которая воссияет в соответствии с главным инвестиционным проектом России» [9].

Поскольку Япония обязалась выплачивать некоторые суммы России в порядке компенсации трансграничного переноса загрязнений, ее правительство организует «самодостаточные» экспедиции в леса Сибири с целью оценки действительного положения дел с биосферной ролью лесов [10]. Японские ученые пытались в 2006 году осуществить подобное «проверочное» исследование и по Уральскому меридиану, но не получили организационной поддержки их экспедиции, которую они просили у руководства УГЛТУ, именно вследствие их заявленной «самодостаточности» и отказа от научного сотрудничества.

Причин такого парадокса с биосферной ролью российских лесов несколько. Одна из них – неопределенности в оценке приходной части углеродного цикла, т.е. количества ежегодно связываемого лесами углерода, для оценки которого нет единой согласованной методики. Это важно, но не это главное, а главное – в обеспечении необходимой точности оценки. Последняя зависит от точности лесоинвентаризации, которая должна периодически регистрировать происходящие в лесу изменения. В соответствии с «реформой», а фактически – с разрушением системы лесного хозяйства, которая до этого отработывалась в течение двух столетий, и с принятием нового Лесного кодекса система учета лесов в России ликвидирована. Поэтому мы сейчас не знаем, что имеем: леса растут, старятся, горят, вырубаются, иногда вновь высаживаются, и все эти текущие изменения не регистрируются.

Точность оценки годичного депонирования углерода лесами зависит также от наполненности базы фактических данных по депонированию углерода, получаемых на пробных пло-

щадях так называемым «деструктивным» методом, т.е. фракционированием и взвешиванием фитомассы и ее годичного прироста у срубленных репрезентативных, или модельных деревьев. За время работ по Международной биологической программе в 1960-е годы был получен значительный фактический материал по фитомассе лесов и ее годичному приросту, в последующие годы непрерывно пополняемый. Именно он (вкуче с лесоинвентаризационной базой) служит сегодня исходной основой для оценки углерододепонирующей способности лесов.

Этот процесс формирования упомянутой базы данных по депонированию углерода в настоящее время прекращен – в полном соответствии с новым Лесным кодексом, к разработке которого лесные «генералы» и лесные академики не были допущены. Если раньше можно было в лесхозе выписать лесорубочный билет на вырубаемые модельные деревья, то сейчас это полномочие отменено. Лесхозы, или (по новой терминологии) лесничества, могут лишь отвести в аренду лесной участок, на котором арендатор должен проводить все лесохозяйственные мероприятия, включая посадки, охрану лесов от пожаров и т.д.

Лесной науке вход в наши леса теперь запрещен. Более того, за каждое срубленное модельное дерево взимается штраф в размере 250 тыс. рублей и заводится уголовное дело по факту хищения в особо крупных размерах. Контроль возложен на природоохранную прокуратуру и экологическую полицию, но лесники пока что ни одного их представителя в лесу не встречали. Арендаторы же вместо охраны лесов от пожаров умышленно их поджигают, чтобы взять «задарма» оставшуюся после пожара древесину. По свидетельству ученых лесохозяйственного факультета МарГТУ летом 2010 года около половины лесных пожаров в республике Марий Эл было «организовано» арендаторами. И не только там (http://www.vremyan.ru/news/vyjavleny_fakty_podzhogov_lesa_arendatorami.html).

По данным Общественной комиссии по расследованию причин и последствий природных пожаров в России в 2010 году [11], только прямой экономический ущерб от пожаров составил более 10 триллионов рублей (не считая экологического ущерба и ущерба здоровью населения), что в десятки раз превысило экономию, полученную от ликвидации традиционной лесной охраны, осуществляемой ранее лесхозами. Но и без учета потерь от пожаров наше лесное хозяйство теперь дает миллиарды рублей убытка ежегодно. Для сравнения: в Финляндии (бывшей отсталой окраине России) лесной комплекс имеет 20%-й вклад в ВВП.

И здесь наши парадоксы глобального и национального уровней смыкаются с локальными. Можно привести один из них, связанный с ситуацией вокруг Бузулукского бора в Оренбуржье. После ликвидации лесной охраны сосновые боры юга России (Минусинский бор, ленточные боры Алтайского края, степные боры Челябинской области, уникальный Бузулукский бор и др.) могут быть полностью уничтожены лесными пожарами, которые год от года учащаются в связи с аридизацией степных территорий. Наибольшая опасность грозит Бузулукскому бору, на территории которого пробурено около 160 нефтяных скважин. В 1974 году после мощной утечки нефти и сильных лесных пожаров скважины были законсервированы. В 2002 году была начата кампания по организации на территории бора национального природного парка. Разработку проекта возглавил директор Института степи УрО РАН А.А. Чибилев.

Заслуги А.А. Чибилева как ученого-степоведа не вызывают сомнения, и его активная деятельность в этом направлении достойна уважения. Пользуясь тем, что новый Лесной кодекс всех лесоводов «загнал в угол», он решил подхватить выпавшее знамя на правах «главного

эколога» в регионе. Это хорошо, но зачем же отстранять ученых-лесоводов с лесохозяйственного факультета Оренбургского агроуниверситета от участия в проекте, зачем организовывать массовую травлю лесоводов в СМИ, по всем каналам, в газетах, по радио под девизом «Лесоводы – главные враги леса», т.е. фактически «добивать лежачих»?

А.А. Чибилев принялся за дело, взяв на вооружение «ландшафтно-экологические знания», не признавая лесоводственных «азов», известных любому студенту ЛХФ. Проигнорированы все результаты исследований нескольких поколений ученых-лесоводов в Бузулукском бору (Г.Ф. Морозов, А.П. Тольский, С.И. Коржинский, В.Н. Сукачев и многие другие): «Лесоводы и лесорубы считают, что они и только они знают жизнь и проблемы леса» [12, с. 135]. С А.А. Чибилевым солидарен и его коллега по институту, почвовед А.И. Климентьев: «Так называемое “техническое” управление, навязанное человеком, нарушает устойчивость структуры экологических сообществ бора, жизнь которых устроена на принципах и “рецептах”, не имеющих аналогов в физических системах, предлагаемых людьми» [13, с. 371].

В разработанном проекте выводятся из состава земель национального парка более 70 «хозяйственных зон» вокруг законсервированных скважин, продолжающих, тем не менее, источать водно-нефтяную смесь. Поскольку повторная консервация обойдется в 23 млн долларов, А.А. Чибилев рекомендует «для снятия пластового давления» проводить «разработку нефтяных месторождений из-за пределов бора с применением горизонтального бурения» [12, с. 122]. А.А. Чибилев заверяет, что, согласно проекту, добыча нефти в Бузулукском бору не предусмотрена. Видимо, какие-то лазейки для этого в отведенных им «хозяйственных зонах» он все же оставил, иначе каков был стимул у «Бузулукнефти» холдинга «ТНК-ВР» финансировать в 2008 году типографское издание его «Эколого-экономического обоснования организации национального парка»? Впрочем, добычу нефти «Бузулукнефть» холдинга «ТНК-ВР» уже ведет сегодня как на территории бора (пос. Комсомольский), так и по его периферии (пос. Троицкое, Пасмурово и др.). Объемы добычи из года в год растут (<http://www.orenburgneft.ru/press/news/?year=2009&month=08>) с неизбежными разливами нефти (<http://www.ecoindustry.ru/news/view/9175.html>).

А.А. Чибилев, позиционирующий себя «представителем фундаментальной науки» [12, с. 135], своим проектом перевел Бузулукский бор в «зону абсолютного покоя», обрекая его тем самым на переход в зону «абсолютной захламленности», а с учетом разливов нефти – в зону экологического бедствия. За свою историю бор горел неоднократно, но лесоводы его всегда восстанавливали, и он теперь представляет собой специфичную рукотворную (антропогенную) экосистему. Как известно, искусственные леса менее всего устойчивы к повреждающим факторам. Бор теперь может существовать лишь в статусе так называемого «управляемого леса». Это общий биологический закон: ни одно дикое животное, воспитанное человеком, не выживает, возвращаясь в естественные условия. Поэтому, по А. Сент-Экзюпери, «мы в ответе за тех, кого приручили».

Вернуть Бузулукский бор в девственное состояние методами, которые насаждают экологи-степеведы названного института, невозможно, особенно с учетом все нарастающей урбанизации. Основной бич бора – не лесоводы, а корневая губка (*Fomitopsis annosa*), базидиальный гриб-паразит, опаснейший возбудитель бурой ямчатой гнили в центральной части корней, что вызывает массовые вывалы сосны. Лесоводы с этой напастью худо-бедно справлялись, но сейчас она превратит эту «зону покоя» в настоящее лесное кладбище. Второй бич бора – черный сосновый усач (*Monochamus galloprovincialis*). В «зоне покоя» сейчас запре-

щены даже санитарные рубки и уборка захламленности. Старовозрастные сосняки, ранее заблаговременно вырубавшиеся, сейчас превращаются в ветровальники и соответственно – в очаги размножения усача.

Таким образом, деяниями степеведов бору вынесен окончательный смертный приговор, и если это «кострище», приправленное нефтью, полыхнет, как это имело место в европейской России в 2010 году, то на месте бора будет пустыня или, в лучшем случае, – так любимая оренбургскими экологами степь, которая, по их убеждениям, более продуктивна и является лучшим накопителем углерода, чем лес. Но это противоречит общеизвестным фактам.

Принцип неистощительного пользования лесом всегда был основополагающим в ведении лесного хозяйства страны, и в конце 1990-х годов он получил развитие в концепции «устойчивого лесопользования» – в полном соответствии с мировыми тенденциями [14, 15]. Сегодня стратегия управления лесным хозяйством, как и сама отрасль, аннулирована. Судьба российского леса находится в руках управленцев-непрофессионалов, и вряд ли ВВП страны в ближайшей перспективе получит ощутимый вклад от лесов при нынешнем «управлении» ими.

Более 200 лет назад один из основателей русского лесоводства Е.Ф. Зябловский [16] писал: «Хотя известно, что природа с избытком наградила Россию лесами, но продолжительны ли изобилие оных без доброго хозяйства? Достаточно ли довольство без умеренности? Видно из описания древнего света, что Галлия (нынешняя Франция), Германия и другие страны Европы покрыты были непроходимыми лесами, а ныне при всем рачении, при всех средствах, служащих к размножению лесов, не могут избегнуть недостатка в оных» [16, с. 33-34]. Ныне в лесах России «правит бал», к сожалению, именно это «довольство без умеренности». Профессор И.В. Шутов [17] показал, как и в чьих интересах в России разрушают отработанную веками систему лесного хозяйства и что нужно делать, чтобы остановить деградацию этой важнейшей отрасли.

Возвращаясь к глобальным проблемам, необходимо отметить, что наши биосферные парадоксы связаны с неопределенностями в оценке не только приходной, но и расходной части углеродного цикла, т.е. с оценкой углерода, выделяемого в атмосферу лесными почвами и детритами. Если о растущей части лесов имеется исходная информация для моделирования потоков, то о количестве, структуре и скорости разложения детритов исходная информация недостаточна для моделирования потоков на национальном уровне, а в силу чрезвычайной пестроты почвенного покрова и отсутствия детальных почвенных карт для огромной территории России [18] эти «подвалы биосферы» являются для исследователей «terra incognita», и поэтому преобладает метод так называемых «экспертных оценок». Крайне противоречива ситуация с лесами на вечной мерзлоте, которых у нас, например, на Дальнем Востоке 75% от всех площадей. Якутские ученые из Института биологических проблем криолитозоны СО РАН установили, что леса на мерзлоте в результате потепления повышают производительность и, следовательно, связывание атмосферного углерода [19], а за рубежом утверждают, что это повышение существенно перекрывается увеличением выброса метана вследствие оттаивания почв (http://ria.ru/arctic_news/20110815/417982679.html).

Парадоксально еще и то, что все «страсти» вокруг глобального потепления в действительности могут быть преждевременными, и вместо глобального потепления мы получим глобальное похолодание. Геофизики доказывают, что планета находится на пике очередной волны потепления, и в ближайшие годы нас ждет «скатывание» с этого пика и нарастающее по-

холодание. Причина этого явления с деятельностью человека не связана и объясняется комплексом космических и планетарно-орбитальных процессов (http://razrusitelmifov.ucoz.ru/index/globalnoe_poteplenie/0-5).

Однако похолодание может наступить и вследствие деятельности человека, а именно в результате выбросов в атмосферу взвешенных частиц и пыли. Это явление, известное как «глобальное затемнение», в последние десятилетия характеризуется снижением интенсивности солнечной радиации, приходящей на поверхность земли, на десятки процентов (<http://www.we-survive.ru/globalnoe-zatemnenie/>).

Но есть доказательства совершенно иных тенденций, в частности, связанных с деятельностью Солнца. Периодичность солнечных циклов общеизвестна, но в последние годы наблюдается существенное нарушение ритмичности его поведения. Американские ученые предупреждают о возможности в 2012 году необычно сильной вспышки солнечной энергии, настолько сильной, что может быть разрушена вся система энергообеспечения на планете, а возможно, и жизнеобеспечения с непредсказуемыми последствиями для здоровья людей (<http://dokumentika.org/lt/zem-s/solnechnaya-burya-1859-goda>). Не менее катастрофичны последствия пока непредсказуемых и неотвратимых метеоритных атак.

В условиях недоказанности антропогенной причины глобального потепления решения Киотского протокола базировались на фундаментальном принципе предосторожности, утвержденном этими странами в 1992 году в Рио-де-Жанейро [20]. В действительности может оказаться, что эта предосторожность была неоправданной. Наличие подобных парадоксов в биосферной проблематике показывает, насколько еще бессилён человек (новоявленный «царь природы») в своих попытках прогнозировать свое будущее и саму возможность существования в будущих временах.

Библиографический список

1. Влияние антропогенных выбросов CO₂ на климат: нерешенные проблемы / В. Сун, С. Балюнас, К.С. Демирчан и др. // Изв. РГО. – 2001. – Т. 133, вып. 2. – С. 1-19.
2. Моисеев, Н.Н. Быть или не быть... человечеству? / Н.Н. Моисеев. – М., 1999. – 288 с.
3. Кондратьев, К.Я. Иллюзии и реальность стратегии устойчивого развития / К.Я. Кондратьев, К.С. Лосев // Вестник РАН. – 2002. – Т. 72, № 7. – С. 592-601.
4. Ануфриев, В.П. Природа и человек: возможно ли равновесие? / В.П. Ануфриев // Урал. – 2004. – № 8. – С. 88-90.
5. Курбанов, Э.А. Углероддепонирующие насаждения Киотского протокола / Э.А. Курбанов. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2007. – 184 с.
6. Швиденко, А.З. Потепление климата: причины и следствия / А.З. Швиденко // Наука Урала. – 2011. – № 24. – С. 3.
7. Parresol, B.R. Biomass / B.R. Parresol // Encyclopedia of Environmetrics. Vol. 1. – Chichester: John Wiley & Sons, 2002. – P. 196-198.
8. Писаренко, А.И. О некоторых современных задачах лесного сектора России / А.И. Писаренко, В.В. Страхов // Лесное хоз-во. – 2006. – № 4. – С. 5-7.
9. Тарасов, А.Б. Генплан для утопленников / А.Б. Тарасов // Новая газета. – 2011. – № 52, (18 мая). – URL: <http://www.novayagazeta.ru/data/2011/052/11.html>.
10. Above- and belowground biomass and net primary productivity of a *Larix gmelinii* stand near Tura, Central Siberia / T. Kajimoto, Y. Matsuura, M.A. Sofronov, et al // Tree Physiology. – 1999. – Vol. 19. – P. 815-822.
11. Заключение общественной комиссии по расследованию причин и последствий природных пожаров в России в 2010 году / под ред. А.В. Яблокова. – СПб.– М.: Беллона, 2010. – 39 с.
12. Чибилев, А.А. Нефть, золотой кругляк и шансы Бузулукского бора на выживание / А.А. Чибилев // Бузулукский бор: Эколого-экономическое обоснование организации национального парка. Т.1. – Екатеринбург: УрО РАН, 2008. – С. 131-135.
13. Климентьев, А.И. Бузулукский бор: почвы, ландшафты и факторы географической среды / А.И. Климентьев. – Екатеринбург: УрО РАН, 2010. – 401 с.

14. Алексеев, А.С. Устойчивое управление лесным хозяйством: научные основы и концепции: учебное пособие / А.С. Алексеев, С. Келломяки, А.В. Любимов и др. – СПб: СПбГЛТА, 1998. – 223 с.

15. Основы устойчивого лесопользования: учеб. пособие для вузов / М.Л. Карпачевский, В.К.Тепляков, Т.О.Яницкая, А.Ю. Ярошенко А.Ю. – М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2009. – 143 с.

16. Зябловский, Е.Ф. Начальные основания лесоводства / Е.Ф. Зябловский. – СПб.: Морская типография, 1804. – 238 с. – (Репринтное издание: М.: МГУЛ, 2003).

17. Шутов, И.В. Остановить деградацию лесного хозяйства России! / И.В. Шутов. – 2-е изд. – М.: Лесная страна, 2007. – 239 с.

18. Карпачевский, Л.О. Пестрота почвенного покрова и почвенный индивидуум – "педон" / Л.О. Карпачевский, Н.К. Киселева // Лес и почва: тр. Всесоюзной науч. конф. – Красноярск: Книжное изд-во, 1968. – С. 48-57.

19. Исследование приземно-атмосферных процессов лесных и тундровых экосистем Якутии: методологии и объекты / Т.Х.Максимов, А.Р. Максимов, А.В. Кононов и др. // Новые методы в дендрэкологии: материалы Всерос. конф. – Иркутск: Ин-т географии СО РАН, 2007. – С. 36-38.

20. Тарко, А.М. Глобальное потепление и последствия выполнения Киотского протокола / А.М.Тарко, В.П. Зволинский // НЭП – XXI век (наука, экономика, промышленность): специальный выпуск. – 2006. – С. 42-45.

УДК 630*504

ВЛИЯНИЕ АНОМАЛЬНЫХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ СОСНЫ И ЕЛИ

С.С. Ширинкин, О.В. Харитоновна

Уральский государственный лесотехнический университет

INFLUENCE OF ANOMALY WEATHER CONDITIONS ON THE RADIAL GROWTH OF PINE AND SPRUCE

S.S. Shirinkin, O.V. Haritonova

Ural State Forestry Engineering University

Лето 2010 года было жарким и засушливым. Днем температура воздуха поднималась до рекордных + 35...39 °С, а осадки не выпадали неделями. В связи с такими аномальными погодными условиями возникают вопросы: как реагируют деревья на столь засушливую и жаркую погоду? снижается ли прирост деревьев или, наоборот, жара вызывает интенсивный рост? как влияет столь малое количество осадков на прирост?

В конце лета – начале осени на территории Пермского городского лесничества было проведено исследование. Целью исследования является изучение влияния аномальных погодных условий (высоких температур и малого количества осадков) на радиальный прирост сосны обыкновенной и ели сибирской. Данные породы являются лесобразующими, а также хозяйственно ценными, вследствие чего они были выбраны в качестве предмета исследования.

Для реализации поставленной цели решались следующие задачи:

1) проанализировать влияние суммы температур и суммы количества осадков на радиальный прирост сосны обыкновенной за период с 1915 по 2010 год;

2) проанализировать влияние суммы температур и суммы количества осадков на радиальный прирост ели сибирской за период с 1915 по 2010 год.

Работы по исследованию приростов деревьев проводились на территории Пермского городского лесничества. Пробные площади были заложены в Мотовилихинском участковом лесничестве, Нижне-Курьинском участковом лесничестве, ООПТ «Черняевский лес», ООПТ «Закамский бор», ООПТ «Верхне-Курьинский», ООПТ «Липовая гора».

Всего было заложено 40 пробных площадок в 32 кварталах, 40 выделах. Из 40 взятых кернов 20 составляют керны сосны обыкновенной и 20 кернов ели сибирской. По результа-

там закладки пробных площадей выяснилось, что средний возраст ели сибирской составляет 110 лет. Средний диаметр – 26 см, средняя высота – 23 м. Средний возраст сосны обыкновенной составляет 120 лет, средний диаметр – 28 см, средняя высота – 24 м. В результате проведенных исследований выяснилось, что на пробных площадках преобладают такие типы леса, как сосняк зеленомошный (40%), ельник липовый (25%) и ельник черничник (20%) с участием в древостое пихты, березы и липы. Ельник липовый относится к ТЛУ С2, ельник черничник – В3. Исходя из этого можно сделать вывод, что пробные площадки были заложены в типах леса, кардинально не отличающихся друг от друга по типу лесорастительных условий, следовательно, имеют схожий гидрологический режим, что снижает возможность ошибки при подсчете толщины годичных слоев, так как будут учитываться только погодные условия, влияющие на прирост деревьев.

При расчетах корреляционных связей климатических параметров с радиальным приростом деревьев были использованы данные метеостанции г. Пермь за последние 95 лет. Сумма температур бралась за вегетационный период – с марта по сентябрь. Было проанализировано комплексное влияние температуры воздуха и осадков на радиальный прирост деревьев. Для подтверждения того, что сумма температур и сумма осадков влияют на прирост сосны и ели, был проведен сравнительный анализ, определена корреляция между суммой температур и количеством осадков и толщиной годичного прироста.

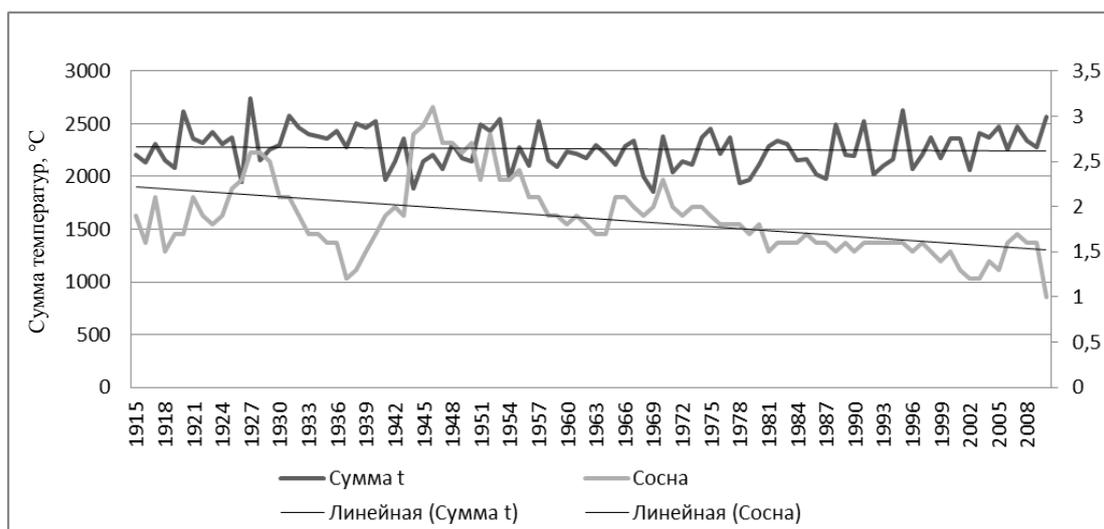


Рис. 1. Зависимость радиального прироста сосны обыкновенной от суммы накопленных температур выше 0°C

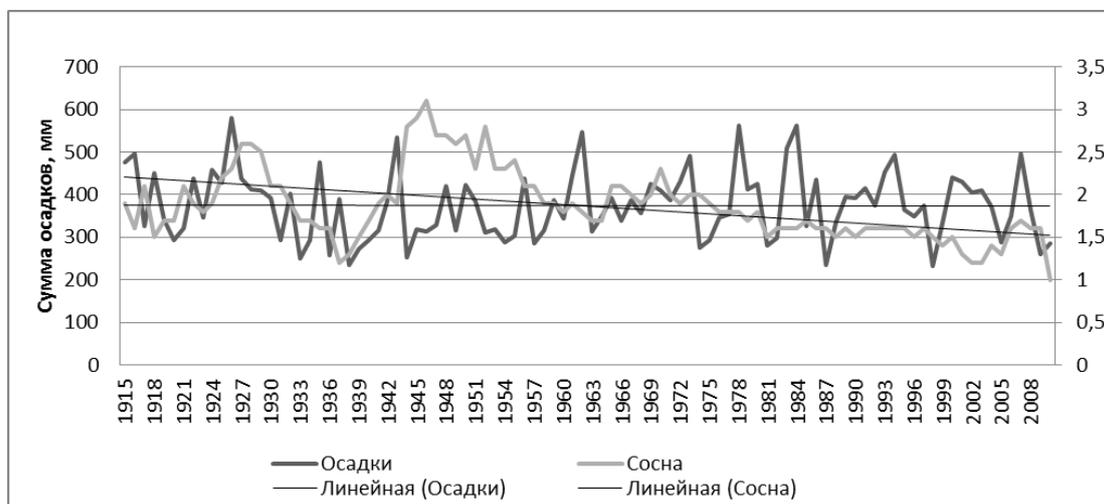


Рис. 2. Зависимость радиального прироста сосны обыкновенной от суммы осадков

Для установления связи между суммой накопленных температур выше 0°C и приростом сосны обыкновенной была определена корреляция между двумя этими признаками. Коэффициент корреляции равен $r = -0,13$. Полученный результат позволяет сделать вывод, что зависимость между суммой накопленных температур и приростом сосны незначительная. Следовательно, высокая сумма температур отрицательно влияет на прирост сосны.

Для установления связи между суммой осадков и приростом сосны обыкновенной была рассчитана корреляция между этими двумя признаками. Коэффициент корреляции равен $r = 0,06$. Таким образом, между суммой осадков и радиальным приростом сосны существует связь, хоть и незначительная. Увеличение суммы осадков положительно влияет на рост сосны. Этот факт объясняется тем, что сосны произрастают на хорошо дренированных почвах, влага в которых плохо удерживается, просачивается в нижние слои почвы и становится недоступной. Поэтому с увеличением суммы осадков возрастает количество поглощенной соснами влаги, что положительно сказывается на приросте.

Высокая сумма температур, т. е. жаркая, засушливая погода, отрицательно сказывается на приросте, так как в период засухи уменьшается количество поступающей в почву влаги, необходимой для нормального роста.

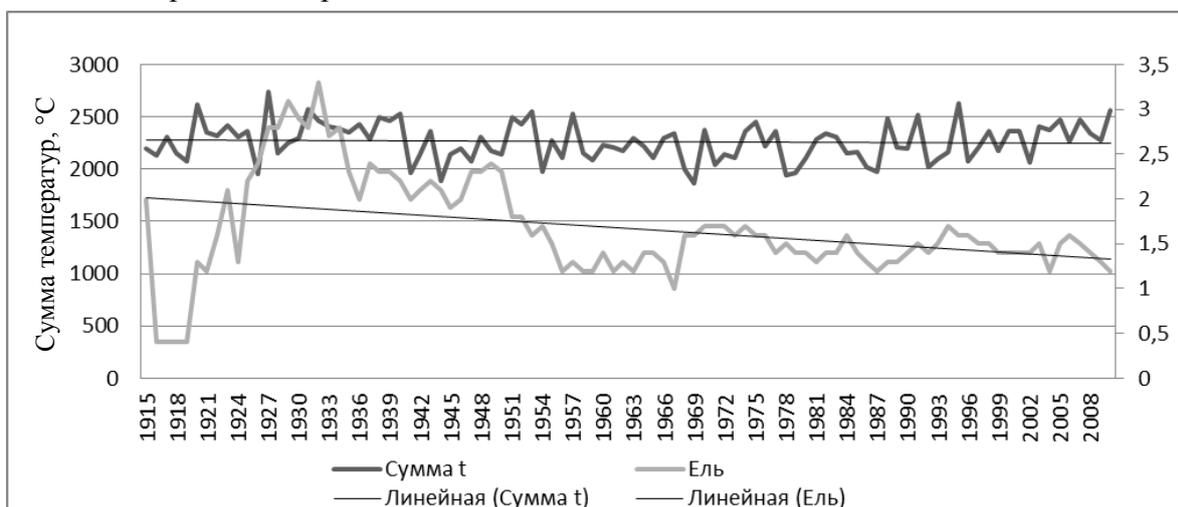


Рис. 3. Зависимость радиального прироста ели сибирской от суммы накопленных температур выше 0°C

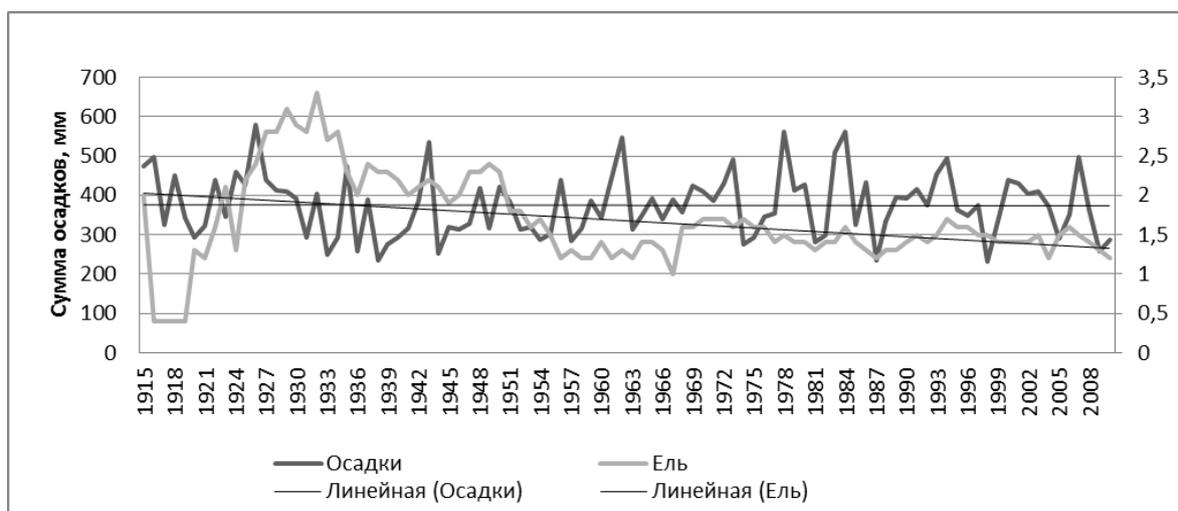


Рис. 4. Зависимость радиального прироста ели сибирской от суммы осадков

Для установления связи между суммой накопленных температур выше 0°C и приростом ели сибирской была определена корреляция между двумя этими признаками. Коэффициент корреляции равен $r = 0,17$. То есть между суммой температур и радиальным приростом ели сибирской существует связь. Увеличение суммы температур положительно влияет на радиальный прирост ели.

Для установления связи между суммой осадков и приростом ели сибирской была вычислена корреляция между этими двумя признаками. Коэффициент корреляции равен $r = -0,06$, что свидетельствует о незначительной связи между суммой осадков и радиальным приростом ели. В целом, увеличение суммы осадков отрицательно влияет на рост ели. Так как ель произрастает на влажных суглинистых почвах, где влаги достаточно для нормального роста, увеличение суммы осадков отрицательно сказывается на приросте. В этих условиях для формирования годичного слоя недостаточно тепла. С увеличением теплых, сухих дней для роста ели создаются оптимальные условия, т. е. достаточное количество влаги в почве и высокая сумма накопленных температур обеспечивают максимальный прирост.

В результате исследования радиальных приростов сосны обыкновенной и ели сибирской при аномальных погодных условиях – высоких температурах и малом количестве осадков – были сделаны следующие выводы:

1. Высокие суммы температур в условиях жаркой, засушливой погоды отрицательно влияют на прирост сосны. В таких условиях радиальный прирост сосны снижается. Однако высокие суммы температур (сухая, жаркая погода) способствуют увеличению прироста ели.

2. Большое количество осадков – дожди и выпадение снега – положительно сказывается на росте сосны. Однако частое и обильное выпадение осадков приводит к снижению прироста ели. Таким образом, в годы с обильным выпадением осадков и малым количеством теплых, засушливых дней радиальный прирост сосны обыкновенной увеличивается. И наоборот, в годы с сухой и засушливой погодой и малым количеством осадков прирост ели сибирской увеличивается.

3. Кардинально приросты деревьев за период исследования не изменялись. Это свидетельствует о том, что климат за последние 100 лет не изменился.

Библиографический список

1. Агафонов, Л.И. Изменения климата прошлого столетия и радиальный прирост сосны в степи Южного Урала / Л.И. Агафонов // Экология. – 2008. – №3. – С. 173-180.
2. Велисевич, Н.В. Влияние температуры и осадков на радиальный прирост лиственницы сибирской / Н.В. Велисевич, Д.С. Козлов // Экология. – 2006. – №4. – С. 269-274.
3. Горланова, Л.А. Дендроклиматический анализ можжевельника сибирского (*Juniperus sibirica*) на Полярном Урале: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Л.А. Горланова. – Екатеринбург, 2009. – 32 с.
4. Горланова, Л.А. Дендроклиматический потенциал можжевельника сибирского / Л.А. Горланова // Лесоведение. – 1999. – №6. – С. 33-37.
5. Кукарских, В.В. Влияние климатических факторов на радиальный прирост сосны обыкновенной в лесостепной и степной зонах Южного Урала: автореф. дис. ... канд. биол. наук В.В. Кукарских. – Екатеринбург, 2009. – 38 с.

Научное издание

**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

17-22 июня 2012 г.

Редакторы *М.И. Шигаева, Л.С. Емельянова, Л.С. Журавлева, П.Г. Павловская*
Компьютерная верстка *С.А. Лежнин*

Подписано к использованию 13.10.12

Объём 7,62 Мб

Номер государственной регистрации: 0321203600 от 30.10.2012

Поволжский государственный технологический университет
424000 Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

Центр устойчивого управления и дистанционного мониторинга лесов ПГТУ
424000 Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3